بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد گروه تکتونیک

آنالیز شکستگی‌های سنگ مخزن سازند قم در میدان یورتشا با استفاده از داده‌های سطحی و زیرسطحی

نگارنده : مهناز صباحی

اساتید راهنما

دکتر رمضان رمضانی اومالی

دکتر معصومه کردی

استاد مشاور صنعتی

محسن دورانديش

شهریور ۱۳۹۶

شماره: ۱۲۸۲۴
تاریخ: ۹۶/۷/۲۳

باسمه‌تعالی

دانشگاه صنعتی شاهرود
مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (3) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم مهناز صباحی با شماره دانشجویی 9310994 رشته زمین شناسی گرایش زمین ساخت(تکتونیک) تحت عنوان **آنالیز شکستگی-های سنگ مخزن سازند قم در میدان یورتشا با استفاده از داده‌های سطحی و زیرسطحی** که در تاریخ 1396/6/21 با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با امتیاز ۱۹٫۷۵ درجه عالی) ☐ مردود ☐

نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☑

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
1- استادراهنمای اول	دکتر رمضان رمضانی اومالی	دانشیار	
2- استادراهنمای دوم	دکتر معصومه کردی	استادیار	
3- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر علی اکبر مومنی	استادیار	
5- استاد ممتحن اول	دکتر پرویز امیدی	استادیار	
6- استاد ممتحن دوم	دکتر محسن خادمی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز امیدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۶/۷/۱۱

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده علوم زمین

این پایان‌نامه با حمایت و پشتیبانی شرکت ملی گاز ایران اجرا شده است

تقدیم به

- محضر ارزشمند پدر و مادر عزیزم به خاطر همه ی تلاش‌های محبت آمیزی که در دوران مختلف زندگی‌ام انجام داده‌اند. هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را سپاس نتوانم بگویم. امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما. باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار خستگیتان را بزداید.

- خواهران عزیزتر از جانم. قلبم لبریز از عشق به شماست و خوشبختی تان منتهای آرزویم.

- استادان فرزانه و فرهیخته‌ای که در راه کسب علم و معرفت مرا یاری نمودند.

- آنان که در راه کسب دانش راهنمایم بودند.

- آنان که نفس خیرشان و دعای روح پرورشان بدرقه ی راهم بود.

تقدیر و تشکر

پس از سپاس بی‌کران از خداوند بزرگ و مهربان، که توفیق زندگی و کسب علم را به ما ارزانی داشت، بر خویش لازم می‌دانم از کلیه کسانی که در اجرا و به ثمر رسیدن این پایان‌نامه، مرا را یاری کرده‌اند، قدردانی نماییم.

با سپاس فراوان از راهنمایی‌ها و زحمات استاید محترم و گرانقدر، آقا دکتر رمضان رمضانی اومالی و سرکار خانم معصومه کردی، که از ابتدای راه و در طی انجام این تحقیق، با راهنمایی‌های خود، مرا در نگارش این اثر یاری نمودند.

از استاد عزیز و بزرگوار، آقای دکتر پرویز امیدی، جهت قبول زحمت داوری صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از استاد گرانقدر، آقای دکتر محسن خادمی، که زحمت داوری این اثر را برعهده گرفته‌اند، کمال تشکر را دارم.

از همکاری و حمایت ارزشمند آقای مهندس غلامعلی رجبی (سرپرست شرکت ذخیره سازی گاز طبیعی)، آقای مهندس علی تیموری (مدیریت مهندسی تحت‌الارضی شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی)، آقای مهندس محسن دوراندیش (مشاور صنعتی از شرکت ملی گاز ایران) و سرکار خانم مهندس مریم کشاورز صفیئی (کارشناس ارشد مهندسی تحت الارضی شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی) کمال تشکر را دارم.

از حمایت علمی آقای هانی اسدی حویزیان کارشناس ارشد تکتونیک سازمان زمین شناسی مرکز اهواز که در اجرای این پایان نامه صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

از تمامی اساتید محترم دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود، که در طول مقطع کارشناسی ارشد، علم زمین‌شناسی را به من آموختند، سپاسگزارم.

تعهد نامه

اینجانب **مهناز صباحی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی ساختمانی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **آنالیز شکستگی‌های سنگ مخزن سازند قم در میدان یورتشا با استفاده از داده‌های سطحی و زیرسطحی** تحت راهنمایی آقای **دکتر رمضان رمضانی اومالی** و خانم **دکتر معصومه کردی** متعهد می‌شوم:

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

تاریخ **امضای دانشجو**

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

در یک دهه گذشته مطالعات مختلف ژئوفیزیکی، زمین‌شناسی و مهندسی مخزن بر روی سازند قم در میدان یورتشا باهدف تزریق و ذخیره‌سازی گاز انجام‌گرفته است. کیفیت ماتریکس سازند قم در این میدان در سطح پایینی ازلحاظ تخلخل و تراوایی قرار دارد، لذا نقش شکستگی‌ها در افزایش تراوایی و بهبود کیفیت مخزنی بسیار مهم است. در این مطالعه الگوهای تراکمی و امتدادی شکستگی‌های سازند قم به‌عنوان مخزن و سازند قرمز فوقانی که نقش پوش‌سنگ را دارد در تاقدیس یورتشا و تاقدیس‌های مجاور آن (دوازده امام و مره) با استفاده از اطلاعات سطحی و داده‌های زیرسطحی موردبررسی و مقایسه قرارگرفته است. به‌منظور دستیابی به این هدف در این مطالعه از روش‌های برداشت صحرایی، سنجش‌ازدور و آنالیز لاگ‌های تصویری استفاده شده است. در مطالعات زیرسطحی و تفسیر لاگ‌های تصویری FMS و EMI مشخص گردید که شکستگی‌ها علاوه بر روند شمال غرب- جنوب شرق دارای یک‌روند شمال شرق- جنوب غرب هستند. در نمودار تصویری FMS چاه شماره ۲، دو دسته شکستگی زیرسطحی با امتدادهای N65W و N15W و در چاه شماره ۳ سه دسته شکستگی با امتدادهای N80E، S80E و N45E و نمودار EMI چاه شماره ۴ دو امتداد غالب N10E وS40E را نشان می‌دهد. بررسی شکاف‌های سازند قم (با توجه به نمودارهای تصویری) نشان می‌دهد که مناطقی که دارای آهک خالص‌تر نسبت به سایر بخش‌های سازند می‌باشند، از تعداد شکستگی بیشتری برخوردار هستند. مجموع شکستگی‌های برداشت‌شده در برون‌زد تاقدیس‌های سطحی مره و دوازده امام ۱۸۵۲ شکستگی را شامل می‌شود که با توجه به نمودارهای گل سرخی به‌دست‌آمده از آنالیز این شکستگی‌ها، چهار دسته شکستگی با روندهای N10E، S45E، S80E و N45E شناسایی شده‌اند. با توجه به گسیختگی‌های دیواره چاه در لاگ‌های تصویری FMS چاه شماره ۳ تنش مینیمم وارد بر چاه روند NW-SE است. درحالی‌که تنش ماکزیمم وارد بر دیواره چاه دارای امتداد NE-SW یعنی در جهت عمود بر گسیختگی‌های دیواره چاه است.

کلیدواژه: میدان یورتشا، سازند قم، ذخیره‌سازی گاز طبیعی، تراکم شکستگی، لاگ تصویری

مقالات مستخرج از منطقه موردمطالعه

❖ مقالات کنفرانسی

- "تحلیل شکستگی‌های تاقدیس مره- جنوب ورامین، پهنه ایران مرکزی"، چهارمین همایش ملی زمین‌ساخت و زمین‌شناسی ساختاری ایران، بیرجند، آذر ۱۳۹۵.

- "استفاده از شکستگی‌ها در تفسیر ساختاری تاقدیس دوازده امام، جنوب غرب ایران مرکزی"، سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین، تهران، اسفند ۱۳۹۵.

- "ارزیابی پتروفیزیکی و تعیین خصوصیات مخزنی سازند قم در چاه A میدان گازی یورتشا، با استفاده از نمودارهای چاه پیمایی، جنوب غرب ایران مرکزی"، سومین همایش انجمن رسوب‌شناسی ایران، تهران، اردیبهشت ۱۳۹۶.

- "تحلیل شکستگی‌های میدان یورتشا به‌منظور ذخیره‌سازی گاز طبیعی در پهنه ایران مرکزی"، سومین همایش انجمن رسوب‌شناسی ایران، تهران، اردیبهشت ۱۳۹۶.

❖ مقالات علمی پژوهشی و علمی ترویجی

- "تعیین شکستگی‌های سنگ مخزن قم در میدان ذخیره‌سازی گاز طبیعی با استفاده از لاگ‌های تصویری FMS"، مجله اکتشاف و تولید، ۱۳۹۶.

- "مقایسه الگوی تراکمی و امتدادی شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی تاقدیس یورتشا، میدان ذخیره‌سازی گاز طبیعی در پهنه ایران مرکزی"، فصلنامه علوم زمین، ۱۳۹۶.

فهرست مطالب

فصل اول- کلیات

۱-۱- جایگاه زمین‌شناسی ساختاری در اکتشاف، بهره‌برداری و ذخیره‌سازی منابع هیدروکربوری ۳

۱-۲- موقعیت جغرافیایی ۳

۱-۳- راههای دسترسی به منطقه ۴

۱-۴- ساختمان زمین‌شناسی میدان یورتشا ۵

۱-۵- مخزن سازند قم ۶

۱-۶- آب‌وهوا و پوشش گیاهی ۷

۱-۷- تاریخچه ذخیره‌سازی گاز در جهان ۸

۱-۸- ضرورت تحقیق ۸

۱-۹- اهداف تحقیق ۹

۱-۱۰- روش‌های مطالعه ۹

۱-۱۱- پیشینه تحقیق ۱۱

فصل دوم- زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه

۲-۱- موقعیت زمین ساختی زون ایران مرکزی ۱۶

۲-۲- موقعیت زمین ساختی حوضه رسوبی قم ۱۷

۲-۳- ویژگی مخازن ایران مرکزی ۱۷

۲-۴- اهمیت مطالعه مخازن کربناته ۱۹

۲-۵- زمین‌شناسی عمومی منطقه موردمطالعه ۱۹

۲-۶- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه ۲۰

۲-۷- چینه نگاری سنوزوئیک در ایران ۲۲

۲-۷-۱- نهشته¬های ائوسن ۲۴

۲-۷-۲- نهشته¬های الیگوسن (سازند قرمز زیرین) ۲۴

۲-۷-۳- نهشته¬های الیگوسن– میوسن (سازند قم) ۲۵

۲-۷-۴- نهشته¬های میوسن (سازند قرمز بالایی) ۲۸

۲-۷-۵- نهشته¬های کواترنری ۲۹

۲-۸- چینه نگاری سنگی سازند قم در برش دوازده امام و مره ۳۰

فصل سوم- تحلیل شکستگی

۳-۱- تعریف شکستگی ۳۴
۳-۲- مکانیسم شکستگی ۳۴
۳-۳- اهمیت مطالعه شکستگی‌ها ۳۵
۳-۴- تقسیم‌بندی درزه‌ها ۳۵
۳-۴-۱- درزه‌های سیستماتیک ۳۶
۳-۴-۲- درزه‌های غیرسیستماتیک ۳۶
۳-۴-۳- شکستگی‌های مرتبط با چین‌خوردگی ۳۶
۳-۴-۴- طبقه بندی چین بر اساس زاویه چینخوردگی (φ) و زاویه بینیالی (ι) ۳۸
۳-۴-۵- شکستگی‌های مرتبط با گسل ۳۹
۳-۴-۶- چینهای مرتبط با گسلهای راندگی ۴۲
۳-۵- روش تحقیق ۴۶
۳-۵-۱- نقشه ساختاری محدوده موردمطالعه ۴۶
۳-۶- تاقدیس مره ۵۰
۳-۷- مقطع زمین‌شناسی ساختاری تاقدیس مره ۵۰
۳-۸- مطالعه شکستگی‌ها و سیستم درزه‌های تاقدیس مره ۵۲
۳-۹- تاقدیس دوازده امام ۶۳
۳-۱۰- مقطع زمین‌شناسی ساختاری تاقدیس دوازدهامام ۶۴
۳-۱۱- مطالعه شکستگی‌ها و سیستم درزه‌های تاقدیس دوازده امام ۶۶
۳-۱۲- پارامترهای شکستگی ۸۱
۳-۱۲-۱- توزیع امتدادی شکستگی‌ها ۸۲
۳-۱۲-۲- توزیع طولی شکستگی‌ها ۸۵
۳-۱۲-۳- توزیع فاصله‌ای شکستگی‌ها ۸۶
۳-۱۲-۴- توزیع چگالی شکستگی‌ها ۸۹

فصل چهارم- نمودارهای چاه‌پیمایی تصویری و تحلیل ساختاری تاقدیس زیرسطحی یورتشا

۴-۱- تاریخچه دوربین‌های درون‌چاهی ۹۴
۴-۲- نمودارهای تصویرگر (Image logs) ۹۵
۴-۳- انواع نمودارهای تصویرگر ۹۵

۴-۴- روش تصویربرداری الکتریکی ۹۶
۴-۵- تصویرگر FMS ۹۸
۴-۵-۱- نحوه کار ابزار FMS... ۱۰۰
۴-۵-۲- خصوصیات ابزار FMS ۱۰۰
۴-۵-۳- نحوه عملکرد تصویرگر FMS ۱۰۱
۴-۶- ابزار تصویرگر مقاومت ویژه الکتریکی FMI ۱۰۱
۴-۶-۱- کاربرد ابزار تصویرگرFMI ۱۰۲
۴-۷- ابزار تصویرگر EMI ۱۰۳
۴-۹- نمودار BHTV (Bore Hole Televiewer) ۱۰۷
۴-۱۰- به دست آوردن شیب از روی نمودارهای تصویری ۱۰۸
۴-۱۱- تقسیم‌بندی شکستگی‌های تحت‌الارضی.. ۱۰۹
۴-۱۲- تشخیص شکستگی‌های زیرسطحی ۱۱۰
۴-۱۲-۱- شکستگی‌های باز ۱۱۱
۴-۱۲-۲- شکستگی‌های بسته یا پرشده ۱۱۱
۴-۱۲-۳- شکستگی‌های مصنوعی ۱۱۲
۴-۱۳- چینه‌شناسی میدان گازی یورتشا ۱۱۴
۴-۱۴- تاریخچه تکتونیکی میدان گازی یورتشا ۱۱۵
۴-۱۵- نمودار های کانتوری.. ۱۱۸
۴-۱۶- معرفی گسلها به ترتیب اهمیت.. ۱۱۹
۴-۱۷- تحلیل استریوگرافی تاقدیس زیرسطحی یورتشا ۱۲۱
۴-۱۸- مقطع ساختمانی... ۱۲۲
۴-۱۹- تحلیل هندسی تاقدیس یورتشا ۱۲۲
۴-۲۰- بررسی شکستگی‌ها و درزه‌های تحت‌الارضی در میدان گازی یورتشا ۱۲۵
۴-۲۱- نتایج بررسی شکستگی‌های میدان گازی یورتشا.. ۱۲۵
۴-۲۱-۱- چاه شماره ۲ .... ۱۲۶
۴-۲۱-۲- چاه شماره ۳ .... ۱۲۹
۴-۲۱-۳- چاه شماره ۴ .... ۱۳۲
۴-۲۱-۴- جمعبندی نتایج بررسی شکستگی‌ها در چاههای ۲، ۳ و ۴ .... ۱۳۴
۴-۲۲- روش مشتق‌گیری ریاضی از نقشه‌های ساختمانی زیرسطحی.. ۱۳۷

۴-۲۳- روش تحلیل دوایر محاطی ۱۳۹
۴-۲۴- شدت شکستگی در تاقدیس یورتشا ۱۴۱
۴-۲۴-۱- ساخت لاگهای شدت (Intensity logs) ۱۴۱
۴-۲۵- تراکم شکستگی‌های زیرسطحی ۱۴۲
۴-۲۶- مقایسه شکستگی‌ها در بخش سطحی و زیرسطحی ۱۴۶
۴-۲۶-۱- مقایسه شکستگی‌ها در چاههای شماره ۲، ۳ و ۴ .... ۱۴۶
۴-۲۶-۲- مقایسه امتداد شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی ۱۴۶
۴-۲۷- تحلیل تنش ۱۴۸
۴-۲۸- خط سیر چاههای توسعه‌ای ۱۵۰
فصل پنجم- نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۵-۱ نتیجه گیری ۱۵۴
۵-۱-۱ نتایج بهدست آمده از تاقدیس مره ۱۵۴
۵-۱-۲ نتایج بهدست آمده از تاقدیس دوازدهامام ۱۵۴
۵-۱-۳ نتایج تحلیل شکستگی‌های تاقدیس یورتشا ۱۵۴
۵-۲ پیشنهادات ۱۵۶
پیوست الف- شکستگی‌های برداشت‌شده
مراجع
منابع فارسی ۱۶۴
منابع لاتین ۱۶۵

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: موقعیت منطقه موردمطالعه (جنوب ورامین) ۴

شکل ۱-۲: موقعیت راه‌های دسترسی به منطقه ۵

شکل۱-۳: نقشه UGC چاه مورد مطالعه در میدان گازی یورتشا جنوب غرب ایران مرکزی (شرکت ذخیرهسازی گاز طبیعی) ... ۶

شکل۱-۴: موقعیت چاههای میدان گازی یورتشا جنوب غرب ایران مرکزی در نقشه UGC (شرکت ذخیرهسازی گاز طبیعی) ... ۷

شکل۲-۱ : موقعیت ورقه ایران مرکزی (اصلاح شده از Vernant et al., 2004) ۱۸

شکل ۲-۲: نقشه زمینشناسی منطقه مورد مطالعه (با استفاده از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ نقشه تهران و آران) ۲۱

شکل ۲-۳: محدوده موردمطالعه در زون‌های ساختمانی- رسوبی ایران (Stöcklin, 1968؛ نبوی، ۱۹۶۷) ۲۲

شکل۲-۴: نمای از سازندهای قم و ولکانیکهای ائوسن در تاقدیس مره ۲۴

شکل ۲-۵: نمای از سازندهای قم و قرمز بالایی در برش دوازده امام ۲۹

شکل ۲-۶: ستون چینهشناسی منطقه موردمطالعه بدون مقیاس و نسبی (شرکت ذخیرهسازی گاز طبیعی) ۳۱

.... ۳۳

شکل ۳-۱: نمایش درزه‌های سیستماتیک (a) و غیر سیستماتیک (b) ۳۶

شکل۳-۲: محورهای تقارن در ارتباط با ساختارهای چین‌خورده (به نقل از گزارش شرکت ذخیرهسازی گاز طبیعی) ۳۷

شکل۳-۳: توسعه انواع درزه‌ها مرتبط با عناصر چین (Price, 1966) ۳۸

شکل۳-۴: طبقهبندی چینها براساس زاویه بینیالی و زاویه چینخوردگی (Fleuty, 1964) ۳۹

شکل ۳-۵: الف- نمودار گل سرخی شکستگی‌های برشی همراه یک گسل عادی، ب- سطوح شکستگی بالقوه‌ای که طی آزمایش‌های تراکمی در آزمایشگاه ایجاد می‌شوند. در این شکل، شکستگی‌های کششی (A) و شکستگی‌های برشی (B و C) نشان داده شده‌اند. (Stearns, 1968) ۴۱

شکل ۳-۶: نمایش درزههای پرمانند در نمودار سه بعدی (Hodgson, 1961) ۴۲

شکل ۳-۷: زاویه بین پهلوها (γ)، زاویه پلکان گسل (α)، ضخامت پهلوی خلفی (t_b) و ضخامت پهلوی پیشانی (t_f) (پیروز، ۱۳۸۳) ۴۴

شکل ۳-۸: تقسیم‌بندی سه‌گانه ساده از چینهای مرتبط با گسل‌های راندگی (McClay, 2003). ۴۵

شکل ۳-۹: نمایش نمودارهای گل سرخی توزیع شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی ایستگاههای (S1 تا S24) بر روی تصویر ماهوارهای گرفته‌شده از نرم‌افزار گوگل ارث. ۴۸

شکل ۳-۱۰: نقشه ساختاری منطقه موردمطالعه ۴۹

شکل ۳-۱۱: تعدادی از لایهبندیهای برداشتشده بههمراه تصویر استریوگرام (تاقدیس مره) ۵۱

شکل ۳-۱۲: موقعیت لایه‌بندی در موقعیتهای مختلف تاقدیس مره ۵۱

شکل ۳-۱۳: مقطع ساختاری تاقدیس مره با استفاده از نقشه ۱۰۰۰۰۰ رباط کریم ۵۲

شکل ۳-۱۴: شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱ (دید عکس به سمت غرب).. ۵۳

شکل ۳-۱۵: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه نماینده دسته شکستگی‌ها دارای مشخصات N35W,82SW است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N130,42SW میباشد). ب- نمودار هیستوگرام شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد اغلب شکستگی‌ها شیبی بین ۶۰ تا ۹۰ درجه دارند. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها. ۵۳

شکل ۳-۱۶: شکستگی‌های ایستگاه ۲ (دید عکس به سمت شرق). ۵۴

شکل ۳-۱۷: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۲ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه نماینده قطب شکستگی‌ها دارای مشخصات N59W,87SW است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N30W,25SW میباشد). ب- نمودار هیستوگرام شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب اکثر شکستگی‌ها بیش از ۶۵ است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها. ۵۵

شکل ۳-۱۸: الف- رخنمون گسل شمال تاقدیس مره. ب- ریک حدود ۹۰ درجه. ج- نمایش شکستگی‌های مزدوج رخنمون یافته در ایستگاه شماره ۳. .... ۵۶

شکل ۳-۱۹: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۳ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه نماینده دسته شکستگی‌ها دارای مشخصات N04W,80NE است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N70W,55NE میباشد). ب- نمودار هیستوگرام شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۴۵ تا ۹۰ متغیر است. ج- نمودار گل سرخی آزیموت شکستگی‌ها. ۵۶

شکل ۳-۲۰: الف- نمودار کانتوری قطب شکستگی‌های ایستگاه شماره ۴ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب شکستگی‌های دسته شماره یک و دو به ترتیب دارای با مشخصات N29E,86NW و N56W,52NE است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N85E,45NE میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۳۵ تا ۹۰ متغیر است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها.. ۵۷

شکل ۳-۲۱: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۵ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌ی نماینده دسته شکستگی‌های شماره یک با مشخصات N56E,86NW و صفحه‌ای با مشخصات N33W,82SW که نماینده دسته شکستگی‌ها با کمترین فراوانی است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N65E,30SE میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۴۰ تا۹۰ متغیر است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها. ۵۸

شکل ۳-۲۲: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۶ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده دسته شکستگی‌ها به ترتیب با مشخصات N81W,74NE و N14E,87NE و N14E,83NW است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N80E,5SE میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد اغلب شکستگی‌ها در این ایستگاه شیبی بین ۴۰ تا ۹۰ متغیر است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها.. ۵۹

شکل ۳-۲۳: الف - پرشدگی درزه شمالی جنوبی با ژیپس ب- دو دسته‌درزه متقاطع و یک دسته‌درزه مایل که تقریباً روند شمالی جنوبی دارند. (دید عکس به سمت شمال).. ۵۹

شکل ۳-۲۴: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۷ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های غالب دسته شماره یک با مشخصات N15W,82NW است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N65E,30SE میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شکستگی‌ها شیبی بین ۶۰ تا ۹۰ درجه‌دارند. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها. ۶۰

شکل ۳-۲۵: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۸ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های غالب دسته شماره یک با مشخصات N14W,82NE و دسته شماره دو با مشخصات N81W,55SW است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N30E,35NW میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد که شکستگی‌ها شیبی بین ۲۵ تا ۹۰ دارند. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها..۶۱

شکل ۳-۲۶: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۹ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده دسته شماره یک قطب شکستگی‌ها با مشخصات N07W,72NE و دسته شماره دو با مشخصات N66W,69NE است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N40W,38NE میباشد). ب- نمودار هیستوگرام شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شکستگی‌ها شیبی بین ۶۲ تا ۹۰ درجه دارند. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها. ۶۲

شکل ۳-۲۷: نمایش درزه‌های ایستگاه شماره ۱۰ (دید به سمت جنوب)..۶۳

شکل ۳-۲۸: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۰ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک و دو به ترتیب با مشخصات N13E,83NW و N80W,67NE است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N55W,27NE میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها نشان می‌دهد که شیب شکستگی‌ها بین ۵۵ تا ۹۰ متغیر است. ج- نمودار گل سرخی آزیموت شکستگی‌ها...۶۳

شکل ۳-۲۹: تعدادی از لایهبندیهای برداشتشده بههمراه تصویر استریوگرام (تاقدیس دوازدهامام) ۶۵

شکل ۳-۳۰: موقعیت لایه‌بندی در موقعیتهای مختلف تاقدیس دوازده امام..۶۵

شکل ۳-۳۱: الف- تصویر لندست تاقدیس دوازدهامام (ترکیب رنگی باندهای RGB:1,4,7). ب- نمایش مقطع عرضی -SW NE...۶۶

شکل ۳-۳۲: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۱ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک به ترتیب با مشخصات N16W,82SW است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N10W,15SW میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۶۰ تا ۹۰ متغیر است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها...۶۷

شکل ۳-۳۳: گسلهای فرعی امتداد لغز چپگرد در ایستگاه شماره ۱۲ (دید عکس به سمت شمال) ۶۸

شکل ۳-۳۴: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۲ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک و دو به ترتیب با مشخصات N21,81SE و N6W,80SW است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N80E,40N میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۵۰ تا ۹۰ متغیر است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها...۶۸

شکل ۳-۳۵: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۳ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک صفحه با مشخصات N42E,78NW است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N20E,25SW میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۵۵ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها...۶۹

شکل ۳-۳۶: نمایش درزه‌های ایستگاه شماره ۱۴ (دید عکس به سمت غرب) ۷۰

شکل ۳-۳۷: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۴ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک و دو به ترتیب با مشخصات N65W,75SW و N50E,79SE است (مشخصات صفحه

لایهبندی (B) در این ایستگاه N53W,10SW میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۳۸ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها. ۷۰

شکل ۳-۴۰: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۶ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک با مشخصات N19W,80NE است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N40W,28SW میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۲۰ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها. ۷۳

شکل ۳-۴۱: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۷ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک با مشخصات N79W,75NE است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N40W,10NE میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۵۰ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها. ۷۴

شکل ۳-۴۲: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۸ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک و دو به ترتیب با مشخصات N72W,81NE و N17E,77E است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N58,19SE میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۳۰ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها. ۷۵

شکل ۳-۴۳: نمایش درزه‌های ایستگاه شماره ۱۹ (دید به سمت شمال شرق) ۷۶

شکل ۳-۴۴: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۹ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک، دو و سه به ترتیب با مشخصات N52E,76SW و N75W,73NE است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N65E,22SE میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۴۰ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها. ۷۶

شکل ۳-۴۵: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۲۰ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک، دو به ترتیب با مشخصات N39W,77NE و N74,77SE است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N57E,15SE میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۵۰ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها. ۷۷

شکل ۳-۴۶: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۲۱ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک، دو به ترتیب با مشخصات N71W,98NE و N05W,73NE است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N50E,31SE میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۴۵ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها. ۷۸

شکل ۳-۴۷: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۲۲ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک، دو به ترتیب با مشخصات N66W,67NE و N48W,82SW است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N70E,25SE میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۵۸ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها. ۷۹

شکل ۳-۴۸: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۲۳ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک، دو به ترتیب با مشخصات N22E,84NW و N04W,81E است (مشخصات صفحه

لایهبندی (B) در این ایستگاه N40W,10NE میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۶۰ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها. ۸۰

شکل ۳-۴۹: نمایش درزه‌های ایستگاه شماره ۲۴ (دید عکس به سمت غرب) ۸۱

شکل ۳-۵۰: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۲۴ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های با مشخصات N42,82SE است (مشخصات صفحه لایهبندی (B) در این ایستگاه N48W,10NE میباشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بیش از ۶۵ درجه است. ج- نمودار گلسرخی آزیموت شکستگی‌ها. ۸۱

شکل ۳-۵۱: نقشه خطواره‌های تکتونیکی منطقه با استفاده از نرم‌افزار ENVI ترکیب باند (4,3,2) و نرم‌افزار Arcgis ۸۴

شکل ۳-۵۲: الف- هیستوگرام فراوانی طول دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی تاقدیس مره در ناحیه لولا. ب- هیستوگرام فراوانی طول دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی در ناحیه یال جنوبی. ج- هیستوگرام فراوانی طول دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی در ناحیه یال شمالی. ۸۵

شکل ۳-۵۳: الف-هیستوگرام فراوانی طول دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی تاقدیس دوازده امام در ناحیه لولا. ب-هیستوگرام فراوانی طول دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی در ناحیه یال جنوبی. ج-هیستوگرام فراوانی طول دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی در ناحیه یال شمالی. ۸۶

شکل ۳-۵۴: نمایش پارامتر فاصله شکستگی‌ها همراه با دو مجموعه شکستگی (دید عکس به سمت شرق). ۸۷

شکل ۳-۵۵: الف- نمودار جعبهای فاصله دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی تاقدیس مره در ناحیه یال شمالی، ب- نمودار جعبهای فاصله دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی تاقدیس مره در ناحیه یال جنوبی، ج- نمودار جعبهای فاصله دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی تاقدیس مره در ناحیه لولا. ۸۸

شکل ۳-۵۶: الف- نمودار هیستوگرام فاصله‌داری دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی تاقدیس دوازده امام در ناحیه لولا، ب- نمودار هیستوگرام فاصله‌داری دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی تاقدیس دوازده امام در ناحیه یال جنوبی، ج- نمودار هیستوگرام فاصله‌داری دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی تاقدیس دوازده امام در ناحیه یال شمالی. .. ۸۹

شکل ۳-۵۷: چگالی محاسبه‌شده در موقعیتهای مختلف تاقدیس مره و دوازده امام. ۹۱

شکل ۳-۵۸: نقشه تراکم شکستگی‌های سطحی منطقه موردمطالعه (اعداد ۱ الی ۸ نقاطی با بیشترین تراکم شکستگی در منطقه را نشان میدهند) ۹۲

شکل ۴-۱: تصاویر دیواره چاه برداشت‌شده توسط ابزار FMI (شکل سمت راست) می‌توانند به‌صورت مکمل و در مواردی جانشین مغزه‌ها باشند (شکل سمت چپ تصاویر گرفته‌شده از زوایای مختلف مغزه استوانه‌ای شکل است که آن را به‌صورت دوبعدی نمایش داده است). ۹۷

شکل ۴-۲: نمایش دوبعدی عارضه‌ای صفحه‌ای که دیواره چاه استوانه‌ای شکل را قطع کرده است (LDEO, 2008). ۹۸

شکل ۴-۳: نمونه‌ای از لاگ تصویری برداشت‌شده توسط ابزار تصویرگر FMS ۹۹

شکل ۴-۴: ابزار FMS و جهت‌یاب آن (GPT) (IODP-USIO, 2014) ۱۰۰

شکل ۴-۵: تصویر دستگاه FMI به همراه وضعیت قرارگیری بالشتک، دکمه، بازوها و زبانه (Schlumberger, 2002)......۱۰۲

شکل ۴-۶: نمونه‌ای از شناسایی گسل معکوس و معمولی بر روی تصاویر حاصل از ابزار تصویربرداری الکتریکی ۱۰۳

شکل ۴-۷: ابزار نمودار گیری EMI و مشخصات آن ۱۰۴

شکل ۴-۸: تصویری از لاگ برداشت‌شده توسط ابزار نمودار گیری UBI در مقایسه با تصویر نمودار FMI (Crain, 2015)...۱۰۶

شکل ۴-۹: تصویری از لاگ برداشت‌شده توسط ابزار نمودار گیری BHTV در مقایسه با تصویر نمودار FMS (Davatzes et al., 2005). ۱۰۷

شکل ۴-۱۰: الف- تصویر دستگاه FMS ب- یک طرح شماتیک به‌صورت دوبعدی و سه‌بعدی ، از (دهانه) چاه استوانه‌ای که توسط عارضه‌های صفحه‌ای قطع‌شده است (Donselaar and Schmidt, 2005). ۱۰۹

شکل ۴-۱۱: نمایش شکستگی‌های باز و شکستگی‌های بسته در لاگ تصویری.. ۱۱۳

شکل ۴-۱۲: تصویر شماتیک از شکستگی‌های طبیعی و مصنوعی (Williams, 2008) ۱۱۴

شکل ۴-۱۳: ستون چینه‌شناسی سازند قم و سازند قرمز بالائی در چاه موردمطالعه. در این منطقه سازند قم به‌طور مستقیم بر روی سنگ‌های ولکانیک ائوسن قرارگرفته و ممبرهای A، B و C1 تا C3 از سازند قم در این ناحیه نهشته نشده‌اند (شرکت ذخیرهسازی گاز طبیعی). ۱۱۶

شکل ۴-۱۴: نمایش تاریخچه تدفین چاه شماره ۳ میدان یورتشا، شمال غرب ایران مرکزی ۱۱۷

شکل ۴-۱۶: نقشه ساختاری ایزوپک سازند قم ۱۲۰

شکل ۴-۱۷: تصویر استریوگرافی از تاقدیس زیرسطحی یورتشا ۱۲۱

شکل ۴-۱۸: الف- نقشه مدل عمقی یورتشا، ب - مقطع ساختمانی تاقدیس یورتشا ۱۲۳

شکل ۴-۱۹: موقعیت تاقدیس یورتشا در برش A-A (شکل ۴-۱۸) روی نمودارهای چین‌خوردگی مدل Jamison (1987) (دایره تو پر). ۱۲۴

شکل ۴-۲۰: نمایش شکستگی‌های بسته (الف) و شکستگی‌های باز (ب) بر روی تصاویر دینامیک و استاتیک لاگ تصویری FMS در چاه YS3 با استفاده از نرم‌افزار Geolog، شکستگی‌های باز و بسته شناسایی شد. ۱۲۶

شکل ۴-۲۱: پلات آماری لایه‌بندی چاه شماره ۲؛ الف- نمودار گل سرخی لایه‌بندی‌ها، ب- قطب لایه‌بندی‌ها، ج- نمودار هیستوگرام شیب لایه‌بندی، د- نمودار کانتوری مربوط به چاه ۲... ۱۲۷

شکل ۴-۲۲: پلات آماری شکستگی‌های باز چاه شماره ۲. الف- نمودار گلسرخی شکستگی‌های باز، ب- قطب شکستگی‌های باز، ج- هیستوگرام شیب شکستگی‌های باز، د- نمودار کانتوری شکستگی‌های باز. ۱۲۸

شکل ۴-۲۳: پلات آماری شکستگی‌های بسته چاه شماره ۲. الف- نمودار گلسرخی شکستگی‌های بسته، ب- قطب شکستگی‌های بسته، ج- هیستوگرام شیب شکستگی‌های بسته، د- نمودار کانتوری شکستگی‌های بسته. ۱۲۹

شکل ۴-۲۴: پلات آماری لایه‌بندی چاه شماره ۳؛ الف- نمودار گل سرخی لایه‌بندی‌ها، ب- قطب لایه‌بندی‌ها، ج- نمودار هیستوگرام شیب، د- نمودار کانتوری لایهبندی مربوط به چاه ۳ .... ۱۳۰

شکل۴-۲۵: پلات آماری شکستگی‌های باز چاه شماره ۳؛ الف- نمودار گلسرخی شکستگی‌های باز، ب- قطب شکستگی‌های باز، ج- هیستوگرام شیب شکستگی‌های باز، د- نمودار کانتوری شکستگی‌های باز ۱۳۱

شکل ۴-۲۶: پلات آماری شکستگی‌های بسته چاه شماره ۳؛ الف- نمودار گلسرخی شکستگی‌های بسته، ب- قطب شکستگی‌های بسته، ج- هیستوگرام شیب شکستگی‌های بسته، د- نمودار کانتوری شکستگی‌های بسته. ۱۳۲

شکل ۴-۲۷: نمودار قطب لایه‌بندی و کانتور لایه‌بندیها؛ الف- نمودار گل سرخی لایه‌بندی‌ها، ب- قطب لایه‌بندی‌ها، ج- نمودار هیستوگرام شیب لایه‌بندی، د- نمودار کانتوری مربوط به تاقدیس یورتشا ۱۳۳

شکل ۴-۲۸: پلات آماری شکستگی‌های بسته چاه شماره ۴. الف- نمودار گلسرخی شکستگی‌های بسته، ب- قطب شکستگی‌های بسته، ج- هیستوگرام شیب شکستگی‌های بسته، د- نمودار کانتوری شکستگی‌های بسته. ۱۳۴

شکل ۴-۲۹: الف- توزیع عمقی کل شکستگی‌های زیرسطحی تفسیرشده چاه شماره ۲، ب- نمودار گل سرخی کل شکستگی‌های چاه شماره ۲ .... ۱۳۵

شکل ۴-۳۰: الف- توزیع عمقی کل شکستگی‌های زیرسطحی تفسیرشده چاه شماره ۳، ب- نمودار گل سرخی کل شکستگی‌های چاه شماره ۳ .... ۱۳۶

شکل ۴-۳۱: الف- توزیع عمقی کل شکستگی‌های زیرسطحی تفسیرشده چاه شماره ۴، ب- نمودار گل سرخی کل شکستگی‌های چاه شماره ۴ .... ۱۳۷

شکل ۴-۳۲: نقشه مشتق اول رأس سازند قم میدان گازی یورتشا.. ۱۳۸

شکل ۴-۳۳: نقشه مشتق دوم رأس سازند قم میدان گازی یورتشا ۱۳۹

شکل ۴-۳۴: نقشه دو بعدی حاصل از تحلیل دوایر محاطی که نواحی مستعد شکستگی‌های کششی ناشی از چین‌خوردگی در زون‌های مختلف سازند قم را نشان میدهد. ۱۴۰

شکل ۴-۳۵: نقشه سه بعدی حاصل از تحلیل دوایر محاطی که نواحی مستعد شکستگی‌های کششی ناشی از چین‌خوردگی در زون‌های مختلف سازند قم را نشان میدهد. ۱۴۰

شکل ۴-۳۶: الف- نقشه شدت شکستگی ۲ بعدی، ب- نقشه شدت شکستگی ۳ بعدی؛ بخش‌های قرمزرنگ بیشترین شدت و بخشهای بنفش‌رنگ کمترین تراکم شکستگی را نشان میدهند.. ۱۴۲

شکل ۴-۳۷: نمودار خطی تراکم شکستگی‌ها در چاه YS2 میدان گازی یورتشا.. .... ۱۴۳

شکل ۴-۳۸: نمودار خطی تراکم شکستگی‌ها در چاه YS3 میدان گازی یورتشا.. .... ۱۴۳

شکل ۴-۳۹: نمودار خطی تراکم شکستگی‌ها در چاه YS4 میدان گازی یورتشا. ۱۴۴

شکل ۴-۴۰: نمایش رابطه تراکم شکستگی‌ها با لیتولوژی در چاه شماره ۳ میدان یورتشا.. ۱۴۵

شکل ۴-۴۱: مقایسه امتداد شکستگی‌های شناسایی‌شده زیرسطحی با برداشت‌های صحرایی در منطقه موردمطالعه. ۱۴۸

شکل ۴-۴۲: الف— افزایش قطر دهانه چاه و پاسخ لاگهای کالیپر. ب- وضعیت تنش‌های اصلی که باعث به وجود آمدن گسیختگی‌های دیواره چاه و شکستگی‌های القایی در حین حفاری می‌شود... ۱۴۹

شکل ۴-۴۳: الف- نمایش گسیختگی دیواره چاه بر روی تصویر دینامیک. ب- نمایش ریزش‌های دیواره چاه (گسیختگی‌های دیواره چاه)؛ به بازشدگی لاگهای کالیپر توجه شود. ۱۵۰

شکل ۴-۴۴: مسیرهای بهینه چاه‌ها در یک چین نامتقارن کربناته (Nelson and Serra, 1995) ۱۵۲

فهرست جدول‌ها

جدول ۳-۱: محدوده چینها در طبقه بندی بر اساس زاویه چینخوردگی (φ) و زاویه بینیالی (ι)................................ ۳۹
جدول ۳-۲: نتایج حاصل از تحلیل تاقدیس مره بر اساس پارامترهای مختلف. ۵۱
موقعیت محور چین.. ۶۵
جدول ۳-۳: نتایج حاصل از تحلیل تاقدیس دوازده امام بر اساس پارامترهای مختلف. ۶۵
جدول ۳-۴: تراکم، شدت و اندازه محاسبه‌شده در ایستگاه‌های مختلف تاقدیس مره و دوازده امام ۹۱
جدول ۴-۱: فهرست و دسته‌بندی لاگهای تصویری موجود بر اساس روش‌های اندازه‌گیری و نوع گل حفاری (Schlumberger, 2015) ۹۷
جدول ۴-۲: خصوصیات هندسی تاقدیس یورتشا ۱۲۲
جدول ۱: بخشی از شکستگی‌های برداشتشده در تاقدیس مره ۱۵۸
جدول ۲: بخشی از شکستگی‌های برداشتشده در تاقدیس دوازدهامام ۱۶۰

فصل اول

کلیات

خاورمیانه با داشتن ۶۵ درصد ذخایر نفت و ۳۵ درصد ذخایر گاز طبیعی جهان مهم‌ترین مرکز تولید و اکتشاف هیدروکربن در جهان است. ایران به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین کشورهای تولیدکننده نفت و گاز، دومین تولیدکننده نفت اوپک است که ۹ درصد ذخایر نفت و ۱۵درصد ذخایر گازی را در خود جا داده است (جهانگیری، ۱۳۹۱). از دهه ۱۹۵۰ میلادی با کشف نفت و گاز در میدان‌های البرز و سراجه، مطالعات زمین‌شناسی قابل‌توجهی روی نهشته¬های دریایی الیگوسن- میوسن نواحی مختلف حوضه ایران مرکزی انجام شده که ازنظر حجم مطالعات، بعد از حوضه نفت‌خیز زاگرس و خلیج‌فارس، آن را در مرتبه سوم قرار می‌دهد. پیشروی دریا در ایران مرکزی (در طی الیگو – میوسن) منجر به ته‌نشست رسوبات آهکی، مارنی، تخریبی و تبخیری تحت عنوان سازند قم گردیده است. سازند قم به لحاظ وجود رخساره‌های متنوع در آن، که می‌توانند به‌عنوان سنگ منشأ، سنگ مخزن و سنگ پوش (قابلیت لازم در یک سیستم نفتی) عمل نمایند، در نقاط مختلف ایران مرکزی موردتوجه واقع شده است. این توجه می‌تواند در راستای اکتشاف هیدروکربور و یا یافتن موقعیت‌های مناسب جهت ذخیره‌سازی گاز[1] باشد (آقانباتی، ۱۳۸۳). میدان یورتشا[2]، به‌عنوان یکی از مخازن به‌طور طبیعی شکسته شده در ناحیه ایران مرکزی به شمار می‌رود، که با توجه به نیازهای استراتژیک کشور، برای انجام عملیات ذخیره‌سازی گاز در نظر گرفته شده است (ماهنامه ندای گاز، ۱۳۹۳). شکستگی‌های طبیعی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده رفتار هیدرولیکی مخازن نفت و گاز هستند. شناخت صحیح این شکستگی‌ها در برنامه‌های تولید و توسعه میدان‌های نفت حائز اهمیت است (Nelson, 2001). با توجه به اینکه مخازن نفتی حوضه ایران مرکزی در سنگ‌های کربناته شکافدار هستند و این شکستگی‌ها در فرآیند تولید و جایگیری هیدروکربور نقش عمده‌ای دارند، بنابراین مطالعه خطواره‌ها برای بررسی الگوی شکستگی‌ها و ارتباط آن با چین‌خوردگی و تأثیر آن بر حرکت سیال، حائز اهمیت است (شکستگی مخزنی یک ناپیوستگی صفحه‌ای مایکروسکوپی با رخداد طبیعی هست که حاصل دگرشکلی و یا دیاژنز سنگ است). شکستگی‌ها در تمام سازندهای سطحی و زیرسطحی وجود دارند (Nelson,

[1] Gas storage
[2] Yurtesha

2001). ویژگی فیزیکی شکستگی‌ها به خواص مکانیکی سنگ میزبان و فرآیندهای دیاژنزی زیرزمین وابسته است. آشکارسازی یا پیش‌بینی وقوع شکستگی‌ها در زیرزمین، اولین و اساسی‌ترین گام برای ارزیابی کامل یک مخزن شکافدار محسوب می‌شود. اگر شکستگی مخزنی مرتبط با گسیختگی شکننده باشد، احتمالاً در آغاز باز بوده ولی ممکن است سپس توسط فرایندهای دگرسانی و دیاژنز پر شده باشد. چنانچه شکستگی مخزنی در ارتباط با گسیختگی شکل‌پذیر باشد، ممکن است که به‌صورت نواری از سنگ درون‌گیر شدیداً دگرشکل شده نمایان شود. درنتیجه، تأثیر شکستگی‌های مخزنی طبیعی می‌تواند بر جریان سیال اثر مثبت و منفی داشته باشد. شکستگی‌های طبیعی نقش اساسی در تولید مخازن ایفا می‌کنند (Nelson, 2001).

۱-۱- جایگاه زمین‌شناسی ساختاری در اکتشاف، بهره‌برداری و ذخیره‌سازی منابع هیدروکربوری

ایران ازلحاظ اقتصادی، وابستگی شدیدی به صنعت نفت و گاز دارد، لذا پیشرفت و توسعه در روش-های اکتشاف، ذخیره‌سازی و بهینه‌سازی بسیار موردتوجه است. تعداد قابل‌توجهی از این روش‌ها در گرایش‌های مختلف زمین‌شناسی بوده است. قدیمی‌ترین تئوری اکتشاف نفت بر پایه رشته زمین‌ساخت یا تکتونیک بوده است. Hunt در سال ۱۸۶۱ تئوری تاقدیس را پایه گزاری کرد و نخستین چاه اقتصادی ایران در سال ۱۹۰۸ در تاقدیس مسجدسلیمان بر اساس این تئوری حفر گردید.

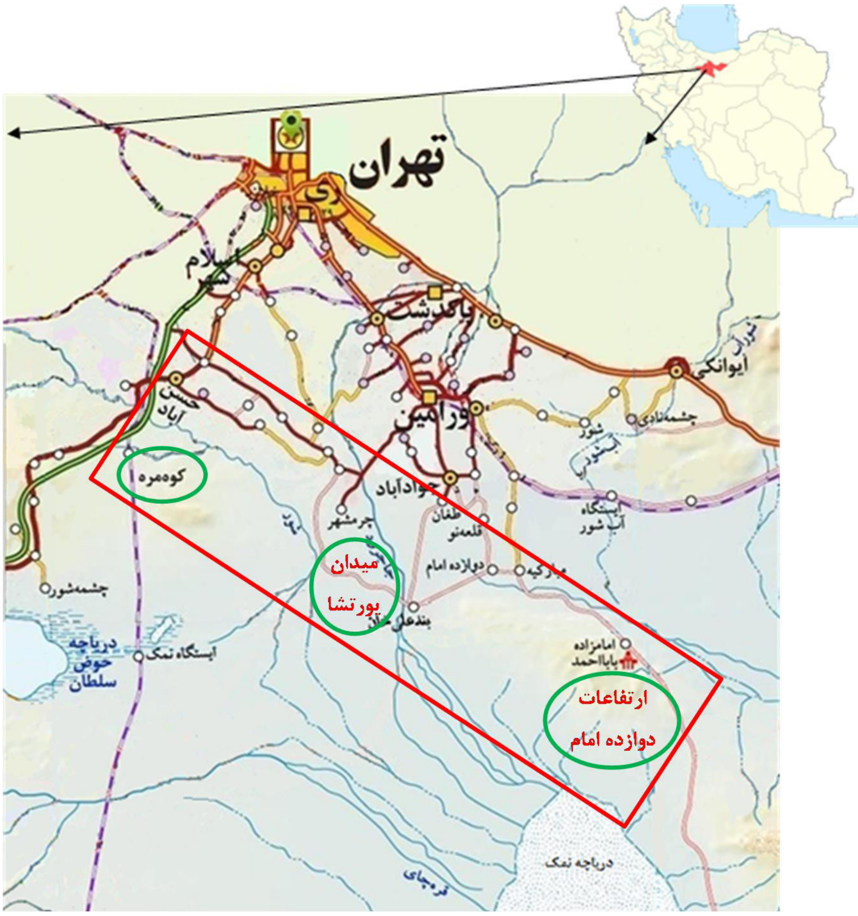
۱-۲- موقعیت جغرافیایی

ناحیه موردمطالعه در بخشی از قلمرو ساختاری ایران مرکزی قرار دارد. این منطقه بین طول‌های ۵۱ و ۵۲ درجه خاوری و عرض‌های ۳۴/۴۵ و ۳۶ درجه شمالی واقع شده است. منطقه موردمطالعه در۸۵ کیلومتری جنوب ورامین قرار دارد (شکل ۱-۱).

شکل ۱-۱: موقعیت منطقه موردمطالعه (جنوب ورامین)

۱-۳- راه‌های دسترسی به منطقه

از راه‌های دسترسی به میدان یورتشا،آزادراه قم-گرمسار و از طریق جاده چرم شهر- ورامین به ناحیه موردمطالعه امکان‌پذیر است. منطقه دوازده امام با روند باختر و شمال باختری در ۲۰ کیلومتری جنوب روستای جوادآباد از توابع پیشوای ورامین قرار دارد. راه ارتباطی اصلی جهت دسترسی به این محدوده جاده تهران- ورامین و تنها راه فرعی آن ورامین- جوادآباد به سمت منطقه دوازده امام است. جهت دسترسی به تاقدیس مره اتوبان تهران- قم ۸۵ کیلومتری قم و راه فرعی آن در نزدیکی محل تقاطع راه‌آهن و جاده به سمت چپ است. در شکل ۱-۲ محدوده میدان با دایره نشان داده شده است.

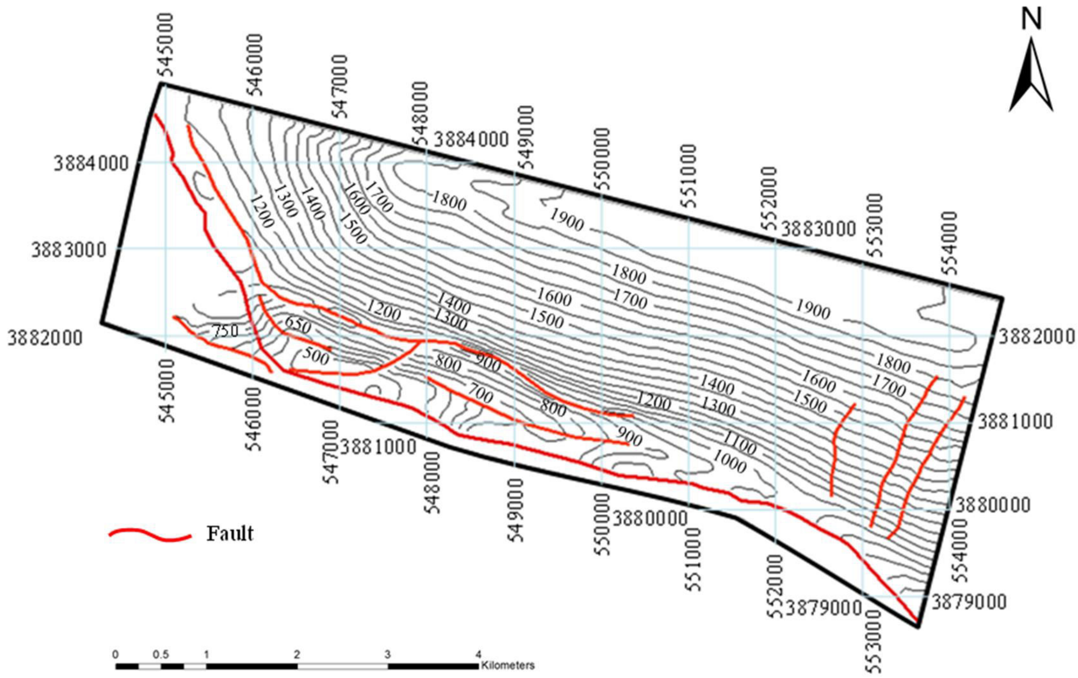


شکل ۱-۲: موقعیت راه‌های دسترسی به منطقه

۱-۴- ساختمان زمین‌شناسی میدان یورتشا

منطقه مورد مطالعه در یال شمالی تاقدیس یورتشا در ۷۰ کیلومتری شهرستان ورامین در بخش باختری پهنه ایران مرکزی قرار دارد. این تاقدیس با طول تقریبی ۱۰ کیلومتر و عرض ۵ کیلومتر و هندسه نامتقارن مکان مناسبی جهت انباشت ذخایر هیدروکربوری گازی است. هسته تاقدیس شامل کربناتهای سازند قم به سن الیگوسن- میوسن و پوش سنگ آن سازند قرمز بالایی به سن میوسن است. شیب یال شمالی ۲۸ الی ۳۳ درجه به سمت شمال خاوری و شیب یال جنوبی ۱۰ الی ۱۸ درجه به سمت جنوب باختری است (با استفاده از نقشه زیرسطحی در نرم‌افزار MOVE محاسبه شده است). گسل معکوس یال جنوبی (گسل معکوس با استفاده از نقشه زیر سطحی در نرم افزار مو بدست آمده است.) با شیب متوسط ۵۳ درجه هسته و پوش سنگ را تحت تاثیر قرار داده است (لازم به ذکر

است که میزان جابجایی به دلیل در اختیار نبودن اطلاعات مقاطع لرزه‌ای مشخص نیست). علاوه بر آن سه گسل فرعی با روند N15E و N10E با شیب به سمت جنوب خاوری در بخش خاوری تاقدیس مشاهده میشوند. در این چاه سازندهای قرمز بالایی، سازند قم و ولکانیک‌های ائوسن به‌طور کامل حفاری شده‌اند (شکل ۱-۳).

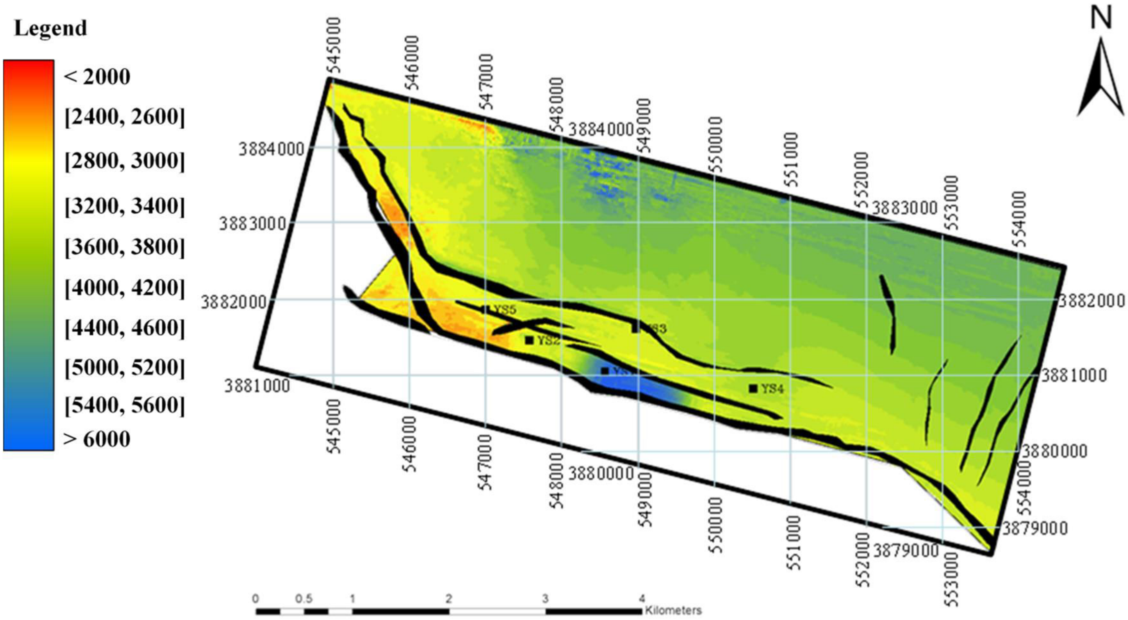


شکل۱-۳: نقشه **UGC** چاه مورد مطالعه در میدان گازی یورتشا جنوب غرب ایران مرکزی (شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی)

۱-۵- مخزن سازند قم

شرکت سهامی نفت در سال ۱۳۲۸ عملیات اکتشافی را با استخدام زمین شناسان سوئیسی و مهندسین معدن ایرانی آغاز و در سال ۱۳۳۵درتاقدیس البرز در ناحیه قم نفت قابل ملاحظه ای کشف نمود. درسال ۱۳۳۷ میدان گازی سراجه در شرق قم کشف شد. این میادین در ۱۱۵ کیلومتری تهران واقع شده اند و نفت (البرز) و گاز (سراجه) را از سری های شیلی سنگ آهکی الیگو میوسن سازند قم برداشت می کنند. تله هردو میدان حاصل از عملکرد گسلهای معکوس و دیاپیریسم نمک است. توالی های کربناته سازند قم ممبر E در این میادین سنگ مخزن می باشد که بوسیله بخشهای انیدریتی

(ممبرهای بالایی) و طبقات قرمز فوقانی پوشیده می شوند. در حوضه ایران مرکزی، تاکنون تعدادی تاقدیس شناسایی و حفر شده که شامل البرز، سراجه، تراز نایین، قرمزه، یورتشا، تلخه، سیاه کوه، معلمان، آران، شوریجه، فخره و زواره است. از این میان، تاقدیسهای البرز وسراجه دارای پتانسیل هیدروکربوری تشخیص داده شده اند. همچنین، مخزن یورتشا یک سفره آب فعال است. تا کنون ۵ حلقه چاه اکتشافی در میدان یورتشا حفر شده است که موقعیت آن ها در شکل ۱-۴ نمایش داده شده است (ماهنامه ندای گاز، ۱۳۹۳).



شکل ۱-۴: موقعیت چاه‌های میدان گازی یورتشا جنوب غرب ایران مرکزی در نقشه **UGC** (شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی)

۱-۶- آب‌وهوا و پوشش گیاهی

آب‌وهوای منطقه معتدل و خشک است، اما بخش‌های جنوبی به علت واقع‌شدن در حاشیه کویر متمایل به گرم و خشک است. پوشش گیاهی منطقه محدود بوده و شامل گیاهانی ازجمله خاک شیر، گل ختمی، کنگر و درختان بادام‌کوهی و پسته است.

۱-۷- تاریخچه ذخیره‌سازی گاز در جهان

اولین تجربه موفق در صنعت ذخیره‌سازی گاز طبیعی در سال ۱۹۱۵ در مخزن تخلیه‌شده در آنتاریو (کانادا) شکل گرفته است. بعدازآن در سال ۱۹۱۶ میدان زورا[1] در ایالت نیویورک با ذخیره ۱۷ میلیون مترمکعب گاز به یک مخزن ذخیره‌سازی تبدیل گردید. گسترش و توسعه مخازن ذخیره‌سازی گاز[2] از اواخر دهه ۳۰ قرن گذشته رشد زیادی داشته است. در ابتدا تمامی پروژه‌های ذخیره‌سازی بر روی مخازن تخلیه‌شده قدیمی نفت و گاز بوده است. اولین پروژه ذخیره‌سازی در مخازن سفره‌های آب تخلیه‌شده در ایالت ایلی نویز در آمریکا در سال ۱۹۵۳ به ظرفیت ۳۰۰ میلیون مترمکعب به بهره‌برداری رسیده است (حائری نژاد، ۱۳۹۲).

اولین پروژه ذخیره‌سازی گاز در ایران در سال ۱۳۳۸ توسط اشتوکلین، به شرکت ملی نفت ایران پیشنهاد گردید. بعدازآن طرح سراجه قم که تاقدیس هیدروکربوری تخلیه‌شده است، به بهره‌برداری رسید، اما متأسفانه تا سال ۱۳۶۸ به علل مختلف اعم از عدم نیاز جدی به گاز طبیعی، قطع صادرات گاز، عدم سازمان ذخیره‌سازی گاز طبیعی این مسئله به‌صورت جدی پیگیری نمی‌شد و تا سال ۱۳۶۸ نتیجه مطلوبی نداشت. سرانجام در سال ۱۳۸۶ شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی به‌عنوان یکی از شرکت‌های ستادی گاز ملی ایران تأسیس گردید و فعالیت خود را به‌صورت جدی آغاز نمود. در حال حاضر ایران دارای رتبه پنجم ذخیره‌سازی گاز طبیعی در جهان است (ماهنامه ندای گاز، ۱۳۹۳).

۱-۸- ضرورت تحقیق

ایجاد شکستگی‌ها در مخازن کربناته یکی از مهم‌ترین فرآیندهایی است که بر کیفیت مخازن هیدروکربوری تأثیر می‌گذارد. شناخت صحیح این شکستگی‌ها، تعیین الگوها و نحوه توزیع شکستگی‌ها در میدان‌های حاوی شکستگی در برنامه‌های تولید و توسعه میدان‌ها اهمیت داشته و باعث افزایش بهره‌وری از مخزن و کاهش هزینه‌ها می‌گردد (Nelson, 2001). میدان یورتشا با دارا

[1] Zora
[2] Underground gas storage

بودن مخزن کربناته شکاف دار با ناهمگنی بالا (سازند قم) یکی از بهترین گزینه‌ها جهت بررسی و تحلیل شکستگی‌ها است. شناسایی و تحلیل شکستگی‌ها در مخان می‌تواند در توسعه و سرمایه‌گذاری در مخازن زیرزمینی ذخیره‌سازی گاز طبیعی به‌عنوان بخشی از ذخایر استراتژیک می‌تواند در تأمین بار مازاد انرژی موردنیاز کشور در فصول پرمصرف، عمل به تعهدات بین‌المللی مطابق برنامه و تأثیرگذاری بیشتر ایران در بازارهای جهانی انرژی نقش مهمی ایفا کند.

۱-۹- اهداف تحقیق

هدف از این تحقیق دستیابی به الگوی تحلیلی ایجاد شکستگی‌ها بر اساس برداشت‌های صحرایی و نتیجه تحلیل داده‌های زیر سطحی به کمک نرم‌افزارهای مرتبط همچون Geolog برای پی بردن به کیفیت توزیع و تراکم شکستگی‌های سازندهای قم و قرمز زیرین و قرمز بالایی و ولکانیک‌های ائوسن (در بخش زیر سطحی) هست. تحلیل ساختاری یک پهنه و بررسی سیستم شکستگی‌های موجود در منطقه نقش ویژه‌ای از دیدگاه زمین‌شناسی ساختمانی در تحلیل میدان تنش موجود دارد و به تعیین الگوی تنش و آنالیز حوضه تکتونیکی منطقه کمک می‌کند.

۱-۱۰- روش‌های مطالعه

جهت دستیابی به اهداف این پژوهش روش‌های زیر اتخاذ شده است:

- مطالعات کتابخانه‌ای و گردآوری کتاب‌ها، مقاله‌ها و گزارش‌های مرتبط با موضوع تحقیق
- جمع‌آوری و بررسی نقشه‌های توپوگرافی بامقیاس 1:100000 و نقشه های‌زمین شناسی 1:100000 و 1:250000 سازمان زمین‌شناسی مربوط به منطقه موردمطالعه.
- استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست منطقه جهت شناسایی ساختارها، برگرفته از سایت Google earth
- انجام برداشت صحرایی ساختارها و جمع‌آوری شواهد صحرایی

- پردازش داده‌های ساختاری با استفاده از نرم‌افزارهای TectonicFP، Stereonet و ArcGIS
- ترسیم نقشه‌های زمین‌شناسی و ساختاری بر اساس داده‌های صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای به کمک نرم‌افزارهای Photoshop ، Corel DRAW و ArcGis
- تحلیل شکستگی‌های زیرسطحی با استفاده از نرم‌افزار geolog
- رسم تاریخچه تدفین (burial history) حوضه با کمک نرم‌افزار Petromod
- ترسیم مدل سه بعدی تاقدیس زیر سطحی به کمک نرم افزار پترل

پس از برداشت صحرایی ساختارها، اولین مرحله پردازش صورت گرفته و موقعیت ایستگاه‌های برداشت، بر روی نقشه‌های ژئورف[1] پیاده شد. پس از پیاده شدن داده‌ها روی نقشه، علائم و نشانه‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای گرافیکی روی نقشه‌ها مشخص شدند.

Stereonet

برای مشخص کردن موقعیت صفحات گسلی و نمایش دادن آن‌ها در این تحقیق از نرم‌افزار Stereonet استفاده شد. در این تحقیق، از نرم‌افزار یادشده صرفاً جهت نمایش دادن موقعیت صفحات روی نقشه‌های ساختاری استفاده شده است و بیشتر پردازش داده‌ها توسط نرم‌افزار Tectonic FP صورت گرفته است.

Tectonic FP

برخی از روش‌های آماری آنالیز داده‌های ساختاری، می‌توانند آنالیز هندسی مناسب و دقیقی ارائه دهند. داده‌های ساختاری در مورد صفحات به شکل Dipdirection – Dip و در خصوص خطوط به شکل Azimuth –plunge وارد این نرم‌افزار می‌شوند.

[1] Georef maps (maps which are georefrenced)

Geolog

برای مشخص کردن موقعیت شکستگی‌ها، لایه‌بندی، گسل، درون‌چاهی و نمایش آن‌ها در این تحقیق از نرم‌افزار Geolog استفاده شده است.

Petromod

تاریخچه تدفین با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی زیرزمینی ازجمله عمق سازندهای موجود دریکی از چاه‌های موردمطالعه (عمق مرز بالایی و پایینی)، نوع مرزهای بین سازندها، سن زمین‌شناسی سازندها و ترکیب سنگ‌شناسی سازندها، ترسیم می‌گردد. تاریخچه تدفین روند نهشته شدن و تدفین سازندهای مختلف از زمان رسوب‌گذاری تا زمان حال را نشان می‌دهد که به آنالیز تکتونیکی حوضه کمک می‌کند.

Petrel

به منظور نمایش مناطق مستعد شکستگی های ناشی از چین خوردگی و نمایش سه بعدی تاقدیس زیر سطحی از این نرم افزار استفاده شده است.

پس از پردازش داده‌ها، نتایج به‌دست‌آمده، با استفاده از نرم‌افزارهای گرافیکی یادشده روی نقشه‌ها پیاده شدند. برای هر چه گویاتر بودن، نقشه‌ها چندین مرتبه اصلاح و ساده‌سازی شده و سپس برای تحلیل و بررسی و مقایسه بخش سطحی و زیرسطحی آماده شدند.

۱-۱۱- پیشینه تحقیق

پیشینه مطالعاتی مکتوب و منتشرشده درزمینه این تحقیق، محدود به مقالاتی در زمینه چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی سازند قم است و چند مورد پیرامون توان اقتصادی سازند قم بوده و تاکنون هیچ مطالعه جامعی در مورد زمین‌شناسی ساختاری و تحلیل شکستگی‌های میدان یورتشا صورت نگرفته است. Morgan (1905) از اولین کسانی است، که به مطالعه رسوبات سازند قم در ایران مرکزی پرداخته است.

Frei (1915) گزارش جامعی از مباحث چینه‌شناسی، تکتونیک، چشمه‌های نفتی، سنگ منشأ، سنگ‌پوشش و اهداف اکتشافی در بعضی مناطق ازجمله قم، کاشان، نطنز، ساوه ارائه می‌کند. در این گزارش رسوبات سازند قم سری دریایی[1] نام گرفته است و رسوبات ریفی سازند میوسن پایینی را معادل سازند آسماری در نظر گرفته است، در جنوب "دو برادر" به درگرشیبی زاویه‌دار بین دو سری دریایی و رسوبات سازند قرمز بالایی که با یک کنگلومرای صورتی و قهوه‌ای درشت شروع می‌شود، اشاره شده است. وی معتقد است که پیش روی دریا در نواحی قمصر از ابتدای الیگوسن پیشین شروع شده است. در این گزارش سنگ آهک‌های ریفی متخلخل را به‌عنوان سنگ مخزن، سری قرمز بالایی را به‌عنوان سنگ‌پوشش معرفی نموده است و تاقدیس‌های کوه نمک، البرز، سراجه را برای حفاری پیشنهاد کرده است.

نوگل سادات (۱۳۵۷) سازند قم در ارتفاعات جنوبی و باختری شهرستان قم را مطالعه نمود. وی در این منطقه ۹ مقطع چینه‌شناسی از نواحی مختلف را برداشت نموده است و ضمن برداشت‌های صحرایی تحلیل ساختاری این حوضه را نیز ارائه داد.

Berberian (1983) علت زایش حوضه قم در بخشی از ایران مرکزی را ناشی از فرورانش پوسته اقیانوسی بلند زاگرس یا نئوتتیس به زیر لبه قاره‌ای فعال جنوب باختر ایران مرکزی در زمان الیگوسن- میوسن می‌داند. این فرورانش سبب بازشدگی پشت‌کمانی در مرکز و شمال ایران مرکزی شده، که در آن رسوبات سازند قم با فرآیندهای آتش‌فشانی آلکالن ته‌نشین شده است. این بازشدگی پشت‌کمانی (رژیم زمین ساختی کششی محلی و تشکیل حوضه رسوبی سازند قم) هم‌زمان با رژیم زمین ساختی فشارشی کلی، که به صفحه ایران واردشده، تشکیل شده است.

[1] Marine series

یزدانی (۱۳۸۵) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به مطالعه فسیل‌شناسی نهشته¬های سازند قم در غرب ساوه (کهلو پایین) پرداخته و ضخامت سازند قم را در برش‌های مختلفی از منطقه ارائه و باهم مقایسه می‌کند.

Gansser (1955) آغاز شرایط دریایی در ایران مرکزی را در زمان الیگوسن زیرین پس از پایان آتش‌فشانی ائوسن هم‌زمان با رسوب‌گذاری نهشته¬های قرمز لاگونی غنی از ژیپس و نمک معرفی کرده است، که آغاز سیکل رسوبی است. گانسر علت پیشروی دریا را حرکات کوه‌زایی انتهای الیگوسن زیرین معرفی کرد. بنا بر نظر Gansser گسترش این سازند بدون گسیختگی محلی، بنا بر نظر او در ایران مرکزی چندین حوضه مرتبط وجود دارد که به‌وسیله دریای الیگو- میوسن پوشیده شده است. ضخیم‌ترین رسوبات دریایی حوضه قم است. اگرچه این حوضه باریک است، ولی عمیق بوده است. تغییرات سریع ضخامت و رخساره‌ها از مشخصات بارز این حوضه است.

فصل دوم

زمین‌شناسی

در فصل گذشته به موقعیت جغرافیایی، ضرورت تحقیق، اهداف مطالعه و همچنین مطالعات پیشین پرداخته شده است. برای مطالعه شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی در میدان یورتشا ابتدا نیاز است جایگاه تکتونیکی منطقه در پژوهش‌های پیشین مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور بررسی از ابعاد بزرگ‌تر یعنی مطالعه ایران مرکزی، ناحیه موردمطالعه (جنوب ورامین) و درنهایت میدان یورتشا صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است برای تحلیل ویژگی‌های ساختاری یک منطقه، اطلاع از ویژگی‌های زمین‌ساختی مناطق اطراف در حل مسئله حائز اهمیت است.

۲-۱- موقعیت زمین ساختی زون ایران مرکزی

خرده قاره ایران مرکزی بخش مثلثی شکلی است که در مرکز ایران قرار دارد. حد شمالی این زون را ارتفاعات البرز، حد جنوبی را زون مکران، حد غربی آن توسط یک منطقه فرورفته به زون دگرگونی سنندج - سیرجان که درواقع جزئی از ایران مرکزی است، محدود شده و حد شرقی آن چندان مشخص نیست، زیرا برخی زمین شناسان بلوک لوت را جزء ایران مرکزی محسوب می‌کنند و برخی دیگر آن را قطعه‌ای مجزا می‌دانند. درگذشته، خرده قاره ایران مرکزی را بخشی از توده میانی ایران مرکزی می‌دانستند، ولی به باور Stöcklin (1968) پس از سخت شدن پی‌سنگ پرکامبرین، بخش یادشده در زمان پالئوزوئیک ویژگی‌های سکویی داشته و در زمان‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک به منطقه‌ای پرتحرک و پویا تبدیل شده است. باوجوداین، باید گفت که الگوی ساختاری حاکم بر این خرده قاره، از نوع بلوک‌های جداشده با گسل‌های عمده است که هر یک، ویژگی جداگانه‌ای دارند و پویایی خرده قاره در همه‌جا یکسان نیست. در اثر فرورانش صفحه عربی در زیر لبه جنوبی ایران مرکزی، زون ولکانیکی ارومیه دختر به‌عنوان کمان ماگمایی شکل می‌گیرد و حوضه ایران مرکزی با گسترش وسیع سنگ‌های ولکانیکی رسوبی ائوسن، به‌عنوان حوضه پشت‌کمانی تشکیل می‌شود.

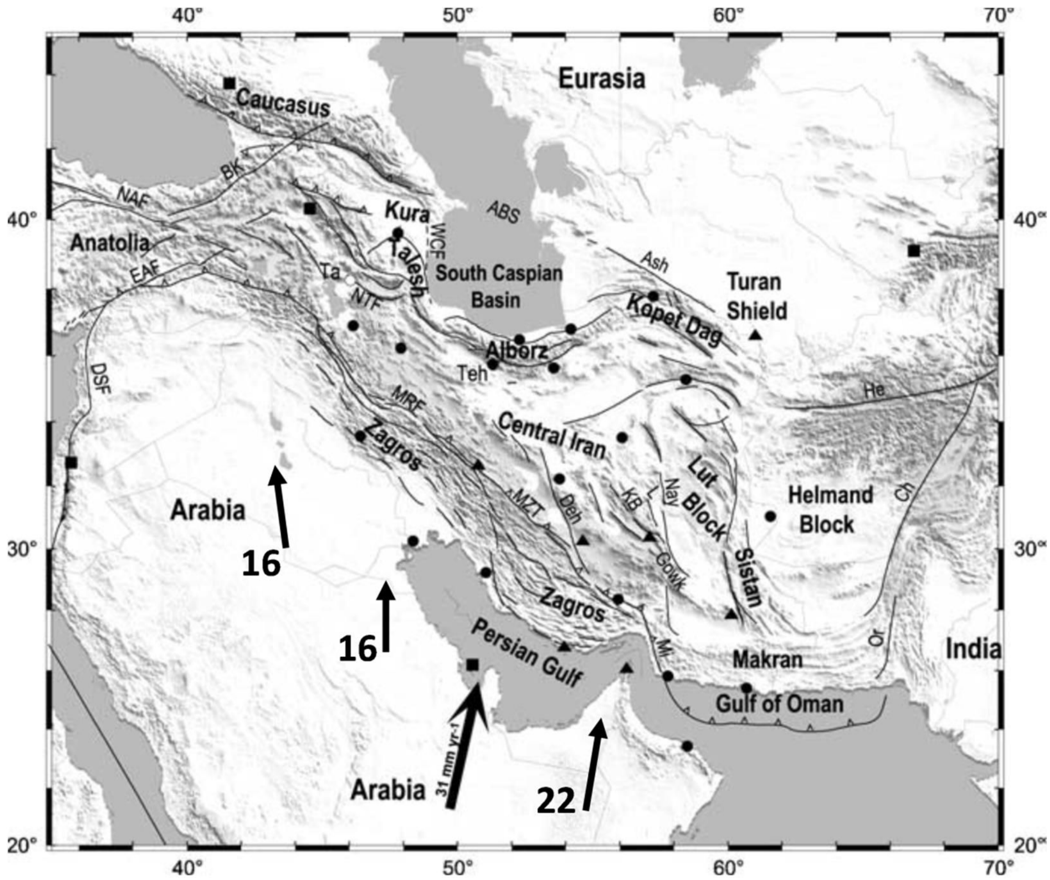
۲-۲- موقعیت زمین ساختی حوضه رسوبی قم

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، منطقه موردمطالعه در پهنه ایران مرکزی واقع شده است. بعد از یک دوره رسوب‌گذاری که سبب نهشتگی رسوبات کولابی- قاره‌ای سازند قرمز زیرین در بخش‌هایی از ایران مرکزی شد، سطح آب دریاها دوباره بالا رفته و دریایی عمیق‌تر شکل گرفت که از ماکو در شمال غرب، تا حنا، سبزواران و جازموریان در جنوب شرق ادامه داشته است. عرض این حوضه نسبتاً کم بوده و احتمالاً با آب‌های حوضه‌ی مکران ارتباط داشته است (رحیم زاده، ۱۳۷۳). علت زایش حوضه‌ی رسوبی سازند قم، فرورانش لیتوسفر اقیانوسی تتیس جوان به زیر لبه‌ی قاره‌ای فعال ایران مرکزی در زمان الیگوسن– میوسن بوده است (Berberian, 1983) .

بررسی نقشه‌های جغرافیایی دیرینه بخش‌های مختلف سازند قم، نشان می‌دهد که حوضه قم دارای روند کلی شمال باختر – جنوب خاور بوده است و پستی‌وبلندی کف این حوضه توسط گسل‌های مختلف کنترل شده است. بازسازی جغرافیای دیرینه و سیر تکاملی ایران نشان می‌دهد که جدا شدن قطعات خشکی ایران مرکزی از صفحه عربی و حرکت آن به سمت شمال، با بسته شدن اقیانوس هرسینین و باز شدن اقیانوس آلپی زاگرس مرتفع در جنوب ایران همراه بوده است. برای پی بردن به روند تکوین حوضه، باید تمام فازهای اصلی تکاملی حوضه شناسایی شوند. هر یک از فازهای اصلی شکل‌گیری حوضه با واحد تکتنواستراتیگرافی مجزایی ثبت می‌گردند و به‌صورت نهشته¬های بزرگ رسوبی شناخته می‌شوند.

۲-۳- ویژگی مخازن ایران مرکزی

در حوضه قم، در دو میدان نفتی به نام‌های البرز و سراجه سازند آهکی قم سنگ مخزن است. مخزن سراجه دارای گاز و میعانات گازی است. سازند قم در تاقدیس سراجه از سنگ‌آهک، سنگ‌آهک رسی، مارن و سیلت‌سنگ تشکیل شده که حجم بالایی از گاز در این سازند کشف شده است. سازند قم معادل



شکل۲-۱ : موقعیت ورقه ایران مرکزی (اصلاح شده از **Vernant et al., 2004**)

با سازند آسماری در حوضه‌ی رسوبی زاگرس است. جدا از ذخایر هیدروکربنی، نهشته¬های سلستیت و گچ، به سازند قم ارزش اقتصادی می‌دهند. سازندهای موردمطالعه منطقه مشتمل بر سازند قرمز پایینی (الیگوسن) است که از کنگلومرا، ماسه‌سنگ، ژیپس، سنگ نمک، گاهی گدازه، سیلت و رس تشکیل شده است ولی نسبت این سنگ‌ها در برش‌های گوناگون بسیار متغیر است. در قسمت‌های زیرین این سازند، نمک، انیدریت و گچ فراوان است و در قسمت‌های انتهایی آن لایه‌های آتش‌فشانی با ضخامت‌های متفاوت دیده می‌شود. به‌طورمعمول مرز بین دو سازند قرمز پایینی و سازند قم، ناگهانی است و دگرشیبی مشخصی ندارد و در جنوب قم (کهک)، ضخامت این سازند به 1000 متر می‌رسد که در شمال قم ضخامت آن افزایش می‌یابد. اگرچه در ایران مرکزی نشانه‌هایی از مخازن نفتی و گازی دیده شده است، اما تاقدیس البرز و سراجه به علت کیفیت پایین خصوصیات مخزنی، فشار بالا و حضور نفت در این مخازن، انجام عملیات اکتشافی با پیچیدگی‌های زمین‌شناسی همراه بوده، ازاین‌رو فرآیند

مطالعاتی آن همانند آبخوان‌ها طولانی خواهد بود. ذخیره‌سازی گاز در مغارهای نمکی و فضاهای متخلخل، مکمل هم است، اما به دلیل اینکه فرآیند مطالعه اکتشافی تبدیل یک آبخوان به یک سایت ذخیره‌سازی گاز بسیار طولانی‌تر از اکتشاف گنبدهای نمکی است، بنابراین برای صرفه‌جویی در زمان باید ذخیره‌سازی گاز در گنبدها موردتوجه قرار گیرد. بااین‌وجود ۱۴ درصد ذخیره‌سازی گاز از طریق آبخوان‌های تخلیه شده است. میدان یورتشا ازجمله آبخوان‌های تخلیه‌شده است که ۹۰٪ فاز اول پروژه توسط شرکت فرانسوی سفره گاز تا سال ۸۶ به انجام رسیده بود که شرکت مزبور ازاواسط سال ۸۶ از ادامه کار کناره گرفت. پروژه‌های فرعی دیگر این طرح از قبیل احداث خط لوله اتصال مخزن به خط لوله سراسری پنجم شرق تهران و تخلیه آب‌شور از میدان یورتشا در دست اقدام قرار گرفته به‌نحوی‌که با بررسی‌های به‌عمل‌آمده علاوه بر ۲۰ میلیارد تومان صرفه‌جویی در مسیر خط لوله، اخذ مجوز زیست‌محیطی از سازمان محیط‌زیست نیز میسر گردید (ماهنامه ندای گاز، ۱۳۹۳).

۲-۴- اهمیت مطالعه مخازن کربناته

بخش اعظم منابع هیدروکربوری ایران در مخازن کربناته شکاف‌دار قرار دارد و رفتار آن‌ها تا حد زیادی توسط شکستگی‌ها کنترل می‌شود. شکستگی‌ها نقش زیادی در تولید مخازن شکاف‌دار ایفا می‌کنند. شکستگی‌ها تقریبا در تمام سازندهای سنگی حضور دارند و می توانند در نگهداری مواد هیدروکربوری موثر باشند. به همین دلیل ویژگی شکستگی‌ها در بهره‌برداری از مخازن از اهمیت بالایی برخوردار است. خصوصیات فیزیکی شکستگی‌ها (شکستگی‌های سطحی و تحت الارضی) تابع عواملی مانند: منشاء آن‌ها، خواص مکانیکی سنگ‌ها و عوامل دیاژنز می‌باشند. عوامل یاد شده می‌تواند سبب افزایش و یا کاهش تخلخل و تراوایی گردد (مطیعی، ۱۳۷۴).

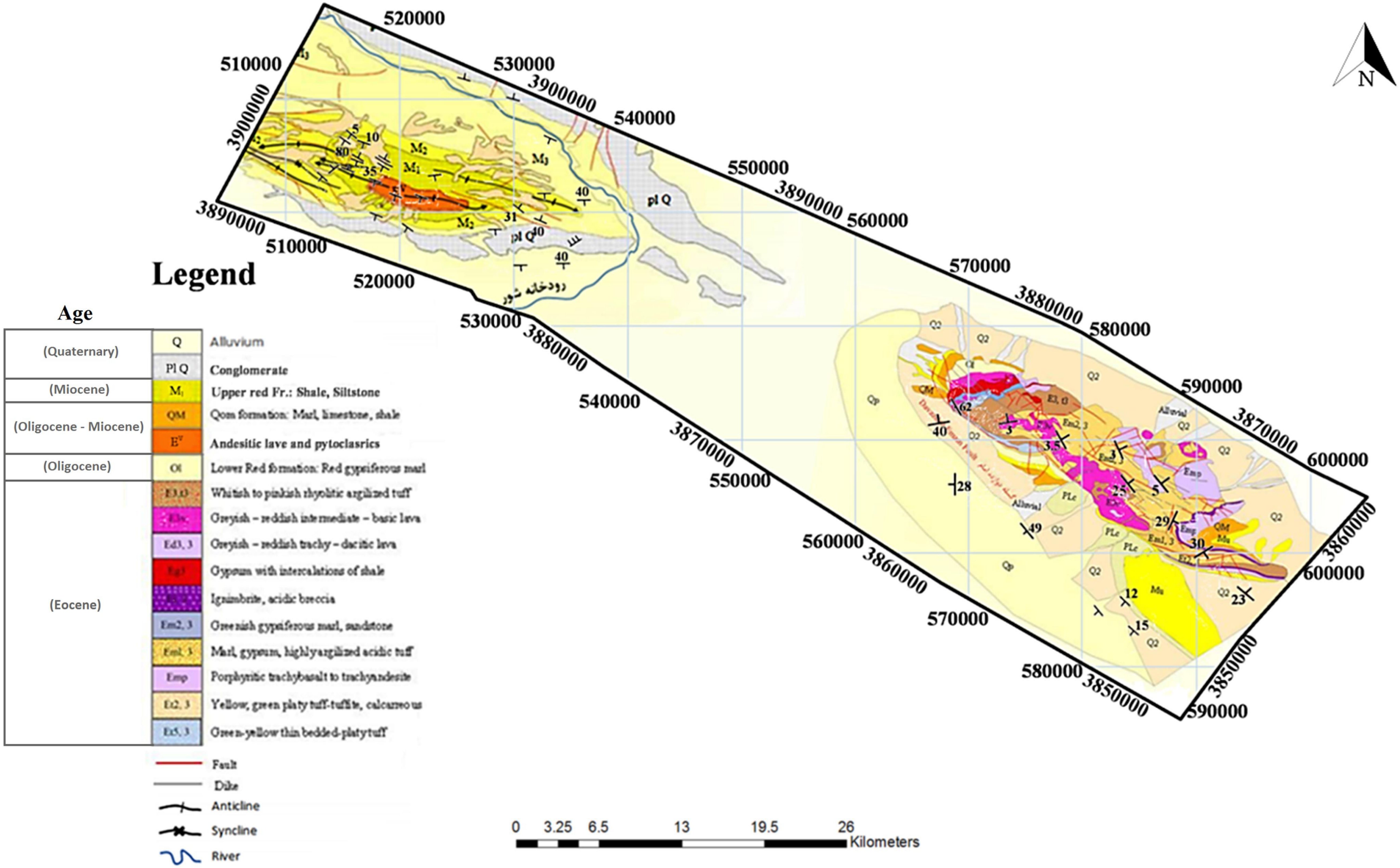
۲-۵- زمین‌شناسی عمومی منطقه موردمطالعه

این ناحیه از دو بخش هموار و کوه پدید آمده است (شکل۱-۱). کوه‌ها درنتیجه فرآیندهای ساختاری به‌ویژه چین‌خوردگی رسوبات ترشیری به‌وجود آمده‌اند (Berberian and King, 1981). فرسایش

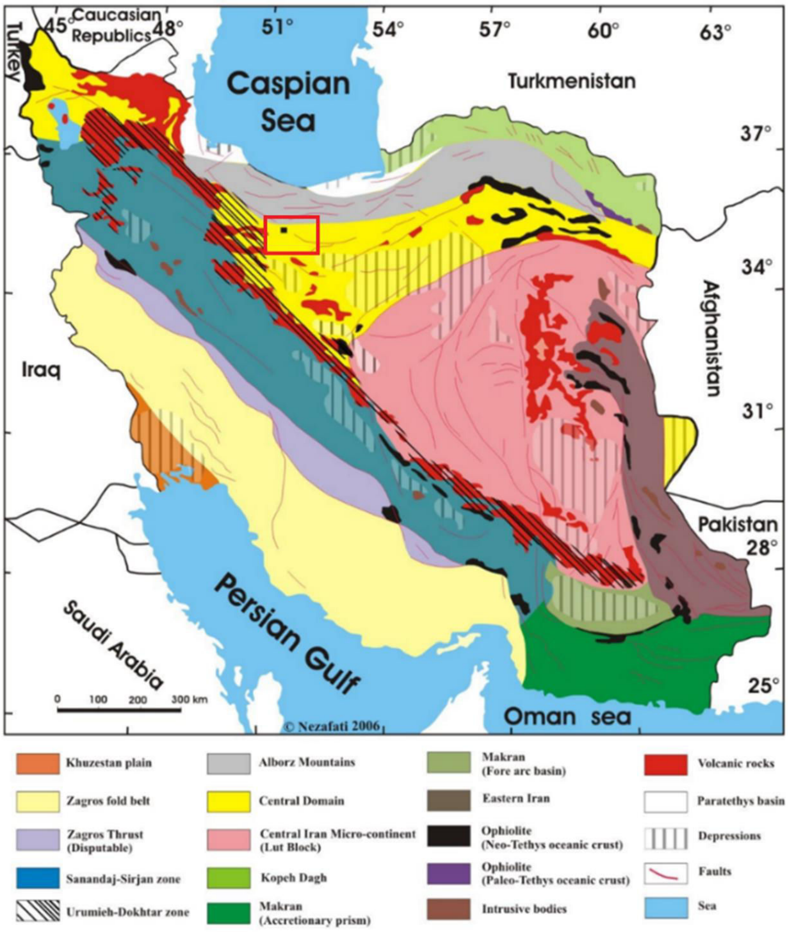
نقش مؤثری در سیمای ظاهری منطقه موردمطالعه ایفا کرده است. ازنظر تقسیمات ساختاری این محدوده در پهنه ایران مرکزی قرار گرفته است (آقا نباتی،۱۳۸۳؛ نبوی، ۱۳۵۵). بخشی از ناحیه دوازده امام در قسمت جنوبی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ ورامین و قسمتی از آن در ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ آران قرار گرفته است (شکل ۲-۲). رخنمون‌های سنگی این منطقه متشکل از گدازه‌ها و آذرآواری ائوسن؛ رسوبات آواری و مارنی و سنگ‌های آتش‌فشانی الیگوسن؛ سنگ‌آهک، مارن و گچ الیگوسن؛ مارن و سنگ‌آهک، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و گچ میوسن؛ کنگلومرا و مارن‌های پلیوسن است (ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ ورامین). رخنمون سنگی این ناحیه شامل ولکانیک‌های ائوسن، سازند قم، سازند قرمز بالایی و همچنین نهشته¬های کواترنری است.

۲-۶- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه

منطقه از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری در پهنه ایران مرکزی (نبوی، ۱۳۵۵؛ آقانباتی، ۱۳۸۳) در حاشیه کمان آتش‌فشانی ارومیه- بزمان قرار گرفته است (شکل۲-۳). با توجه به رخساره‌های گوناگون موجود در منطقه، رویداد چندین فاز کوهزایی محتمل است. جنبش‌های زمین ساختی در زمان ائوسن سبب خروج گدازه‌های آتش‌فشانی در انواع حد واسط بازیک در بخش میانی و جنوبی منطقه شده است. همین جنبش‌ها در مراحل بعدی تکامل یافته و سبب قرارگیری واحدهای رسوبی تخریبی و تشکیل واحدهای مارن، مارن قرمز گچ‌دار، گچ و شیل در منطقه شده است. تکاپوی زمین ساختی مربوط به میوسن بیشتر به‌صورت حرکات اپیروژنیک (قائم) و خشکی‌زا بوده که تغییرات ژرفای حوضه رسوبی را درپی داشته است. بعضی از حرکت‌های زمین‌ساختی هم‌ارز فاز کوهزایی آلپ پایانی، موجب قرار گرفتن انباشته‌های تخریبی پلیوسن به‌صورت ناهمساز بر روی واحدهای کهن‌تر شده است. جنبش‌های قابل‌مقایسه با تکاپوهای زمین‌ساختی پاسادنین، سیمای کنونی منطقه را پدید آورده است و باعث خارج شدن چینه‌ها از حالت افقی و جای گرفتن نهشته¬های جوان کواترنر با شیبی ملایم و به‌صورت ناهمساز بر روی واحدهای کهن‌تر شده است.



شکل ۲-۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (با استفاده از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ نقشه تهران و آران)



شکل ۲-۳: محدوده موردمطالعه در زون‌های ساختمانی- رسوبی ایران (**Stöcklin, 1968**؛ نبوی، ۱۹۶۷)

۲-۷- چینه نگاری سنوزوئیک در ایران

در ایران مرکزی بیشتر سنگ‌های پالئوسن انباشته‌های کنگلومرایی برجامانده از چرخه‌های فرسایشی رخداد لارامین است. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن نشانه تکاپوی آتشفشانی در این زمان است. عملکرد رخداد پیرنئن باعث ایجاد محیط‌های اکسیدی- قاره‌ای شده است و به همین دلیل سنگ‌های الیگوسن در ایران مرکزی گسترش محدودی دارند و بیشتر از نوع مارن، ماسه سنگ و کنگلومرا (سازند قرمز پایینی) که قرمز رنگ است، می‌باشند. پس از رخداد پیرنئن، در اواخر الیگوسن بخش باختری ایران مرکزی (قم، کاشان، ماکو و تفرش) با پیشروی دریای الیگوسن- میوسن پوشیده شده است. سنگ‌های این دریای پیشرونده از نوع کربنات‌های سکویی رمپ (سازند قم) که در محیط کم

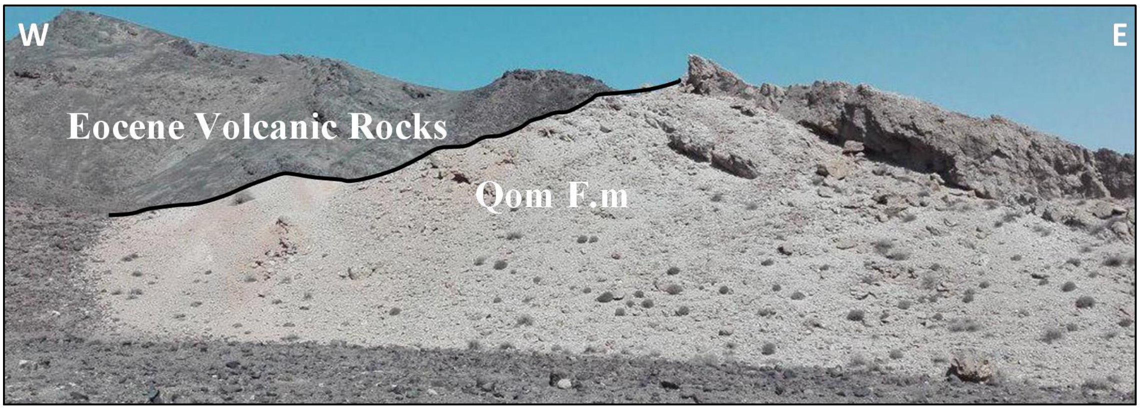
ژرف ته‌نشست شده اند، هستند. سنگ‌های نئوژن ایران مرکزی انباشته‌های قاره‌ای – اکسیدی هستند و بیانگر ایجاد محیط‌های قاره‌ای از میوسن پسین با پسروی دریا بوده که تا زمان پلیوسن و حتی کواترنر ادامه یافته است (آقانباتی، ۱۳۸۳).

دوران سنوزوئیک از ۶۵ میلیون سال قبل پس از کوهزایی جهانی لارامین آغاز شده و شامل دو دوره ترشیری و کواترنری است. کوهزایی لارامین یکی از مؤثرترین رویدادهای زمین ساختی بر زمین‌شناسی ایران است که علاوه بربسته شدن زمین‌درز کهن به‌غیراز مکران حوضه‌های رسوبی مستقل سنوزوئیک ایران شکل گرفته است (آقانباتی، ۱۳۸۳). در البرز، رخداد لارامین سبب شده است تا دامنه شمالی از دامنه جنوبی جدا شود، به همین دلیل نهشته های شمالی ایران در دو حوضه مستقل رسوبی انباشته شده‌اند. در بخش شمالی البرز، کهن‌ترین نهشته¬های سنوزوئیک، ردیف‌های دریایی میوسن است که رخساره پاراتتیس دارند و بیانگر پیشروی دریایی میوسن پس از یک دوره خروج طولانی است. شرایط دریایی میوسن البرز شمالی، تقریباً تا زمان کواترنر ادامه داشته است و در بخش جنوبی البرز، پس از دوره‌های فرسایشی و انباشت‌های آواری پالئوسن (کنگلومرای فجن) با دریای کم‌عمق پوشیده شده که محل مناسبی برای ته‌نشست سنگ‌های نومولیت‌دار ائوسن پیشین (سازند زیارت) و توف‌های سبز ائوسن میانی سازند کرج بوده است (آقانباتی، ۱۳۸۳).

در مرز ائوسن- الیگوسن و رخداد زمین ساختی پیرنئن سبب خروج گسترده البرز جنوبی شده است به همین دلیل سنگ‌های الیگوسن و حتی نئوژن البرز جنوبی گسترش بسیار محدود دارند و اغلب ردیف‌های انباشته‌شده در حوضچه‌های بین کوهی با شرایط اکسیدی هستند. رخداد زمین ساختی مرز میوسن – پلیوسن (فاز آتیکن) ضمن اثرگذاری بر فراخواست و مورفوتکتونیک البرز به ویژه در حدفاصل قزوین تا سمنان رخنمون دارند. مانند زمان پلیوسن، در زمان کواترنری نیز شرایط رسوبی البرز جنوبی از نوع رودخانه‌های سیبلابی بوده که حاصل آن فرسایش شدید بلندی‌ها و پر شدن سریع گودی‌ها است (آقانباتی، ۱۳۸۳).

۲-۷-۱- نهشته¬های ائوسن

در اواخر کرتاسه و آغاز ترشیری فاز زمین‌ساختی معادل لارامین سبب چین‌خوردگی و تشکیل قله‌ها و برجستگی‌ها شده و پس‌ازآن فرسایش شدید نواحی چین‌خورده و مرتفع ته‌نشست‌های قاعده ترشیری را می‌سازد. کهن‌ترین رسوبات ترشیری در منطقه متعلق به ائوسن زیرین است و آثاری از رسوبات پالئوسن در هیچ جای منطقه ذکر نشده است. طی دوره ائوسن، ردیفی از ته‌نشست‌ها با خاستگاه توفی، آتش‌فشانی و گدازه بجا گذاشته می‌شود که ضخامتش به بیش از ۳۰۰۰ متر می‌رسد. این نهشته¬ها در پیرامون منطقه موردمطالعه قرار دارند و با ۲واحد (E_{ta}) و ($E_{tb,a}$) در کوه مره نشان داده شده است. در تاقدیس مره ممبرC4 سازند قم مستقیما بر روی واحدهای ولکانیکی ائوسن ته نشت می‌کند (شکل ۲-۴).



شکل۲-۴: نمای از سازندهای قم و ولکانیک‌های ائوسن در تاقدیس مره

۲-۷-۲- نهشته¬های الیگوسن (سازند قرمز زیرین)

جنبش‌های زمین‌ساختی خشکی‌زای ائوسن پایانی و اوایل الیگوسن سبب پیدایش رژیم کولابی قاره‌ای سازند قرمز زیرین می‌گردد. این سازند که نخستین بار توسط Gansser (1955) پیشنهاد شد، ردیفی از رسوبات قاره‌ای قرمزرنگ است که جایگاه روشنی بین سنگ‌های آتش‌فشانی- رسوبی ائوسن و لایه‌های دریایی الیگوسن- میوسن (سازند قم) دارند. کنگلومرا، ماسه‌سنگ، ژیپس، سنگ نمک و گاهی گدازه، سیلت و رس از سازندهای اصلی قرمز تحتانی هستند و ژیپس از همراهان تبخیری اصلی است. پس از

فعالیت‌های ائوسن، عملکرد تکتونیک کششی در محدوده ایران مرکزی سبب حوضه‌زایی می‌شود. هم‌زمان با شکل‌گیری حوضه، ته‌نشست‌های رسوبی به وقوع می‌پیوندد که ویژگی‌های سازند قرمز تحتانی، نشان از هم‌زمانی رسوب‌گذاری این سازند با فعالیت‌های تکتونیک کششی در منطقه است. از جمله ویژگی‌هایی که براساس آن می‌توان این سازند را جزء رسوبات همزمان با ریفت به حساب آورد، تغییر ضخامت این نهشته¬ها در قسمت‌های مختلف حوضه است. ضخامت این توالی به سمت گسل-های فعال رشد می‌کند و ضخامت در مجاورت گسل‌ها بیشتر از دیگر قسمت‌های توالی است. به عبارت دیگر، در ریفت‌های مرتبط با نیمه گرابن‌ها که در قسمت‌های نزدیک به گسل‌های عمقی موجود درمنطقه واقع شده‌اند، افزایش ضخامت قرمز تحتانی محسوس است. این سازند در شکل ۲-۲ با نماد (Ol) نمایش داده شده است.

۲-۷-۳- نهشته¬های الیگوسن– میوسن (سازند قم)

در زمان الیگوسن- میوسن، شواهدی از پیشروی دریای کم عمق وجود دارد که قسمتی از فرابوم‌های فاز پیرنئن را پوشانده است. ردیف‌های کربناتی و مارنی این دریای پیشرونده، سازند قم نام دارد. در منطقه مورد مطالعه سازند قم با ستبرای حدود ۲۹۵ متر عمدتا شامل تناوبی از لایه‌های آهکی و مارنی است. ولیکن در قاعده اصولا بیشتر ماسه‌ای بوده است و پیشروی دریا با برجا گذاشتن ته-نشست‌های آهکی ماسه‌ای ویا ماسه‌سنگی با سیمان آهکی آغاز می‌گردد. نتایج بدست آمده از فسیل-های miogypsionoides complanatusm, kuphus arrenarus, ammonia beccarii در لایه‌های آغازی سازند قم سن آکی تانین را نشان می دهد. در قسمت انتهایی تاقدیس دوازده امام، کنگلومرای قاعده‌ای سازند قم حاوی قطعات سنگ‌های آتشفشانی ائوسن به ویژه از انواع ایگنمبریتی و برشی است. در قاعده این طبقات سطح فرسایشی موجود بین ائوسن و الیگوسن– میوسن به خوبی قابل مشاهده است. بعد از این طبقات، تناوبی از مارن‌های سبز مایل به کرم غنی از ماکروفسیل با آهک‌های کرم رنگ بیوژنیک وجود دارد. یک لایه گچ‌دار دانه شکری با ضخامت متوسط حدود ۵ تا ۶ متر حاکی از ظهور شرایط کولابی در این زمان دارد. پس آهک های ریفی و تناوب مارن با آهک‌های سفید تا

کرم رنگ غنی از ماکروفسیل‌های مختلف از جمله دوکفه‌ای‌ها، خارپوستان، مرجان‌ها و بریوزوآ و غیره وجود دارد. در بخش‌های بالایی نسبت مارن به آهک افزایش می‌یابد. نتایج فسیل‌شناسی از فسیل‌های Neoalveolina,Dentritina rangii لایه‌های پایانی سازند قم، بیانگر سن بوردیگالین است. با توجه به مستعد بودن این سازند در تجمع منابع هیدروکربنی به‌عنوان سنگ مخزن (صالحی‌پور، ۱۳۸۴) و وجود نهشته¬های سلستیت و گچ، دارای اهمیت خاصی ازنظر مطالعاتی است. ناحیه الگو این سازند ارتفاعات شهر قم است و برش خاصی به‌عنوان برش الگو برای این سازند در نظر گرفته نشده است.

در سازند قم تغییرات رخساره و ضخامت، زیاد و درخور توجه است به‌گونه‌ای که ضخامت این سازند از چند ده‌متر تا بیش از ۳۶۰۰ متر در تغییر و نوسان است. به همین دلیل این سازند برش الگو ندارد بلکه برای آن ناحیه الگو در نظر گرفته‌اند. برون‌زدهای این سازند در کوه میل -دوگاه، کمر کوه، ایداجی، کوه نرداقی، قیزتختی، کوه سفید به‌عنوان ناحیه الگو تحت بررسی و مطالعه قرار گرفته‌اند. در سال ۱۹۵۵ Furrer ،Gansser و Soder در ناحیه قم این سازند را به شش عضو (A,B,C,D,E,F) تقسیم کردند. Abaie (1964) عضو C را به چهار بخش (C1-C4) تقسیم کردند. بدین ترتیب این سازند دارای ۹ عضو است که عبارت‌اند از : f,e,d,c4,c3,c2,c1,b,a. در سازند قم دو مرز چینه‌شناسی مشخص وجود دارد. این مرزها میان واحدهای C2-C3 و e-d قرار داشته و شامل رسوبات تبخیری مانند گچ و نمک است. بنابراین سه‌چرخه رسوبی در این سازند مشاهده می‌شود که هر یک با ماسه‌سنگ و رسوبات تخریبی آغازشده و به رسوبات تبخیری ختم می‌شود. لیتولوژی این سازند از پایین به بالا عبارت است از:

بخش a: آهک توده‌ای تا ضخیم لایه از آهک تخریبی آلی که در بخش قاعده‌ای حالت ماسه‌سنگی دارد و دارای قطعات فراوانی از مرجان است.

بخش b: مارن، مارن ماسه‌ای و ماسه‌سنگ که در برخی قسمت‌ها حاوی گلوکونیت بوده و آثار فسیلی فراوانی دارد. در بخش‌های فوقانی این عضو، یک افق کنگلومرایی با قطعات ولکانیکی دیده می‌شود.

بخش c1: شامل تناوب آهک تخریبی آلی و مارن است. مقدار مارن در بخش‌های فوقانی افزایش می‌یابد.

بخش c2: شامل شیل قرمز و خاکستری، ماسه‌سنگ، ژیپس که به‌طور محلی دارای لایه‌های گدازه و پیروکلاستیک است. این عضو مبین خاتمه اولین چرخه رسوبی است.

بخش c3: شامل آهک بریوزوآ دار که در قاعده‌اش لایه‌هایی از االيت دارد. ضخامت افق آهک االيتی حداکثر ۲ متر است که به سمت نرداقی، دو برادر و کوه سفید نازک‌تر می‌شود.

بخش c4: این عضو بیشتر مارنی است، اما در برخی جاها به‌طور جانبی به شیل‌های کالکوپیریتدار و آهک ریفی تبدیل می‌شود. گذر (c3 به c4) تدریجی است.

بخش d: شامل گچ به همراه مقادیری شیل قرمز است. در این عضو هیچ فسیلی وجود ندارد. عضو d نشانه خاتمه دومین چرخه رسوبی در سازند قم در منطقه الگو است و نقش مهمی در گسلش‌های منطقه ایداجی و نبیل دارد.

بخش e: مارن سبزرنگ که در برخی قسمت‌ها چیپسی است و در برخی قسمت‌ها با مقادیر کمی آهک‌رسی حالت بینابینی دارد. این عضو انواع مختلفی از فسیل‌ها را در خود دارد و ضخیم‌ترین عضو مارن سازند قم است که در دریای باز نهشته شده است. گذر e به f هم تدریجی است.

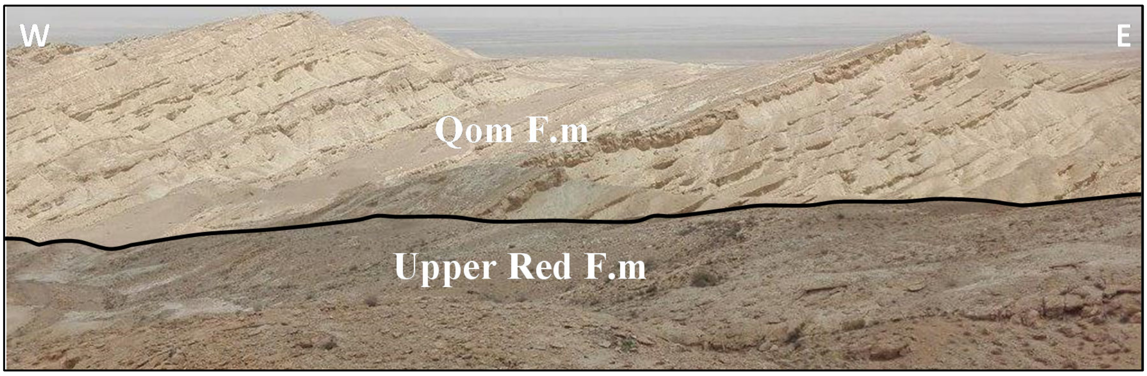
بخش f: شامل آهک کرم تا زردرنگ که با مارن‌های سبز e حالت بین انگشتی دارد. این عضو دارای فسیل‌های شاخص و متعدد است.

روی واحد آهکی کرم‌رنگ f رسوبات گچی با ناخالصی مارنی قرار دارد که مرز آن با واحدهای مارنی و ماسه‌سنگی سازند قرمز بالایی تدریجی است که در کوه میل و دو چاه رخنمون دارد. در حفاری‌های نفتی، واحدی تقریباً هم‌ارز با این واحد مشاهده شده است که سنگ پوش مخازن نفتی ناحیه قم است (Abaie et al.,1963; Furrer & Soder,1955). مطالعات دیرینه‌شناسی مقاطع نازک سازند قم در

ناحیه مورد مطالعه نشان می دهد که از آشکوب آکتانین (Aquitanian) تا آشکوب بوردیگاین (Burdigalian) که معادل زمانی بخش های c1 تا f سازند قم می باشد، در این ناحیه رخنمون دارند.

۲-۷-۴- نهشته¬های میوسن (سازند قرمز بالایی)

سازند قرمز بالایی بیشتر از نوع ماسه سنگ، مارن، کنگلومرا و تبخیری‌ها است که در شرایط مولاسی تشکیل شده و فرونشینی تدریجی بستر، ضخامت آن را به شدت افزایش داده است. زمین‌شناسان شرکت نفت ملی ایران، این سازند را به دو عضو (ممبر) پایینی (M1) و بالایی (M2) تقسیم کرده‌اند. Frei و Mostofi (1959) زیر واحد پایینی را جزء سازند قم می‌دانند؛ به همین دلیل درتاقدیس سراجه و البرز فقط واحد بالایی را به سه عضو تقسیم کرده‌اند (M3,M2,M1). پس از ته‌نشست سازند قرمز زیرین، سازند قم و سازند قرمز بالایی با برقرار شدن آرامش تکتونیکی در حوضه رسوب می کنند. در حالت سکون تکتونیکی، فرونشست تکتونیکی به شدت کاهش می یابد. دراین زمان تنها عامل مؤثر در ته‌نشست رسوبات پس از ریفت، فرونشست حرارتی در حوضه است. در هنگام شکل‌گیری این توالی، حوضه دارای فرونشست حرارتی می‌باشد؛ به عبارت دیگر، فاز فرونشینی حرارتی را در پایان کشش لیتوسفریک نشان می‌دهد. توپوگرافی مرتبط با ریفت باقی‌مانده، به طور غیر فعالی توسط قسمت بالایی رسوبات (M2) به تدریج پوشیده شده و حوضه پر می‌گردد. در زمان نهشته شدن این رسوبات، با توجه به مقاطع ترسیمی و ضخامت این قسمت از سکانس رسوبی میدان تنشی، این منطقه به واسطه تنش-هایی که از اطراف به آن وارد می‌شود متحمل وارونگی می‌گردد. این سازند در شکل ۲-۲ با نماد (Mu) مشخص شده است. شکل ۲-۵ نمایی از سازند قرمز بالایی در مجاورت سازند قم در تاقدیس دوازده امام را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵: نمای از سازندهای قم و قرمز بالایی در برش دوازده امام

۲-۷-۵- نهشته¬های کواترنری

رخدادهای زمین ساختی پاسادنین موجب پیدایش یک دگرشیبی کلی در قاعده نهشته¬های کواترنر در منطقه گردیده است و در این منطقه نهشته¬های آبرفتی گسترش بیشتری دارند و در دو گروه جوان و کهن بررسی می شوند:

- **رسوبات و نهشته¬های آبرفتی کهن**

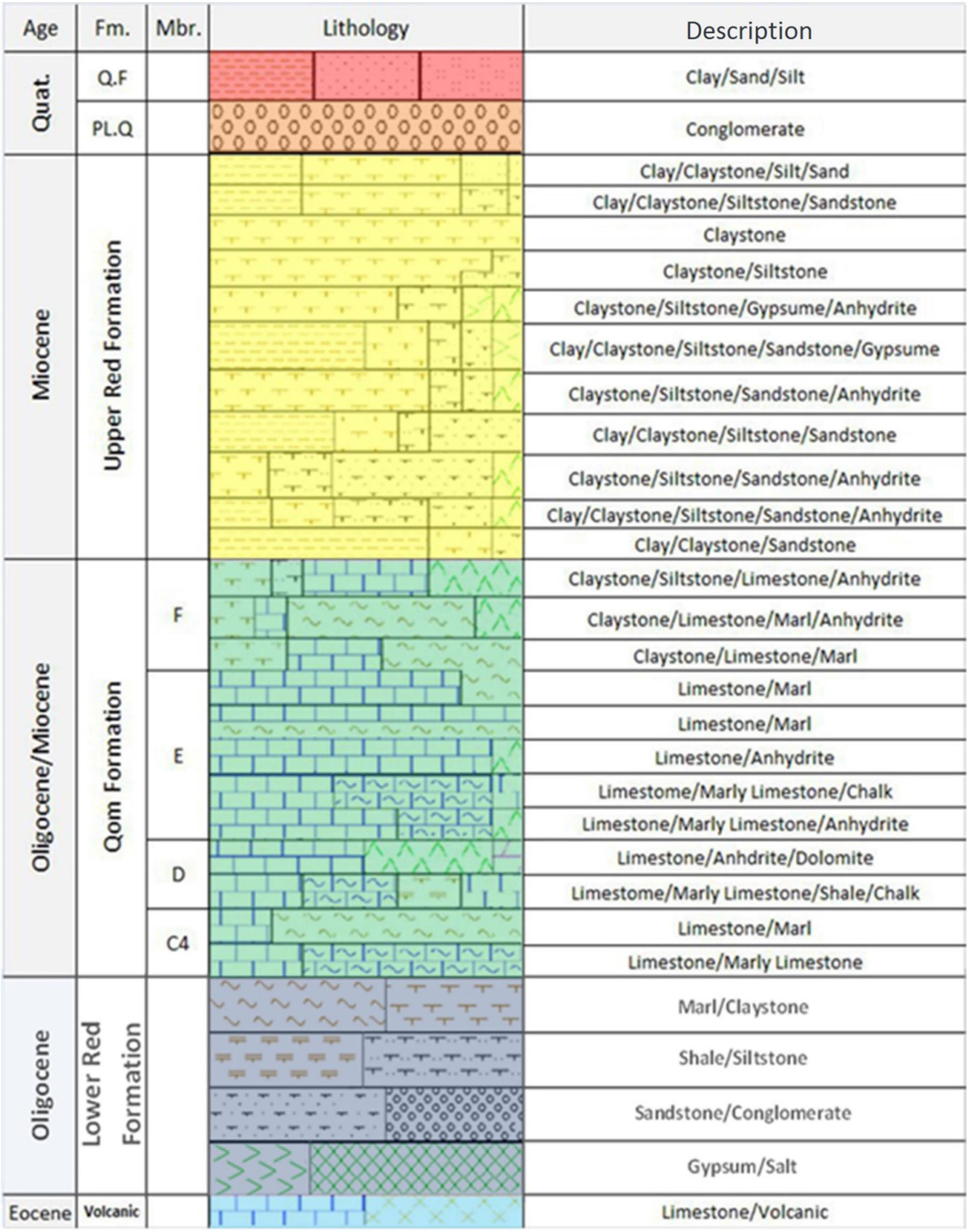
انباشته‌های آبرفتی کهن به صورت پادگانه‌های آبرفتی در کناره رودخانه‌ها و در پهنه دشت‌ها، گسترش یافته است و تشکیل دهنده‌های آبرفتی این واحد اغلب از نوع قلوه سنگ، ماسه سنگ، ماسه رس، تخته سنگ است و بر حسب نوع سنگ‌های خاستگاه، میزان و نوع آن‌ها تغییر می‌نماید. این آبرفت‌ها در ارتفاعات بالاتری نسبت به آبرفت‌های جوان پدیدار می‌شوند.

- **رسوبات و نهشته های آبرفتی جوان**

پادگانه‌های آبرفتی جوان از انباشته‌های آواری سخت نشده به صورت قلوه سنگ، ماسه، رس تشکیل یافته و نسبت به واحدهای کهن در سطح پایین‌تری جای گرفته است. مناطق کشاورزی اغلب بر روی این واحدها قرار گرفته است. آبرفت‌های جوان با نماد (Qt2) مشخص شده اند.

۲-۸- چینه نگاری سنگی سازند قم در برش دوازده امام و مره

سازند قم در برش دوازده امام به صورت پیوسته و هم شیب بر روی سازند قرمز پایینی (L.R.F) و در زیر سازند قرمز بالایی (U.R.F) قرار گرفته است و ضخامتی در حدود ۲۹۵ متر دارد و شامل تناوبی از سنگ آهک کرم‌رنگ با مارن‌های خاکستری و سبز می‌باشد. سن سازند قم در این برش آکیتانین–بوردیگالین است (شکل ۲-۶). در برش مره ممبر C4 سازند قم مستقیما بر روی واحدهای ولکانیکی ائوسن قرار گرفته است.



شکل ۲-۶: ستون چینه‌شناسی منطقه موردمطالعه بدون مقیاس و نسبی (شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی)

فصل سوم

تحلیل شکستگی

بررسی شکستگی‌ها در مناطق هیدروکربوری به منظور شناخت بهتر از مخازن نفتی وگازی دارای اهمیت فراوان است. ازین رو منطقه مورد مطالعه (تاقدیس مره و تاقدیس دوازده امام) به دلیل نزدیکی به میدان ذخیره سازی گاز طبیعی یورتشا به نظر می‌رسد می‌تواند مکان مناسبی برای ذخیره سازی باشد لذا در این فصل به بررسی شکستگی‌ها و پارامترهای آن در ناحیه مورد مطالعه پرداخته شده است.

۳-۱- تعریف شکستگی

شکستگی‌ها رایج‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی هستند که در بیشتر بخش‌های پوسته زمین وجود دارند به‌طوری‌که در طیف وسیعی از انواع سنگ و محیط‌های تکتونیکی رخ می‌دهند (Pollard and Aydin, 1988). شکستگی عبارت است از نوعی دگرریختی که براثر از بین رفتن چسبندگی ماده یا از دست رفتن مقاومت ماده براثر اختلاف تنش[1] و رهاسازی انرژی کشسانی ذخیره‌شده در جسم ایجاد می‌شود (Bates and Jackson, 1980). شکستگی‌ها به دو دسته درزه‌ها و گسل‌ها تقسیم می‌شوند. مهم‌ترین مشخصه درزه‌ها این است که حرکت نسبی به‌موازات صفحه شکستگی وجود ندارد و درصورتی‌که در این سطح حرکتی وجود داشته باشد، شکستگی حاصله را گسل می‌نامند (Twiss and Moores, 1992).

۳-۲- مکانیسم شکستگی

علیرغم اینکه شکستگی در سنگ‌ها بسیار رایج و گسترده است، اما هنوز به‌اندازه کافی مطالعه زمین‌شناسی بر روی آن‌ها صورت نگرفته است. اعتقاد بر این است که فرآیندهای پیچیده شامل منشأ شکستگی‌ها، مربوط به تاریخ زمین‌شناسی منطقه هستند. شکستگی‌هایی که به‌وسیله تنش ایجاد می‌شوند ممکن است منشأهای متفاوتی داشته باشند، مانند: الف- تنش‌های تکتونیکی مربوط به تغییر شکل سنگ؛ ب- تنش‌های باقی‌مانده[2] ناشی از رویدادهایی که مدت‌ها قبل از شکستگی رخ‌داده‌اند؛

[1] Differential stress
[2] Residual stress

ج- انقباضات ناشی از سرد شدن ماگما یا خشک شدن رسوبات (ترک گلی، بازالت‌های منشوری)؛ ه- حرکات سطحی مانند رانش زمین یا حرکت یخچال‌های طبیعی؛ و- کاهش بار فرسایشی سنگ‌های عمیق (درزه‌های پوسته پیازی)؛ د- هوازدگی که سبب گسترش ترک و انحلال و متعاقباً عریض‌تر شدن حفرات، ترک‌ها و غیره می‌گردند (Singhal and Gupta, 2010).

۳-۳- اهمیت مطالعه شکستگی‌ها

امروزه هیچ شکی وجود ندارد که تغییر شکل[1] سنگ‌ها توسط شکستگی‌ها آشکار می‌شود. ایجاد رابطه معقول بین درزه‌ها و علل ایجادکننده واتنش آن‌ها، می‌تواند ابزار مهمی برای پی بردن به حالت تنش و رفتار مکانیکی سنگ را برای زمین‌شناس ساختمانی فراهم کند. با تعیین سن نسبی درزه‌ها و دیگر ساختارها، می‌توان فازهای مختلف دگرشکلی شکننده و تاریخچه پوسته زمین، را ترسیم کرد. یکی از وجوه بسیار کاربردی برای مطالعه درزه‌ها، ته‌نشینی مواد معدنی توسط سیالات هدایت‌کننده کانی‌ها و تراوایی شکاف برای حرکت آب، ماگما، سیالات زمین‌گرمایی، نفت و گاز است. به دلیل آنکه درزه‌ها، قابلیت تغییر شکل سنگ و انتقال سیال را بسیار تحت تأثیر قرار می‌دهند، شکستگی‌ها به‌دقت توسط مهندسان زمین‌شناس و مهندسان نفت برای مدل‌سازی و بررسی مخازن شکافدار هیدروکربوری مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. تعیین و اندازه‌گیری مشخصه‌ها مانند فاصله، جهت‌گیری، بازشدگی و ارتباط درزه‌ها در این محل‌ها برای ساخت مدل مخزن و برای پیش‌بینی رفتار بلندمدت مخازن هیدروکربوری حیاتی است (Hatcher and Thomas, 1990).

۳-۴- تقسیم‌بندی درزه‌ها

Hodgson (1961) درزه‌ها را ازنظر هندسی به دودسته تقسیم کرده است که در ادامه مطرح خواهد شد (شکل ۳-۱).

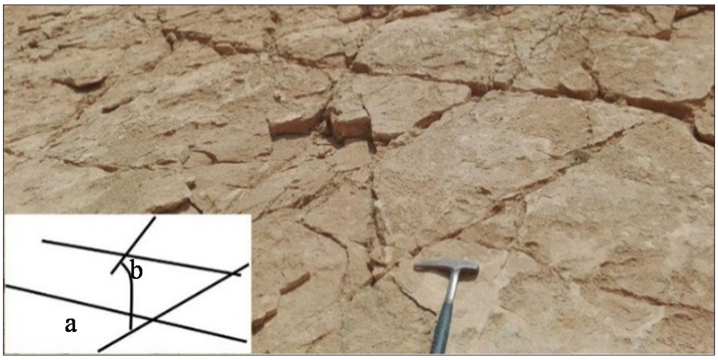
[1] Strain

۳-۴-۱- درزه‌های سیستماتیک

درزه‌های سیستماتیک به‌صورت درزه‌های متعدد موازی یا تقریباً موازی ظاهر می‌شوند. از خصوصیات درزه‌های سیستماتیک این است که معمولاً دسته درزه‌های مختلف یکدیگر را قطع کرده و از هم عبور می‌کنند.

۳-۴-۲- درزه‌های غیرسیستماتیک

این درزه‌ها در جهات مختلفی به هم می‌رسند ولی یکدیگر را قطع نکرده و از یکدیگر عبور نمی‌کنند. اغلب امتداد آن‌ها در سطح لایه‌بندی پایان می‌یابد و محدود به درزه‌های سیستماتیک می باشند.

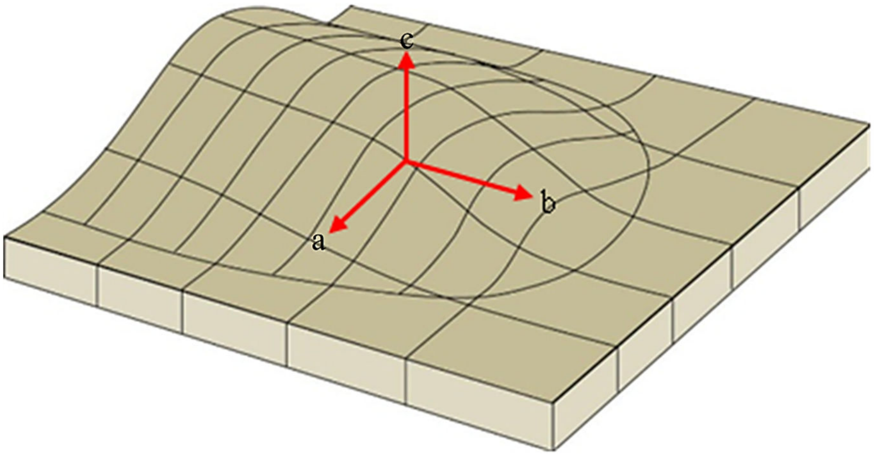


شکل ۳-۱: نمایش درزه‌های سیستماتیک (**a**) و غیر سیستماتیک (**b**)

۳-۴-۳- شکستگی‌های مرتبط با چین‌خوردگی

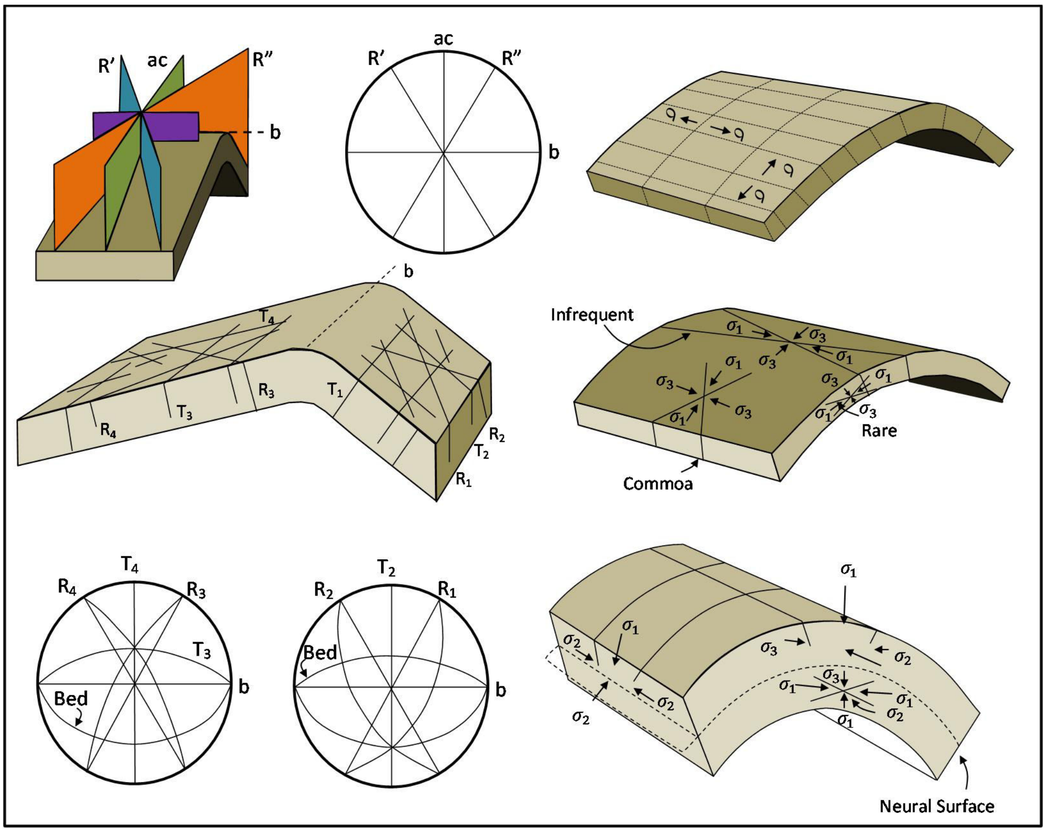
در اکثر مواقع چین‌خوردگی با تشکیل شکستگی‌ها همراه است. این درزه‌ها توسط نیروهایی که سبب چین‌خوردگی لایه‌ها شده‌اند، ایجاد گردیده‌اند؛ البته ممکن است شکستگی‌ها بعد از چین‌خوردگی نیز بر ساختار اضافه شوند. شکستگی‌های موجود در چینها را می‌توان بر اساس یک سیستم مختصات اورتوگونالی (a، b و c) تعریف نمود که مرتبط با هندسه چین و لایه‌بندی است (شکل ۳-۲). محور b موازی با محور چین است و محور c در هر نقطه بر لایه‌بندی عمود است. همچنین محور a عمود بر محور چین‌خوردگی است. لازم به ذکر است که جهت محور b همواره ثابت می‌ماند درحالی‌که جهت محورهای a و c در اطراف چین تغییر می‌کند. هر جفت از محورهای سه‌گانه در یک سطح قرار دارند. با کمک محورهای نام‌برده سه سطح عمود بر هم ab، ac و bc به دست می‌آید که این سطوح، سطوح

اصلی تنش‌ها می‌باشند. این صفحات، صفحه ac و صفحه bc و صفحه ab به ترتیب نمایانگر شکستگی‌های عرضی، شکستگی‌های طولی و شکستگی‌های برشی است (شکل ۳-۳) (Nelson, 2001).



شکل۳-۲: محورهای تقارن در ارتباط با ساختارهای چین‌خورده (به نقل از گزارش شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی)

- شکستگی‌های عرضی: شکستگی‌های انبساطی که امتداد آن‌ها عمود بر محور چین و به‌موازات روند کوتاه شدگی است.
- شکستگی‌های طولی: شکستگی‌های کششی که امتداد آن‌ها به‌موازات محور چین و عمود بر روند حداکثر کوتاه شدگی است. دسته شکستگی‌های طولی همیشه بر دسته شکستگی‌های عرضی عمود هستند.
- شکستگی‌های متقاطع: شکستگی‌های مایل یا مزدوج که نسبت به حداکثر کوتاه شدگی زاویه کمتر از ۴۵ درجه و معمولاً در حد ۳۰ درجه می‌سازند و غالباً به‌صورت دو دسته شکستگی‌های مزدوج تشکیل می‌شوند.



شکل۳-۳: توسعه انواع درزه‌ها مرتبط با عناصر چین (**Price, 1966**)

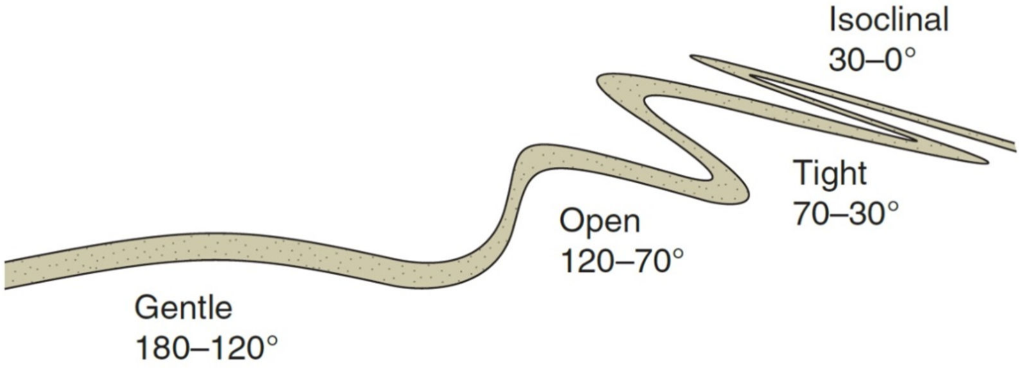
۳-۴-۴- طبقه‌بندی چین بر اساس زاویه چین‌خوردگی (ϕ) و زاویه بین‌یالی (ι)

براین اساس چینها را بر اساس زاویه چین‌خوردگی[۱] و زاویه بین‌یالی[۲] به انواع ملایم[۳]، باز[۴]، بسته[۵]، تنگ[۶] تنگ[۶] و هم‌شیب[۷] تقسیم‌بندی می‌کنند (شکل۳-۴). این تقسیم‌بندی به نام تنگی[۸] چین مرسوم است (Fleuty, 1964) (جدول ۳-۱).

[1] Folding Angle
[2] Interlimb Angle
[3] Gentle
[4] Open
[5] Close
[6] Tight
[7] Isoclinal
[8] Tightness

جدول ۳-۱: محدوده چینها در طبقه بندی بر اساس زاویه چین‌خوردگی (φ) و زاویه بین‌یالی (ι)

Descriptive Term	Folding Angle (ϕ)	Interlimb Angle (ι)
Gentle	$0 < \phi < 60$	$180 > \iota > 120$
Open	$60 \leq \phi < 110$	$120 \geq \iota > 70$
Close	$110 \leq \phi < 150$	$70 \geq \iota > 30$
Tight	$150 \leq \phi < 180$	$30 \geq \iota > 0$
Isoclinal	$\phi = 180$	$\iota = 0$



شکل۳-۴: طبقه‌بندی چینها براساس زاویه بین‌یالی و زاویه چین‌خوردگی (**Fleuty, 1964**)

۳-۴-۵- شکستگی‌های مرتبط با گسل

صفحات گسلی درواقع صفحات حرکات برشی هستند. شکستگی‌های توسعه‌یافته در جوار گسل عبارتند از: شکستگی‌های برشی مزدوج با گسل، شکستگی‌های برشی موازی با گسل و یا شکستگی‌های کششی و شکستگی‌های پر مانند. این سه جهت‌گیری که در شکل ۳-۵ (الف) نشان داده‌شده است، قابل انطباق با سه جهت شکستگی در شکل ۳-۵ (ب) می‌باشد (Twiss and Moores, 1992). به دلیل روابط بین گسلش و شکستگی، تعیین جهات تنش‌های اصلی در زمان شکل‌گیری شکستگی‌ها امری امکان‌پذیر است. این شکستگی‌ها ازجمله عوامل تعیین‌کننده جهت حرکت صفحه گسل به شمار می‌آیند (Friedman, 1969).

۱- در شکستگی‌های برشی جهت جابه‌جایی موازی با سطح شکستگی است. شکستگی‌های برشی، نسبت به جهت تنش اصلی حداکثر (σ_1) دارای زاویه حاده و نسبت به جهت تنش اصلی حداقل (σ_3) به‌صورت متقاطع است.

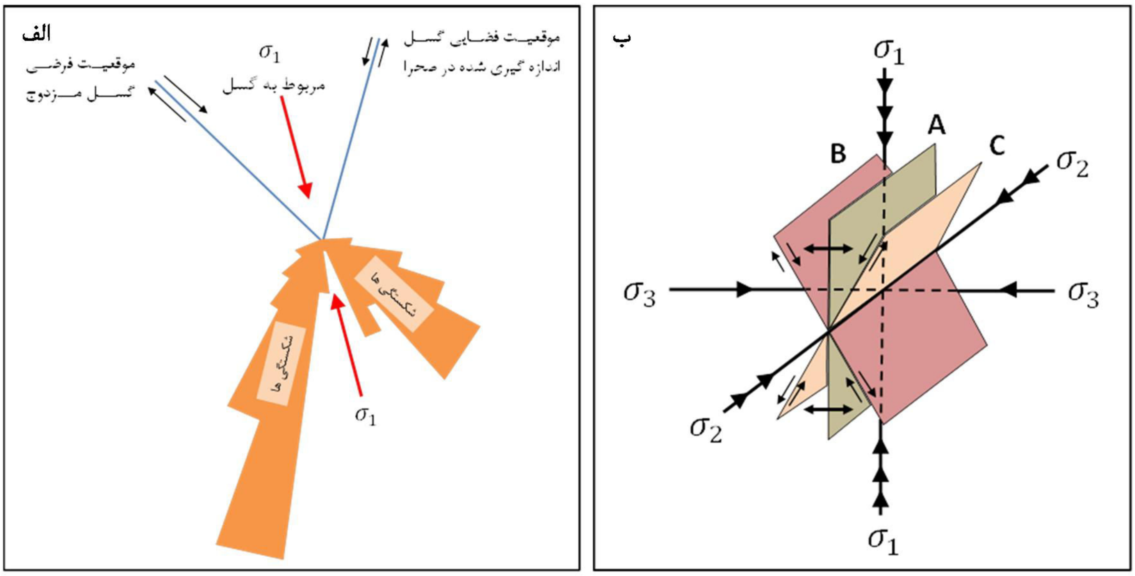
۲- شکستگی‌های کششی: در این نوع شکستگی جهت جابجایی به‌صورت عمود بر سطح شکستگی است. شکستگی‌های کششی عمود بر σ_3 تشکیل می‌شوند و σ_1 و σ_2 بر روی سطح شکستگی کششی قرار دارند.

۳- سطوح درز، ساختار پر مانندی را نشان می‌دهند. این ساختار در وهله اول، شبیه نقش یک پر است (شکل ۳-۶). ساختارهای پرمانند، نتیجه‌ای از تغییرات محلی در سرعت انتشار شکستگی در میدان تنش می‌باشند و نتیجه‌ای از ناهمگنی سنگ هستند. عناصر اصلی یک ساختار پر مانند ایده آل شامل موارد زیر است (Fossen, 2010):

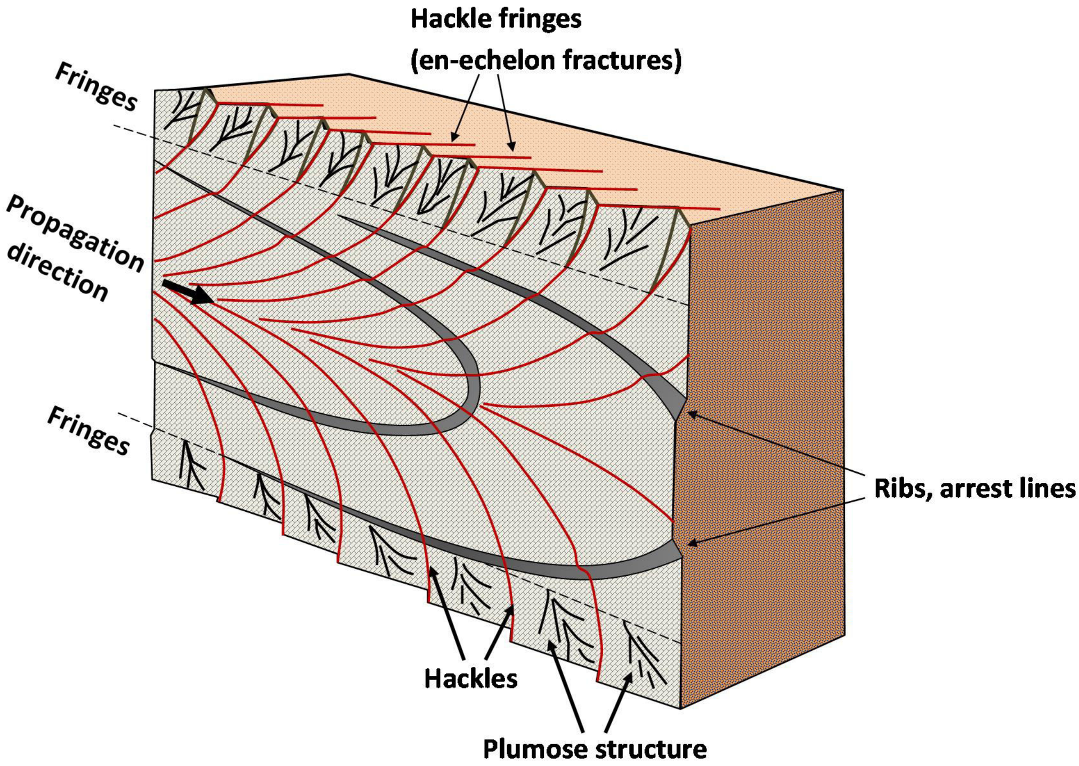
- مبدأ، نقطه‌ای است که شکستگی از آن آغاز می‌شود.
- میست، شامل بی‌نظمی‌های کوچکی بر روی سطح شکستگی است که از شکسته شدن خمیدگی‌هایی از سنگ که در صفحه شکستگی قرار ندارند، به وجود می‌آید. در برخی شکستگی‌ها، این بی‌نظمی‌ها شبیه به خارهای پر، آرایش یافته‌اند.
- محور پر، خطی است که از آن خارهای مجزا منشعب می‌شود و به نظر می‌رسد به‌موازات جهت انتشار شکستگی باشد.
- تویست هاکل که از پله‌هایی در لبه صفحه شکستگی تشکیل شده است. این پله‌ها، منطقه‌ای را ایجاد می‌کنند که در آن، شکستگی به یک دسته از شکستگی‌های پلکانی کوچک‌تر تقسیم می‌گردد. اعضای مجزای آرایه پلکانی با سطح درز موازی نیستند.

تمامی سطح درز در یک‌لحظه تشکیل نمی‌شود، بلکه در یک توده سنگ دست‌نخورده، از مبدأ آغاز و به‌طرف خارج منشعب شده است. پیشانی درز که خط جداکننده سنگ دست‌نخورده از سنگ شکسته شده می‌باشد، با رشد درز از درون سنگ عبور می‌کند. برخی درزه‌ها در محل سکون پیش از گسترش، خطوط بازدارنده‌ای را نشان می‌دهند که مشخص‌کننده حاشیه موقت شکستگی هستند. این خطوط

به‌صورت منحنی هستند، زیرا پیشانی درز در هر زمان مشخص به‌صورت منحنی است. شدت شکستگی‌های مرتبط با گسلش تابع عواملی ازجمله فاصله از صفحه گسل، سنگ‌شناسی، مقدار جابه‌جایی در طول گسلش و واتنش کل است. با توجه به تغییرات این پارامترها شدت شکستگی از گسلی به گسل دیگر متغیر خواهد بود.



شکل ۳-۵: الف- نمودار گل سرخی شکستگی‌های برشی همراه یک گسل عادی، ب- سطوح شکستگی بالقوه‌ای که طی آزمایش‌های تراکمی در آزمایشگاه ایجاد می‌شوند. در این شکل، شکستگی‌های کششی (**A**) و شکستگی‌های برشی (**B** و **C**) نشان داده شده‌اند. (**Stearns, 1968**)



شکل ۳-۶: نمایش درزه‌های پرمانند در نمودار سه بعدی (**Hodgson, 1961**)

گسل‌ها یکی از مهم‌ترین پارامترهای ساختاری موجود در سطح زمین هستند که اهمیت زیادی در سطح و درون زمین دارند.گسل عبارت است از سطحی که در طول آن بلوک‌های یک سمت نسبت به سمت دیگر به‌موازات سطح جابه‌جاشده باشد.گسل‌ها قادرند بلوک‌هایی از پوسته زمین با مساحت هزاران تا میلیون‌ها کیلومتر مربع را جابه‌جا کنند (Twiss and Moores, 1992).

۳-۴-۶- چینهای مرتبط با گسل‌های راندگی

هنگامی‌که تغییرات زاویه در سطح گسل، ساختارهایی را که ازنظر هندسی لازم و سازگار با آن تغییرات هستند، در بلوک فرادیواره و در اثر حرکت آن بلوک روی سطح گسل ایجاد می‌کنند، چینهای مرتبط با گسل‌های راندگی را تشکیل می‌دهند (مانند چینهای خم گسلی و انتشار گسلی[1]). همچنین درجایی که تغییرات نرخ لغزش گسل در طول سطح گسل، واتنش‌های فرادیواره‌ای را تولید

[1] Fault Bend and Propagation Folds

کرده که با چین‌خوردگی همراه شده‌اند، ممکن است این‌گونه چین‌ها تشکیل شوند (مانند چین‌های جدایشی[1]) (McClay, 2003).

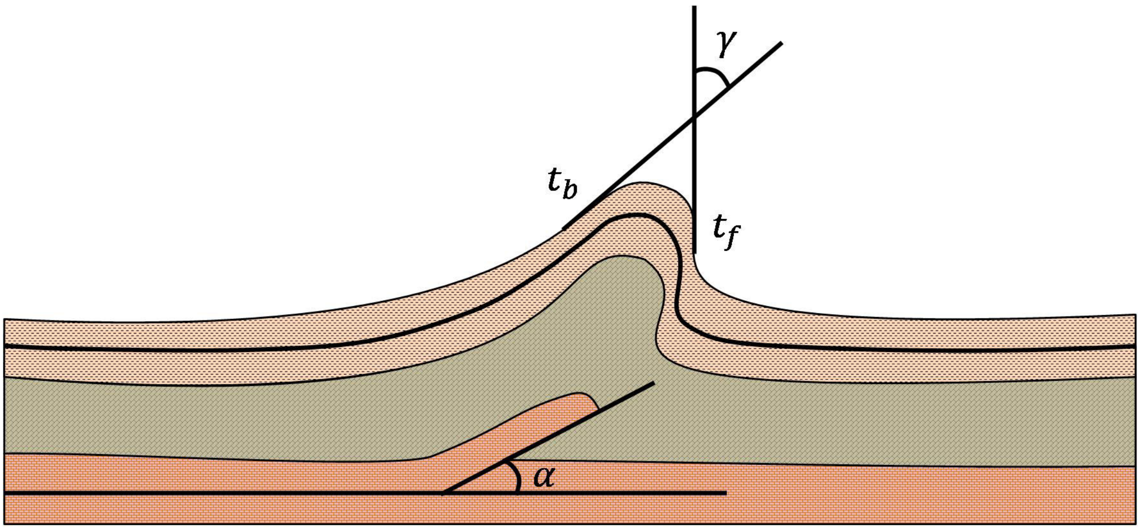
ساختارهای فرادیواره‌ای مهم مانند تله‌های هیدروکربوری یا مکان‌های ویژه برای تبلور کانی‌های از سیالات مهاجرت کرده، می‌توانند توسط چین‌های مرتبط با گسل ایجاد شوند. بسیاری از چین‌های مرتبط با گسل در نواحی با درجه دگرگونی پایین (به‌عنوان‌مثال در کمربندهای چین‌خورده – رانده)، مورفولوژی‌های کینک باند مانند دارند، به این معنی که قطعات یالی مستقیم توسط لولاهای کینک باندی زاویه‌دار از هم جدا می‌شوند. هندسه بسیاری از چین‌های نشان داده‌شده توسط لولاهای کینک باندی چندگانه، شباهت بسیاری به هندسه چین‌های مدور دارند (McClay, 2003).

نویسندگان بسیاری نمودارهایی را به‌منظور بررسی هندسی منشأ چین‌های مرتبط با راندگی پیشنهاد داده‌اند. بسیاری از محققین بر این باورند که به دلیل در نظر گرفتن چندین حالت مختلف توسط Jamison (1987)، نمودارهای ارائه‌شده توسط وی منسجم‌ترین حالت را دارند. چین‌های تحلیل‌شده در مدل ارائه‌شده توسط Jamison عبارتند از چین‌های خم گسلی، چین‌های انتشار گسلی و چین‌های جدایشی. در مدل‌های پیشنهادشده توسط Jamison (1987) ضخامت لایه‌ها در پهلوی پیشانی[2] می‌تواند افزایش یا کاهش یابد اما ضخامت لایه‌ها در پهلوی خلفی[3] ثابت در نظر گرفته شده‌اند. پارامترهای مورداستفاده در این نمودارها، زاویه پلکان (α)، زاویه بین پهلوها (γ) و تغییر ضخامت پهلوی پیشانی (t_f))، می‌باشند. این سه پارامتر به یکدیگر وابسته بوده و ارتباط بین آن‌ها می‌تواند تعیین‌کننده نوع چین‌خوردگی باشد (شکل ۳-۷).

در چین‌های جدایشی به‌جای شیب پلکان، شیب پهلوی خلفی (α_b) جایگزین خواهد شد. همچنین در این‌گونه چین‌ها علاوه بر این پارامتر، پارامتر دیگری مورد استفاده قرار می‌گیرد که شامل نسبت دامنه

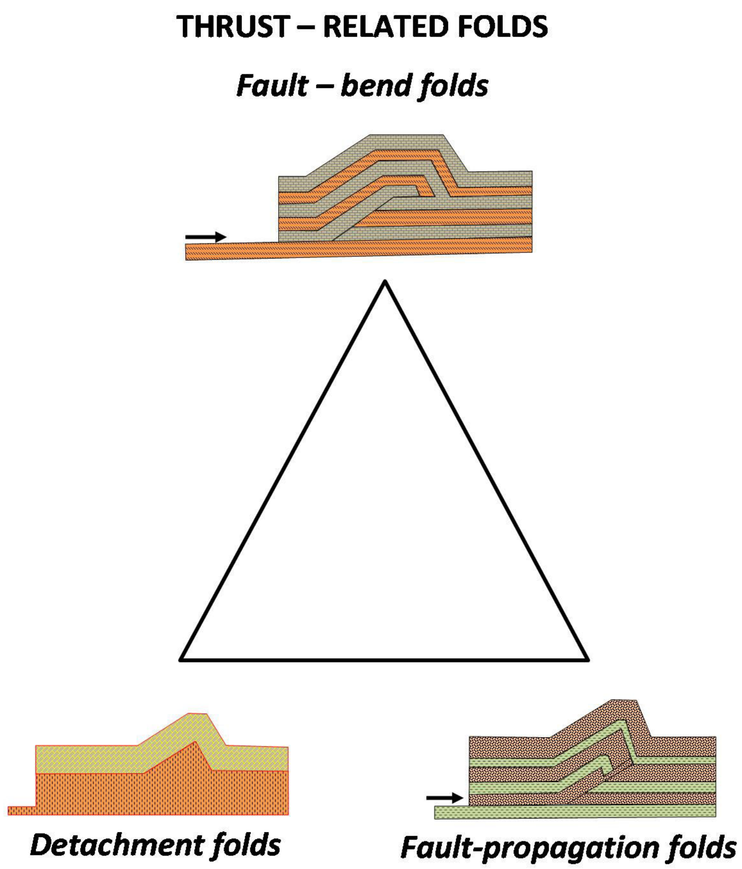
[1] Detachment Folds
[2] Fore limb
[3] Back limb

چین (a) به ضخامت عادی چینه‌شناسی (f) واحد شکل‌پذیری است که هسته تاقدیس را پر می‌کند. درنتیجه روابط هندسی چین جدایشی تابع مستقیمی از دامنه چین است (Jamison, 1987). شکل ۳-۸ تقسیم‌بندی سه‌گانه چینهای مرتبط با گسل‌های راندگی ارائه‌شده توسط McClay (2003) را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۷: زاویه بین پهلوها (γ)، زاویه پلکان گسل (α)، ضخامت پهلوی خلفی (t_b) و ضخامت پهلوی پیشانی (t_f)

(پیروز، ۱۳۸۳)



شکل ۳-۸: تقسیم‌بندی سه‌گانه ساده از چینهای مرتبط با گسل‌های راندگی (**McClay, 2003**).

در این بخش به بررسی وضعیت ساختارهای صفحه‌ای ازجمله لایه‌بندی و شکستگی‌های سطحی در ناحیه جنوب ورامین (تاقدیس مره و ارتفاعات دوازده امام) پرداخته شده است. تحلیل ساختاری شامل توصیف‌های هندسی، تحلیل‌های جنبشی و تحلیل‌های دینامیکی است. این تحلیل‌ها بر اساس مطالعات و برداشت‌های صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای و دورسنجی و لاگ‌های تصویری انجام‌گرفته است. در این مطالعه تمرکز بر روی ساختارهای شکننده بوده و غالب ساختارهای منطقه شکستگی است. بنابراین در ابتدا شکستگی را تعریف کرده و با توجه به سیستماتیک بودن شکستگی‌های تکتونیکی، شکستگی‌های موجود در منطقه به‌صورت نمودار گل‌سرخی نمایش داده می‌شود. همچنین در فصل چهارم به تفصیل به بررسی وضعیت لایه‌بندی، گسل و شکستگی‌ها در میدان یورتشا خواهیم پرداخت.

۳-۵- روش تحقیق

در این بررسی هشت ایستگاه در تاقدیس مره جهت برداشت صحرایی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی انتخاب‌شده است (S10 تا S1). علاوه بر این در بعضی مسیرها برداشت‌هایی از درزه‌ها به‌صورت پراکنده انجام گرفته است. موقعیت این ایستگاه‌ها در شکل ۳-۹ نمایش داده شده است. در بررسی‌های صحرایی مشخصات ۹۷۵ درزه برداشت شده که این برداشت‌ها با روش شیب[1] و جهت شیب[2] صورت گرفته است. در مرحله بعد این برداشت‌ها به‌صورت نمودار کانتوری بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت پیاده‌سازی، سپس نمودار گل سرخی مربوطه و نمودار شیب آن‌ها ترسیم شده است. پس‌ازآن نمودارهای هیستوگرام طول و نمودار جعبه‌ای فاصله به‌منظور بررسی آماری شکستگی‌ها ترسیم شده است.

۳-۵-۱- نقشه ساختاری محدوده موردمطالعه

گسل‌های سیاه کوه، گسل شمال مره، گسل جنوب مره در محدود مطالعاتی دیده می‌شوند (شکل ۳-۱۰). در برداشت‌های صحرایی گسل‌های منطقه و ساختارهایی که به نظر می‌رسید در تحلیل ساختاری نهایی مؤثر باشند، در چندین ایستگاه برداشت شده‌اند.

گسل سیاه کوه

ابتدای گسل سیاه کوه در پارک ملی کویر سمنان است و تا شهرستان رباط‌کریم ادامه دارد. طول این گسل حدود ۱۴۰ کیلومتر است. در نقشه ژئومغناطیس هوایی ۱:۲۵۰۰۰۰ آران با علامت N-2 همراه با علامت سوال معرفی شده است. Hessami و همکاران (2003) درنقشه گسل‌های فعال ایران گسل سیاه کوه را به عنوان معکوس با مولفه راست‌بر معرفی کرده اند. تأثیر عملکرد آن در تاقدیس سیاه کوه به‌طور قابل‌توجه‌ای در تصاویر ماهواره‌ای مشهود است. شدت عملکرد گسل سیاه کوه به سمت تاقدیس

[1] Dip
[2] Dip direction

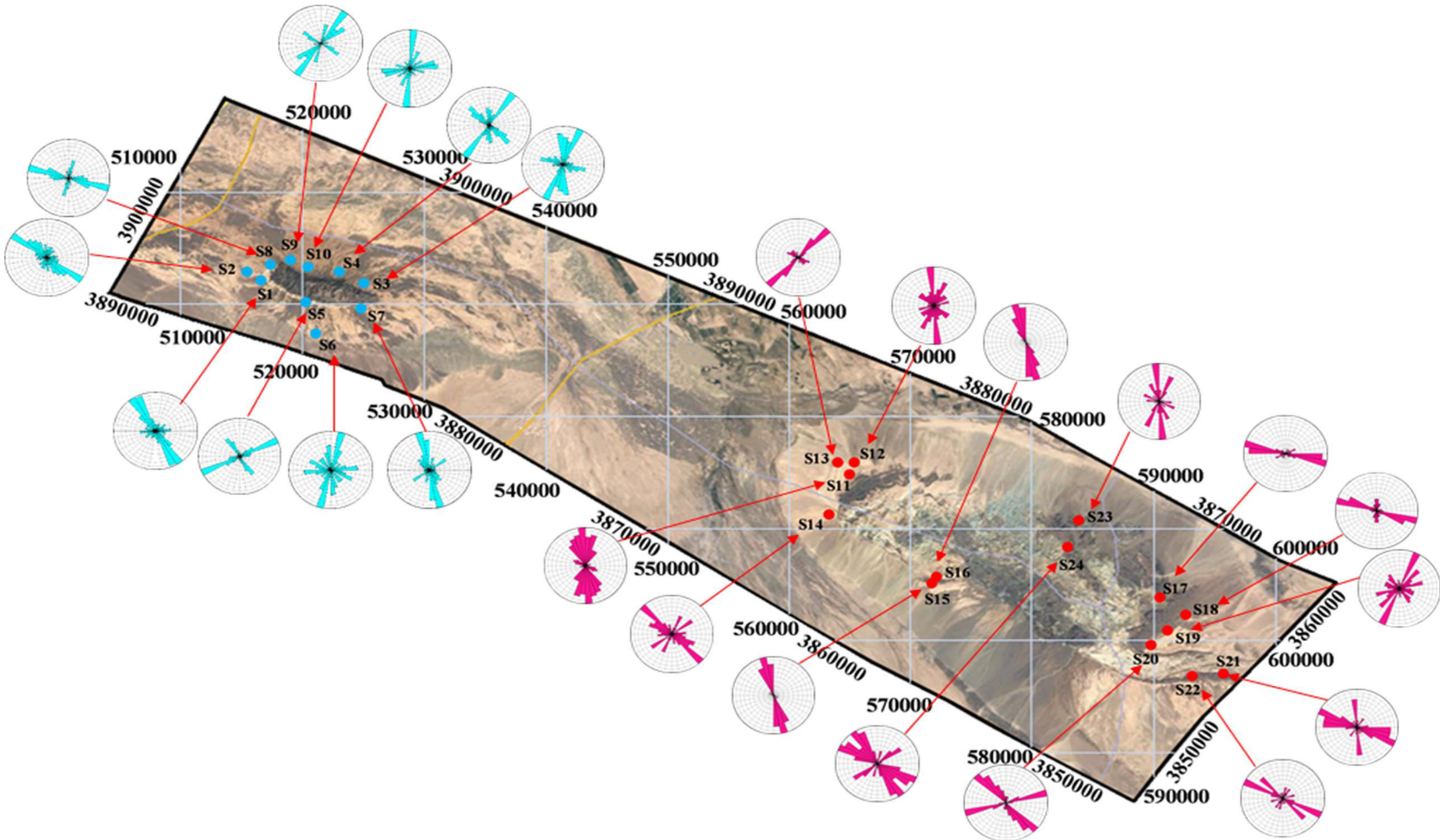
مره کاهش می‌یابد. و به دلیل چینه‌شناسی (مارنی بودن) منطقه سطح گسل سیاه کوه مشاهده نشده است.

گسل شمال کوه مره

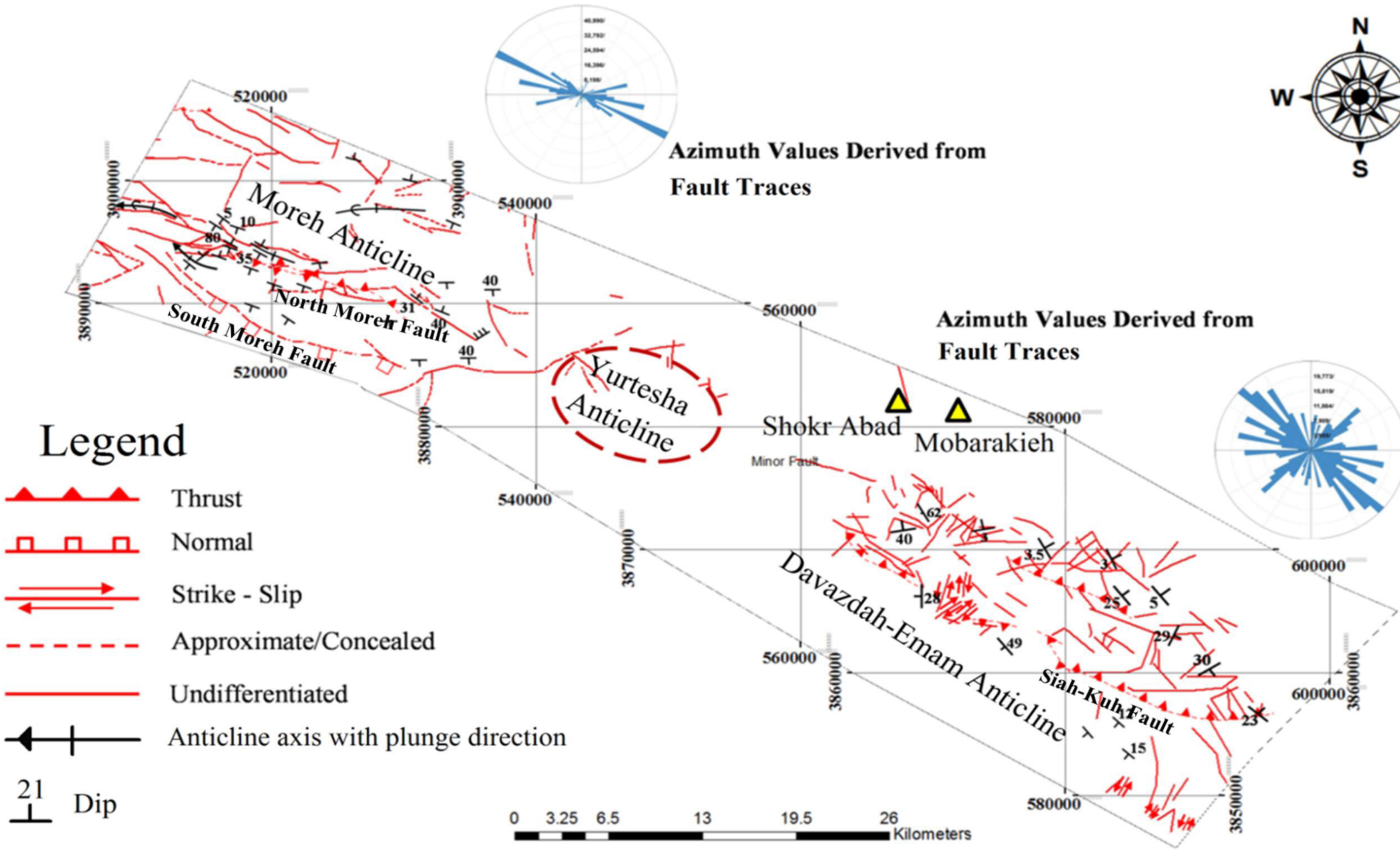
از ساختارهای زمین‌شناسی مهم در منطقه است که باعث بالا آمدن سنگ‌های آتش‌فشانی کوه مره در مقابل مارن و ماسه‌سنگ‌های میوسن شده است. گسل شمال مره در نقشه ژئومغناطیسی تهران با علامت F-5 به عنوان گسل معکوس با سازوکار نامشخص معرفی شده است (نقشه NI-39-03). در برداشت صحرایی صورت مشخصات گسل شمال مره N110,75SW با سازوکار معکوس و مولفه ی راست بر تعیین شده است ، این گسل با حرکت راست‌بر خود باعث شده است که بخش سنگ آهکی میوسن (واحد M^l) خمشی را در بخش باختری کوه مره متحمل شده و حتی یک بلوک از آن کنده شده و به اندازه حدود ۳ کیلومتر به سمت خاور جابجا شود. این حرکت راست‌بر مطمئناً پس از زمان میوسن پویا بوده است. چین‌خوردگی‌های کوچک که در دامنه شمالی کوه مره، در داخل واحد $M^{s,m}$ ایجاد شده است، احتمالاً مرتبط با بالاآمدگی کوه مره بعد از زمان میوسن می‌باشد که در امتداد همین گسل رخ داده است (گزارش پشت نقشه ۱۰۰۰۰۰ رباط کریم).

گسل جنوب مره

گسل جنوب کوه مره در نقشه ژئومغناطیسی تهران ۱:۲۵۰۰۰۰ با علامت N-1 به عنوان گسل نرمال با سازوکار نامشخص معرفی شده است. جنس لایه‌های مارن و ماسه‌سنگی میوسن و پوشش رسوبات بعدی باعث شده است به‌وضوح قابل‌پیگیری نباشد.



شکل ۳-۹: نمایش نمودارهای گل سرخی توزیع شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی ایستگاه‌های (**S1** تا **S24**) بر روی تصویر ماهواره‌ای گرفته‌شده از نرم‌افزار گوگل ارث.



شکل ۳-۱۰: نقشه ساختاری منطقه موردمطالعه

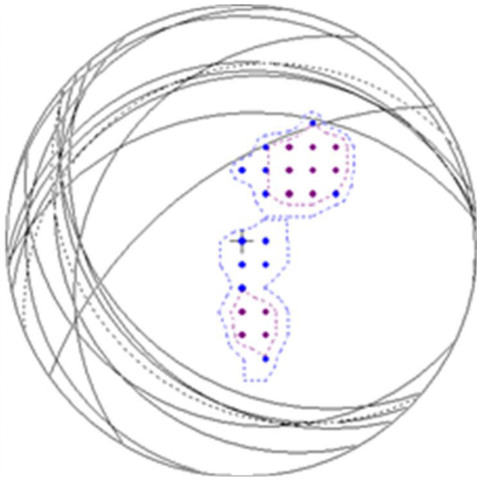
۳-۶- تاقدیس مره

تاقدیس مره در ۸۵ کیلومتری شهر قم قرار دارد و موقعیت ایستگاه‌های برداشت بر روی شکل ۳-۹ نمایش داده شده است. به دلیل اینکه عنوان پروژه تحلیل شکستگی است و بررسی شکستگی‌ها یک مطالعه آماری است، در این مطالعه ۱۰ ایستگاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انتخاب شده است و در هر ایستگاه حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ درزه برداشت شده است. درمجموع ۹۷۵ شکستگی از نقاط مختلف یال شمالی، یال جنوبی و دماغه برداشت شده است. لازم به ذکر است بخشی از شکستگی های هر یک از ایستگاهای برداشت شده در صحرا در پیوست الف ارائه شده است. پارامترهای شکستگی ازجمله توزیع امتدادی، توزیع طولی، فاصله و چگالی آن‌ها در برداشت‌های میدانی به‌دقت ثبت شده و درنهایت مورد تفسیر قرار گرفته‌اند و نمودار مربوط به آن‌ها ترسیم شده است.

۳-۷- مقطع زمین‌شناسی ساختاری تاقدیس مره

تعدادی از لایه‌بندی‌های تاقدیس مره همراه با تصویر استریوگرام آن در شکل ۳-۱۱ نمایش داده شده است. در شکل ۳-۱۲ لایه‌بندی در قسمت‌های مختلف تاقدیس نشان داده شده و به‌منظور بررسی تغییرات هندسی تاقدیس مره و پیش‌بینی هندسه تاقدیس، یک مقطع زمین‌شناسی ساختاری (شکل ۳-۱۳) با استفاده از داده‌های برداشت‌شده و نقشه‌های زمین‌شناسی عمود بر محور تاقدیس رسم شده است. با توجه به این مقطع و تحلیل استریوگرافی چین و با اندازه‌گیری برخی از پارامترهای مربوط به یک سطح چین‌خورده به روش Busk (1929)، تحلیل تاقدیس مره انجام شد. نتایج حاصل از تحلیل تاقدیس مره بر اساس پارامترهای مختلف در جدول ۳-۲ آورده شده است.

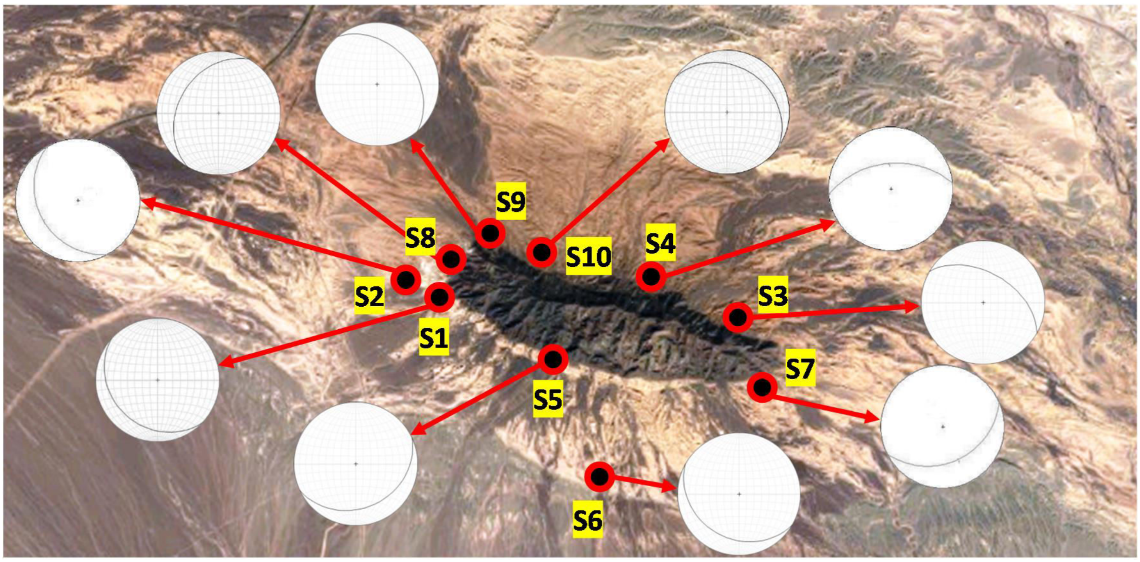
No.	Strike	Dip	Dip Quad
1	130	42.0	SW
2	150.0	25.0	W
3	115	25.0	SW
4	266	35.0	NE
5	265	45	NE
6	280	05	NE
7	135	36	SW
8	130	42	SW
9	115	25	SW
10	210	35	NW
11	140	38	SW
12	235	65	NW
13	190	9	NW
14	258	31	NW
15	263	29	NW



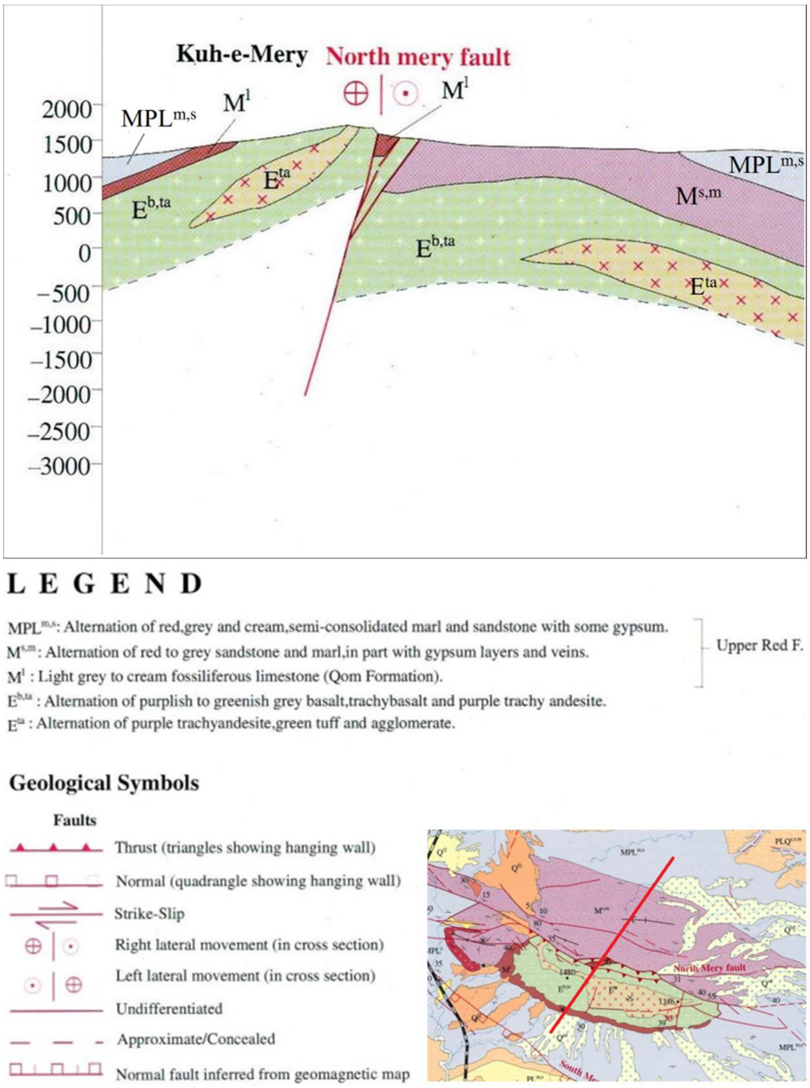
شکل ۳-۱۱: تعدادی از لایه‌بندی‌های برداشت‌شده به‌همراه تصویر استریوگرام (تاقدیس مره)

جدول ۳-۲: نتایج حاصل از تحلیل تاقدیس مره بر اساس پارامترهای مختلف.

نام تاقدیس	میانگین یال شمال خاوری	میانگین یال جنوب باختری	زاویه بین یالی	تقارن	نام چین	موقعیت محور چین
مره	247,28NW	131E,33SW	۱۱۵	نامتقارن	چین باز	283,17NW



شکل ۳-۱۲: موقعیت لایه‌بندی در موقعیت‌های مختلف تاقدیس مره



شکل ۳-۱۳: مقطع ساختاری تاقدیس مره با استفاده از نقشه ۱۰۰۰۰۰ رباط کریم

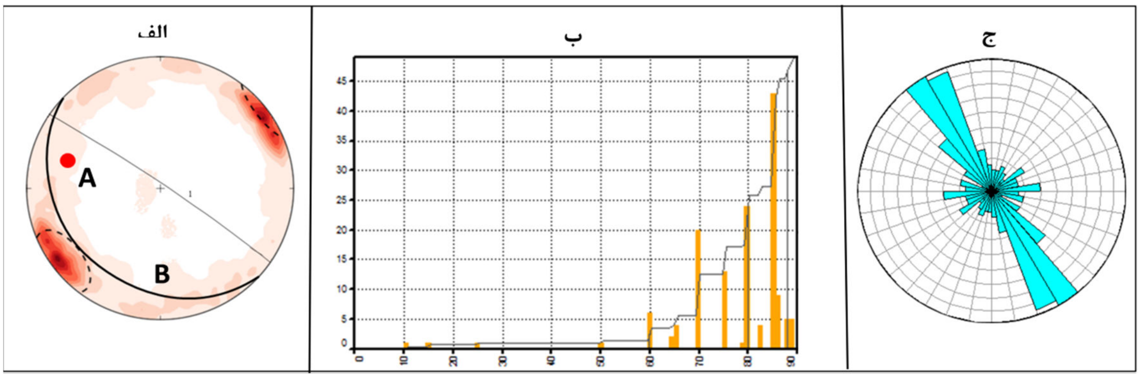
۳-۸- مطالعه شکستگی‌ها و سیستم درزه‌های تاقدیس مره

ایستگاه شماره ۱

ایستگاه شماره ۱ در جنوب باختری تاقدیس قرار دارد (شکل۳-۹). لیتولوژی غالب این ایستگاه آهک تخریبی کرم‌رنگ تا قهوه‌ای روشن با لایه‌بندی نازک تا متوسط و بسیار خردشده است (شکل ۳-۱۴). همان‌طور که در نمودار کانتوری مشاهده می‌شود (شکل۳-۱۵ الف)، در این ایستگاه می‌توان یک صفحه به نمایندگی دسته شکستگی‌ها ترسیم کرد که در راستای شمال غرب- جنوب شرق با مشخصات N35W,82NE است (صفحه شماره ۱)؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این

ایستگاه 130,42SW می‌باشد. نمودار شیب (شکل ۳-۱۵ ب) نشان می‌دهد که شیب شکستگی‌ها در این ایستگاه بین ۶۰ تا ۹۰ متغیر است. با مشاهده نمودار گل سرخی (شکل ۳-۱۵ ج)، جهت اکثر شکستگی‌ها S35E است. با توجه به موقعیت محور (نقطه A) بر روی نمودار کانتوری، اکثر شکستگی‌ها در این ایستگاه از نوع طولی و موازی با محور چین هستند. شکستگی‌ها در این نقطه تراکم بالایی دارند و ازنظر اندازه در مقیاس‌های مختلف سانتی‌متر تا متر دیده می‌شوند (شکل ۳-۱۴).

شکل ۳-۱۴: شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱ (دید عکس به سمت غرب).

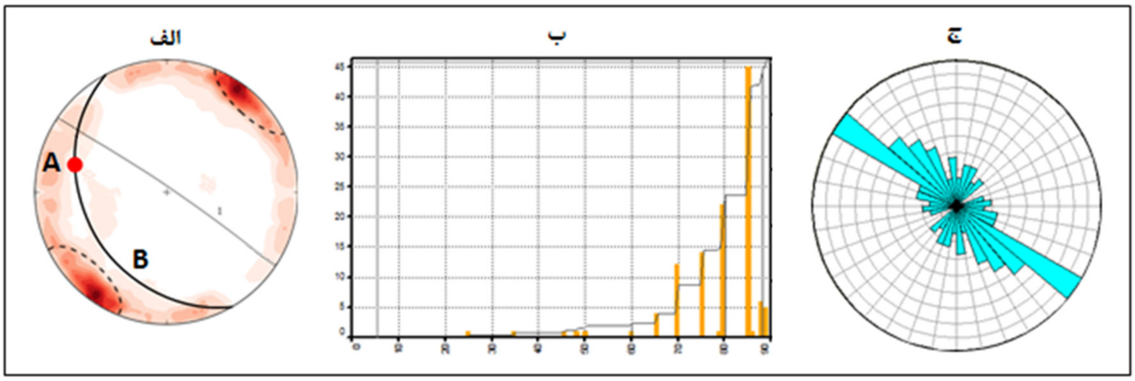


شکل ۳-۱۵: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه نماینده دسته شکستگی‌ها دارای مشخصات **N35W,82SW** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N130,42SW** می‌باشد). ب- نمودار هیستوگرام شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد اغلب شکستگی‌ها شیبی بین ۶۰ تا ۹۰ درجه دارند. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۲

این ایستگاه در دماغه تاقدیس در ۲ کیلومتری ایستگاه شماره ۱ در بخش جنوب باختری تاقدیس قرار دارد (شکل ۳-۹). در این ایستگاه اکثر رخنمون شکستگی‌ها بر روی ماسه‌سنگ‌های ریزدانه که به‌صورت میان‌لایه در واحدهای مارن و ژیپس به رنگ کرم تا خاکستری روشن تا زرد سازند قرمز بالایی قرار گرفته‌اند، واقع شده است (شکل ۳-۱۶). افق ماسه‌سنگی مذکور با لایه‌بندی نازک حدود ۱۰ متر ضخامت دارد. با توجه به نمودار کانتوری قطب شکستگی‌ها (شکل ۳-۱۷ الف) می‌توان یک صفحه به‌عنوان نماینده قطب دسته شکستگی‌ها ترسیم کرد. برای نماینده دسته اول شکستگی‌های که دارای روند شمال غرب- جنوب شرق هستند می‌توان صفحه‌ای با مشخصات N59W,87NE ترسیم نمود (صفحه یک)؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N30W,25SW می‌باشد. از نمودار هیستوگرام شیب شکستگی‌ها (شکل ۳-۱۷ ب) مشخص می‌شود که شکستگی‌ها شیبی بیش از ۶۵ درجه دارند. با توجه به نمودار گل سرخی این ایستگاه (شکل ۳-۱۷ ج)، اکثر شکستگی‌ها در ناحیه لولا روند N55W دارند. با توجه به محور تاقدیس (نقطه A) می‌توان دریافت که اکثر شکستگی‌ها از نوع طولی (موازی با محور چین) هستند.

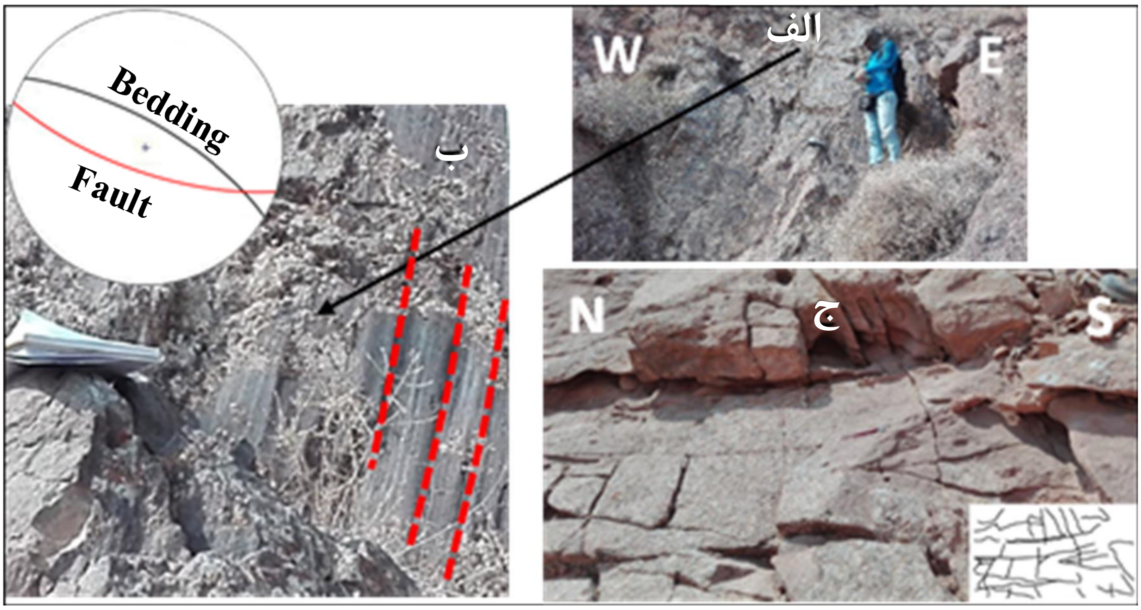
شکل ۳-۱۶: شکستگی‌های ایستگاه ۲ (دید عکس به سمت شرق).



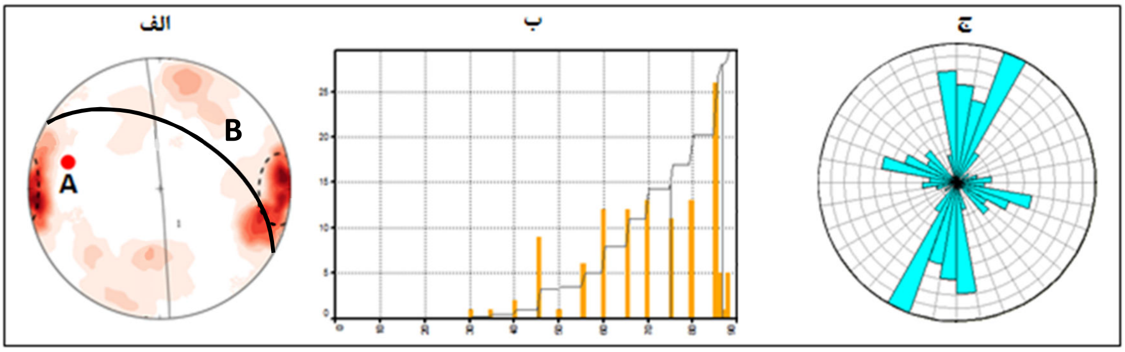
شکل ۳-۱۷: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۲ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه نماینده قطب شکستگی‌ها دارای مشخصات **N59W,87SW** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N30W,25SW** می‌باشد). ب- نمودار هیستوگرام شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب اکثر شکستگی‌ها بیش از ۶۵ است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۳

ایستگاه شماره ۳ در قسمت خاوری یال بالایی که راندگی رباط‌کریم رخنمون دارد واقع شده (شکل ۳-۹) و مشخصات گسل شمال مره N110,75SW است که سازوکار آن معکوس با مولفه راستگرد تعیین شده است (شکل ۳-۱۰)؛ خش‌لغزهای گسلی به‌صورت مورب لغز هستند و نشان می‌دهند که صفحه گمشده به سمت بالا حرکت کرده است (شکل ۳-۱۸). علاوه بر این گسل، ۱۳۰ عدد شکستگی در این ایستگاه برداشت شد که باتوجه به تجمع قطب آن‌ها در نمودار کانتوری (شکل۳-۱۹ الف)، یک صفحه به‌عنوان نماینده شکستگی‌ها با روند تقریباً شمالی- جنوبی با مشخصات N04W,80NE ترسیم شد؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N70W,55NE می‌باشد. با توجه به نمودار شیب (شکل ۳-۱۹ ب) مقدار شیب بین ۴۵ تا ۹۰ درجه متغیر است. نمودار گل سرخی نشان می‌دهد که اکثر شکستگی‌ها دارای روند N25E هستند (شکل ۳-۱۹ ج). با توجه به موقعیت محور (نقطه A) بر روی نمودار کانتوری شکستگی‌ها، در این ایستگاه اکثر شکستگی‌ها از نوع عرضی (عمود بر محور چین) هستند.



شکل ۳-۱۸: الف- رخنمون گسل شمال تاقدیس مره. ب- ریک حدود ۹۰ درجه. ج- نمایش شکستگی‌های مزدوج رخنمون یافته در ایستگاه شماره ۳.

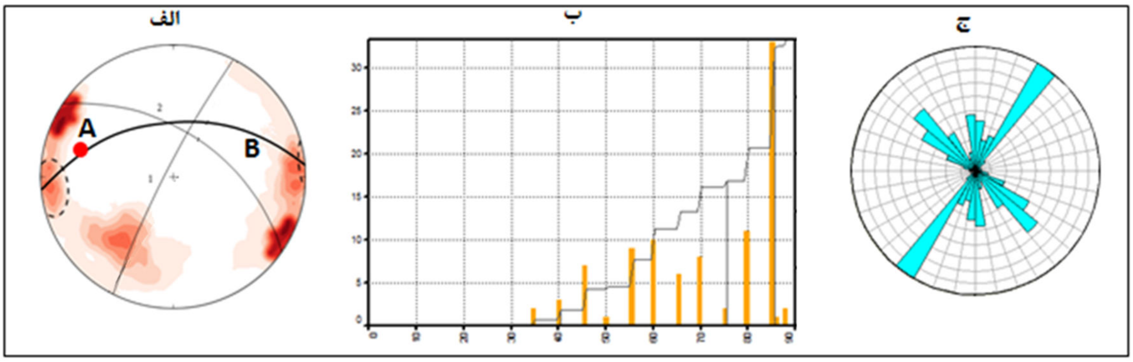


شکل ۳-۱۹: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۳ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه نماینده دسته شکستگی‌ها دارای مشخصات **N04W,80NE** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N70W,55NE** می‌باشد). ب- نمودار هیستوگرام شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۴۵ تا ۹۰ متغیر است. ج- نمودار گل سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۴

این ایستگاه در یال شمالی تاقدیس مره قرار گرفته است (شکل ۳-۹). جنس سنگ‌ها اغلب آهک و مارن است. در این ایستگاه تراکم و فراوانی شکستگی‌ها زیاد است. با توجه به نمودار کانتوری قطب

شکستگی‌ها (شکل ۳-۲۰ الف) می‌توان برای قطب یک دسته از شکستگی‌ها که کمترین فراوانی را در این ایستگاه دارند صفحه‌ای با مشخصات N29E,86NW ترسیم نمود که با توجه به محور عرضی است (صفحه یک). برای دسته دیگر شکستگی‌های غالب صفحه‌ای با مشخصات N56W,52NE ترسیم شده که با توجه به محور طولی است (صفحه دوم)؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N85E,45NE می‌باشد. با توجه به نمودار شیب، اکثر درزه‌ها شیبی بین ۳۵ تا ۸۵ دارند (شکل ۳-۲۰ ب). نمودار گل‌سرخی شکل ۳-۲۰ (ج) نشان می‌دهد که اکثر شکستگی‌ها دارای جهت شیب N35E و تعداد کمی از آن‌ها دارای جهت شیب N45W هستند.

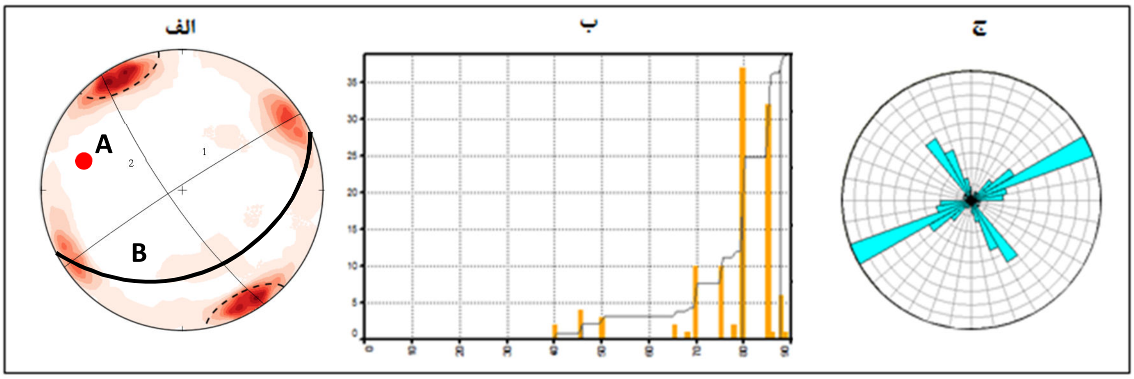


شکل ۳-۲۰: الف- نمودار کانتوری قطب شکستگی‌های ایستگاه شماره ۴ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب شکستگی‌های دسته شماره یک و دو به ترتیب دارای با مشخصات **N29E,86NW** و **N56W,52NE** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N85E,45NE** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۳۵ تا ۹۰ متغیر است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۵

ایستگاه شماره ۵ در یال جنوبی (شکل ۳-۹) بر روی واحدهای آهکی کرم روشن تخریبی و فسیل‌دار به‌شدت خردشده سازند قم قرار گرفته است. همان‌طور که در نمودار کانتوری (شکل ۳-۲۱ الف) مشاهده می‌شود، برای قطب این شکستگی‌ها صفحه‌ای با مشخصات N56E,86NW و صفحه‌ای با مشخصات N33W,82SW، نماینده دسته شکستگی‌هایی هستند که به‌ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی را دارند؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N65E,30SE می‌باشد. با

توجه به هیستوگرام شیب، اکثر درزه‌ها شیبی بین ۴۰ تا ۹۰ دارند (شکل ۳-۲۱ ب). نمودار گل سرخی مربوطه (شکل ۳-۲۱ ج) نشان می‌دهد که اکثر درزه‌ها روند N65E دارند. با توجه به محور (نقطه A)، اکثر شکستگی‌ها از نوع عرضی (عمود بر محور چین) و تعدادی از آن‌ها طولی (موازی با محور چین) می‌باشند.

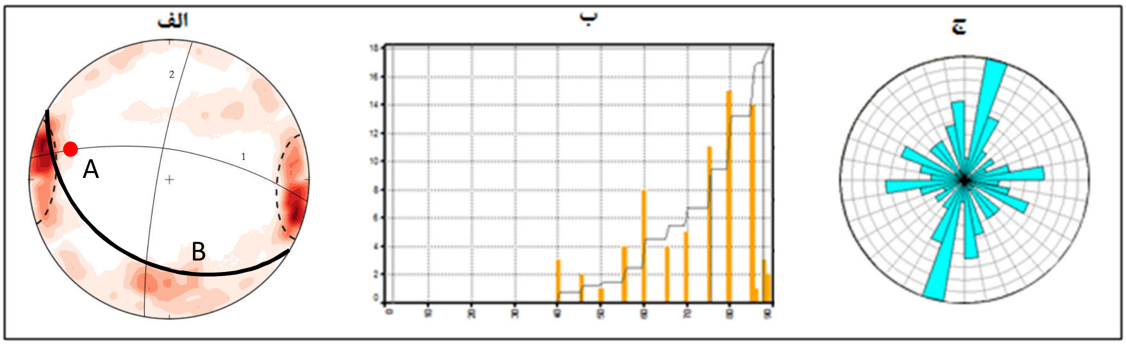


شکل ۳-۲۱: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۵ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌ی نماینده دسته شکستگی‌های شماره یک با مشخصات **N56E,86NW** و صفحه‌ای با مشخصات **N33W,82SW** که نماینده دسته شکستگی‌ها با کمترین فراوانی است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N65E,30SE** می-باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۴۰ تا۹۰ متغیر است. ج- نمودار گل- سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

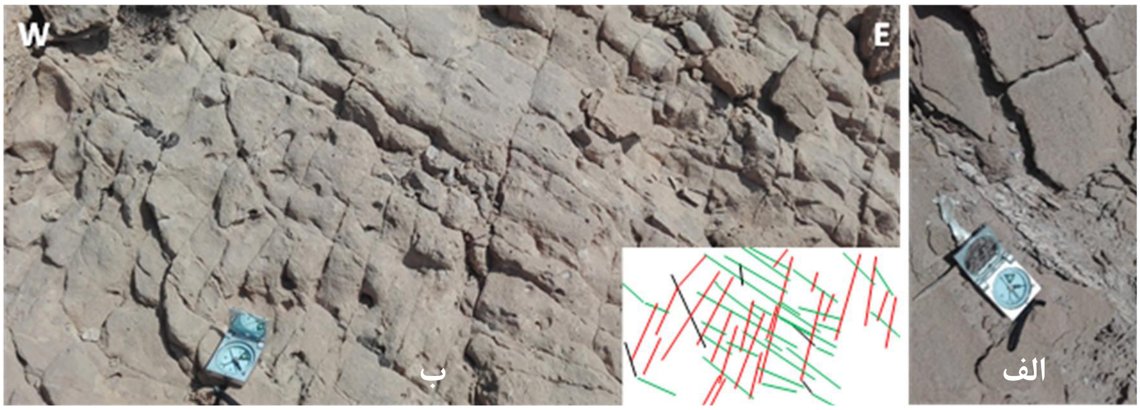
ایستگاه شماره ۶

این ایستگاه در یال جنوبی (شکل ۳-۹) بر روی واحدهای سازند قرمز بالایی قرار دارد. همان‌طور که نمودار کانتوری (شکل ۳-۲۲ الف) نشان می‌دهد، برای قطب این شکستگی‌ها، دو صفحه به‌عنوان نماینده دسته شکستگی‌ها با مشخصات N81W,74NE و N14E,83NW می‌توان ترسیم کرد؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N60W,28SW می‌باشد. نمودار شیب نشان می‌دهد که اکثر درزه‌ها شیبی بین ۴۰ تا ۹۰ دارند (شکل ۳-۲۲ ب). نمودار گل سرخی (شکل ۳-۲۲ ج) نشان می‌دهد که شکستگی‌ها در این بخش روندهای متفاوتی دارند ولی اکثر آن‌ها دارای

روند N65E هستند. با توجه به موقعیت محور تاقدیس (نقطه A)، شکستگی‌ها در این ایستگاه اکثر شکستگی‌ها از نوع عرضی و تعداد کمی از آن‌ها از نوع طولی هستند که به ترتیب موازی و عمود بر محور چین می‌باشند (شکل ۳-۲۳).



شکل ۳-۲۲: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۶ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده دسته شکستگی‌ها به ترتیب با مشخصات **N81W,74NE** و **N14E,87NE** و **N14E,83NW** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N80E,5SE** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد اغلب شکستگی‌ها در این ایستگاه شیبی بین ۴۰ تا ۹۰ متغیر است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

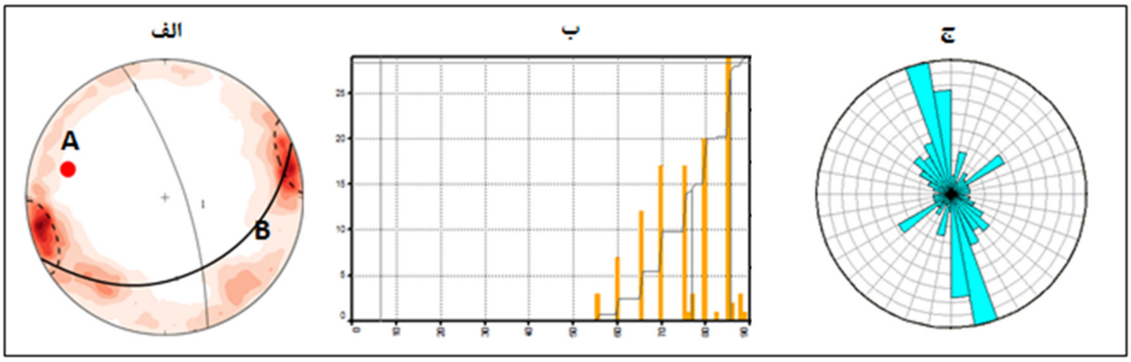


شکل ۳-۲۳: الف - پرشدگی درزه شمالی جنوبی با ژیپس ب- دو دسته‌درزه متقاطع و یک دسته‌درزه مایل که تقریباً روند شمالی جنوبی دارند. (دید عکس به سمت شمال).

ایستگاه شماره ۷

این ایستگاه در بخش آهکی کرم تا قهوه‌ای روشن سازند قم در انتهای بخش خاوری تاقدیس است (شکل ۳-۹)، که مرز این واحدها با واحدهای توفی ائوسن به‌صورت هم‌شیب بوده ولی الزاماً پیوسته

نیست. قطعاتی از توف‌های آندزیتی در داخل واحدهای آهکی فسیل‌دار قم (دوکفه‌ای) دیده می‌شود. همان‌طور که نمودار کانتوری (شکل۳-۲۴ الف) نشان می‌دهد، برای قطب این شکستگی‌ها یک صفحه با مشخصات N15W,82NE می‌توان رسم کرد؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N65E,30SE می‌باشد. نمودار شیب نشان می‌دهد که اکثر درزه‌ها شیبی بین ۶۰ تا ۹۰ دارند (شکل ۳-۲۴ ب). نمودار گل سرخی (شکل ۳-۲۴ ج) نشان می‌دهد که روند غالب شکستگی‌ها در این ایستگاه N15W است. با توجه به موقعیت محور (نقطه A)، اکثر شکستگی‌ها از نوع طولی و موازی با محور چین و تعدادی از نوع مایل هستند.

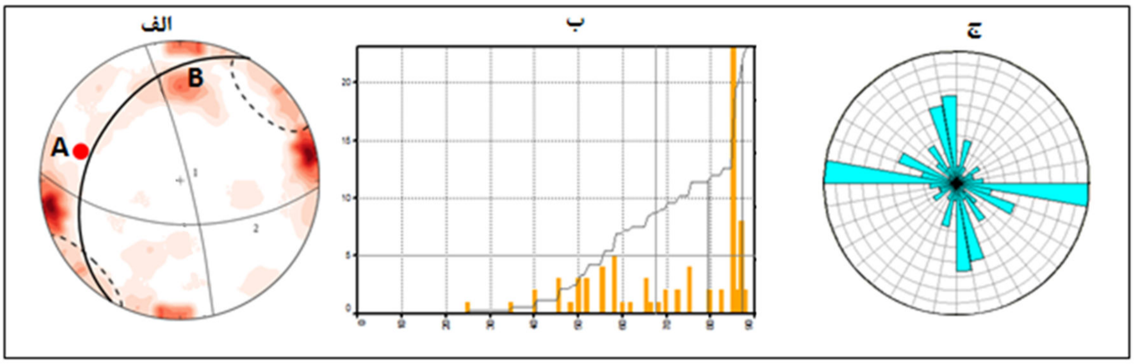


شکل ۳-۲۴: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۷ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های غالب دسته شماره یک با مشخصات **N15W,82NW** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N65E,30SE** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شکستگی‌ها شیبی بین ۶۰ تا ۹۰ درجه‌دارند. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۸

این ایستگاه در دماغه تاقدیس قرار دارد (شکل ۳-۹). لیتولوژی در این ایستگاه آهک و مارن و میان لایه‌های ماسه‌سنگی سازند قرمز بالایی است. در این ناحیه شکستگی‌هایی در ابعاد مختلفی وجود دارند. با استفاده از تجمعات قطب شکستگی‌ها، دو صفحه بر روی استریوگرام به نمایندگی از درجات شکستگی ترسیم شده است. صفحه شماره یک با مشخصات N14W,82NE و صفحه شماره دو با فراوانی کمتر دارای مشخصات N81W,55SW است (شکل ۳-۲۵ الف)؛ همچنین مشخصات صفحه

لایه بندی (B) در این ایستگاه N30E,35NW می‌باشد. از نمودار شیب شکستگی‌ها (شکل ۳-۲۵ ب) می‌توان دریافت که اکثر درزه‌ها شیبی بین ۲۵ تا ۹۰ دارند. با مشاهده نمودار گل سرخی (شکل ۳-۲۵ ج) شکستگی‌ها، می‌توان دریافت که شکستگی‌ها در این ناحیه دارای روند N95E هستند. با توجه به موقعیت محور تاقدیس (نقطه A)، اکثر شکستگی‌ها از نوع عرضی و تعداد کمی از آن‌ها مایل هستند.

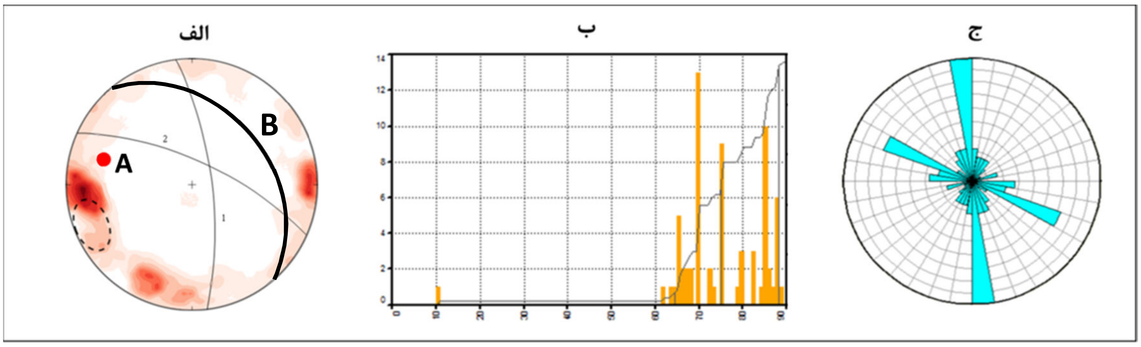


شکل ۳-۲۵: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۸ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های غالب دسته شماره یک با مشخصات **N14W,82NE** و دسته شماره دو با مشخصات **N81W,55SW** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N30E,35NW** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد که شکستگی‌ها شیبی بین ۲۵ تا ۹۰ دارند. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۹

این ایستگاه در دماغه تاقدیس واقع شده است (شکل ۳-۹). لیتولوژی غالب آهک است که به‌شدت خرد شده است. با توجه به نمودار کانتوری (شکل ۳-۲۶ الف) می‌توان دو صفحه به‌عنوان نماینده دسته درزه‌ها با مشخصات N07W,72NE و N66W,69NE رسم کرد؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N40W,38NE می‌باشد. با توجه به نمودار هیستوگرام شیب (شکل ۳-۲۶ ب)، شکستگی‌ها در این ایستگاه شیبی بین ۶۲ تا ۹۰ درجه را دارند. نمودار گل سرخی (شکل ۳-۲۶ ج) نشان می‌دهد که اغلب درزه‌ها در این ایستگاه روند N5W دارند. همچنین با توجه به محور

تاقدیس (نقطه A) می‌توان دریافت که اکثر شکستگی‌ها از نوع عرضی (عمود بر محور چین) و مایل هستند.

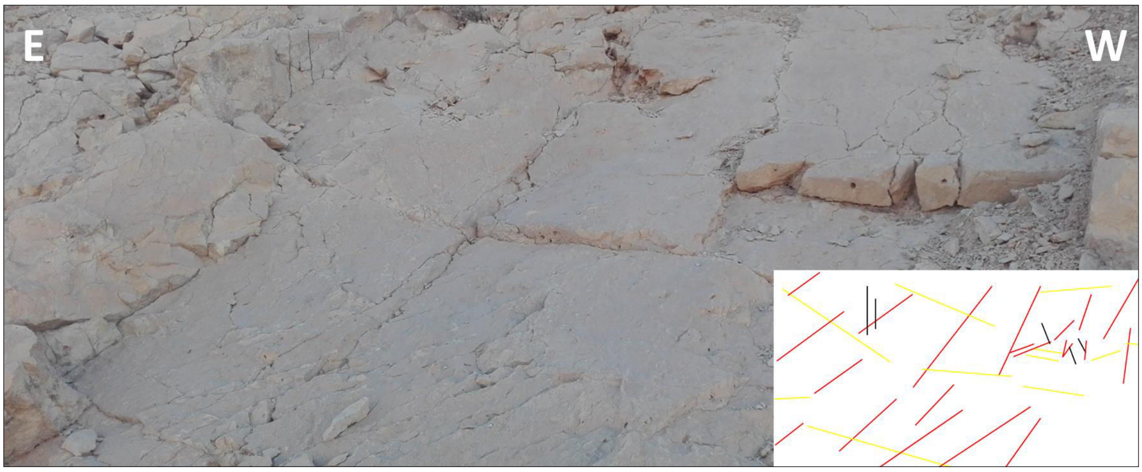


شکل ۳-۲۶: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۹ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده دسته شماره یک قطب شکستگی‌ها با مشخصات **N07W,72NE** و دسته شماره دو با مشخصات **N66W,69NE** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N40W,38NE** می‌باشد). ب- نمودار هیستوگرام شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شکستگی‌ها شیبی بین ۶۲ تا ۹۰ درجه دارند. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

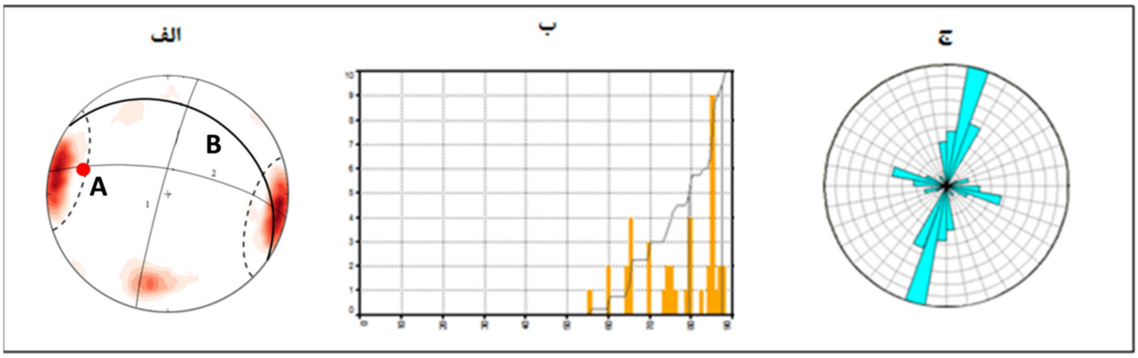
ایستگاه شماره ۱۰

ایستگاه شماره ۱۰ در دماغه (شکل ۳-۹) و بر روی واحدهای آهکی مقاوم و ستبر سازند قم در کنار معدن قرار داد (شکل ۳-۲۷). در این ایستگاه با توجه به تجمعات قطب شکستگی‌ها دو صفحه برای نمایندگی از درجات شکستگی رسم شده است (شکل ۳-۲۸ الف)، که به ترتیب اهمیت در زیر ذکر شده است: صفحه شماره یک N13E,83NW و صفحه شماره دو N80W,67NE؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N55W,27NE می‌باشد. با مشاهده نمودار هیستوگرام شیب شکستگی‌ها (شکل ۳-۲۸ ب) مشخص می‌شود که شکستگی‌ها شیبی بین ۵۵ تا ۹۰ درجه را دارا می‌باشند. نمودار گل‌سرخی (شکل ۳-۲۸ ج) نشان می‌دهد که اکثر شکستگی‌ها در این ایستگاه دارای روند N15E می‌باشند. با توجه به محور تاقدیس (نقطه A) می‌توان دریافت که شکستگی‌ها از نوع

عرضی (عمود بر محور چین) هستند. طول شکستگی‌ها در این ایستگاه از چند سانتی‌متر تا ده‌ها متر است.



شکل ۳-۲۷: نمایش درزه‌های ایستگاه شماره ۱۰ (دید به سمت جنوب).



شکل ۳-۲۸: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۰ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک و دو به ترتیب با مشخصات **N13E,83NW** و **N80W,67NE** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N55W,27NE** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها نشان می‌دهد که شیب شکستگی‌ها بین ۵۵ تا ۹۰ متغیر است. ج- نمودار گل سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

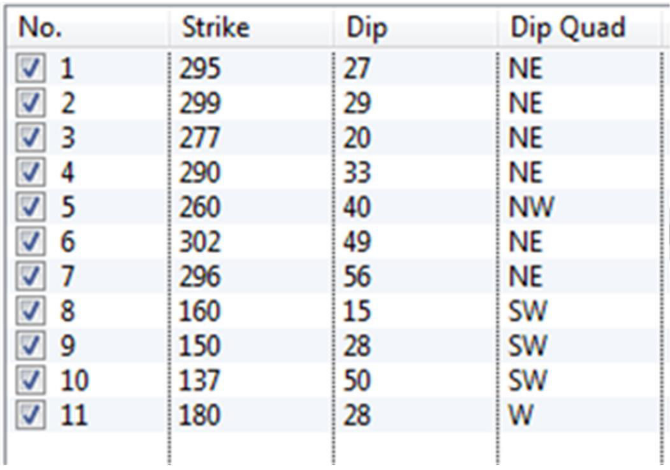
۳-۹- تاقدیس دوازده امام

تاقدیس دوازده امام در بخش جنوب خاوری منطقه مورد مطالعه قرار دارد. ناحیه مورد مطالعه شامل دو بخش هموار و مرتفع است. بخش مرتفع آن حاصل فرآیندهای ساختاری به ویژه چین خوردگی

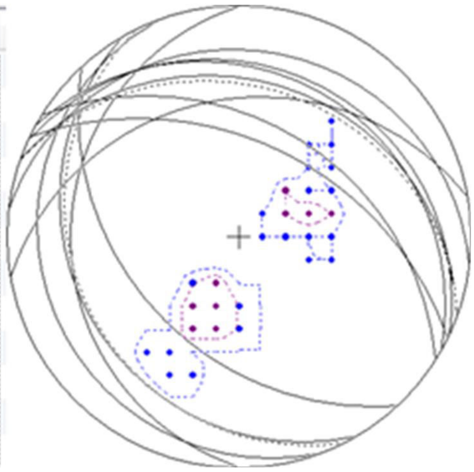
رسوبات ترشیری است (Berberian and King, 1981). قسمتی از ناحیه دوازده امام در بخش جنوبی ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ تهران و بخشی از آن در ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ آران قرار دارد. در شکل ۲-۲ موقعیت جغرافیایی این ناحیه در ایران مشخص شده است. رخنمون سنگی این ناحیه متشکل از گدازه ها و آواری‌های ائوسن، رسوبات آواری و مارنی، سنگ آهک، مارن و گچ الیگوسن؛ مارن و سنگ آهک، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و گچ میوسن؛ کنگلومرا و مارن‌های پلیوسن است (ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ آران). بخشی از تاقدیس در محدوده اداره محیط زیست شهرستان ورامین و قسمتی از آن در منطقه نظامی قرار گرفته است. در ابتدا از سازمان‌های دولتی یاد شده مجوز ورود به منطقه مورد مطالعه تهیه شده و تا آن‌جا که نهادهای یادشده همکاری لازم را داشته‌اند به بررسی شکستگی‌ها و پارامترهای آن در ۱۴ ایستگاه پرداخته شده است. لازم به ذکر است بخشی از شکستگی های هر یک از ایستگاهای برداشت شده در صحرا در پیوست الف ارائه شده است. در شکل ۳-۹ موقعیت ایستگاه‌ها و نمودار گل‌سرخی مربوط به درزها نشان داده شده که در ادامه شرح داده خواهد شد.

۳-۱۰- مقطع زمین‌شناسی ساختاری تاقدیس دوازده‌امام

تعدادی از لایه‌بندی‌های تاقدیس دوازده‌امام همراه با تصویر استریوگرام آن در شکل ۳-۲۹ نمایش داده شده است. در شکل ۳-۳۰ موقعیت لایه‌بندی در نقاط مختلف تاقدیس دوازده‌امام ترسیم شده است. به‌منظور بررسی تغییرات هندسی تاقدیس دوازده امام و پیش‌بینی هندسه تاقدیس، یک مقطع زمین‌شناسی ساختاری با استفاده از داده‌های برداشت‌شده و نقشه‌های زمین‌شناسی عمود بر محور تاقدیس رسم شده است (شکل ۳-۳۱). با توجه به این مقطع و تحلیل استریوگرافی چین و توسط اندازه‌گیری برخی از پارامترهای مربوط به یک سطح چین‌خورده به روش Busk (1929)، تحلیل تاقدیس دوازده امام انجام شد. نتایج حاصل از تحلیل تاقدیس دوازده امام بر اساس پارامترهای مختلف در جدول ۳-۳ آورده شده است.



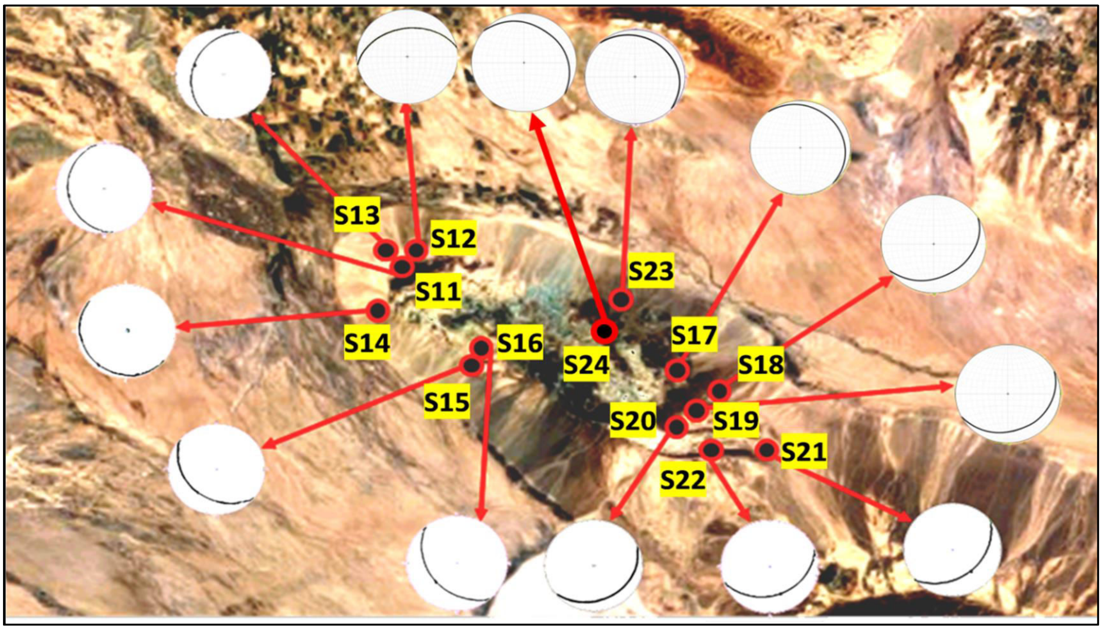
No.	Strike	Dip	Dip Quad
1	295	27	NE
2	299	29	NE
3	277	20	NE
4	290	33	NE
5	260	40	NW
6	302	49	NE
7	296	56	NE
8	160	15	SW
9	150	28	SW
10	137	50	SW
11	180	28	W



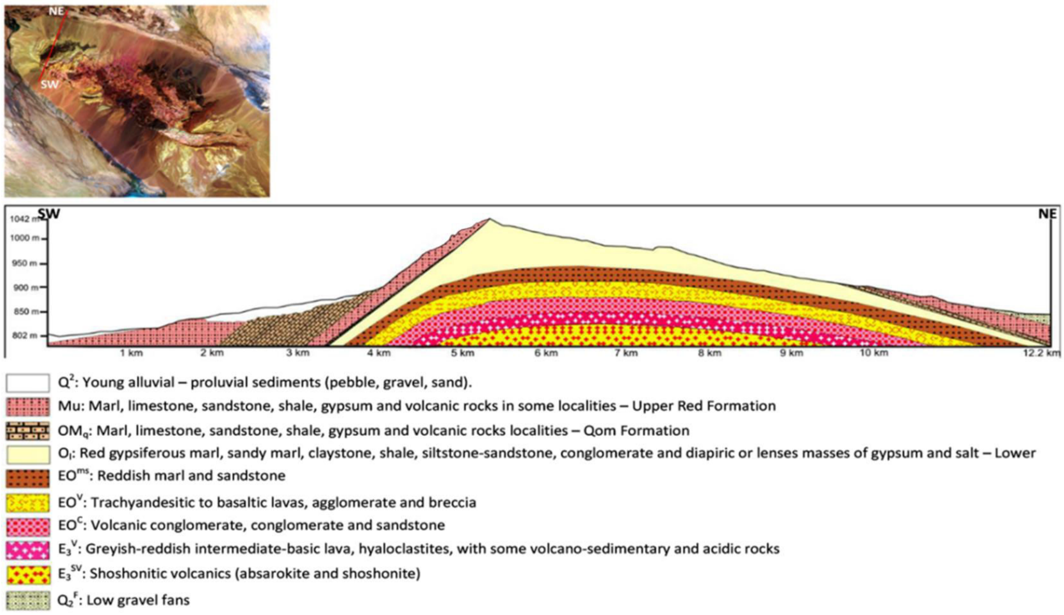
شکل ۳-۲۹: تعدادی از لایه‌بندی‌های برداشت‌شده به‌همراه تصویر استریوگرام (تاقدیس دوازده‌امام)

نام تاقدیس	میانگین یال شمال خاوری	میانگین یال جنوب باختری	زاویه بین یالی	تقارن	نام چین	**موقعیت محور چین**
دوازده‌امام	289,35NE	154E,29SW	۱۱۷	نامتقارن	چین باز	309,16NW

جدول ۳-۳: نتایج حاصل از تحلیل تاقدیس دوازده امام بر اساس پارامترهای مختلف.



شکل ۳-۳۰: موقعیت لایه‌بندی در موقعیت‌های مختلف تاقدیس دوازده امام.

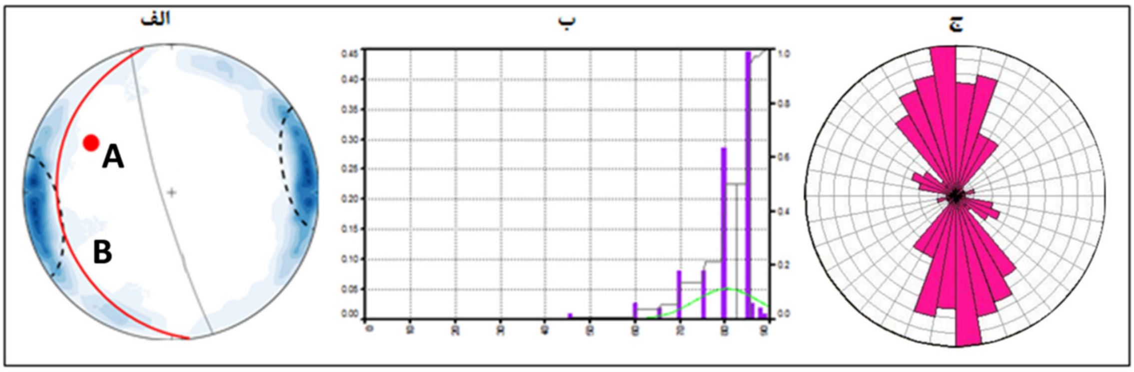


شکل ۳-۳۱: الف- تصویر لندست تاقدیس دوازده‌امام (ترکیب رنگی باندهای **RGB:1,4,7**). ب- نمایش مقطع عرضی **SW-NE**.

۳-۱۱- مطالعه شکستگی‌ها و سیستم درزه‌های تاقدیس دوازده امام

ایستگاه شماره ۱۱

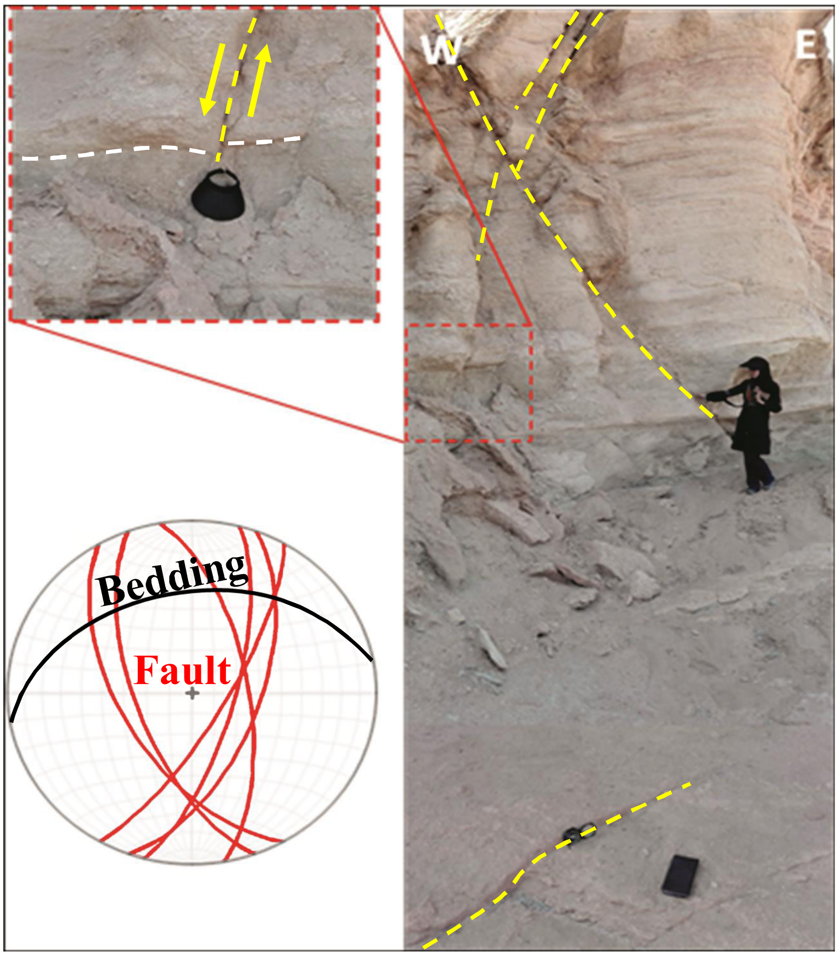
ایستگاه شماره ۱۱ در دماغه تاقدیس (شکل ۳-۹) بر روی میان لایه های آهکی با خرده های فسیلی و سیمان آهکی و قطعات ماسه سنگی قرار دارد. ضخامت طبقات، نازک تا متوسط است. ضخامت میان لایه ای حدود ۱۰ متر است. با توجه به نمودار کانتوری (شکل ۳-۳۲ الف) می توان یک صفحه به عنوان نماینده دسته درزه ها با مشخصات N16W,82SW رسم کرد؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N10W,15SW می‌باشد. با توجه به نمودار شیب شکستگی ها (شکل ۳-۳۲ ب) می توان دریافت که شیب شکستگی ها بین ۶۰ تا ۹۰ متغیر است. همانطور که در نمودار گل سرخی (شکل ۳-۳۲ ج) مشاهده می شود، اغلب درزه ها در این ایستگاه روند N5W دارند. با توجه به موقعیت محور (نقطه A)، در این ایستگاه شکستگی ها از نوع طولی و مایل هستند.



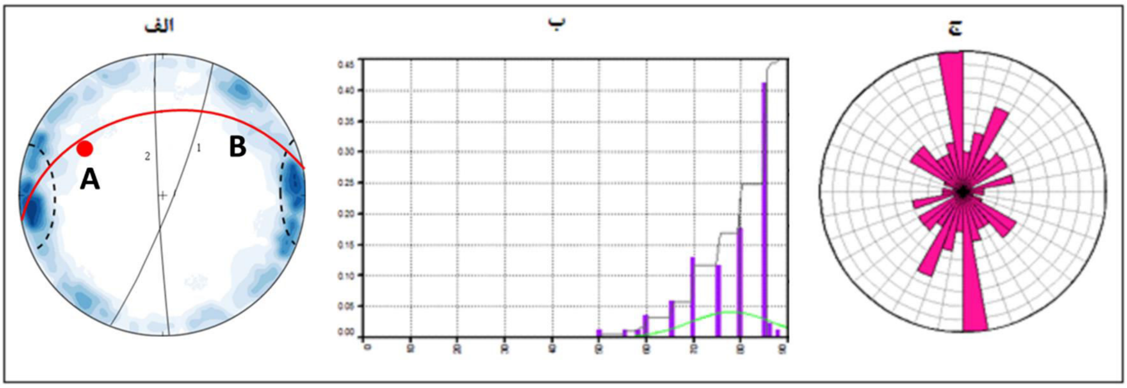
شکل ۳-۳۲: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۱ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک به ترتیب با مشخصات **N16W,82SW** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N10W,15SW** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۶۰ تا ۹۰ متغیر است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۱۲

این ایستگاه در دماغه تاقدیس قرار دارد (شکل ۳-۹). اندازه گیری در واحدهای ماسه سنگی تخریبی تا حدی دارای سیمان آهکی سازند قرمز بالایی صورت گرفته است (شکل ۳-۳۳). در بخش آهکی خرده فسیل دیده شده است. در این ناحیه شکستگی هایی در ابعاد مختلفی وجود دارند. با استفاده از تجمعات قطب شکستگی ها (شکل ۳-۳۴ الف)، دو صفحه بر روی استریوگرام به نمایندگی از شکستگی‌ها ترسیم شده است؛ صفحه شماره ۱ با مشخصات N21E,81SE و صفحه دوم با کمترین فراوانی دارای مختصات N6W,80SW است؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه 260,40N می‌باشد. با توجه به نمودار شیب (شکل ۳-۳۴ ب)، شیب شکستگی ها در این ایستگاه بین ۹۰ تا ۵۰ متغیر است. با مشاهده نمودار گل سرخی (شکل ۳-۳۴ ج) شکستگی ها می توان دریافت که روند شکستگی ها در این ناحیه دارای روند N5W هستند. با توجه به موقعیت محور (نقطه A)، اکثر شکستگی‌ها از نوع طولی و مایل هستند.



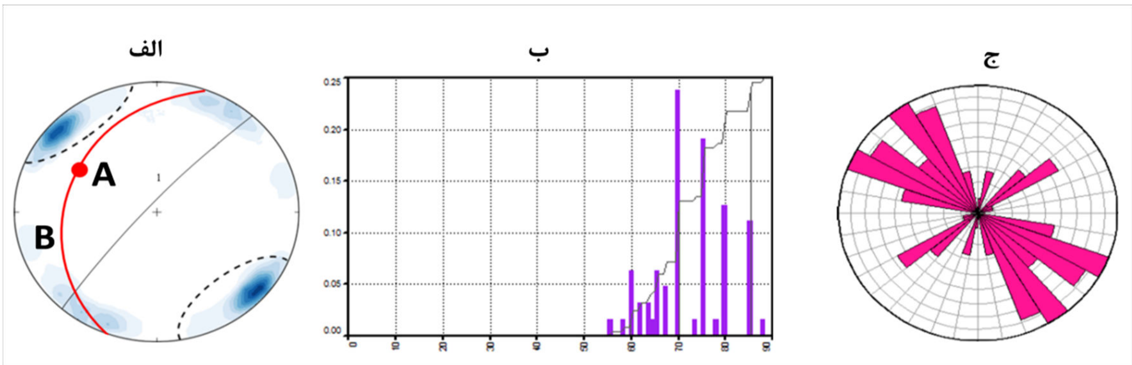
شکل ۳-۳۳: گسل‌های فرعی امتداد لغز چپ‌گرد در ایستگاه شماره ۱۲ (دید عکس به سمت شمال)



شکل ۳-۳۴: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۲ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک و دو به ترتیب با مشخصات **N21,81SE** و **N6W,80SW** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N80E,40N** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۵۰ تا ۹۰ متغیر است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۱۳

این ایستگاه در دماغه تاقدیس قرار دارد (شکل ۳-۹). رخنمون شکستگی‌ها بر روی واحدهای آهکی و ستبر سازند قم واقع شده است. نمودار کانتوری قطب شکستگی‌ها (شکل ۳-۳۵ الف) نشان می دهد که برای قطب این شکستگی‌ها می توان یک صفحه به عنوان نماینده دسته شکستگی‌ها به ترتیب اهمیت با مشخصات N42E,78NW ترسیم کرد که با توجه به محور تاقدیس (نقطه A)، دسته شکستگی‌ها از نوع عرضی (عمود بر محور چین) هستند؛ همچنین مشخصات صفحه لایه‌بندی (B) در این ایستگاه N20E,25NW می‌باشد. همانطور که از نمودار شیب شکستگی‌ها (شکل ۳-۳۵ ب) مشخص است، شیب شکستگی‌ها بین ۵۵ تا ۹۰ متغیر است. با توجه به نمودار گل سرخی (شکل ۳-۳۵ ج) اکثر شکستگی‌ها در این ایستگاه دارای روند NE-SW هستند.

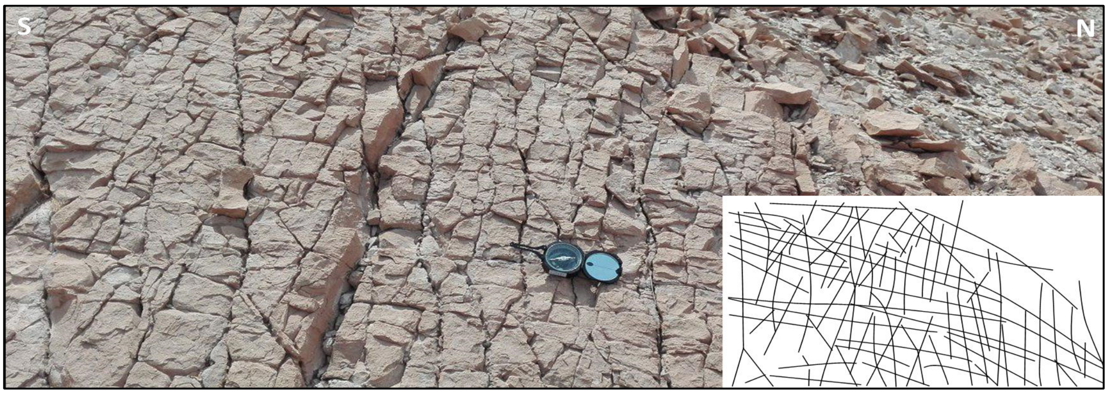


شکل ۳-۳۵: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۳ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک صفحه با مشخصات **N42E,78NW** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N20E,25SW** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۵۵ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

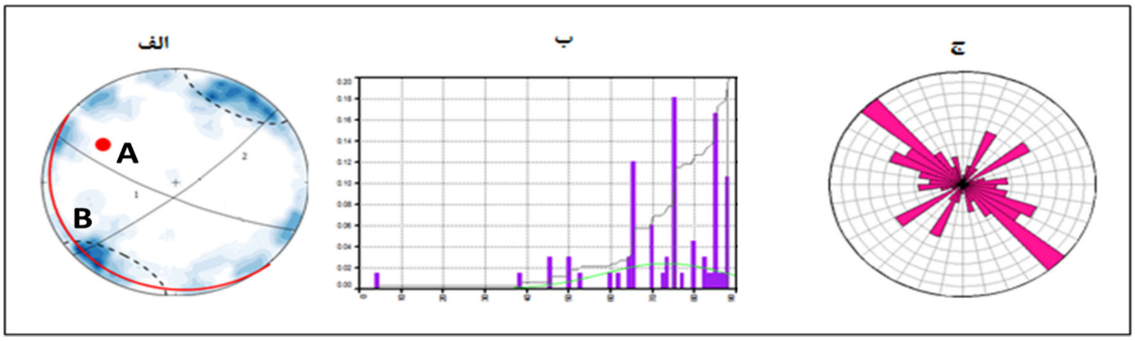
ایستگاه شماره ۱۴

این ایستگاه در خاوری‌ترین نقطه یال جنوبی تاقدیس قرار دارد (شکل ۳-۹). در این ایستگاه اکثر رخنمون شکستگی‌ها بر روی آهک های کرم روشن رنگ سازند قم واقع شده است (شکل ۳-۳۶). افق

ماسه‌سنگی مذکور با لایه‌بندی نازک حدود ۱۵ متر ضخامت دارد. با توجه به نمودار کانتوری قطب شکستگی‌ها (شکل ۳-۳۷ الف) نشان می دهد که برای قطب این شکستگی‌ها دو صفحه به عنوان نماینده دسته یک و دو شکستگی‌ها به ترتیب با مشخصات N65W,75SW و N50E,79SE می توان ترسیم کرد؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N53W,10SW می‌باشد. همانطور که از نمودار شیب شکستگی ها (شکل ۳-۳۷ ب) مشخص است، شیب شکستگی ها بین ۳۸ تا ۹۰ متغیر است. با توجه به نمودار گل سرخی این ایستگاه (شکل ۳-۳۷ ج) به‌خوبی می‌توان دریافت اکثر شکستگی‌ها در این ناحیه داری روند N45W هستند. با توجه به موقعیت محور تاقدیس (نقطه A)، در این ایستگاه دو دسته شکستگی اول از نوع طولی و دسته سوم از نوع عرضی هستند.



شکل ۳-۳۶: نمایش درزه‌های ایستگاه شماره ۱۴ (دید عکس به سمت غرب)



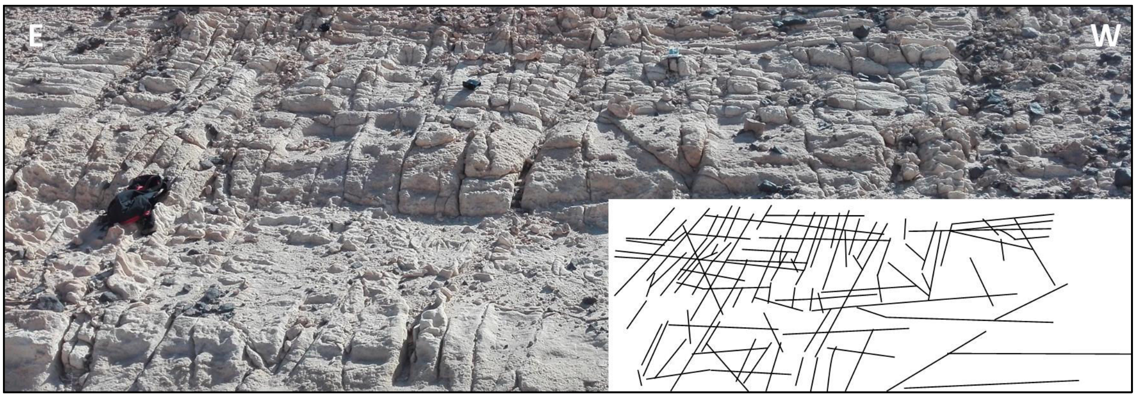
شکل ۳-۳۷: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۴ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت.

صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک و دو به ترتیب با مشخصات **N65W,75SW** و **N50E,79SE**

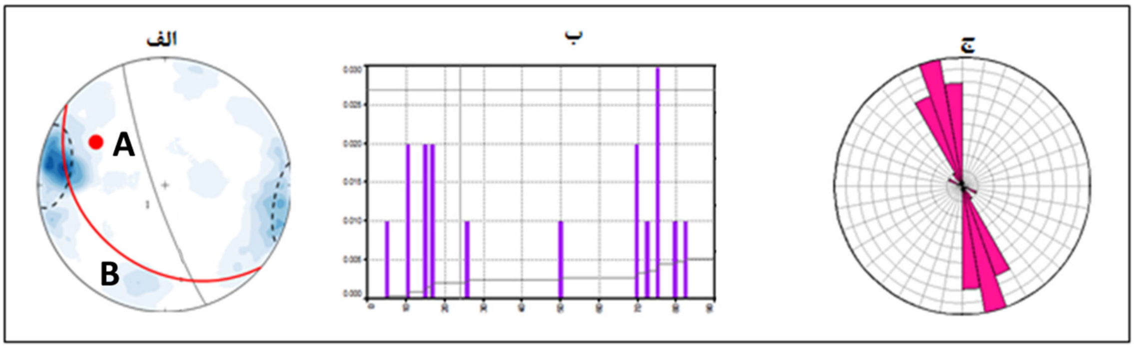
است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N53W,10SW** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۳۸ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۱۵

این ایستگاه در یال جنوبی تاقدیس قرار دارد (شکل ۳-۹). در این ایستگاه اکثر رخنمون شکستگی‌ها بر روی ماسه‌سنگ‌های ریزدانه که به‌صورت میان لایه در واحدهای ماسه سنگی و آهکی سازند قرمز بالایی است، قرار دارند (شکل ۳-۳۸). افق ماسه‌سنگی مذکور با لایه‌بندی نازک حدود ۵ متر ضخامت دارد. با توجه به نمودار کانتوری قطب شکستگی‌ها (شکل ۳-۳۹ الف) نشان می دهد برای قطب این شکستگی‌ها یک صفحه به عنوان نماینده دسته شکستگی ها با مشخصات N19W,83NW می توان ترسیم کرد؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N52W,24SW می‌باشد. همانطور که از نمودار شیب شکستگی ها (شکل ۳-۳۹ ب) مشخص است، شیب شکستگی ها بین ۵ تا ۹۰ متغیر است. با توجه به نمودار گل سرخی این ایستگاه (شکل ۳-۳۹ ج) می‌توان دریافت اکثر شکستگی‌ها در این ناحیه داری روند N15W هستند. با توجه به موقعیت محور تاقدیس (نقطه A)، در این ایستگاه شکستگی‌ها اکثرا از نوع طولی و موازی بر محور چین و مایل هستند.



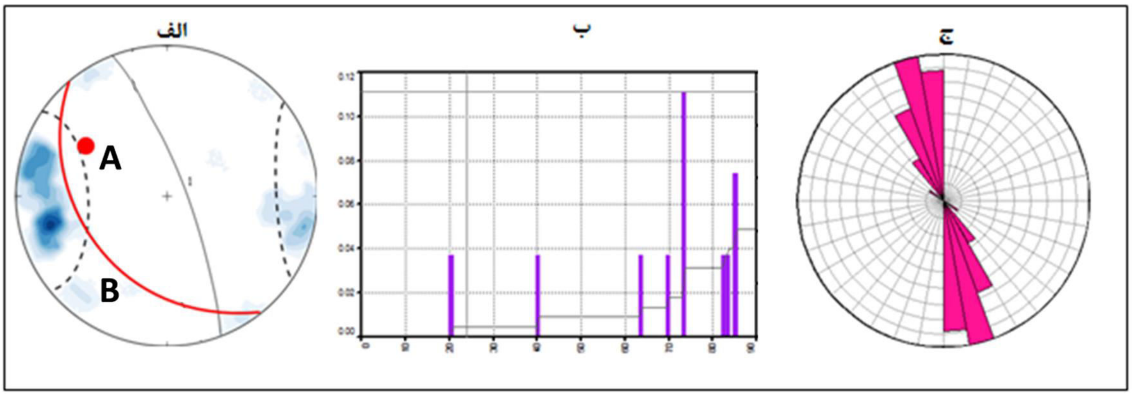
شکل ۳-۳۸: دسته شکستگی‌های برداشت شده در ایستگاه ۱۵



شکل ۳-۳۹: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۵ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه-های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک با مشخصات N19W,83NW است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (B) در این ایستگاه N52W,24SW می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۵ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۱۶

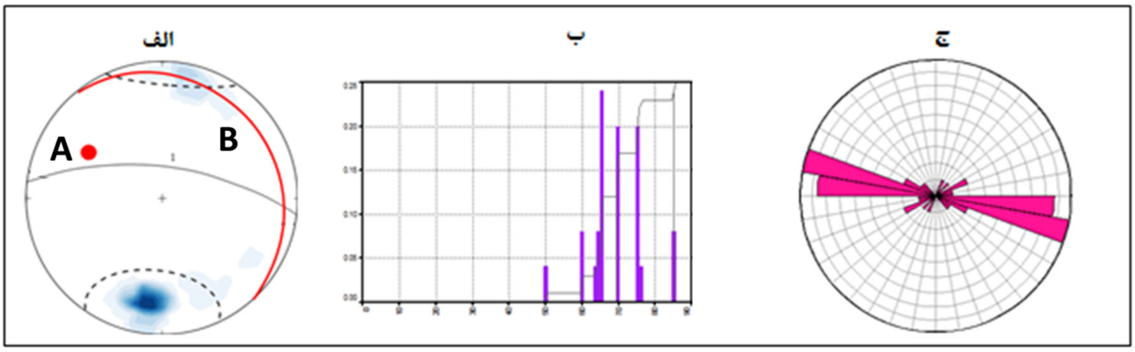
این ایستگاه در یال جنوبی تاقدیس قرار دارد (شکل ۳-۹). در این ایستگاه اکثر رخنمون شکستگی‌ها بر روی ماسه‌سنگ‌های ریزدانه که به‌صورت میان لایه در واحدهای ماسه سنگی و آهکی سازند قرمز بالایی است. افق ماسه‌سنگی مذکور با لایه‌بندی نازک حدود ۵ متر ضخامت دارد. نمودار کانتوری قطب شکستگی‌ها (شکل ۳-۴۰ الف) نشان می دهد که برای قطب این شکستگی‌ها یک صفحه به عنوان نماینده دسته شکستگی ها با مشخصات N19W,80NE می توان ترسیم کرد؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N40W,28SW می‌باشد. همانطور که از نمودار شیب شکستگی ها (شکل ۳-۴۰ ب) مشخص است، شیب آن بین ۲۰ تا ۹۰ متغیر است. با توجه به نمودار گل سرخی این ایستگاه (شکل ۳-۴۰ ج)، اکثر شکستگی‌ها در این ناحیه داری روند N75E هستند. با توجه به موقعیت محور تاقدیس (نقطه A)، در این ایستگاه اکثر شکستگی‌ها از نوع طولی و موازی با محور چین هستند.



شکل ۳-۴۰: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۶ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک با مشخصات **N19W,80NE** است (مشخصات صفحه لایه-بندی (**B**) در این ایستگاه **N40W,28SW** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۲۰ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۱۷

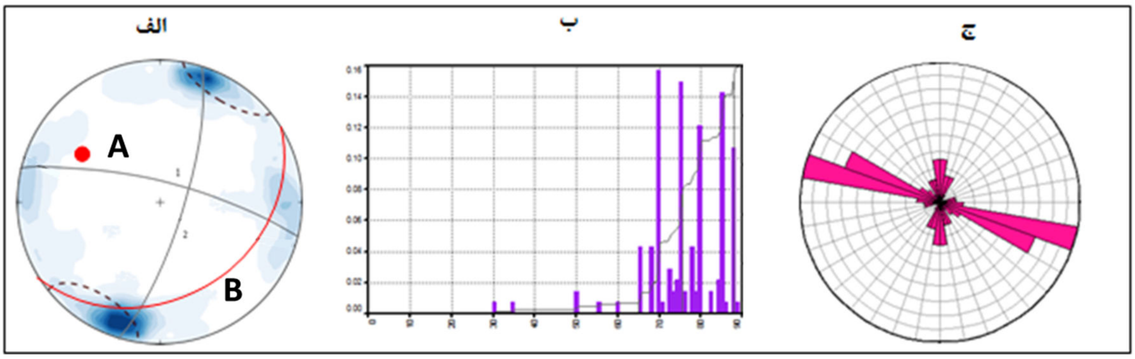
این ایستگاه در یال جنوبی تاقدیس قرار دارد (شکل ۳-۹). در این ایستگاه اکثر رخنمون شکستگی‌ها بر روی ماسه‌سنگ‌های ریزدانه که به‌صورت میان لایه در واحدهای ماسه سنگی و آهکی سازند قرمز بالایی است. افق ماسه‌سنگی مذکور با لایه‌بندی نازک حدود ۵ متر ضخامت دارد. با توجه به نمودار کانتوری قطب شکستگی‌ها (شکل ۳-۴۱ الف) نشان می دهد که برای قطب این شکستگی‌ها یک صفحه به عنوان نماینده دسته شکستگی ها با مشخصات N79W,75NE می توان ترسیم کرد؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N40W,10NE می‌باشد. همانطور که از نمودار شیب شکستگی ها (شکل ۳-۴۱ ب) مشخص است، شیب آن بین ۵۰ تا ۹۰ متغیر است. با توجه به نمودار گل سرخی این ایستگاه (شکل ۳-۴۱ ج)، اکثر شکستگی‌ها در این ناحیه روند تقریبا N75W دارند. همانطور که موقعیت محور تاقدیس (نقطه A) نشان می دهد، در این ایستگاه اکثر شکستگی‌ها از نوع مایل هستند.



شکل ۳-۴۱: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۷ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک با مشخصات **N79W,75NE** است (مشخصات صفحه لایه- بندی (**B**) در این ایستگاه **N40W,10NE** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۵۰ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۱۸

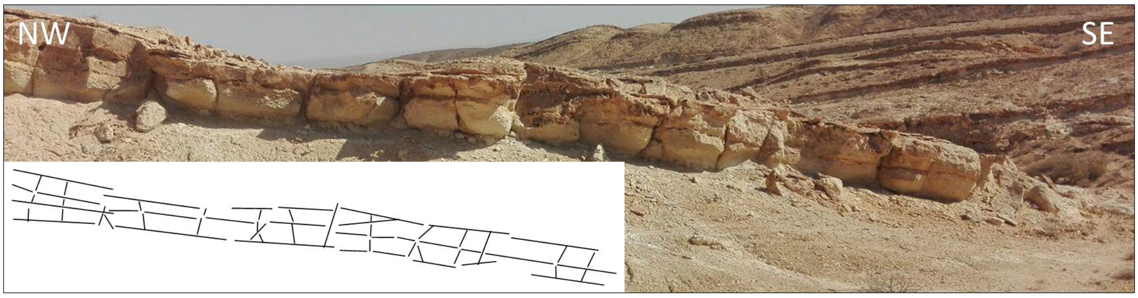
این ایستگاه در بخش انتهایی یال شمالی تاقدیس قرار دارد (شکل ۳-۹). در این ایستگاه اکثر رخنمون شکستگی‌ها بر روی ماسه‌سنگ‌های ریزدانه که به‌صورت میان لایه در واحدهای ماسه سنگی و آهکی سازند قرمز بالایی است، قرار دارند. افق ماسه‌سنگی مذکور با لایه‌بندی نازک است. نمودار کانتوری قطب شکستگی‌ها (شکل ۳-۴۲ الف) نشان می دهد که برای قطب این شکستگی‌ها دو صفحه به عنوان نماینده دسته شکستگی ها با مشخصات N72W,81NE و N17E,77E می توان ترسیم کرد که با توجه به موقعیت محور تاقدیس (نقطه A)، دو دسته شکستگی اول طولی (موازی با محور چین) و دسته سوم از نوع عرضی (عمود بر محور چین) است؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N58E,19SE می‌باشد. همانطور که از نمودار شیب شکستگی ها (شکل ۳-۴۲ ب) مشخص است، شیب شکستگی‌ها بین ۳۰ تا ۹۰ متغیر بوده اما اکثر آن ها شیبی بیش از ۷۰ درجه دارند. با توجه به نمودار گل سرخی این ایستگاه (شکل ۳-۴۲ ج) می‌توان دریافت که اکثر شکستگی‌ها در این ناحیه داری روند تقریبا N75W هستند.



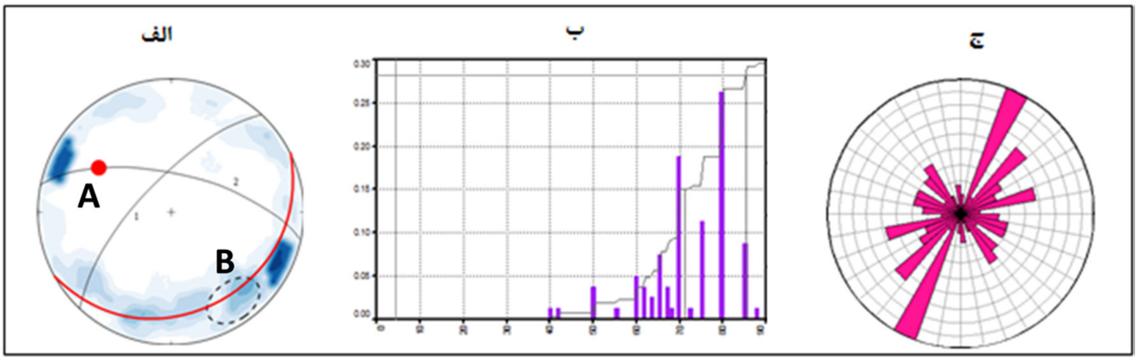
شکل ۳-۴۲: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۸ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک و دو به ترتیب با مشخصات **N72W,81NE** و **N17E,77E** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N58,19SE** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۳۰ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۱۹

این ایستگاه در بخش انتهایی یال شمالی تاقدیس قرار دارد (شکل ۳-۹). در این ایستگاه اکثر رخنمون شکستگی‌ها بر روی ماسه‌سنگ‌های ریزدانه که به‌صورت میان لایه در واحدهای ماسه سنگی و آهکی سازند قرمز بالایی است، قرار دارند (شکل ۳-۴۳). افق ماسه‌سنگی مذکور با لایه‌بندی نازک است. نمودار کانتوری قطب شکستگی‌ها (شکل ۳-۴۴ الف) نشان می دهد که برای قطب این شکستگی‌ها سه صفحه به عنوان نماینده دسته شکستگی ها با مشخصات N52E,76SW و N75W,73NE می توان ترسیم کرد که با توجه به محور تاقدیس ها (نقطه A)، دسته اول شکستگی ها از نوع طولی (موازی با محور چین) و دو دسته دیگر از نوع عرضی (عمود بر محور چین) است؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N65E,22SE می‌باشد. همانطور که از نمودار شیب شکستگی‌ها (شکل ۳-۴۴ ب) مشخص است، شیب شکستگی ها بین ۴۰ تا ۹۰ متغیر است. نمودار گل سرخی این ایستگاه (شکل ۳-۴۴ ج) نشان می‌دهد که اکثر شکستگی‌ها در این ایستگاه روند N25E دارند.



شکل ۳-۴۳: نمایش درزه‌های ایستگاه شماره ۱۹ (دید به سمت شمال شرق)

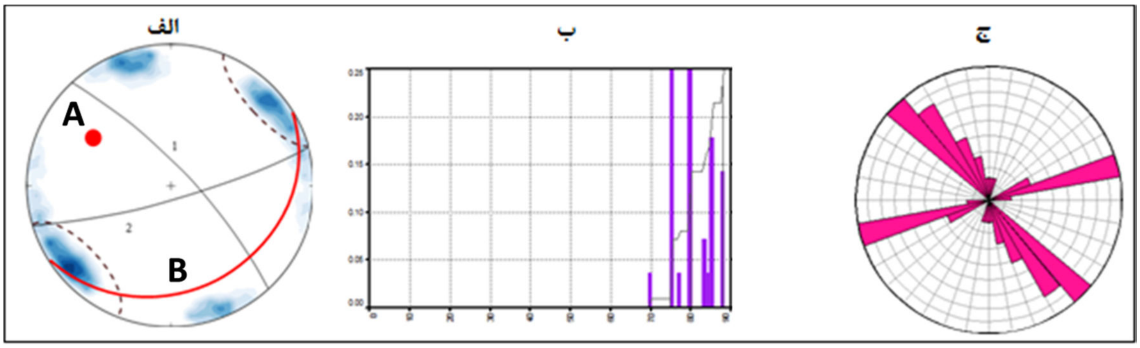


شکل ۳-۴۴: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۱۹ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک، دو و سه به ترتیب با مشخصات **N52E,76SW** و **N75W,73NE** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N65E,22SE** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۴۰ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۲۰

این ایستگاه در بخش انتهایی یال شمالی تاقدیس قرار دارد (شکل ۳-۹). در این ایستگاه اکثر رخنمون شکستگی‌ها بر روی ماسه‌سنگ‌های ریزدانه که به‌صورت میان لایه در واحدهای ماسه سنگی و آهکی سازند قرمز بالایی است، قرار دارد. افق ماسه‌سنگی مذکور با لایه‌بندی نازک است. با توجه به نمودار کانتوری قطب شکستگی‌ها (شکل ۳-۴۵ الف) می‌توان برای قطب این شکستگی‌ها دو صفحه به عنوان نماینده دسته شکستگی ها با مشخصات N39W,77NE و N74E,77SE می توان ترسیم کرد که با توجه به محور تاقدیس (نقطه A) به ترتیب طولی (موازی با محور چین) و عرضی (عمود بر محور

چین) هستند؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N57E,15SE می‌باشد. همانطور که از نمودار شیب شکستگی‌ها (شکل ۳-۴۵ ب) مشخص است، شیب آن بین ۵۰ تا ۹۰ متغیر است. نمودار گل سرخی (شکل ۳-۴۵ ج) نشان می‌دهد که اکثر شکستگی‌ها در این ایستگاه روند NE-SW را دارا می باشند.

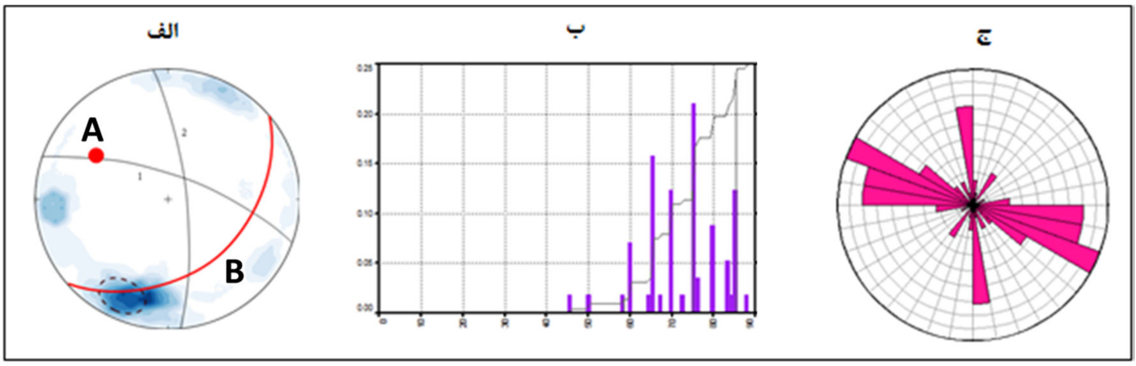


شکل ۳-۴۵: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۲۰ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک، دو به ترتیب با مشخصات **N39W,77NE** و **N74,77SE** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N57E,15SE** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۵۰ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۲۱

این ایستگاه در بخش انتهایی یال شمالی تاقدیس قرار دارد (شکل ۳-۹). اندازه‌گیری بر روی واحدهای ماسه‌سنگی و آهکی سازند قرمز بالایی انجام شده است. ضخامت لایه‌ها، متوسط تا نازک است. با توجه به نمودار کانتوری قطب شکستگی‌ها (شکل ۳-۴۶ الف) نشان می‌دهد که برای قطب این شکستگی‌ها دو صفحه به‌عنوان نماینده دسته شکستگی‌ها با مشخصات N71W,98NE و N05W,73NE می‌توان ترسیم کرد که با توجه به محور تاقدیس (نقطه A) به ترتیب طولی (موازی با محور چین) و عرضی (عمود بر محور چین) هستند؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N50E,31SE می‌باشد. همان‌طور که از نمودار شیب شکستگی‌ها (شکل ۳-۴۶ ب) مشخص است،

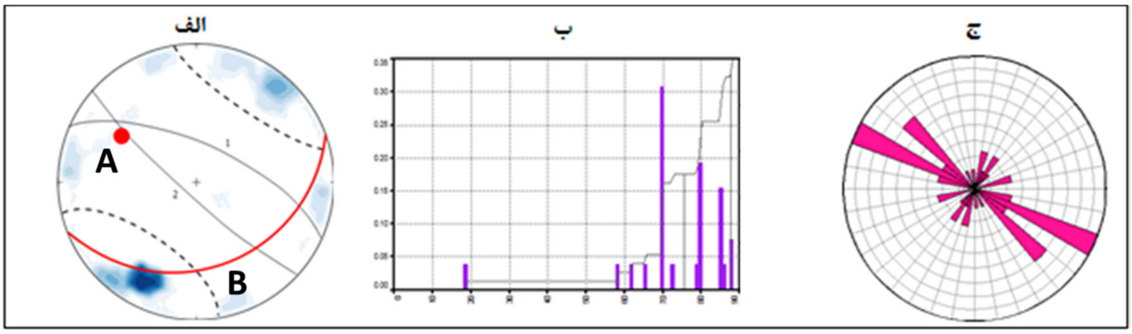
شیب آن بین ۴۵ تا ۹۰ متغیر است. با توجه به نمودار گل سرخی (شکل ۳-۴۶ ج)، اکثر شکستگی‌ها در این ایستگاه روند تقریباً N65W دارند.



شکل ۳-۴۶: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۲۱ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک، دو به ترتیب با مشخصات **N71W,98NE** و **N05W,73NE** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N50E,31SE** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۴۵ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۲۲

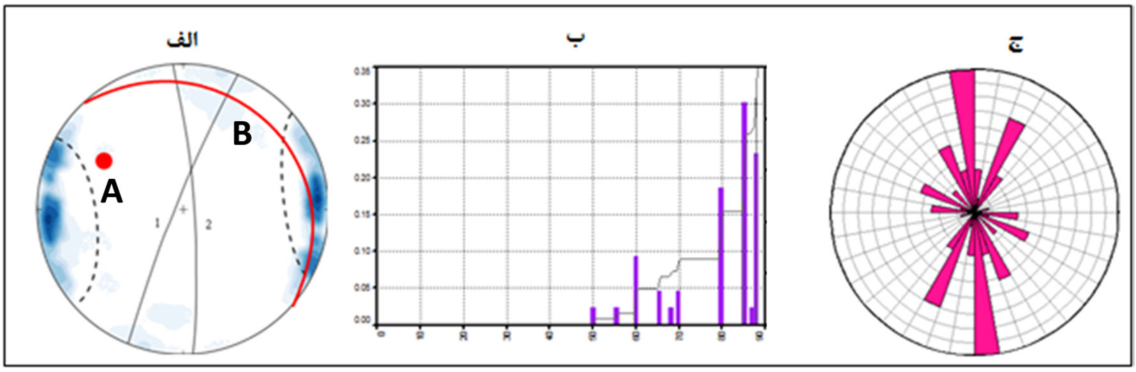
این ایستگاه در بخش انتهایی یال شمالی تاقدیس قرار دارد (شکل ۳-۹). لیتولوژی در این ایستگاه از ماسه‌سنگ و آهک سازند قرمز بالایی است. افق ماسه‌سنگی مذکور با لایه‌بندی نازک است. نمودار کانتوری قطب شکستگی‌ها (شکل ۳-۴۷ الف) نشان می‌دهد که برای قطب این شکستگی‌ها دو صفحه به‌عنوان نماینده دسته شکستگی‌ها با مشخصات N66W,67NE و N48W,82SW می‌توان ترسیم کرد که با توجه به محور تاقدیس (نقطه A)، اکثر شکستگی‌ها از نوع طولی و موازی با محور چین هستند؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N70E,25SE می‌باشد. همان‌طور که از نمودار شیب شکستگی‌ها (شکل ۳-۴۷ ب) مشخص است، شیب آن بین ۵۸ تا ۹۰ متغیر است. با توجه به نمودار گل سرخی این ایستگاه (شکل ۳-۴۷ ج)، اکثر شکستگی‌ها در این ناحیه روند تقریباً N65W دارند.



شکل ۳-۴۷: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۲۲ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک، دو به ترتیب با مشخصات **N66W,67NE** و **N48W,82SW** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N70E,25SE** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۵۸ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۲۳

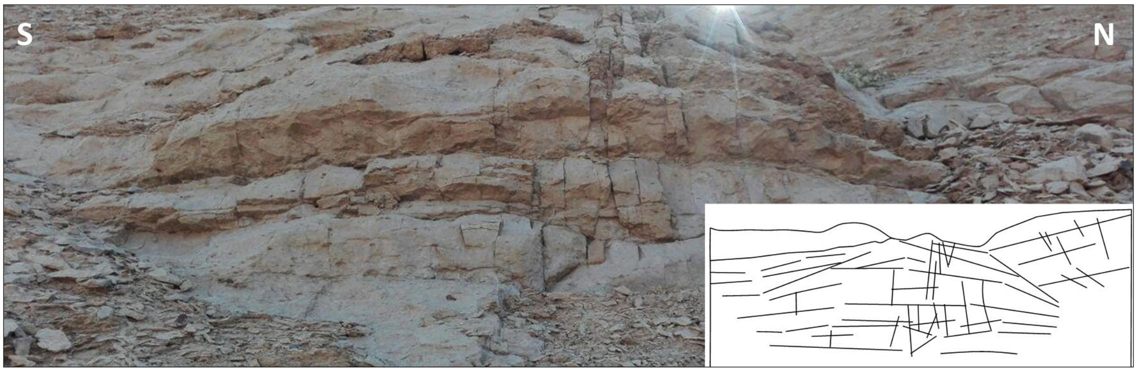
این ایستگاه در یال شمال‌خاوری تاقدیس قرار دارد (شکل ۳-۹). در این ایستگاه اکثر رخنمون شکستگی‌ها بر روی ماسه‌سنگ‌های ریزدانه که به‌صورت میان لایه در واحدهای ماسه‌سنگی و آهکی سازند قرمز بالایی است، قرار دارد. افق ماسه‌سنگی مذکور با لایه‌بندی نازک است. با توجه به نمودار کانتوری قطب شکستگی‌ها (شکل ۳-۴۸ الف)، می‌توان برای قطب این شکستگی‌ها دو صفحه به‌عنوان نماینده دسته شکستگی‌ها با مشخصات N22E,84NW و N04W,81E می‌توان ترسیم کرد که با توجه به محور تاقدیس (نقطه A)، شکستگی‌ها از نوع عرضی و مایل با محور چین هستند؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N40W,10NE می‌باشد. همان‌طور که از نمودار شیب شکستگی‌ها (شکل ۳-۴۸ ب) مشخص است، شیب شکستگی‌ها بین ۶۰ تا ۹۰ متغیر است. با توجه به نمودار گل سرخی (شکل ۳-۴۸ ج)، روند شکستگی‌ها در این ایستگاه N5W است.



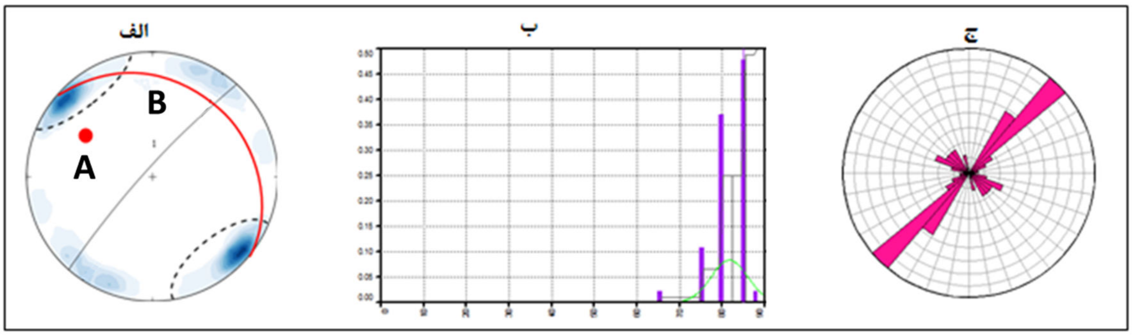
شکل ۳-۴۸: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۲۳ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های شماره یک، دو به ترتیب با مشخصات **N22E,84NW** و **N04W,81E** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N40W,10NE** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بین ۶۰ تا ۹۰ درجه است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

ایستگاه شماره ۲۴

این ایستگاه در یال شمال‌خاوری تاقدیس قرار دارد (شکل ۳-۹). اندازه‌گیری در واحدهای ماسه‌سنگی تخریبی تا حدی دارای سیمان آهکی سازند قرمز بالایی صورت گرفته است (شکل ۳-۴۹). در بخش آهکی خرده فسیل دیده‌شده است. در این ناحیه شکستگی‌هایی در ابعاد مختلفی وجود دارند. با استفاده از تجمعات قطب شکستگی‌ها در نمودار کانتوری (شکل ۳-۵۰ الف) یک صفحه بر روی استریوگرام به نمایندگی از درجات شکستگی ترسیم شده است. صفحه با مشخصات N42,82SW است؛ همچنین مشخصات صفحه لایه بندی (B) در این ایستگاه N48W,10NE می‌باشد. با توجه به نمودار شیب (شکل ۳-۵۰ ب)، شیب شکستگی‌ها در این ایستگاه بیش از ۶۵ درجه است. با مشاهده نمودار گل سرخی (شکل ۳-۵۰ ج) شکستگی‌ها می‌توان دریافت که روند شکستگی‌ها در این ناحیه N45E است. با توجه به موقعیت محور (نقطه A)، در این ایستگاه شکستگی‌ها از نوع عرضی و عمود بر محور چین هستند.



شکل ۳-۴۹: نمایش درزه‌های ایستگاه شماره ۲۴ (دید عکس به سمت غرب)



شکل ۳-۵۰: الف- نمودار کانتوری شکستگی‌های ایستگاه شماره ۲۴ بر روی نیم‌کره پایینی شبکه هم مساحت. صفحه‌های نماینده قطب دسته شکستگی‌های با مشخصات **N42,82SE** است (مشخصات صفحه لایه‌بندی (**B**) در این ایستگاه **N48W,10NE** می‌باشد). ب- نمودار شیب شکستگی‌ها که نشان می‌دهد شیب شکستگی‌ها بیش از ۶۵ درجه است. ج- نمودار گل‌سرخی آزیموت شکستگی‌ها.

۳-۱۲- پارامترهای شکستگی

الگوهای شکستگی‌ها منعکس‌کننده تاریخچه تکتونیکی منطقه است. شکستگی‌ها در مسائل مهندسی، ژئوتکنیکی و هیدروژئولوژیکی بسیار مهم هستند زیرا آن‌ها گذرگاه‌هایی را به‌منظور عبور جریان سیال فراهم می‌کنند. بسیاری از مخازن نفت، سیالات زمین‌گرمایی و آب در سنگ‌های شکافدار تشکیل می‌شوند. به‌علاوه آن‌ها پایداری ساختارها و حفرات مهندسی‌شده را تحت تأثیر قرار می‌دهند. ازاین‌رو، مطالعه ویژگی‌هایی از الگوهای شکستگی در رخنمون‌ها توسط بازسازی سکانس‌هایی از وقایع تکتونیکی به‌منظور پیش‌بینی الگوهای شکستگی در این مناطق ضروری است (National Research council, 1996). در این تحقیق از مجموعه شکستگی‌های رخنمون یافته در تاقدیس مره و دوازده امام در دو سازند اصلی سرخ‌بالایی و سازند قم پارامترهای شکستگی ازجمله امتداد، طول، فاصله ، چگالی، شدت و اندازه توضیح داده شده است.

۳-۱۲-۱- توزیع امتدادی شکستگی‌ها

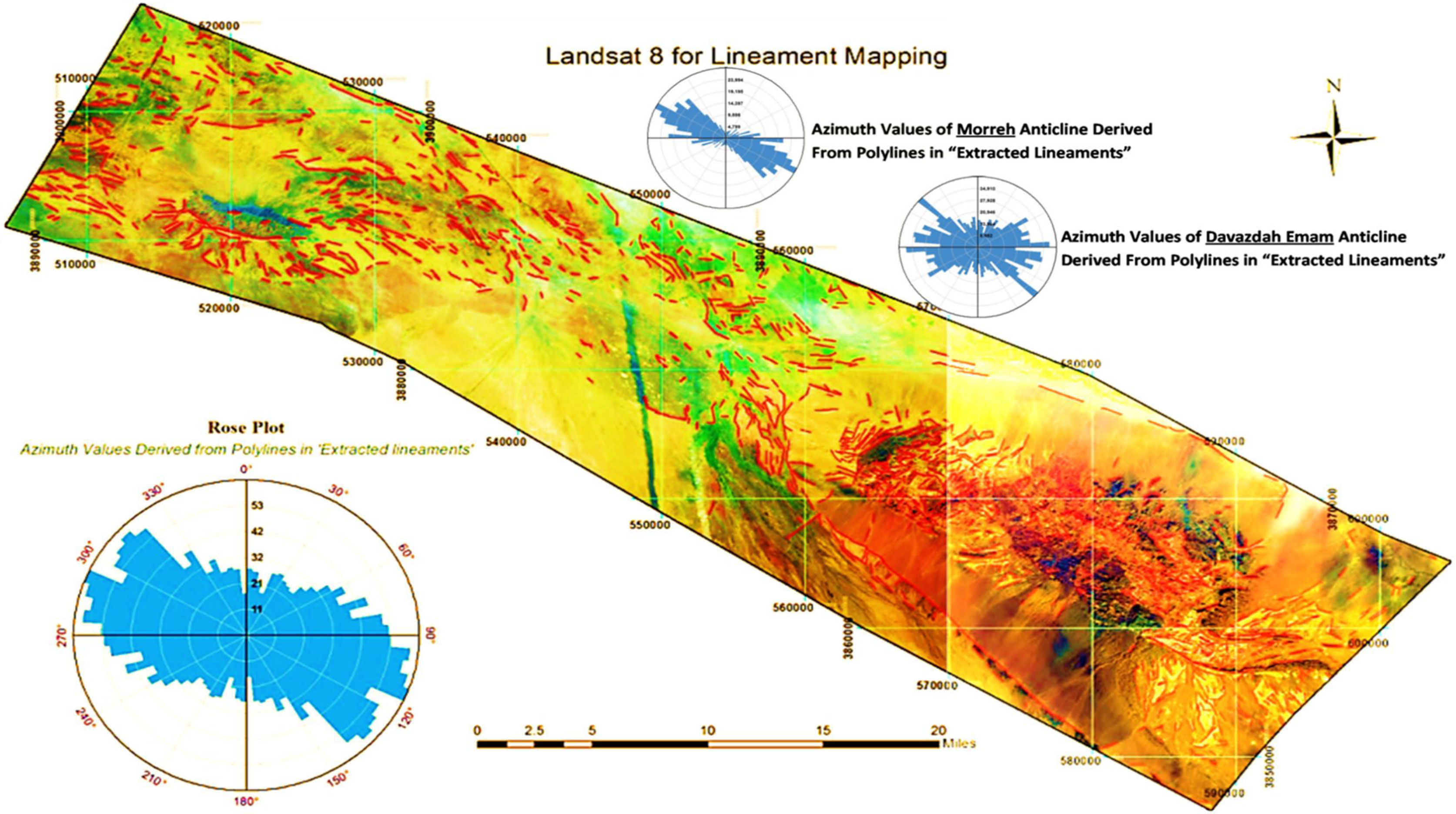
امروزه استفاده از تکنولوژی سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای[1] در شاخه‌های مختلف علوم زمین ازجمله اکتشاف معدن، شناسایی جنس سنگ‌ها، شناسایی گسل‌ها، تهیه نقشه، مدل رقومی ارتفاعی و غیره کاربرد دارد. از مهم‌ترین موارد استفاده از علم سنجش‌ازدور در زمین‌شناسی جهت مطالعه زمین‌ساخت ناحیه‌ای و منطقه‌ای است که این امر به دلیل پوشش وسیع داده‌های سنجش‌ازدور است. شناسایی و تشخیص شکستگی‌ها از روی تصاویر ماهواره‌ای نیاز به‌دقت بالا و تجربه کافی دارد. در زیر چندین راه برای شناسایی خطواره‌های تکتونیکی پیشنهادشده است:

- تغییر ناگهانی در مرزهای لیتولوژی
- توجه به جابجایی واحدهای سنگی
- تشخیص جابه‌جایی آبراهه‌ها

برای ترسیم نقشه شکستگی‌های منطقه، از تصاویر ماهواره‌ای پایگاه اینترنتی Flash Earth که دارای کیفیت بالا و قدرت تفکیک مکانی مناسب هستند، استفاده شده است. همچنین تصاویر Google Earth سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ به‌منظور تکمیل اطلاعات نقشه شکستگی‌های تکتونیکی مورد استفاده قرار گرفته است. جهت شناسایی شکستگی‌های منطقه اقداماتی ازجمله بررسی تصاویر ماهواره‌ای لندست در محیط ENVI، تصاویر SRTM در محیط Global Mapper، تصاویر ماهواره‌ای در Google Earth و مطالعات صحرایی صورت گرفته است. در این تحقیق برای شناسایی خطواره‌ها و تهیه نقشه شکستگی‌های تکتونیکی از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ورامین، رباط‌کریم و نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰

[1] Satellite image

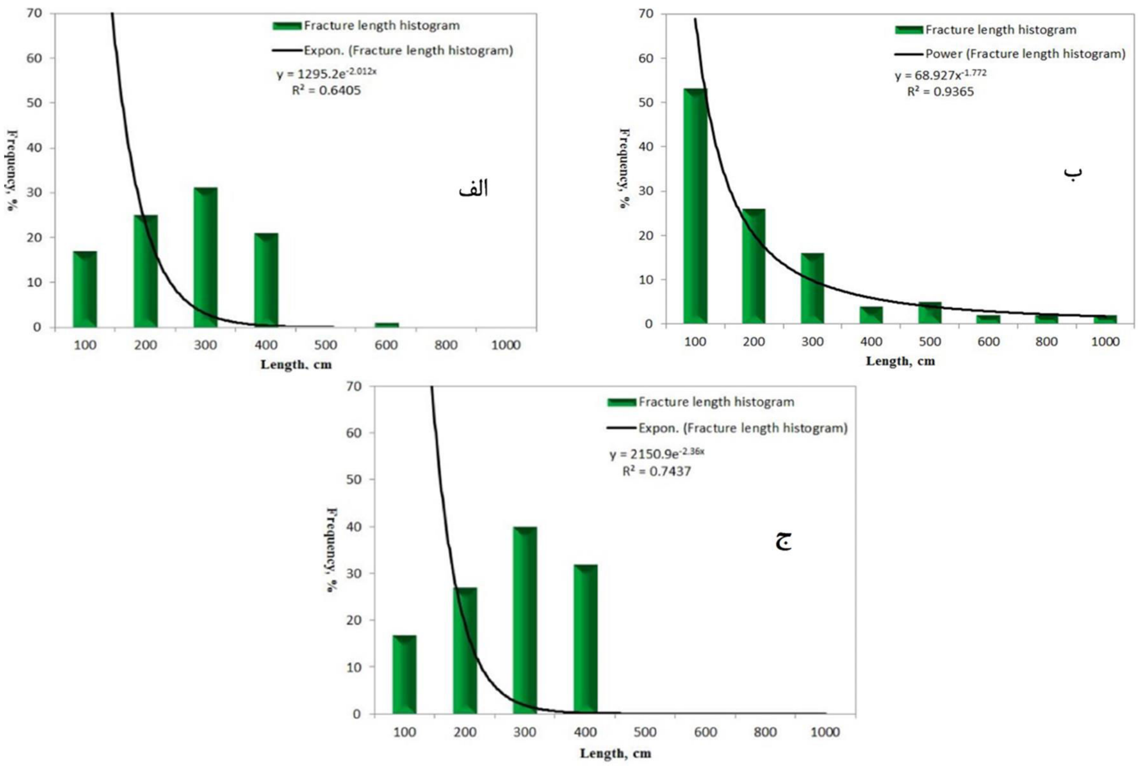
تهران و آران و همچنین تصاویر لندست ۸ باند ۲-۳-۴ با استفاده از فیلترهای Directional و High Pass و الگوریتم انواع فیلترهای جهتی برای بازسازی فرآیندهای مختلف خطواره در محیط ENVI نسبت به مشخص کردن شکستگی‌ها اقدام شده است. سپس در محیط ArcGIS تصویر فیلتر شده پس از حذف و تصحیح خطواره‌هایی ناشی از فعالیت‌های انسانی (جاده،پوشش گیاهی خطی) رقومی شده است (شکل ۳-۵۱). نتایج حاصل از مطالعات دورسنجی و برداشت‌های صحرایی پایه و اساس تحلیل شکستگی‌های تاقدیس مره و دوازده امام است. برای مطالعه توزیع جهتی شکستگی‌های تاقدیس مره و دوازده امام در برداشت‌های صحرایی و دور سنجی، جهت ترجیحی آن‌ها به‌صورت آزیموت تعیین شده است و نمودار گل سرخی آن‌ها نیز در شکل ۳-۵۱ رسم شده است. همان‌گونه که در خروجی تصاویر ماهواره‌ای شکل ۳-۵۱ مشهود است، در تاقدیس مره شکستگی‌هایی با راستایN60W فراوانی بیشتری دارند و شکستگی‌های را راستای N10E از فراوانی کمتری برخوردارند. و در تاقدیس دوازده امام شکستگی‌هایی با راستای N45W, N85E,N55E فراوانی بیشتری دارند و شکستگی‌های را راستای N15E از فراوانی کمتری برخوردارند.



شکل ۳-۵۱: نقشه خطواره‌های تکتونیکی منطقه با استفاده از نرم‌افزار **ENVI** ترکیب باند (**4,3,2**) و نرم‌افزار **Arcgis**

۳-۱۲-۲- توزیع طولی شکستگی‌ها

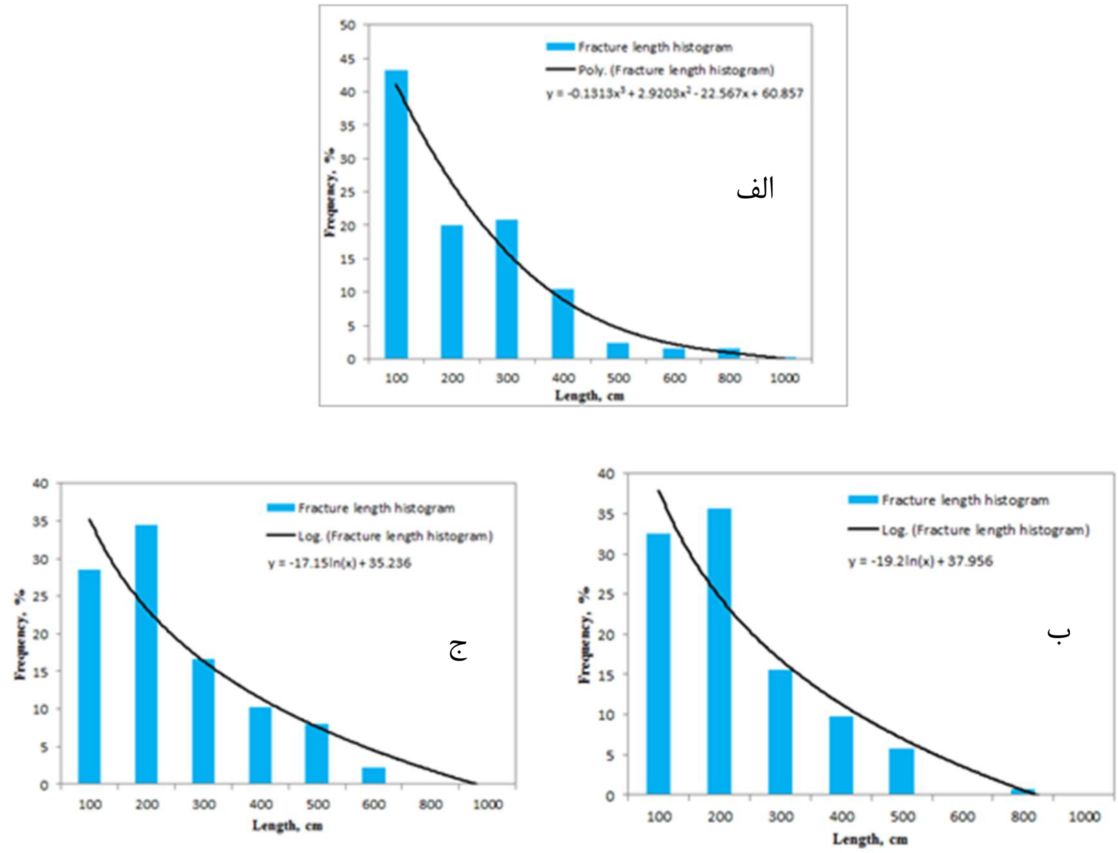
طول شکستگی‌ها پارامتر مهمی برای محاسبه و بررسی ویژگی‌های آماری آن‌ها است (Casas, 2000). همچنین طول شکستگی‌ها نشان‌دهنده مقدار تنش و مدت‌زمان اعمال تنش است. ازاین‌رو به‌طورکلی افزایش تنش سبب افزایش طول شکستگی می‌شود؛ البته باید توجه داشت که شکستگی‌های بزرگ در مقایسه با شکستگی‌ها کوچک‌تر تنها در واتنش‌های بزرگ شرکت می‌کنند (Pollard and Aydin, 1988). به‌منظور تحلیل ارتباط طول شکستگی با واتنش، تحلیل توزیع طولی شکستگی‌ها انجام می‌شود. در این تحقیق پارامتر طول ناحیه لولا، یال شمالی و یال جنوبی برداشت‌شده و نمودار هیستوگرام آن در شکل ۳-۵۲ و ۳-۵۳ نمایش داده شده است.



شکل ۳-۵۲: الف- هیستوگرام فراوانی طول دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی تاقدیس مره در ناحیه لولا.

ب- هیستوگرام فراوانی طول دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی در ناحیه یال جنوبی.

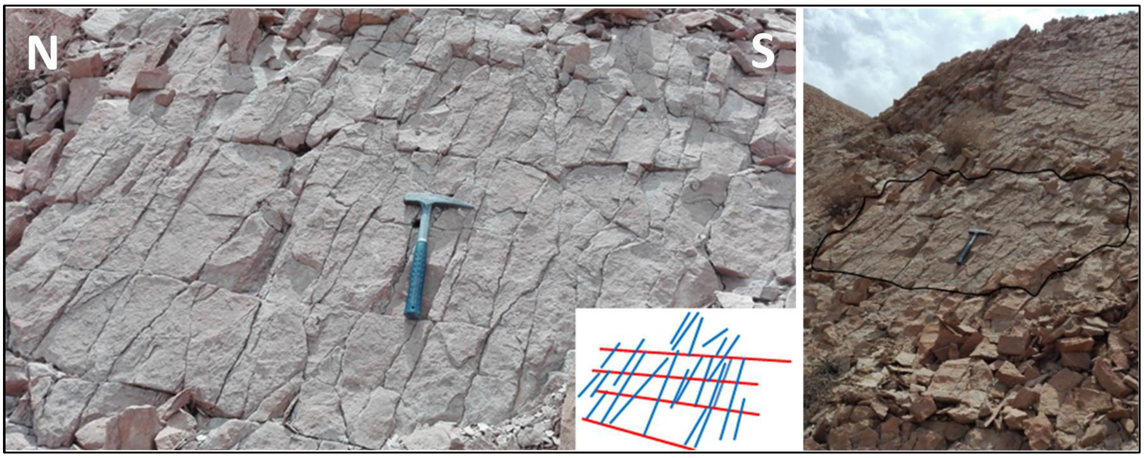
ج- هیستوگرام فراوانی طول دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی در ناحیه یال شمالی.



شکل ٣-٥٣: الف-هیستوگرام فراوانی طول دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی تاقدیس دوازده امام در ناحیه لولا. ب- هیستوگرام فراوانی طول دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی در ناحیه یال جنوبی. ج- هیستوگرام فراوانی طول دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی در ناحیه یال شمالی.

٣-١٢-٣- توزیع فاصله‌ای شکستگی‌ها

یکی از پارامترهای قابل‌توجه در مطالعه شکستگی‌های سیستماتیک، بررسی فاصله شکستگی‌ها است (Casas, 2000). فاصله درزه‌ها به‌صورت عمود بر درزه‌های سیستماتیک محاسبه می‌شود (شکل ٣-٥۴). این فواصل وابسته به لیتولوژی و ضخامت لایه‌هاست. هیستوگرام طول شکستگی‌ها سبب درک بهتری از موقعیت فضایی شکستگی‌ها و نحوی پیدایش آن‌ها می‌شود (Zangerl, 2006).



شکل ۳-۵۴: نمایش پارامتر فاصله شکستگی‌ها همراه با دو مجموعه شکستگی (دید عکس به سمت شرق).

همچنین داده‌های صحرایی به این موضوع اشاره دارند که عواملی که فاصله درزه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند عبارت‌اند از:

۱. دو مجموعه درزه در یک واحد سنگ‌شناسی یکسان اغلب دارای فواصل مختلف هستند (Hodgson, 1961; Barton, 1983).

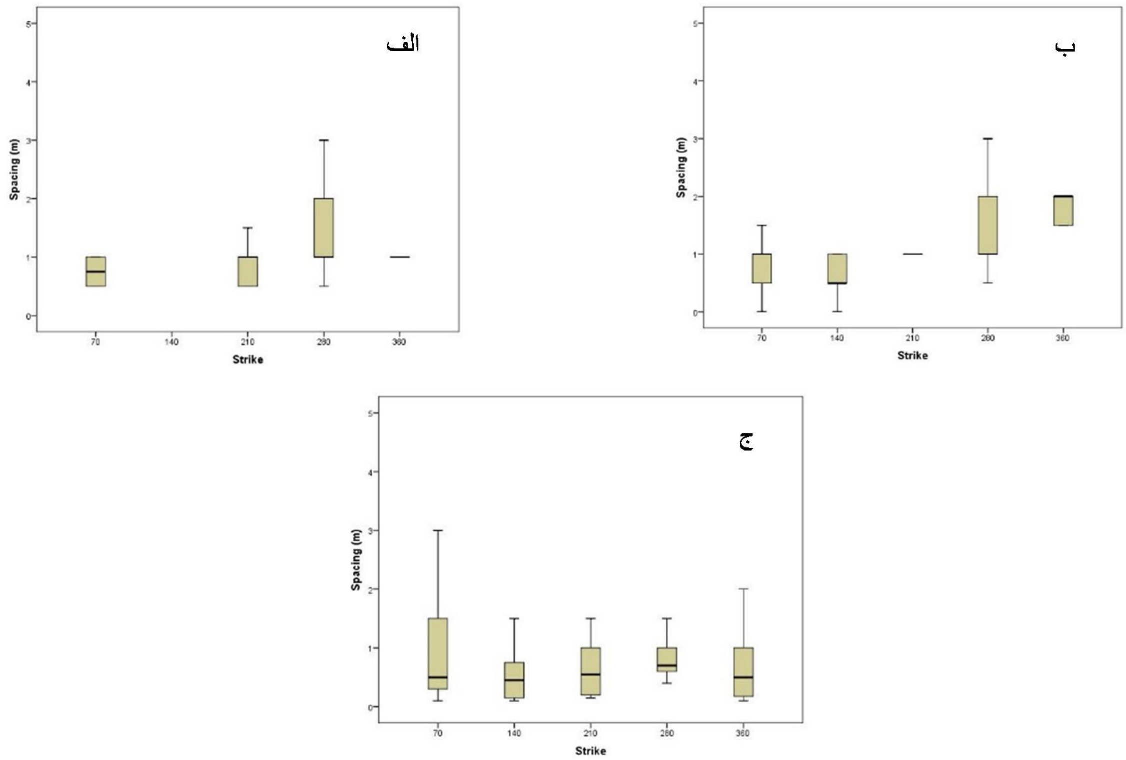
۲. فواصل درزه‌ها در واحدهای سنگ‌شناسی مختلف باضخامت قابل قیاس، می‌تواند متفاوت باشد (Harris et al., 1960)

۳. فاصله درزه‌ها می‌تواند هنگامی‌که یک دسته شکاف تکامل می‌یابد، تغییر کند (Aydin and DeGraff, 1988).

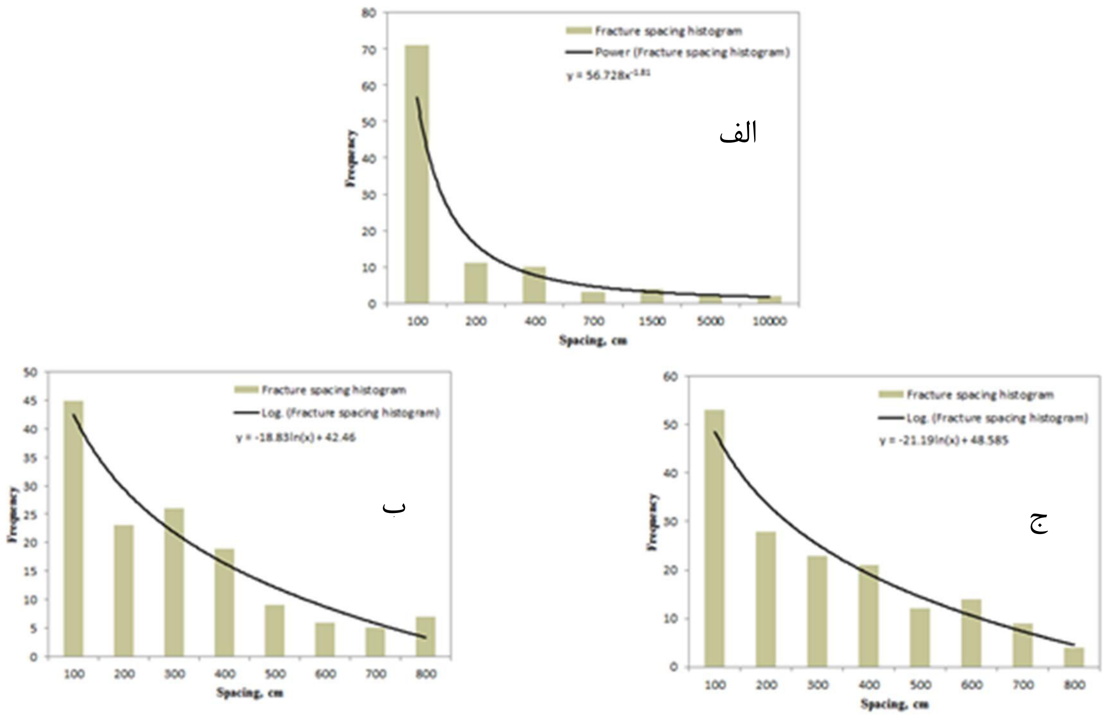
در نمودارهای هیستوگرام، در بیشتر موارد توزیع نمایی منفی بهترین انطباق را با داده‌ها نشان می‌دهد. توزیع نمایی بر اساس مفاهیم ریاضی، توزیع زمان رسیدن یک پیشامد است که با فرمول زیر بیان می‌شود:

$$F(x) = ye^{-ye} \qquad (۱-۳)$$

که در آن f(x) فراوانی فواصل شکستگی‌ها به طول x و y میانگین تعداد فواصل شکستگی‌ها در واحد طول است. نمودار جعبه‌ای فواصل شکستگی‌ها در ناحیه لولا، یال شمالی و یال جنوبی در شکل ۳-۵۵ و ۳-۵۶ آورده شده است. نمایی بودن نسبت تعداد به فواصل شکستگی‌ها در نمودار علاوه بر بلوغ ساختاری بیانگر توسعه خوب گسل‌ها در یک ناحیه است.



شکل ۳-۵۵: الف- نمودار جعبه‌ای فاصله دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی تاقدیس مره در ناحیه یال شمالی، ب- نمودار جعبه‌ای فاصله دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی تاقدیس مره در ناحیه یال جنوبی، ج- نمودار جعبه‌ای فاصله دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی تاقدیس مره در ناحیه لولا.



شکل ۳-۵۶: الف- نمودار هیستوگرام فاصله‌داری دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی تاقدیس دوازده امام در ناحیه لولا، ب- نمودار هیستوگرام فاصله‌داری دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی تاقدیس دوازده امام در ناحیه یال جنوبی، ج- نمودار هیستوگرام فاصله‌داری دسته شکستگی‌های حاصل از برداشت صحرایی تاقدیس دوازده امام در ناحیه یال شمالی.

۳-۱۲-۴- توزیع چگالی شکستگی‌ها

در توصیف شکستگی یک توده سنگ سه پارامتر تراکم، شدت و اندازه کلیدی هستند. پارامتر چگالی شکستگی‌ها که از پارامترهای کاربردی در مطالعات آماری شکستگی‌ها است، معمولاً به‌عنوان تعدادی از شکستگی جداشده مشاهده‌شده و یا بخش‌های شکستگی در واحد طول، مساحت، حجم بیان می‌شود. از عوامل مؤثر در چگالی شکستگی‌ها می‌توان ضخامت و لیتولوژی را نام برد. شدت شکستگی به‌طور قابل‌توجه ای تابع تنش یا مقاومت است (Nelson, 1956). احتمالاً به همین دلیل در رخنمون سنگ‌های شکننده، شدت شکستگی قابل انطباق با مقاومت سنگ است. بنابراین سنگی که مقاومت آن بیشتر است تعداد شکستگی‌های آن بیشتر و فاصله‌ی شکستگی‌های آن کمتر است. لازم به ذکر است که در رخنمون‌های سطحی، به دلیل ترکیب فرآیندهای هوازدگی و باربرداری، شدت شکستگی

مقداری بیشتر از موقعیت تحت‌الارضی هم ارزشان است. در این تحقیق سعی شده است که شدت، تراکم و اندازه شکستگی‌ها در چند ایستگاه باضخامت یکسان و لیتولوژی متفاوت بررسی و مقایسه شوند (شکل ۳-۵۷). این پارامتر یک مقدار وابسته به مقیاس است که به آن "چگالی ظاهری" گفته می‌شود. لازم به ذکر است چگالی ظاهری بالاتر از تراکم واقعی است و بزرگی بیش‌ازحد این تخمین، با کاهش اندازه نمونه افزایش می‌یابد. استفاده از این برآوردگرها نیازمند شمارشی از تعداد آثار شکستگی متقاطع با محیط دایره (n) و شمارش تعداد اتمام آثار شکستگی در توده سنگی در فضای داخلی دایره است (m).

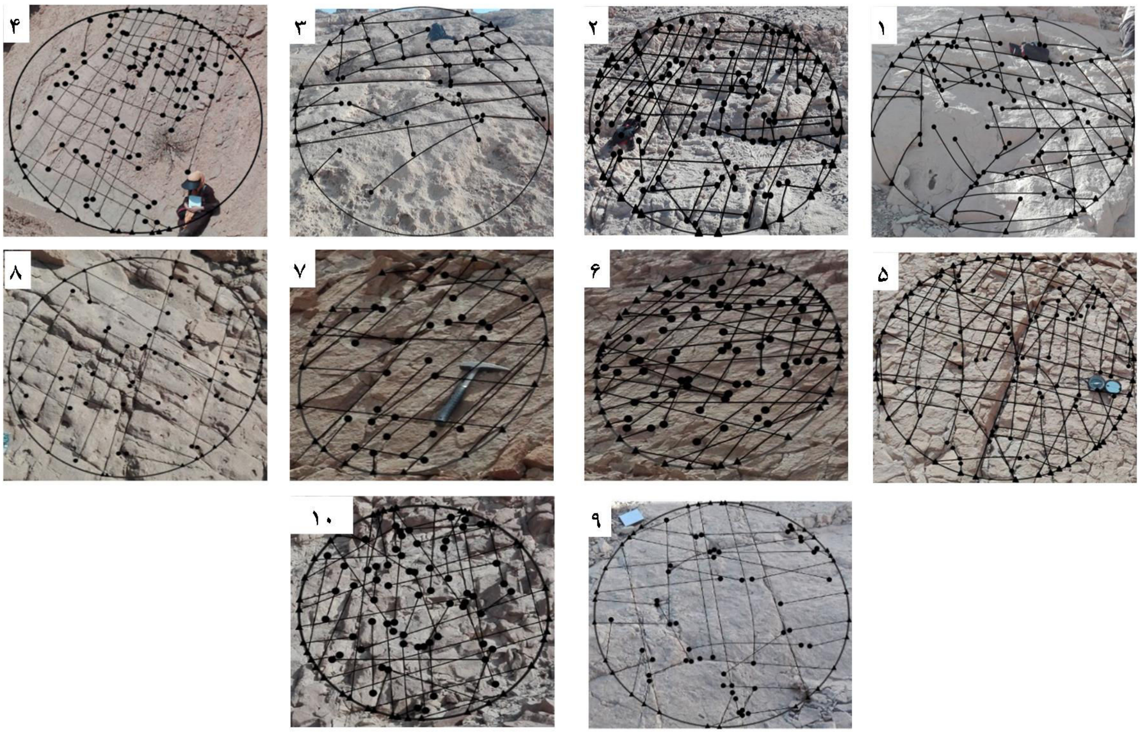
$$\rho = \frac{m}{2\pi r^2} \tag{۳-۲}$$

$$\mu = \left(\frac{\pi r}{2}\right)\left(\frac{n}{m}\right) \tag{۳-۳}$$

$$I = \frac{n}{4r} \tag{۳-۴}$$

که در آن r شعاع دایره ناحیه موردبررسی؛ ρ، μ و I به‌ترتیب تراکم، شدت و اندازه شکستگی‌ها است.

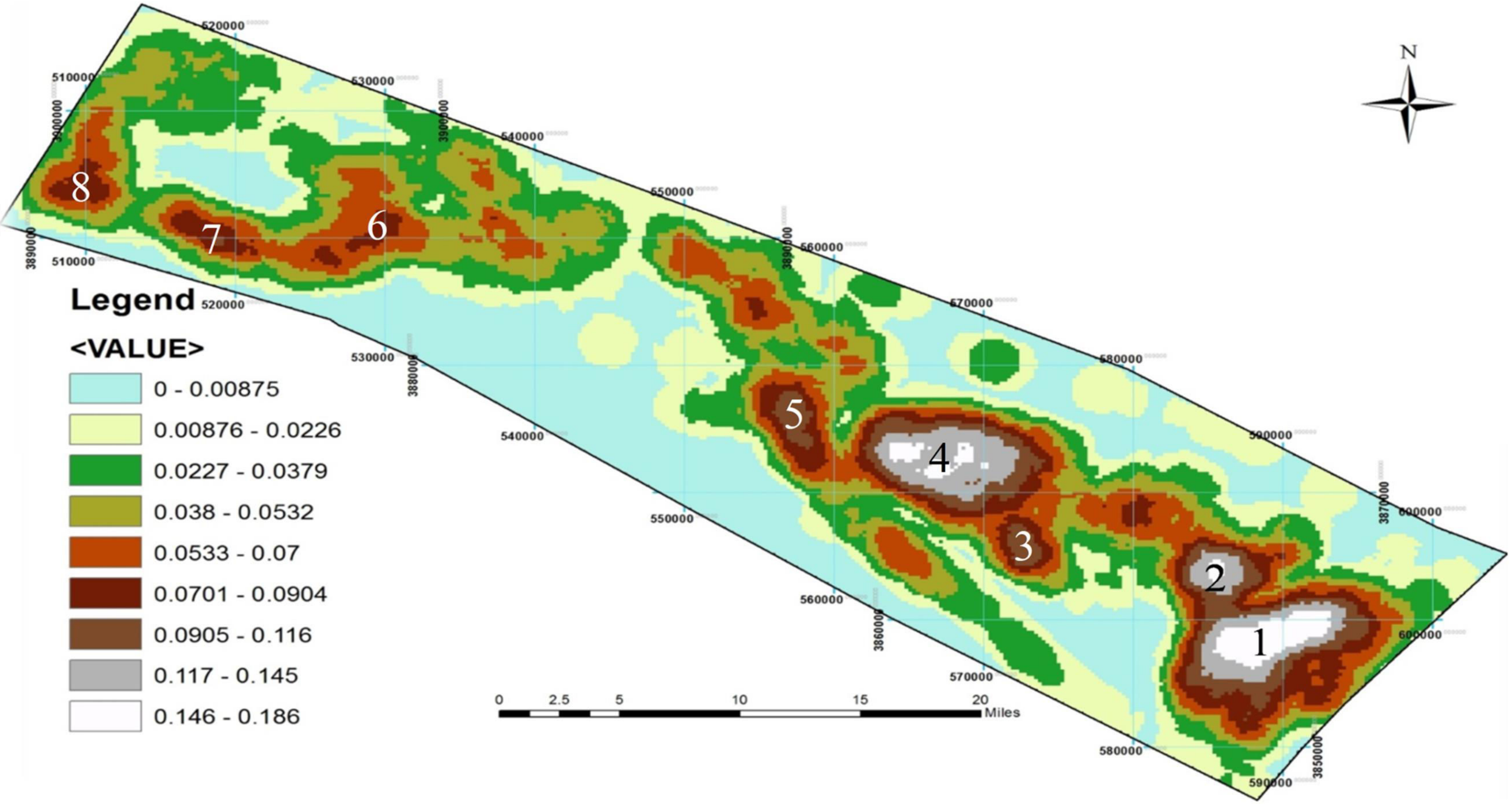
بر اساس نقشه تراکم شکستگی‌ها در بخش سطحی (شکل ۳-۵۸)، ۴ ناحیه تراکم اصلی شکستگی‌ها در تاقدیس دوازده امام وجود دارد که در امتداد محور تاقدیس قرارگرفته‌اند . ضمن آن‌که علت ایجاد این نواحی ممکن است عملکرد گسلش معکوس سیاه کوه و دوازده امام باشد. علاوه بر این نقشه خطواره‌های تکتونیکی منطقه حاکی از فراوانی گسل‌های فرعی در این نواحی است. در یال جنوبی تاقدیس مره سه ناحیه تراکم شکستگی شناسایی‌شده است که علاوه بر گسل جنوب مره می‌توان تنش ماکزیمم را که دارای روند N15E و تنش مینمم را که تقریباً به‌صورت افقی است به‌عنوان عوامل شکل‌گیری این نواحی در نظر گرفت.



شکل ۳-۵۷: چگالی محاسبه‌شده در موقعیت‌های مختلف تاقدیس مره و دوازده امام.

جدول ۳-۴: تراکم، شدت و اندازه محاسبه‌شده در ایستگاه‌های مختلف تاقدیس مره و دوازده امام

ردیف	تراکم	شدت	اندازه	شماره ایستگاه
۱	۲/۴۶	۱/۲۳	۳	۸
۲	۳/۸۴	۰/۸۵	۳/۲۹	۱۵
۳	۰/۷۴	۱/۷۸	۱/۳۲	۸
۴	۳/۱۴	۰/۹۱	۲/۸۶	۳
۵	۴۰/۸	۰/۵۴	۲۲/۱۷	۱۴ (۱)
۶	۱۰/۳۴	۱/۱۳	۱۱/۷۵	۱۴ (۲)
۷	۳/۹۴	۱/۳۸	۵/۴۵	۱۱
۸	۵/۵۲	۰/۹۴	۵/۲	۵
۹	۰/۵۸	۳/۹۵	۲/۳	۸
۱۰	۱/۷۷	۲/۴۷	۴/۳۷	۷



شکل ۳-۵۸: نقشه تراکم شکستگی‌های سطحی منطقه موردمطالعه (اعداد ۱ الی ۸ نقاطی با بیشترین تراکم شکستگی در منطقه را نشان می‌دهند)

فصل چهارم

نمودارهای چاه‌پیمایی تصویری و تحلیل ساختاری تاقدیس زیرسطحی یورتشا

شناخت و تفسیر رخدادهای زمین‌شناسی و به دست آوردن اطلاعات از مخازن زیرسطحی، تشخیص گسل‌ها، سطوح لایه‌بندی و به‌خصوص مناطق مستعد شکستگی در اکتشاف منابع هیدروکربوری بسیار قابل‌توجه هستند. یکی از مهم‌ترین منابع برای مطالعه خصوصیات مخازن زیرزمینی، مغزه‌ها می‌باشند ولی متأسفانه به دلایل مختلف بسیاری از چاه‌ها یا فاقد مغزه هستند یا مغزه آن‌ها به دلیل درصد بازیافت پایین چندان قابل‌استفاده نیست، به همین دلیل تهیه تصویر از دیواره چاه‌های نفت و گاز از اهمیت بسزایی برخوردار بوده چراکه همواره زمین شناسان به دنبال جزئیات بیشتری از خصوصیات لایه‌های نفتی از طریق تصویربرداری مستقیم از دیواره چاه بوده‌اند. ابزارهای تصویربرداری یکی از کارآمدترین منابع برای مطالعه مخازن شکافدار هستند (Nelson, 2001). این ابزارها در هردو حالت حفاری با گل‌های پایه آبی و گل‌های پایه نفتی مورداستفاده قرار می‌گیرند. ابزارهای صوتی عمدتاً در گل‌های پایه آبی و گل‌های پایه نفتی کاربرد داشته، درحالی‌که ابزارهای مقاومتی عمدتاً در گل‌های پایه آبی کاربرد دارند (Serra, 1989). دستگاه‌های تصویربردار میکرو مقاومت ویژه به دلیل داشتن وضوح عمودی بالاتر، در شناسایی شکستگی‌ها و ابزارهای تصویربردار صوتی نیز در اندازه‌گیری ضخامت لایه‌ها استفاده می‌شوند؛ علاوه بر این، استفاده از نمودارهای تصویری در شناسایی و ارزیابی ریختگی‌های چاه[1] و شکستگی‌های القایی[2] امکان شناسایی مقدار و راستای تنش‌های برجا در دیواره چاه را فراهم می‌آورد (Schwartz, 2006).

۴-۱- تاریخچه دوربین‌های درون‌چاهی

در سال ۱۹۵۸ برای اولین بار از دستگاهی به نام دوربین عکاسی برای تهیه عکس از دیواره چاه‌ها استفاده شد. در سال ۱۹۶۰ تصویربرداری درون‌چاهی با جایگزینی دوربین‌های فیلم‌برداری که قابلیت اتصال به نمایشگر داشتند پیشرفت قابل‌توجه ای نمود، اما این‌گونه تصویربردارها که به تصویرگرهای نوری معروف بودند دارای معایبی ازجمله احتیاج به محیط شفاف بودند.

[1] Borehole breakouts
[2] Induced fractures

در سال ۱۹۶۸ شرکت شلمبرژه[۱] با وارد نمودن اولین تصویربردار میکرو الکتریکی به نام FMS[۲] به صنعت باعث تحولی عظیم در صنعت تصویربردارها گردید. این ابزار قادر است ساختمان سازندها، لایه‌بندی‌ها، ترک‌ها و شکستگی‌ها و تخلخل ثانویه را با درصد قابل قبولی مشخص کند. دستگاه تصویرگر FMS با داشتن چهار بازوی عمود بر هم به طول ۹.۴۵ متر و وزن ۲۴۳ کیلوگرم در چاه‌های باز به کار می‌رود. پس‌ازآن در سال ۱۹۹۱ تصویرگر FMI[۳] به بازار عرضه شد که دارای قدرت تفکیک بیشتری نسبت به FMS هستند. FMI با دارا بودن ۱۹۲ گیرنده روی ۴ بالشتک و ۴ قاب متحرک این قابلیت را دارد که در چاه‌هایی با قطر ۸/۵ اینچ، پوششی برابر ۸۰ درصد دیواره چاه را داشته باشد. به‌طورکلی اساس کار تصویرگرهای FMS/FMI، فرستادن جریان متمرکز به درون سازند و ثبت تغییرات شدت‌جریان الکتریکی به دلیل تغییرات مقاومت ویژه میکرو، به‌وسیله الکترودهاست که این تغییرات به‌صورت تصویرهای با رنگ‌های متفاوت نشان داده می‌شود (قاسم العسگری، ۱۳۹۰).

۴-۲- نمودارهای تصویرگر (Image logs)

ابزارهای تصویرگر، ابزارهای الکتریکی هستند که با استفاده از تعدادی الکترودهای ریز که بر روی بالشتک‌ها نصب شده‌اند، قادر هستند که رسانایی الکتریکی سازندهای دیواره چاه را اندازه‌گیری کنند. ابزارهای تصویرگر EMI[۴]، FMS، FMI در حفاری با سیستم گل شور کارایی دارد. در ادامه انواع تصویرگرها معرفی شده است.

۴-۳- انواع نمودارهای تصویرگر

۱- تصویربرداری مقاومت سنجی (FMI/EMI): در این روش از اختلاف مقاومت الکتریکی عوارض دیواره چاه برای به تصویر کشیدن آن‌ها استفاده می‌شود. ابزارهای مورداستفاده به‌طورکلی ابزارهای الکتریکی نامیده می‌شوند (Yildirim, 2014).

[1] Schlumberger
[2] Formation Micro Scanner
[3] Formation Micro Imager
[4] Electrical Micro Imaging

۲- تصویربرداری صوتی (UBI/OBMI)[1]: تصویر به‌دست‌آمده از این روش حاصل تباین صوتی عوارض دیواره چاه است که به دو روش زمان گذر امواج مافوق صوت و دامنه امواج مافوق صوت نمایش داده می‌شوند (قاسم العسگری، ۱۳۹۰).

۳- دوربین‌های ویدئویی درون‌چاهی (BHTV): در این روش از دوربین‌های ویدئویی برای تصویربرداری استفاده می‌شود. ازآنجاکه استفاده از تصویربرداری الکتریکی و صوتی مرسوم‌تر است. مطالب ارائه‌شده در مورد این دو روش خواهد بود.

روش‌های تصویربرداری با توجه به روش‌های اندازه‌گیری و حفاری، به انواع متفاوتی تقسیم‌بندی شده که در جدول ۴-۱ آورده شده است.

انتخاب نوع ابزار تصویربرداری به نوع گل حفاری بستگی دارد. نمودارهای BHTV، OBMI، FMI، EMI و FMS گسترده‌ترین نوع نمودارهای تصویری هستند. با توجه به اینکه این نمودارها تصاویر باکیفیت بالایی از دیواره چاه ارائه می‌دهند، در شناسایی عوارض ساختمانی، شیب ساختمانی، شکستگی‌ها و گسل‌ها، ناهمگونی‌های سازند بخصوص سازندهای کربناته، تجزیه‌وتحلیل رسوب‌شناسی، ژئومکانیک، تشخیص انواع لایه‌بندی و انواع تخلخل کاربرد دارد. این تصاویر به‌صورت مکمل به کار می‌روند و در مواردی می‌توانند جانشین اطلاعات توصیفی و تجزیه‌وتحلیل مغزها شوند. در شکل ۴-۱ نمونه‌ای از لاگ تصویری برداشت‌شده توسط ابزار FMI در کنار مغزه برداشت‌شده در همان عمق نمایش داده شده است.

۴-۴- روش تصویربرداری الکتریکی

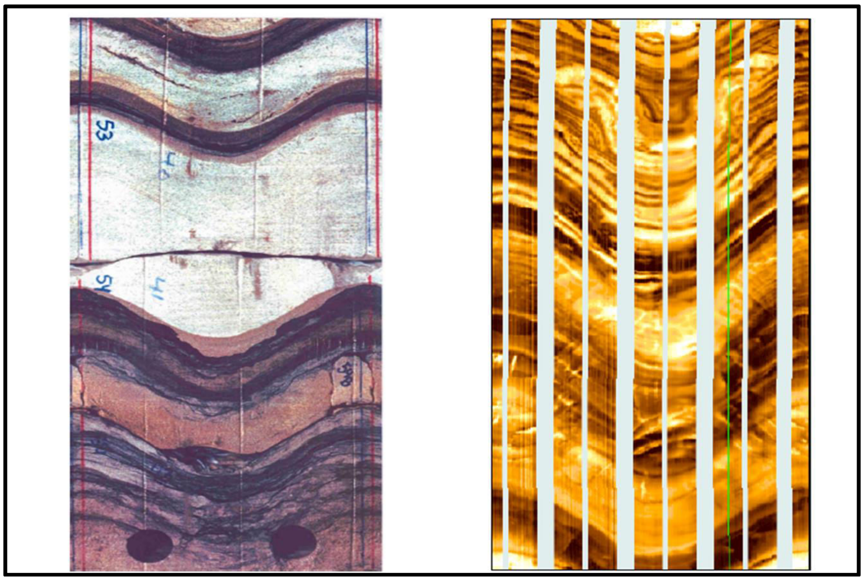
لاگ‌های تصویری، تصویری استوانه‌ای شکل و مجازی از دیواره چاه باقدرت تفکیک بالا بوده که قادر است عوارض ظریف دیواره چاه را نمایش دهد. هر عارضه (پدیده) صفحه‌ای شکل مانند لایه‌بندی، شکستگی‌هایی که چاه را به‌صورت غیر قائم قطع کرده باشد در استوانه چاه به‌صورت بیضی دیده

[1] Ultrasonic Borehole Imager/ Oil-Base Microimager

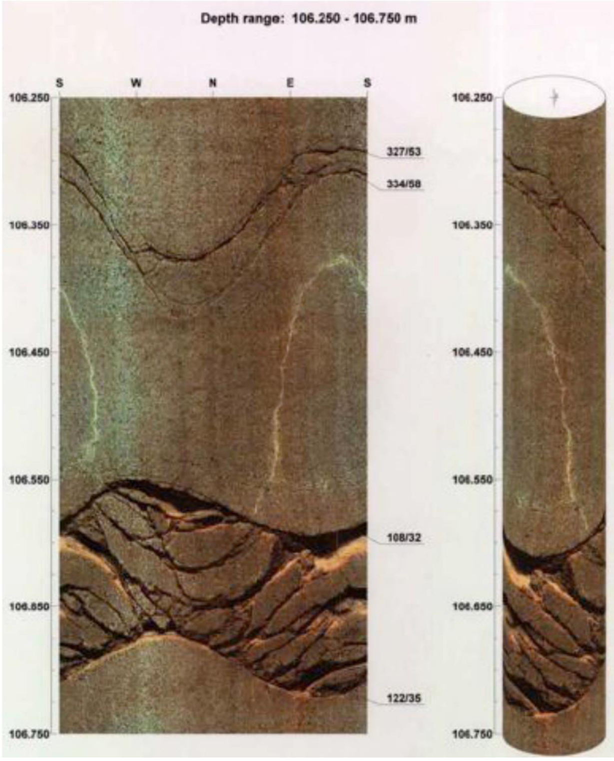
می‌شود (شکل ۴-۲). درصورتی‌که استوانه در امتداد محورش بریده شود، یعنی همان شکلی که در جایگاه‌های تصویری نمایش داده می‌شود، شکستگی یا لایه‌بندی به‌صورت یک موج سینوسی پدیدار می‌شود (Serra, 1989).

جدول ۴-۱: فهرست و دسته‌بندی لاگ‌های تصویری موجود بر اساس روش‌های اندازه‌گیری و نوع گل حفاری (Schlumberger, 2015)

	تصویربرداری الکتریکی(مقاومت سنجی)	گل پایه آبی	FMI,GVR
بر پایه روش‌های اندازه‌گیری	تصویربرداری صوتی	گل پایه نفتی	FMI,GVR,OBMI,EMI,FMS,BHTV
	تصویربرداری هسته‌ای		UBI
	نمودار گیری بعد از حفاری		AND & FEF,GR
بر پایه روش‌های حفاری		گل پایه آبی	FMI,UBI
		گل پایه نفتی	FMI,OBMI,UBI
	نمودارهای حین حفاری		GVR,AND&PEF,GR



شکل ۴-۱: تصاویر دیواره چاه برداشت‌شده توسط ابزار **FMI** (شکل سمت راست) می‌توانند به‌صورت مکمل و در مواردی جانشین مغزه‌ها باشند (شکل سمت چپ تصاویر گرفته‌شده از زوایای مختلف مغزه استوانه‌ای شکل است که آن را به‌صورت دوبعدی نمایش داده است).

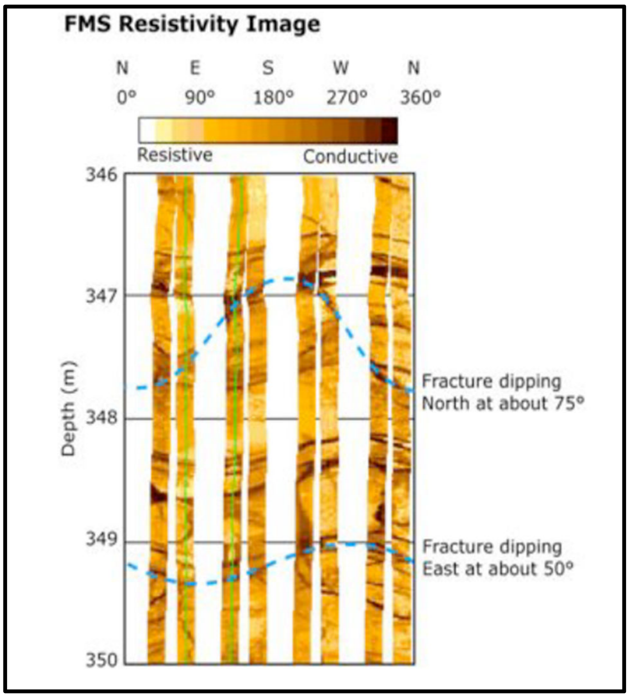


شکل ۴-۲: نمایش دوبعدی عارضه‌ای صفحه‌ای که دیواره چاه استوانه‌ای شکل را قطع کرده است (**LDEO, 2008**).

۴-۵- تصویرگر FMS

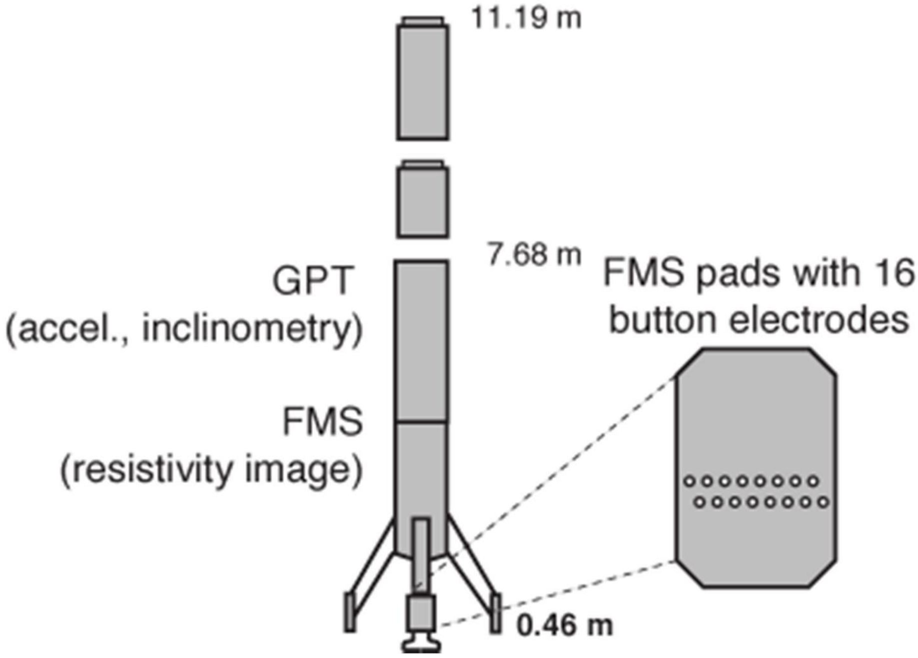
تصویرگر FMS در حفاری با سامانه‌ی گل شور کاربرد دارد. نسل اول این ابزار ترکیبی از یک شیب‌سنج دوگانه با ۲ بالشتک تصویربردار بود. هر بالشتک دارای ۲۷ الکترود، در چهار ردیف، برای اندازه‌گیری مقاومت میکرو استفاده می‌شد و دستگاه در یک چاه به قطر ۸/۵ اینچ در یک نوبت قادر بود حدود ۲۰ درصد از دیواره چاه را پوشش دهد. به دلیل ناکافی بودن درصد پوشش، برای تهیه تصویری کامل‌تر، برداشت مجدد با چرخش دستگاه توصیه می‌شد. در سال ۱۹۸۸ نسل دوم ابزار FMS با ۴ بالشتک و ۱۶ الکترود در دو ردیف روی هر بالشتک وارد بازار گردید. نسل دوم FMS با داشتن چهار بازو (۴ بالشتک) جمعاً ۶۴ الکترود دارد و پوششی معادل ۴۰ درصد در چاهی به قطر ۸/۵ اینچ را دارا است (Rezaie, 2004). در طول نمودار گیری هر میکرو الکترود یک جریان متمرکز را به داخل سازند ارسال می‌کند. اندازه‌گیری تغییرات شدت‌جریان الکتریکی که تغییرات مقاومت ویژه‌ی میکرو را منعکس می‌کند به تصویرهایی با شدت رنگ‌های مختلف تبدیل می‌شود. مشاهده و

تجزیه‌وتحلیل تصویرها، اطلاعاتی در خصوص ساختار، بافت و سیالات را در اختیار ما قرار می‌دهد. در شکل ۴-۳ تصویری از یک لاگ برداشت‌شده توسط این ابزار نشان داده شده است.



شکل ۴-۳: نمونه‌ای از لاگ تصویری برداشت‌شده توسط ابزار تصویرگر **FMS**

دستگاه نسل سوم FMS مجهز به ابزاری بنام GPT است (شکل ۴-۴). این دستگاه دارای یک شیب‌سنج است که اطلاعات مرتبط به شیب‌سنج و مغناطیس‌سنج را نیز ثبت می‌کند. بخش شتاب سنج سه محوره و عمل سنجش سرعت جابجایی بازوها را انجام می‌دهد و باعث محاسبه موقعیت دقیق آن‌ها می‌شود. بخش مغناطیس‌سنج نیز در سه محور جهت‌گیری را مشخص می‌کند. در این حالت دستگاه در هر ۱/۵ اینچ علاوه بر اندازه‌گیری‌های اصلی، هم‌زمان سه مؤلفه‌ی شتاب سنج و سه مؤلفه‌ی مغناطیس‌سنج را نیز ثبت می‌کند. شیب‌های برداشت‌شده توسط ابزار GPT از دیواره چاه به شکل یک منحنی سینوسی است. درنهایت از این منحنی سینوسی برای تعیین شیب و جهت شکستگی‌ها و لایه‌ها استفاده می‌شود.



شکل ۴-۴: ابزار **FMS** و جهت‌یاب آن (**GPT**) (**IODP-USIO, 2014**)

۴-۵-۱- نحوه کار ابزار FMS

با شروع فعالیت ابزار FMS، دستگاه از انتهای چاه به سمت بالا (با سرعت ۵۰۰ متر در هر ساعت)، جریان الکتریکی از طریق الکترودها به داخل سازند فرستاده و پاسخ آن به‌صورت تغییرات میکرو توسط دستگاه ثبت می‌شود. این ابزار رسانایی الکتریکی را برای هر ۶۴ الکترود دکمه‌ای در یک‌لحظه اندازه‌گیری می‌کند. سپس اطلاعات به‌دست‌آمده را مرتب و تصحیح کرده و نقاط اضافی را حذف می‌نماید. سپس دستگاه با استفاده از زاویه بین صفحه مربوط به دستگاه و صفحه فرضی، شیب ظاهری را به شیب واقعی تبدیل می‌کند. درنهایت اطلاعات برداشت‌شده توسط ابزار FMS به‌صورت خام بر روی نوار مغناطیسی ضبط‌شده و از طریق نرم‌افزار مورد پردازش قرار می‌گیرد.

۴-۵-۲- خصوصیات ابزار FMS

- تفکیک عمودی بسیار بالا (حدود ۰/۲ اینچ تا میلی‌متر)
- دامنه تغییرات مقاومتی بسیار وسیع (حداقل ۰/۱ اهم‌متر تا بیش از ۱۰۰۰۰)

- حساسیت بالا به‌نحوی‌که قادر به تشخیص ساختارهای بسیار ظریف ازجمله درزه‌هایی با پهنای چند میکرون با اختلاف مقاومت ویژه است.

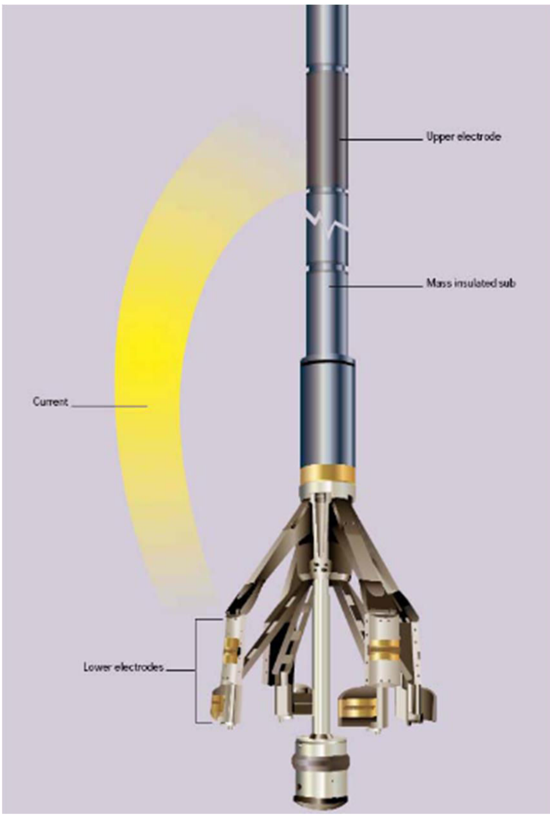
۴-۵-۳- نحوه عملکرد تصویرگر FMS

دستگاه با فرستادن جریان الکتریکی به داخل سازند، تغییرات شدت‌جریان را با دقت بالایی اندازه‌گیری می‌کند. ثبت تغییرات به‌وسیله هر الکترود تابع رسانایی سازند است که خود متأثر از خواص سیال، تخلخل، تراوایی، ترکیب کانی‌شناسی و بافت است. ابزار تصویربردار FMI، با اندازه‌گیری مقاومت ویژه نسبی، تصویری باکیفیت بالا از دیواره چاه ثبت می‌کند. رنگ‌های روشن بازتابی از رسانایی ضعیف (مقاومت ویژه بالا) و رنگ‌های تیره بازتابی از رسانایی بالا (مقاومت ویژه پایین) است. به‌طورکلی تصویرگرهای الکتریکی برای شناسایی و توصیف موقعیت و خصوصیات شکستگی‌ها و گسل‌های مخزن به کار می‌رود. کلیه ابزارهای تصویربردار الکتریکی به دلیل وابسته بودن به مقاومت ویژه الکتریکی سازندها در چاه‌های باز رانده می‌شوند. همچنین این ابزار اطلاعاتی درباره شکل مقطع چاه و هندسه چاه به‌همراه اطلاعات تصویر مقاومتی جمع‌آوری می‌کند.

۴-۶- ابزار تصویرگر مقاومت ویژه الکتریکی FMI

ابزارهای مقاومت الکتریکی ویژه درواقع ابزارهای رسانایی الکتریکی هستند که با استفاده از تعدادی الکترودهای ریز که بر روی بالشتک‌ها نصب‌شده‌اند، رسانایی الکتریکی سازندهای موجود در چاه را اندازه‌گیری می‌کند. هر بالشتک بخش محدودی از دیواره چاه را پوشش می‌دهد. در این ابزار، بالشتک‌های متحرکی نیز برای افزایش تعداد الکترودها و افزایش پوشش دیواره چاه تهیه شده است. بالشتک‌ها به‌وسیله بازوهایی به دیواره چاه می‌چسبند تا تماس بین الکترود و دیواره به‌خوبی برقرار گردد. FMI درواقع نسل جدیدی از ابزارهای تصویربردار الکتریکی هستند که قدرت پوشش آن‌ها نسبت بهFMS دو برابر است. FMI شامل چهار بازو و چهار بالشتک است که بر روی هر بالشتک ۲۴

الکترود و درمجموع ۱۹۲ الکترود دارد. این ابزار برای چاهی به قطر ۸/۵ اینچ تا ۸۰ درصد پوشش ایجاد می‌کند (شکل ۴-۵) (Schwartz, 2006).



شکل ۴-۵: تصویر دستگاه **FMI** به همراه وضعیت قرارگیری بالشتک، دکمه، بازوها و زبانه (**Schlumberger, 2002**)

۴-۶-۱- کاربرد ابزار تصویرگر FMI

۱- تطابق مغزه‌ها با عمق

۲- شناسایی الگوی درزه‌ها، شکاف‌ها، شکستگی‌ها و گسل‌ها (شکل ۴-۶)

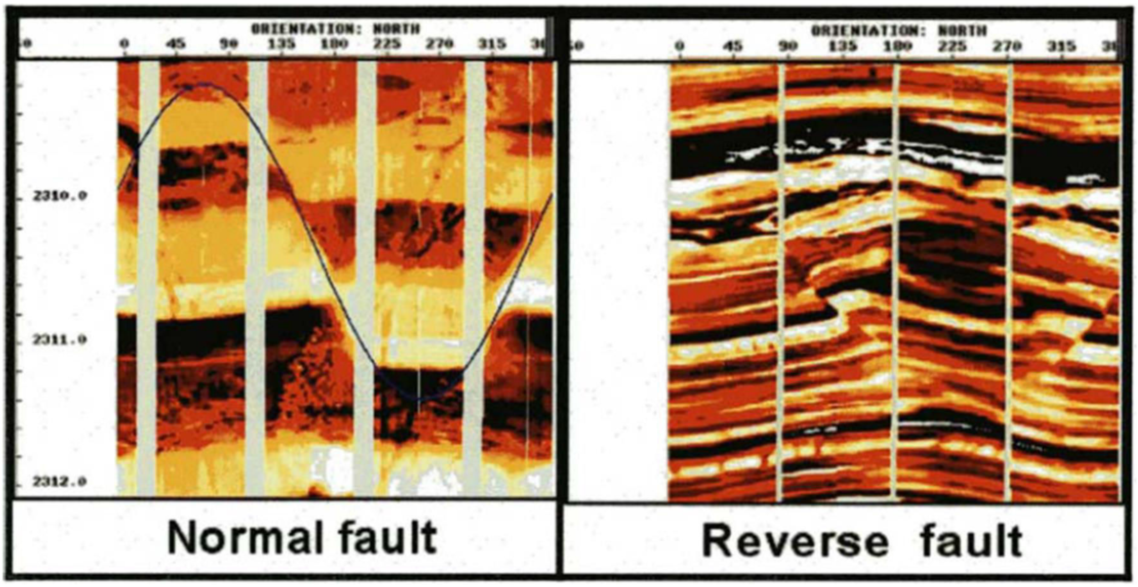
۳- تشخیص بین شکستگی‌های طبیعی و مصنوعی (شکستگی‌های در طی حفاری) و تحلیل تنش‌های وارده بر دیواره چاه

۴- تحلیل و تشخیص ناپیوستگی‌های زمین‌شناسی در پیرامون چاه (تعیین دگرشیبی، فرسایش و غیره)

۵- تعیین ضخامت لایه‌ها

۶- بررسی خصوصیات رخساره‌ای سنگ‌های داخل چاه

۷- بررسی پایداری دیواره چاه با گراف‌های تنشی



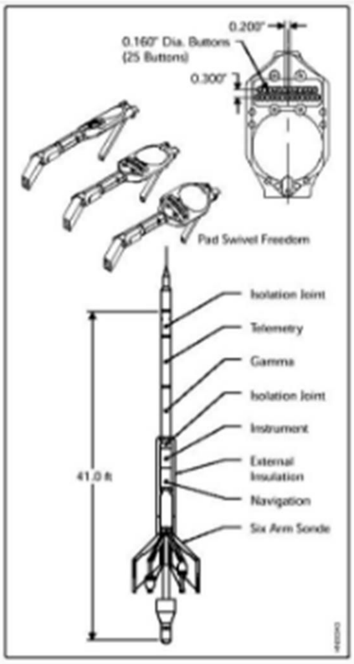
شکل ۴-۶: نمونه‌ای از شناسایی گسل معکوس و معمولی بر روی تصاویر حاصل از ابزار تصویربرداری الکتریکی

۴-۷- ابزار تصویرگر EMI

ابزار تصویرگر میکروالکتریک (EMITM) در حقیقت ابزارهای اندازه‌گیری مقاومت با تمرکز جریان الکتریکی هستند که این جریان توسط بالشتک‌های فلزی و یک بدنه فلزی هم‌پتانسیل، ایجاد می‌گردد. طراحی مکانیکی ابزار EMI (شکل ۴-۷)، بر اساس ۶ بازوی کاملاً مستقل و بالشتک‌های مفصل‌دار است، که در به دست آوردن اندازه‌گیری‌های (کمی) قابل‌اعتماد مقاومت سازند توسط تطبیق دادن حس‌گرها بر روی دیواره چاه، حتی در مناطقی که کنده‌شدگی و ریزش دیواره چاه[1] وجود دارد، ما را یاری می‌کند. مدل‌سازی کامپیوتری جهت مشخصه سازی ابزار EMI به‌عنوان یک ابزار اندازه‌گیری مقاومت انجام شده است. نتایج این مدل‌سازی نشان می‌دهد که به‌جز برای شناسایی دقیق لایه‌بندی‌ها، این ابزار تصویرگر میکرو الکتریکی ازنظر الکتریکی بیشتر شبیه یک ابزار الکترود ماکرو

[1] Washout

مقاومت، همانند ابزارهای SG[1] یا DFL[2]، رفتار می‌کند. اندازه‌گیری (کمی) مقاومت توسط ابزار EMI یک اندازه‌گیری با عمق تجسس قابل‌توجه چندین اینچ از دیواره چاه و با حداقل تأثیرپذیری از کیک گل[3] را به نمایش می‌گذارد. درصورتی‌که مقاومت با دقت و کیفیت بالاتر نیاز باشد یک روش نرمال‌سازی بر روی مقاومت‌های برداشت‌شده توسط ابزار EMI انجام می‌گردد، به‌طوری‌که اندازه‌گیری‌های ابزار تصویرگر میکروالکتریک در مقابل اندازه‌گیرهای کلی و فاقد جزئیات ابزار DFL (یا معادل آن) کالیبره می‌گردد (Fam, 1995). معماری مکانیکی اثبات‌شده EMI بر اساس شش بالشتک مفصل دار، که هر یک بر روی یک بازو مستقل نصب شده است و تماس بین الکترود و سازند را بهبود می‌بخشد. تصاویر باکیفیت با استفاده از ۱۵۰ حس‌گر نصب‌شده بر روی بالشتک به دست می‌آید به‌طوری‌که هر بالشتک حاوی ۲۵ عدد حس‌گر است.



Tool specification

Maximum Temperature	350°F	177°C
Maximum Pressure	20,000 psi	137 900 kPa
Measurement Range	0.2 - 5000 ohm m	
Resistivity Imager	30 in.	762 mm
Dipmeter Processing	0.9 in	23 mm
Resolution	0.2 in.	5.08 mm
Maximum Hole Size	21.00 in	533 mm
Minimum Hole Size	6.25 in.	159 mm
Number of Buttons	150	
Number of Pads	6 (fully independent)	

شکل ۴-۷: ابزار نمودار گیری **EMI** و مشخصات آن

[1] Short Guard
[2] Digitally Focused Log
[3] Mudcake

این مهم منجر به اندازه‌گیری با دقتی برابر با ۰/۲ اینچ می‌شود. اطلاعات شیب سنجی معمولی علاوه بر داده‌های تصویر ثبت می‌شود. ابزار EMI یک تصویر از دیواره چاه توسط اندازه‌گیری و ترسیم میکرو-رسانایی سازند با استفاده از دکمه‌های الکترود نصب‌شده بر روی بالشتک را فراهم می‌کند. جریان الکتریکی از بخش پایینی ابزار به درون سازند منتشر (ساطع) می‌شود. بخشی از این جریان (جریان پیمایشی) از دکمه‌های نصب‌شده بر روی بالشتک منتشر می‌شود. جریان هر دکمه به‌صورت یک منحنی ثبت می‌شود، به‌طوری‌که با دقت در ۰/۱ اینچ (۰/۲۵ سانتی‌متر)، یا ۱۲۰ نمونه در هر فوت نمونه‌گیری می‌شود. منحنی‌ها منعکس‌کننده تغییرات نسبی میکرو-رسانایی در محدوده سازند است. این تغییرات جریان به تصاویر با رنگ‌های مصنوعی یا سیاه‌وسفید تبدیل می‌شود. رنگ‌های روشن نشان‌دهنده میکرو مقاومت پایین است، درحالی‌که رنگ‌های تیره بازتاب‌کننده نواحی با میکرو-رسانایی بالا می‌باشد. ثابت نگه‌داشتن بالا و پایین ابزار EMI باعث بهبود توزیع شش بالشتک در طول محیط چاه می‌شود، به‌خصوص در چاه‌های افقی و به‌شدت انحرافی. یک مجموعه کامل، شامل سه عدد شتاب سنج متعامد و سه عدد مغناطیس‌سنج متعامد در درون ابزار EMI جهت فراهم کردن اطلاعات دقیق از موقعیت، حرکت، مسیر و جهت‌گیری ابزار در درون چاه، تعبیه شده‌اند. داده‌های بی‌شمار به‌دست‌آمده هنگام نمودار گیری به‌صورت دیجیتالی به واحد سطحی از طریق سیستم اثبات‌شده دیجیتالی تعاملی تلمتری[1] شرکت هالیبرتون، منتقل می‌شود.

از کاربردهای آنالیز تصاویر EMI می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

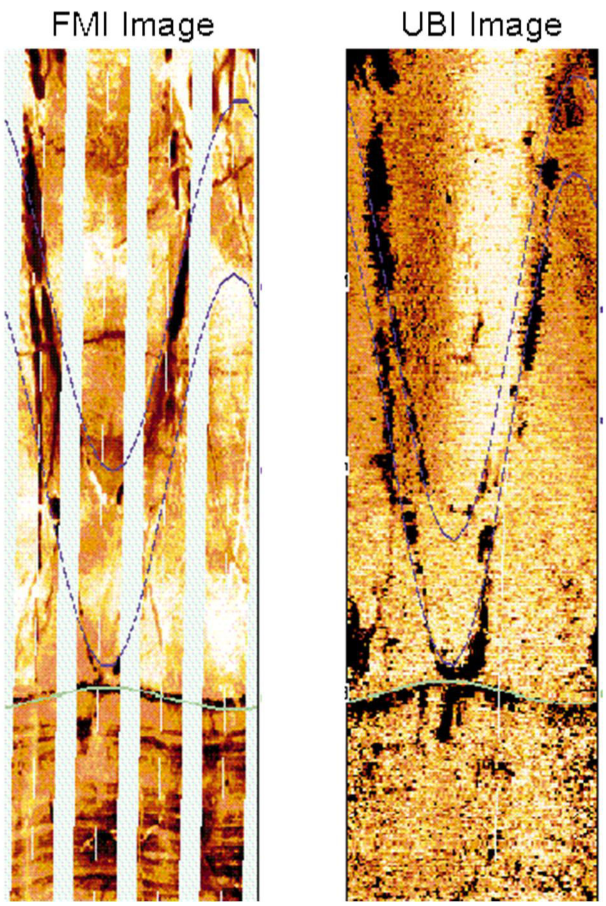
- آنالیز دقیق چینه‌شناسی و رسوب‌شناسی. شناسایی و توصیف ویژگی‌های (عوارض) رسوبی
- توصیف لایه‌های نازک
- آنالیز شکاف
- شناسایی و جهت‌یابی گسل‌ها

[1] Digital Interactive Telemetry System (DITS)

- شناسایی و جهت‌یابی تخلخل ثانویه (از نوع شکستگی)

۴-۸- نمودار تصویری UBI (Ultrasonic Borehole Imager)

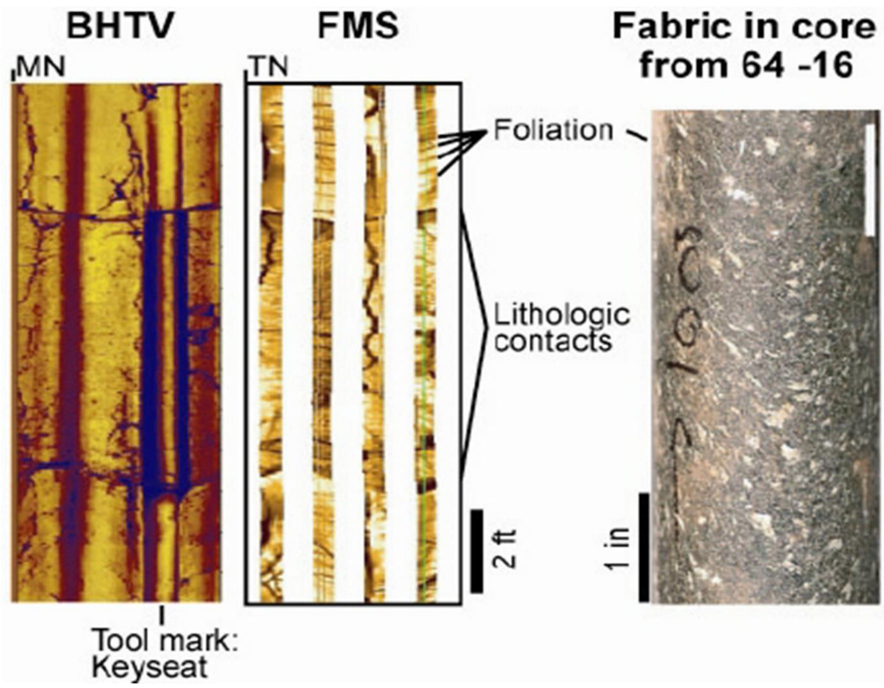
این دستگاه بر اساس ارسال موج صوتی با یک ارسال‌کننده دورانی (تعداد ۱۸۰ پالس در هر چرخش و تقریباً ۷/۵ چرخش در هر ثانیه) به سمت دیواره چاه کار می‌کند و دامنه و زمان موج برگشتی را اندازه‌گیری می‌کند. این ابزار فقط شکستگی‌های باز را تشخیص می‌دهد (شکل ۴-۸)؛ بنابراین اگر شکستگی را OBMI نشان دهد، اما UBI نشان ندهد، پس آن شکاف، شکافی بسته است. از ویژگی‌های نمودار UBI می‌توان به تجزیه‌وتحلیل شکستگی، شکستگی ناشی از حفاری و رژیم استرس و انجام مطالعات ثبات داخلی چاه اشاره کرد (Schlumberger, 2015).



شکل ۴-۸: تصویری از لاگ برداشت‌شده توسط ابزار نمودار گیری **UBI** در مقایسه با تصویر نمودار **FMI** (**Crain, 2015**)

۴-۹- نمودار BHTV (Bore Hole Televiewer)

این ابزار که نوعی نظاره‌گر صوتی است همانند FMS یک نمودار تصویری است که می‌تواند اطلاعاتی درزمینه موقعیت و ویژگی تخلخل‌های ثانویه از قبیل شکستگی‌ها و شیب و امتداد آن‌ها در اختیار بگذارد. برخلاف FMS، این ابزار بر اساس تباین صوتی (Acoustic Contrast) با پوشش ۱۰۰٪ از دیواره چاه تصویر فراهم می‌کند. یک ATV یا همان (Acoustic Televiewer) دارای یک فرستنده امواج صوتی (Transducer) چرخنده است که امواج با فرکانس بالا تولید می‌کند. این فرستنده نقش گیرنده امواج صوتی را نیز بازی می‌کند. امواج صوتی با فرکانس بالا از دیواره چاه، بدون اینکه در آن دیواره رخنه کند، منعکس می‌شود و دیواره چاه را به‌صورت یک تباین صوتی ثبت می‌کند. نمودار ATV استوانه‌ای است که در طول جهت شمالی باز و پهن گردیده است و می‌تواند ویژگی‌های تخلخل ثانویه از نوع شکستگی‌ها و همچنین شیب و جهت و امتداد آن‌ها را نیز مشخص کند. در شکل ۴-۹ نمونه‌ای از این نمودار نشان داده شده است.



شکل ۴-۹: تصویری از لاگ برداشت‌شده توسط ابزار نمودار گیری **BHTV** در مقایسه با تصویر نمودار **FMS** (**Davatzes et al., 2005**).

۴-۱۰- به دست آوردن شیب از روی نمودارهای تصویری

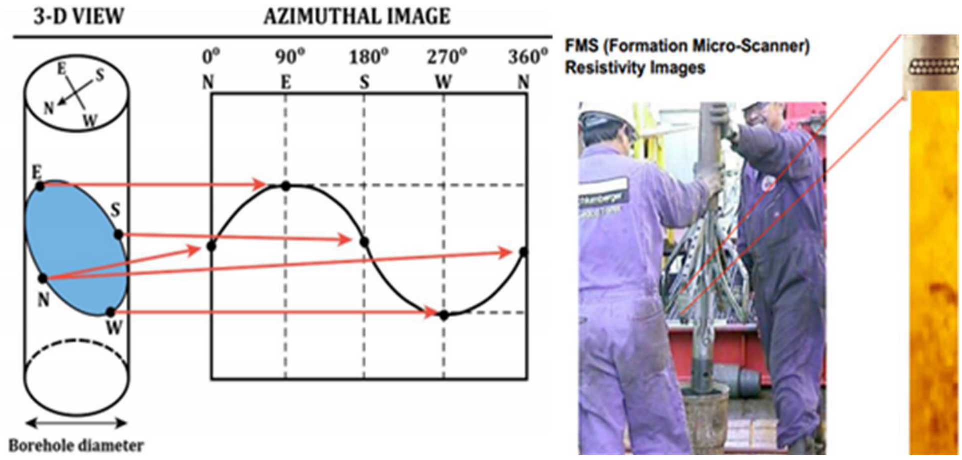
لاگ‌های تصویری یک تصویر مجازی از دیواره چاه است که بر اساس برخی از ویژگی‌های سازند مانند مقاومت الکتریکی و با تباین صوتی شکل‌گرفته است. درروش تصویربرداری الکتریکی، اختلاف مقاومت الکتریکی عوارض دیواره چاه به‌وسیله دستگاه تصویربردار ثبت‌شده و به تصویری رسانا از دیواره چاه تبدیل می‌شود. این ابزارهای تصویرگر به‌وسیله یکسری الکترود که بر روی بالشتک نصب‌شده‌اند، قادرند، رسانایی میکرو در دیواره چاه را اندازه‌گیری کنند (serra,1984). چاه به‌صورت یک استوانه است درصورتی‌که این استوانه در امتداد محورش بریده و باز شود، هر نوع عارضه صفحه‌ای مانند گسل، استیلولیت، لایه‌بندی و شکستگی به‌صورت غیر قائم دیواره چاه را قطع کرده باشد، به‌صورت یک موج سینوسی دیده می‌شود که در شکل ۴-۱۰ نمایش داده‌شده است (Donselaar and Schmidt, 2005). جهت پایین‌ترین قسمت موج سینوسی، بیانگر آزیموت شیب ظاهری است. شیب ظاهری (φ) این صفحه سینوسی شکل، بیشترین شیب قرائت‌شده در نقطه عطف موج سینوسی است که از معادله ۴-۱ قابل‌محاسبه است.

$$\varphi = tan^{-1}(A-B)/D \qquad (۴-۱)$$

A: ژرفای نقطه بالایی

B: ژرفای نقطه پایینی

D: قطر چاه



شکل ۴-۱۰: الف- تصویر دستگاه **FMS** ب- یک طرح شماتیک به‌صورت دوبعدی و سه‌بعدی ، از (دهانه) چاه استوانه‌ای که توسط عارضه‌های صفحه‌ای قطع‌شده است (**Donselaar and Schmidt, 2005**).

۴-۱۱- تقسیم‌بندی شکستگی‌های تحت‌الارضی

شکستگی عبارت است از بریدگی‌های طبیعی صفحه‌ای در ابعاد مایکروسکوپی که در اثر تغییر شکل و یا دیاژنز در سنگ‌ها به وجود می‌آیند (Nelson, 2001). این شکستگی‌ها در ابتدا باز فرض می‌شوند ولی بعداً ممکن است به‌وسیله کانی‌های مختلف پر شوند. شکستگی‌ها ممکن است در جریان سیالات تسریع یا تعدیل به وجود آورند. شکستگی‌ها به‌ندرت به‌صورت منفرد در سنگ دیده می‌شوند و عموماً به‌صورت دسته‌های متقارن در سنگ‌ها ظاهر می‌شوند که درمجموع به آن‌ها سیستم شکستگی می-گویند.

زون‌هایی که دارای شکستگی‌های طبیعی هستند دارای اهمیت بوده و در سنگ‌های مخزن به خاطر زهکشی فوق‌العاده و افزایش قابل‌ملاحظه‌ای که در تراوایی ایجاد می‌کنند، جستجو می‌شوند. اگرچه شکستگی‌ها می‌توانند تأثیر عمده‌ای بر تراوایی کل سازند داشته باشند، معمولاً اثر بسیار اندکی بر روی تخلخل، اشباع‌شدگی و سایر خواص پتروفیزیکی سنگ دارند. شکستگی‌های طبیعی معمولاً ویژگی‌های ثابت و خاصی را به نمایش می‌گذارند، ازجمله:

۱- معمولاً آن‌ها بر شیب لایه عمودند. البته باید در این مورد شکستگی‌های افقی را استثنا کرد. شکستگی‌های افقی بسیار کمتر از شکستگی‌های قائم بوده و گسترش آن‌ها، کمتر از شکستگی‌های قائم است.

۲- شکستگی‌های طبیعی معمولاً در یک امتداد غالب جهت‌گیری می‌کنند. اگر شکستگی‌ها ناشی از استرس‌های تکتونیکی باشند، امتداد غالب آن‌ها معمولاً با جهت‌گیری گسل‌های منطقه منطبق است

۳- گاهی اوقات شکستگی‌های طبیعی باعث می‌شوند مقادیر اندکی از دیواره چاه به‌وسیله مته حفاری شکسته شده و ریزش کنند.

۴- شکستگی‌ها معمولاً در سنگ‌های فشرده و سخت دیده می‌شوند، سنگ‌هایی که در صورت عدم وجود شکستگی در هنگام حفاری، باعث می‌شوند قطر چاه و قطر مته یکسان باشد.

۵- ازنقطه‌نظر تولید، تنها شکستگی‌های باز مفید هستند.

۴-۱۲- تشخیص شکستگی‌های زیرسطحی

در مخازن با شکستگی طبیعی، شکستگی‌ها نقش اساسی در تولید هیدروکربن ایفا می‌کنند. این شکستگی‌ها رفتار مخزن را کنترل می‌کنند. هنگامی‌که شکستگی‌ها باز هستند، مسیرهایی برای حرکت هیدروکربن به‌سوی چاه ایجاد می‌کنند و حتی ممکن است مخازنی با تراوایی پایین را به نمونه‌هایی با تولید بالا تبدیل نمایند. در مقابل، هنگامی‌که شکستگی‌ها پر و یا سیمان‌شده هستند، به‌عنوان سدی در مقابل حرکت هیدروکربن‌ها به سمت چاه، عمل می‌کنند. این رفتار دوگانه شکستگی‌ها، شناسایی آن‌ها را ضروری می‌سازد. نشانگرهای مختلفی برای شکستگی‌ها وجود دارند ازجمله اندازه‌گیری‌های صوتی، لاگ کالیپر، لاگ چگالی، لاگ‌های مقاومت ویژه، لاگ P_e، لاگ شیب‌سنج و نشانگرهای تصویری. ازآنجایی‌که مخازن کربناته در ایران به‌عنوان مهم‌ترین، پیچیده‌ترین و اصلی‌ترین منابع نفت و گاز کشور به شمار می‌روند، تعیین هر چه دقیق‌تر مشخصات این‌گونه مخازن امری اجتناب‌ناپذیر است. وجود انواع شکاف‌ها و نحوه توزیع آن‌ها موجب پیچیدگی در تفسیر

مشخصات مخزن کربناته شده است و بعضاً تفسیر پارامترهای مختلف مخزنی و تعیین نحوه توزیع آن پارامترها در سرتاسر مخزن با دشواری مواجه خواهد شد. تاکنون روش‌های مختلفی در شناسایی و مدل‌سازی مخازن کربناته شکاف‌دار به کار گرفته شده است ولی در اکثر آن‌ها تنها برخی از داده‌های میدانی در تعبیر و تفسیر استفاده شده است. با توجه به اهمیت موضوع، از روش جدیدتر یعنی نگار FMI که توسط شرکت‌های مختلف دنیا در شناسایی زون‌های حاوی شکستگی‌های باز و بسته استفاده می‌گردد، استفاده شده است.

شکستگی‌هایی که به‌وسیله لاگ‌های تصویرگر شناسایی می‌شوند در ادامه به‌اختصار توضیح داده شده‌اند.

۴-۱۲-۱- شکستگی‌های باز

دهانه این شکستگی‌ها با گل حفاری پر می‌شود و چون گل رسانا است، شکستگی‌های باز در لاگ‌های تصویری تیره به نظر می‌رسند. به دلیل اینکه مقاومت زمینه، بیشتر از گل حفاری است، شکستگی‌های باز در لاگ‌های تصویری به‌صورت امواج سینوسی ممتد یا منقطع تاریک و کدر به نظر می‌رسند (Nelson, 1979).

۴-۱۲-۲- شکستگی‌های بسته یا پرشده

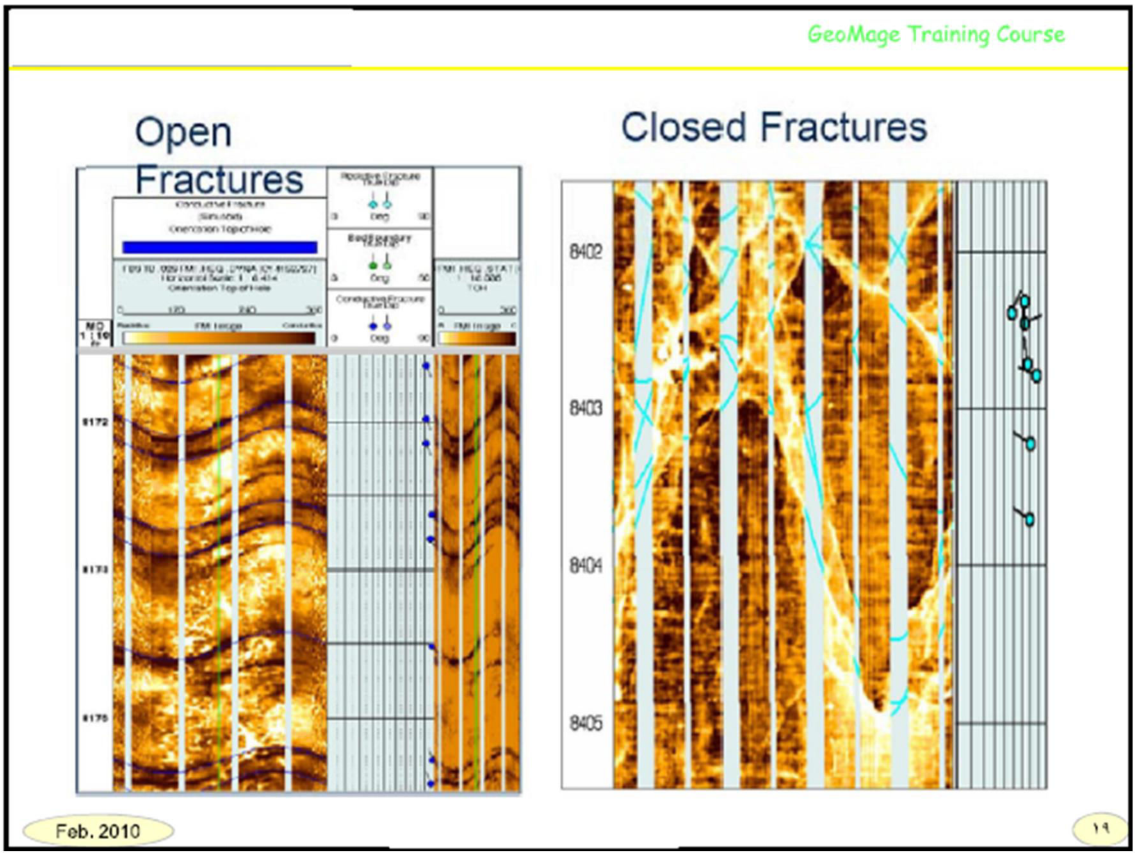
معمولاً موادی که فضای باز در شکستگی‌ها را پر می‌کنند بلور کانی‌های مختلف هستند. به علت تراکم زیاد و کمبود تخلخل، مقاومت این مواد خیلی بالاست. شکستگی‌های پرشده به‌صورت امواج سینوسی سفید در لاگ‌های تصویری به نظر می‌رسند. مضاف بر آن اگر مقاومت مواد پرکننده شکستگی‌ها بیشتر از زمینه باشد آثاری از هاله در اطراف شکستگی پرشده به نظر می‌رسد. در صورت وجود شکستگی‌های بسته یا پرشده توسط کانی‌های نهشته شده ثانویه خطوط جریان، هنگامی‌که ابزار پایین یا مقابل شکستگی قرار دارد فشرده‌شده و باعث به وجود آمدن یک مقاومت مجازی زیاد می‌شود. پس‌ازآنکه ابزار شکستگی را رد کند خطوط جریان نسبت به حالت نرمال حالت واگراتری به خود

می‌گیرند که یک مقاومت مجازی ایجاد می‌کند. نتیجه این پدیده روی نمودارهای الکتریکی یک هاله متقارن که به‌صورت تغییر رنگ ناگهانی از روشن (نارسانا) به تیره (رسانا) یا به‌عکس را رقم می‌زند. اثر هاله‌ای یک نشانه متداول برای شناسایی شکستگی‌های پرشده در کربنات‌هاست (Schlumberger, 2002).

۴-۱۲-۳- شکستگی‌های مصنوعی

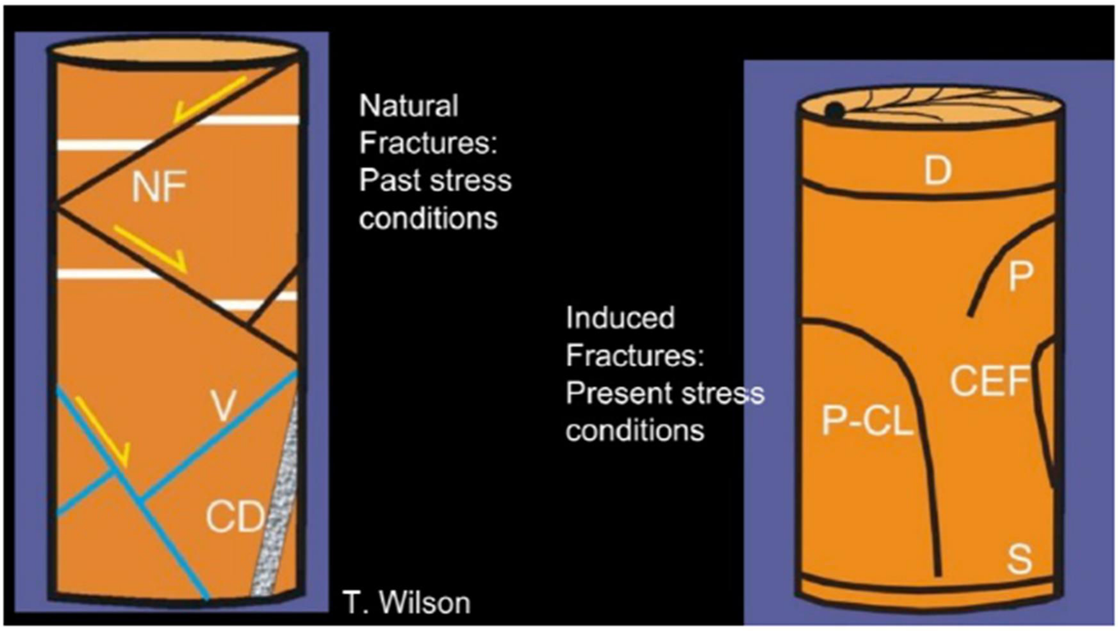
همان‌طور که می‌دانیم، نفت و گاز در فضای حفره‌ها و شکاف‌های طبیعی در سنگ‌های زیر سطح زمین تجمع می‌یابد. هنگامی‌که چاهی در درون سنگ‌های مخزنی حاوی سیالات هیدروکربنی حفر می‌گردد به علت ایجاد اختلاف فشار بین سنگ مخزن و حفره چاه، سیالات از داخل خلل‌وفرج سنگ مخزن به درون حفره چاه حرکت کرده و سپس از درون چاه به سطح زمین منتقل شوند. اگر خلل و فرج‌هایی که در سنگ مخزن وجود دارند به هم متصل باشند و سیال به‌راحتی به درون چاه حرکت کند، سنگ مخزن را سنگی بانفوذ پذیری بالا می‌دانیم ولی در مورد نفوذپذیری‌های پایین، سیال به‌راحتی قادر به حرکت از داخل سنگ مخزن به درون حفره چاه نیست؛ در این‌گونه موارد منافذ داخل سنگ، آن‌گونه که باید، اجازه‌ی حرکت سیال را به درون چاه نمی‌دهند پس چاه بهره‌وری اقتصادی ندارد زیرا به مقدار لازم از آن چاه سیال نفتی یا گازی تولید نمی‌شود. به همین دلیل نیاز به ایجاد شکاف‌ها و کانال‌های مصنوعی در داخل سنگ مخزن احساس می‌شود که درواقع این کانال‌ها توان سنگ مخزن را برای هدایت سیال به درون چاه بالا می‌برند، این کانال‌ها معمولاً توسط عملیات شکاف هیدرولیکی[1] ایجاد می‌شوند.

[1] Hydraulic Fracturing



شکل ۴-۱۱: نمایش شکستگی‌های باز و شکستگی‌های بسته در لاگ تصویری

ایجاد شکستگی مصنوعی یکی از روش‌های رایج در جهت انگیزش چاه‌ها برای افزایش تولید نفت و گاز است. در شکاف هیدرولیکی، شکاف‌هایی از دیواره‌ی چاه به‌سوی سازند تولیدکننده‌ی نفت و یا گاز ایجاد می‌شود. این تکنولوژی بارها در دنیا مورداستفاده قرارگرفته و هم‌اکنون نیز در حال به‌کارگیری است. فن‌آوری شکاف هیدرولیکی می‌تواند تولید یک چاه را حداقل تا دو برابر افزایش دهد. سازندهایی که عملیات شکاف مصنوعی در آن‌ها قابل‌اجرا می‌باشند تقریباً همه‌ی سازندها هستند به‌غیراز آن‌هایی که سازندهای بسیار نرم می‌باشند. مثلاً عملیات شکاف به‌طور موفقیت‌آمیزی تاکنون در سازندهای ماسه‌ای، آهکی، دولومیتی، کنگومراها و حتی شیل‌های سخت و شکننده انجام پذیرفته است ولی در سازندهای با طبیعت پلاستیکی، شیل‌های نرم انجام نپذیرفته است و ایجاد شکاف در آن‌ها بسیار سخت است.



شکل ۴-۱۲: تصویر شماتیک از شکستگی‌های طبیعی و مصنوعی (**Williams, 2008**)

۴-۱۳- چینه‌شناسی میدان گازی یورتشا

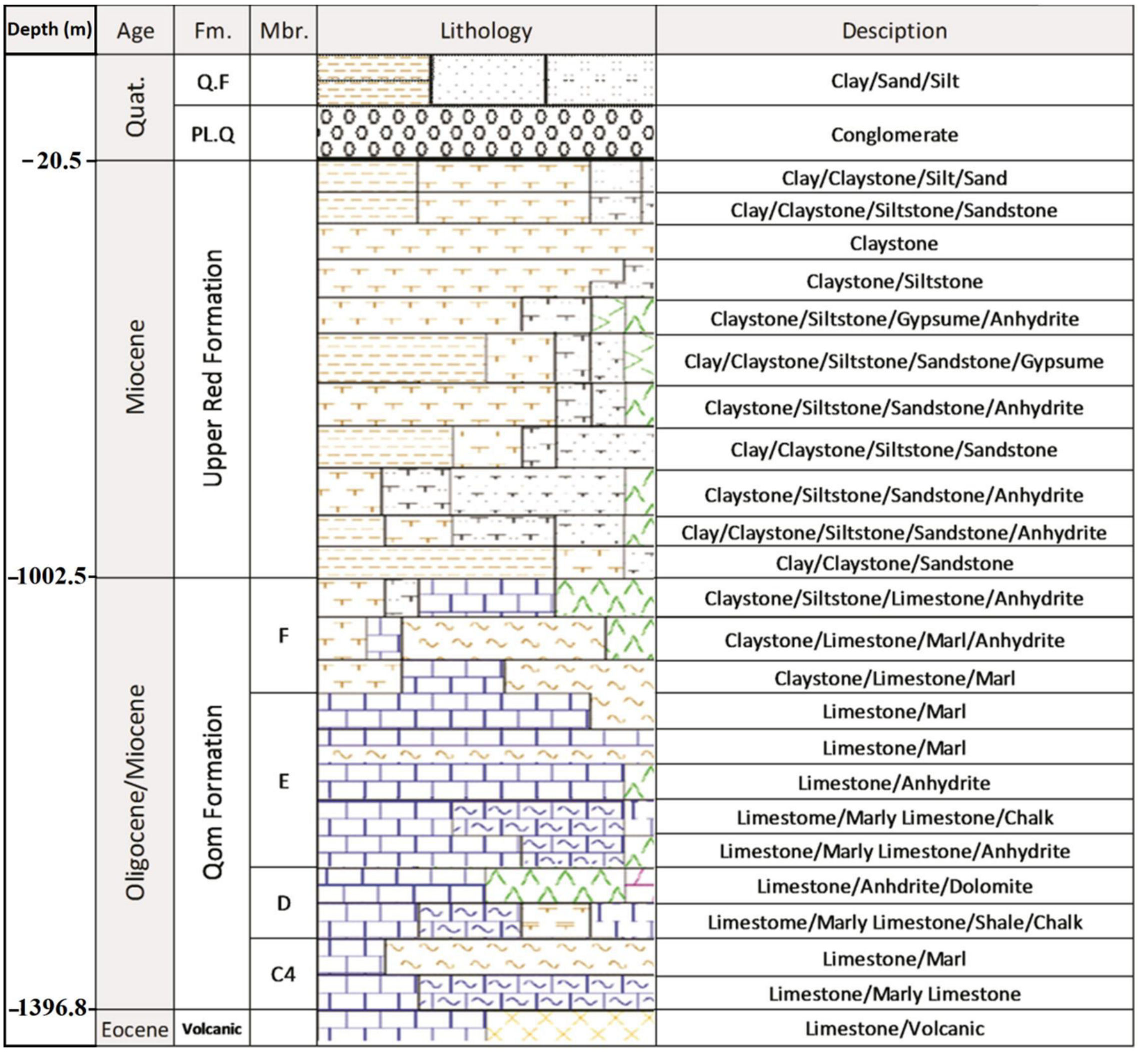
مطالعات انجام‌گرفته بر روی این میدان نشان می‌دهد که یک توالی از آواری‌ها و تبخیری‌های قرمز با سن الیگوسن، که به‌عنوان سازند قرمز پایینی (LRF) شناخته می‌شود، بر روی آندزیت‌های ایوسن قرار می‌گیرد. این توالی ناشی از پسرفت‌های محلی دریایی بوده و ضخامت آن به‌طور گسترده‌ای وسیع است. این توالی به‌طور کامل در تاقدیس یورتشا فرسایش پیدا کرده است. پوشش سازند قرمز پایینی، سازند قم است به‌طوری‌که اساساً شامل لایه‌های سنگ‌آهک دریایی مربوط به سن الیگوسن فوقانی تا میوسن زیرین است. سازند قم هنگامی‌که پیشروی دریا حوضه مرکزی را از سمت غرب و جنوب باختری مورد هجوم قرار داد در سه دوره ته‌نشین شده است. پس‌روی دریای قم نواحی لاگونی از ته‌نشست‌های تبخیری را برجای گذاشت. سازند قم دارای ضخامتی متفاوت با بیشینه ۱۰۰۰ متر است. این سازند از پایین به بالا به ۹ زیرمجموعه تقسیم شده است به‌طوری‌که ۴ مورد از جوان‌ترین آن‌ها (c4: مارل و سنگ‌آهک (عمق ۱۳۲۵/۸- ۱۳۹۶/۸ متر)، d: ژیپس و شیل (عمق ۱۳۲۳/۷- ۱۳۲۵/۸ متر)، e: مارل و سنگ‌آهک و f: سنگ‌آهک (عمق ۱۰۰۲/۵- ۱۳۹۶/۸ متر)) در ساختمان یورتشا کشف

شده‌اند. لایه c4 مستقیماً بر روی سنگ‌های ولکانیک ایوسن (عمق ۱۳۹۶/۸- ۱۴۲۶/۸ متر) قرار می‌گیرد. سنگ‌آهک قم تنها سنگ شناخته‌شده در این ناحیه است که پتانسیل بودن به‌عنوان یک مخزن ذخیره‌سازی گاز را دارد. سازند قم توسط سازند قرمز بالایی (URF) ، یک توالی ضخیم از گل‌سنگ (mudstone) و ماسه‌سنگ به همراه کنگلومرای محلی، لایه‌های انیدریت و لایه‌های ژیپس با سن میوسن میانی تا بالایی پوشش داده می‌شود. رسوبات گلی مخروط‌افکنه رودخانه دلتایی و رسوبات آواری درشتی وجود دارند که در آب‌وهوای خشک برجای مانده‌اند. عضو M-1 (عمق ۵۵۰/۴- ۱۰۰۲/۵ متر) زیرین این سازند، شامل میان لایه‌های ژیپس، انیدریت، siltstone و claystone پتانسیل عایق بودن (پوش‌سنگ) مخزن قم را به وجود می‌آورد. عضو M-2 سازند قرمز بالایی (عمق ۲۰/۵- ۵۵۰/۴ متر) متشکل از مارن‌های گچدار و ماسه‌سنگ‌های قرمز و قهوه‌ای است. تحرکات پیوسته آلپاین پسین، سازند قرمز بالایی و واحدهای سنگ‌آهک زیرین را تغییر شکل داده است.

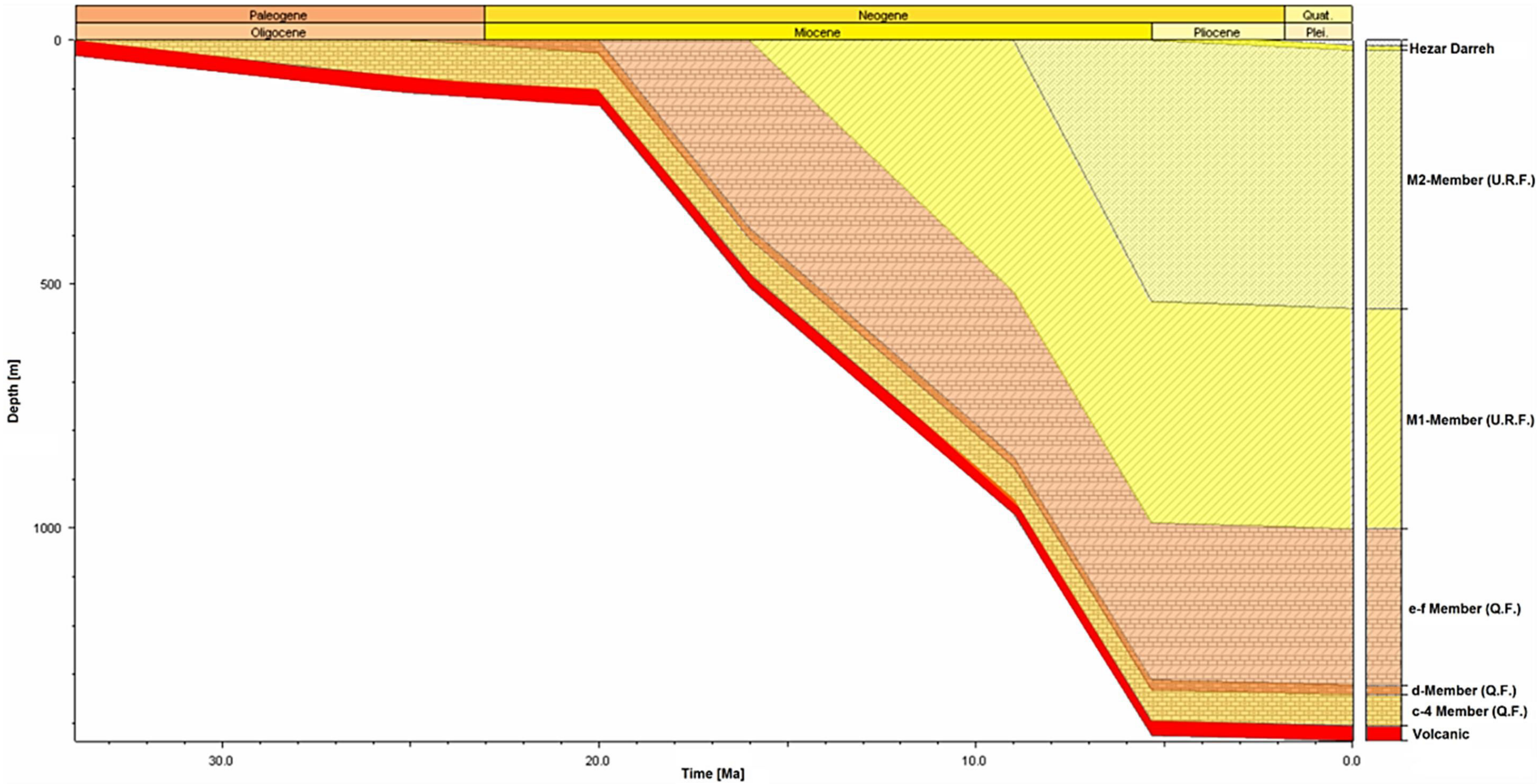
۴-۱۴- تاریخچه تکتونیکی میدان گازی یورتشا

محاسبات تاریخچه تدفین که برای زمین‌شناس نفت در دسترس است شامل نمودارهای تاریخچه تدفین و زمین- تاریخی، تخلخل و نفوذپذیری به‌عنوان تابعی از عمق و سنگ‌شناسی (لیتولوژی) و همچنین نتایج به‌دست‌آمده از الگوریتم‌ها به‌منظور بررسی دگرشیبی‌ها و فرونشست پوسته است؛ داده‌های ورودی موردنیاز برای ترسیم تاریخچه تدفین شامل عمق‌های بالای (top) سازند، سن بخش بالای سازندها، جنس سنگ سازندها و نوع مرز سازندها است (Guidish, 1985). با توجه به نمودار شکل ۴-۱۴ که در نرم‌افزار Petromod رسم شده است، از ابتدای شروع دوره الیگوسن، آهک‌های ممبر C4 ته‌نشین شده، درحالی‌که فرونشینی سریع حوضه (و به‌تبع آن افزایش فضای رسوب‌گذاری)، در ابتدای دوره میوسن، هم‌زمان با شروع رسوب‌گذاری ممبرهای e و f رخ داده است. رسوبات سازند قرمز بالایی نیز به دنبال رسوبات سازند قم به‌صورت پیوسته ته‌نشین شده و پدیده فرسایش در این میان دیده نمی‌شود. از طرفی بر اساس نمودار، اولین سطح فرسایشی در دوره پلیوسن و در بخش انتهایی رسوبات سازند قرمز بالایی که رسوبات سازند کنگلومرایی هزار دره به‌صورت ناهمساز بر روی

آن قرار گرفته‌اند رخ داده و وجود یک مرز فرسایشی در مرز ولکانیک‌های ائوسن و سازند قم محتمل است.



شکل ۴-۱۳: ستون چینه‌شناسی سازند قم و سازند قرمز بالائی در چاه موردمطالعه. در این منطقه سازند قم به‌طور مستقیم بر روی سنگ‌های ولکانیک ائوسن قرارگرفته و ممبرهای **A**، **B** و **C1** تا **C3** از سازند قم در این ناحیه نهشته نشده‌اند (شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی).



شکل ۴-۱۴: نمایش تاریخچه تدفین چاه شماره ۳ میدان یورتشا، شمال غرب ایران مرکزی

۴-۱۵- نمودار های کانتوری

نمودار کانتوری به عنوان یک نمایش گرافیکی از روابط بین سه متغیر عددی در دو بعد استفاده می‌شود. دو متغیر برای محور X و Y و متغیر سوم Z، برای سطوح کانتور می‌باشد. در زیر نقشه کانتوری هم‌عمق و هم‌ضخامت میدان گازی یورتشا شرح داده می شود.

۴-۱۵-۱- نقشه کانتوری ساختمانی میدان گازی یورتشا (Underground Structural Contour Map)

در نقشه UGC کانتورهایی را بر روی افق‌های زمین‌شناسی زیرسطحی نسبت به سطح‌مبنای تعیین‌شده، که معمولاً سطح تراز دریا است، نشان می‌دهند، اما مبنای نقشه UGC تهیه‌شده برای ساختار یورتشا سطح زمین است (با توجه به اینکه مرز بالایی سازند قم در چاه ۳ روی خط کانتور ۱۰۰۲ است و همچنین در نقشه UGC چاه شماره ۳ روی خط کانتور ۱۰۰۲ قرار دارد). نقشه‌های ساختمانی به‌خوبی قادرند ساختارهای زیرسطحی را به نمایش بگذارند. بر روی نقشه UGC میدان یورتشا به دلیل سهولت کار اعداد مثبت به‌نمایش گذاشته شده است (شکل ۴-۱۵).

۴-۱۵-۲- نقشه هم‌ضخامت سازند قم در تاقدیس یورتشا (Thickness Map)

نقشه های هم ضخامت در مطالعات زمین شناسی ساختمانی نقش اساسی دارند. این نقشه ها روند و تغییرات ضخامت یک واحد زمین شناسی مانند ممبر یا سازند را در یک ساختار زمین شناسی نشان می دهند. دو نوع نقشه هم ضخامت وجود دارد ایزوپک یا نقشه هم ضخامت واقعی (Isopach) و ایزوکور (Isochore) یا نقشه هم ضخامت قائم حفاری شده.

- ایزوپک: نقشه ای است که منحنی ها ضخامت واقعی (و عمود بر لایه بندی) سازند را در هر نقطه نشان می دهد.

- ایزوکور: نقشه‌ای است که در آن منحنی ها و خطوط ضخامت قائم سازند را بدون تصحیح شیب لایه نشان داده می‌شوند. درواقع بیانگر ضخامت قائم لایه یا سازند مورد نظردر طی حفاری است.

در شکل ۴-۱۶ نقشه هم ضخامت واقعی یا ایزوپک سازند قم در تاقدیس یورتشا نشان داده شده است. بر این اساس ضخامت سازند قم بطور متوسط بین ۳۰ تا ۱۰۰ متر متغیر بوده بطوریکه از شرق-جنوب‌شرقی به طرف غرب/شمالغربی ضخامت سازند قم کاهش می یابد. بیشترین ضخامت در بخش بالائی تاقدیس و در محل گسلهای اصلی تاقدیس مشاهده می شود. به نظر می رسد بعلت تعداد کم نقاط کنترل کننده نقشه (تعداد کم چاه های حفاری شده) ضخامت ترسیم‌شده در یال شمالی تا اندازه‌ای دارای عدم‌قطعیت است.

۴-۱۶- معرفی گسل‌ها به ترتیب اهمیت

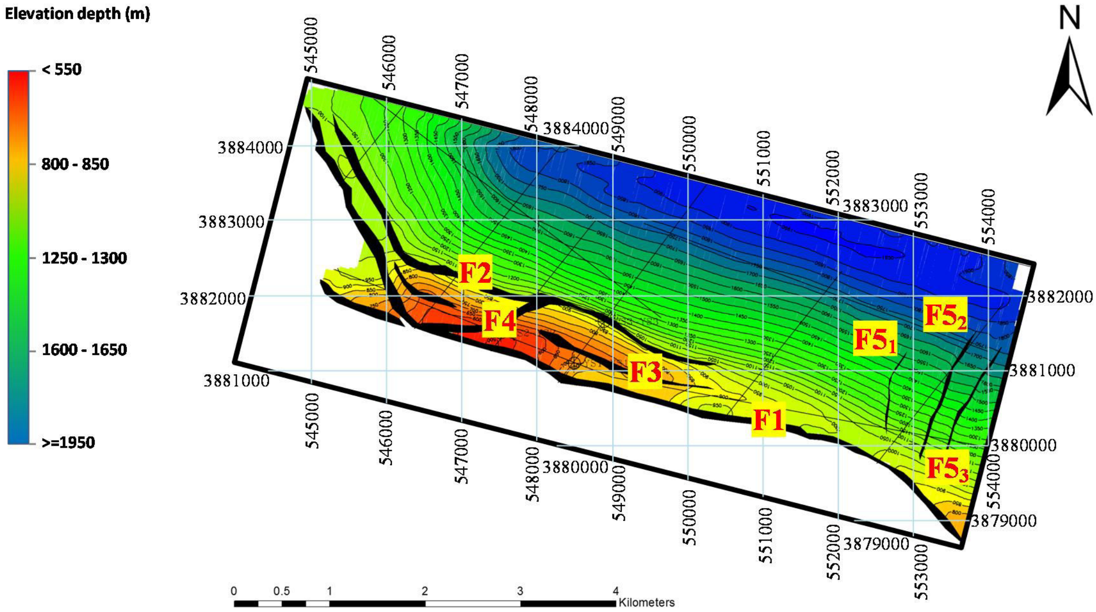
۱- گسل اصلی میدان یورتشا گسل معکوسی (F1) است که در یال جنوبی واقع شده است. امتداد آن N110 و متوسط شیب آن ۵۳ درجه است. موقعیت این گسل‌ها در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است.

۲- گسل F2 معکوسی است که به موازات گسل اصلی بر روی یال شمالی میدان قرار گرفته است. چاه ۳ بر روی این گسل قرار دارد. امتداد آن N115 و میانگین شیب آن حدود ۸۱ درجه است.

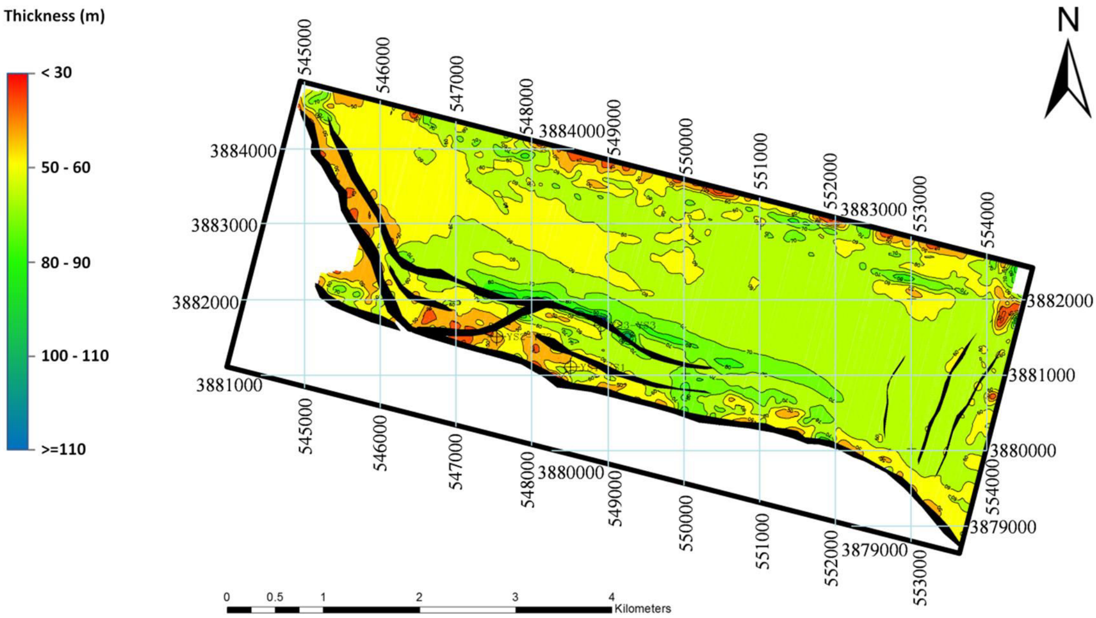
۳- گسل F3 در محور ناودیس با روند N108 و میانگین شیب ۵۷ قرار دارد.

۴- گسل F4 از گسل F1 به سمت گسل F2 با روند N135 امتداد یافته است.

۵- گسل فرعی با روند N10E و شیب به سمت جنوب خاور در قسمت خاوری نقشه UGC میدان یورتشا واقع شده‌اند.



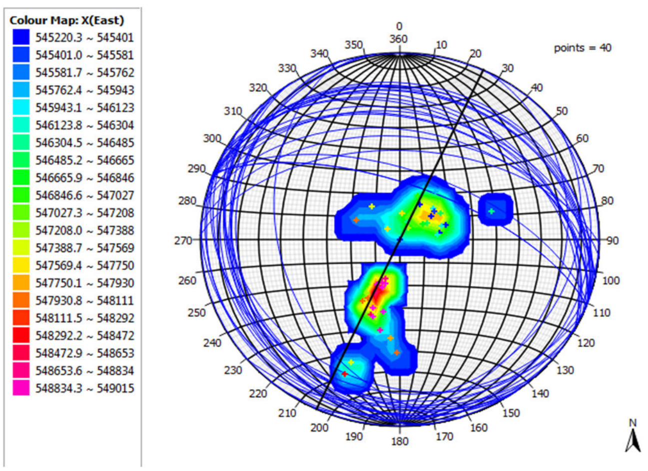
شکل ۴-۱۵: نقشه ساختاری از سطح بالایی (Top) سازند قم



شکل ۴-۱۶: نقشه ساختاری ایزوپک سازند قم

۴-۱۷- تحلیل استریوگرافی تاقدیس زیرسطحی یورتشا

تحلیل استریوگرافی تاقدیس زیرسطحی یورتشا، نشان می‌دهد که، مشخصات محور این تاقدیس، در زیر سطح زمین و در عمق سازند قم، حدود 296E,09NE می‌باشد. معکوس شدگی جنوبی ساختار یورتشا به دلیل فعالیت مجدد سیستم گسل نرمال با جهت‌گیری NW-SE، به دنبال اولین فاز چین‌خوردگی در طی کشش و احتمالاً در طی آخرین بالاآمدگی، رخ داده است؛ که درنتیجه آن یال جنوبی در یک موقعیت ساختاری پایین‌تر نسبت به یال شمالی قرار گرفته است. ساختار تاقدیس‌های همسایه، دوازده امام و کوه مره، روند تکتونیکی یکسانی را مانند یورتشا دنبال می‌کنند. این تاقدیس‌ها همانند تاقدیس یورتشا دارای جهت‌گیری WNW-ESE هستند و هردوی آن‌ها نشان‌دهنده یک گسل بزرگ با جهت‌گیری WNW-ESE همانند جهت‌گیری یک گسل بزرگ که در یورتشا مشاهده شده است، می‌باشند. این مهم به‌خوبی با روندهای گسل بزرگ ناحیه‌ای در حوضه ایران مرکزی تطابق دارد. تاقدیس دوازده امام همانند ساختار یورتشا دارای یک یال شمالی مرتفع و یک یال جنوبی پست است. این مدل با اکثر ساختارها در بخش NW از حوضه ایران مرکزی تطابق دارد. کوه- مره با یک یال پست شمالی و یک یال مرتفع جنوبی، ساختاری متفاوتی را نشان می‌دهد (گزارش زمین‌شناسی ساختمانی شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی). شکل ۴-۱۷ تصویر استریوگرافی تاقدیس یورتشا را نشان می‌دهد. مشخصات هندسی تاقدیس یورتشا در جدول ۴-۲ آورده شده است.



شکل ۴-۱۷: تصویر استریوگرافی از تاقدیس زیرسطحی یورتشا

جدول ۴-۲: خصوصیات هندسی تاقدیس یورتشا

نام ساختار	تاقدیس یورتشا
میانگین شیب یال جنوب غربی	۱۵
میانگین شیب یال شمال شرقی	۳۳
میانگین محور	296E,09NE
زاویه بین پهلوی چین	۱۳۳
نوع چین بر اساس زاویه بین پهلوها	ملایم

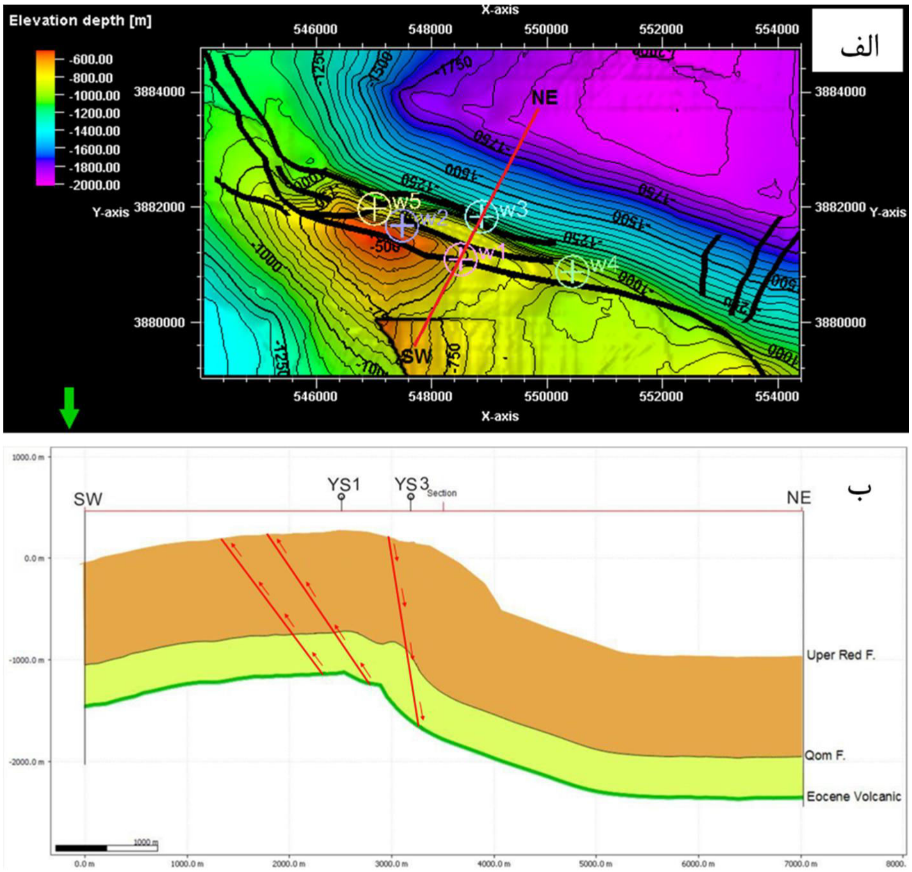
۴-۱۸- مقطع ساختمانی

مقطع ساختمانی یورتشا با استفاده از داده‌های شامل نقشه TOP سازند قم رقومی (UGC) تهیه‌شده در نرم‌افزار پترل، ضخامت سازند قرمز بالایی از ۲۰ تا ۱۰۰۷ (۹۸۷ متر) و سازند قم از ۱۰۰۷ تا ۱۳۹۶ (۳۸۹ متر) و ولکانیک ائوسن از ۱۳۹۶ تا ۱۴۲۸ (۳۲ متر) در نرم‌افزار MOVE باهدف بررسی تغییرات زیرسطحی لایه‌ها و عملکرد گسل‌ها ترسیم شده است. به‌منظور محاسبه شیب گسل‌ها در ابتدا دو خط کانتور متفاوت که هر کدام در دو نقطه گسل را قطع کرده اند، رسم می کنیم. سپس اختلاف ارتفاع عمودی این دو نقطه و فاصله افقی (مسافت حقیقی) بین این دو نقطه را با توجه به مقیاس نقشه اندازه گیری می کنیم. با توجه به مثلث (قائم الزاویه) ایجاد شده و اعمال رابطه هندسی آرک‌تانژانت برای زاویه حاده مقابل به ضلع قائمه، مقدار شیب گسل محاسبه خواهد شد. شیب گسل-های به‌دست‌آمده به‌ترتیب از پایین به سمت بالا حدود ۵۳، ۸۱ و ۵۷ درجه می‌باشد که جهت شیب آن‌ها به سمت شمال شرق است. حرکت معکوس با مؤلفه راست‌گرد گسل‌ها نیز در ارتباط با تکامل تاقدیس به وجود آمده است (شرکت ذخیره سازی گاز طبیعی). علی‌رغم وجود جابه‌جایی لایه‌ها در نقشه UGC مقدار آن به دلیل نداشتن دیتای لرزه‌ای مشخص نیست.

۴-۱۹- تحلیل هندسی تاقدیس یورتشا

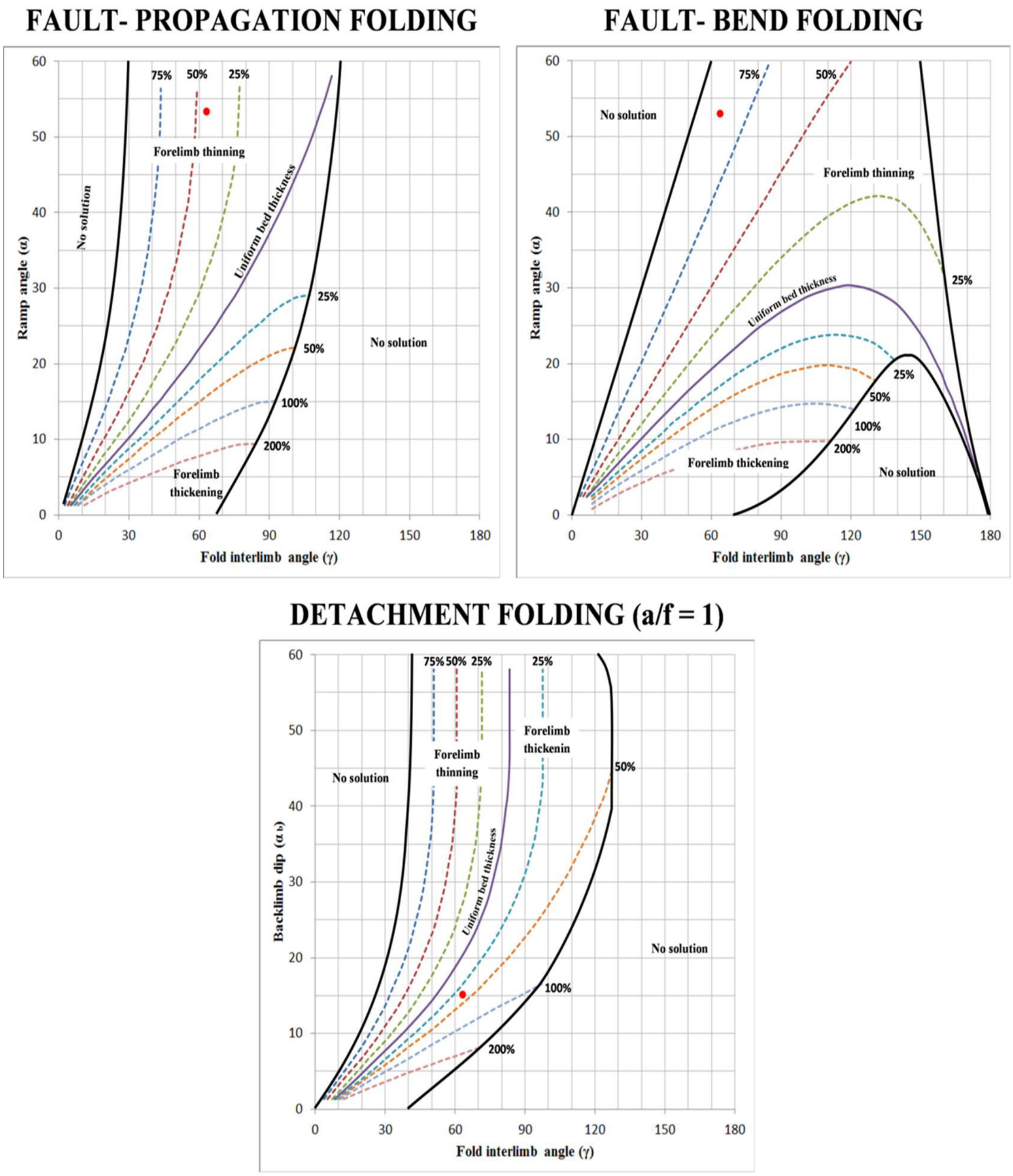
با توجه به مقطع عرضی ساختمانی رسم شده از تاقدیس یورتشا در شکل ۴-۱۸، ضخامت لایه‌ها تقریباً ثابت بوده بنابراین می‌توان گفت که ساختار یورتشا در شرایط نسبتاً پایدار تشکیل شده‌اند. تاقدیس یورتشا یک چین نامتقارن، غیر استوانه‌ای و مرتبط با گسل است. به‌منظور تحلیل هندسی

تاقدیس یورتشا از نمودارهای ارائه‌شده توسط جامیسون[1] در سال ۱۹۸۷ استفاده شده است (Jamison, 1987). پارامترهای استفاده‌شده برای تشخیص هندسه چین در تاقدیس یورتشا شامل شیب زاویه پلکان (α)، زاویه بین پهلوها (γ) و شیب یال جنوبی (α_b) تاقدیس یورتشا است (شکل ۴-۱۹). پلات متغیرها در نمودار چین خم گسلی (شکل ۴-۱۹)، محدوده‌ای با ۷۲ درصد نازک شدگی در پهلوی پیشانی را نشان می‌دهد که با توجه به عدم‌تغییر ضخامت قابل‌توجه، پهلوی پیشانی در مقطع عرضی تاقدیس یورتشا با این مکانیسم گسلی هم‌خوانی ندارد. پلات پارامترهای مورداستفاده در نمودارهای مربوط به چینهای جدایشی و پیشروی گسلی نشان می‌دهند این دو سازوکار می‌توانند هندسه مناسبی برای تاقدیس یورتشا باشند. با توجه به نحوه تشکیل تاقدیس وگسلش قبل از چین‌خوردگی الگوی چین پیشروی گسلی الگوی مناسب‌تری برای تاقدیس یورتشا است.



شکل ۴-۱۸: الف– نقشه مدل عمقی یورتشا، ب – مقطع ساختمانی تاقدیس یورتشا

[1] Jamison



شکل ۴–۱۹: موقعیت تاقدیس یورتشا در برش **A-A** (شکل ۴–۱۸) روی نمودارهای چین‌خوردگی مدل **Jamison (1987)** (دایره تو پر).

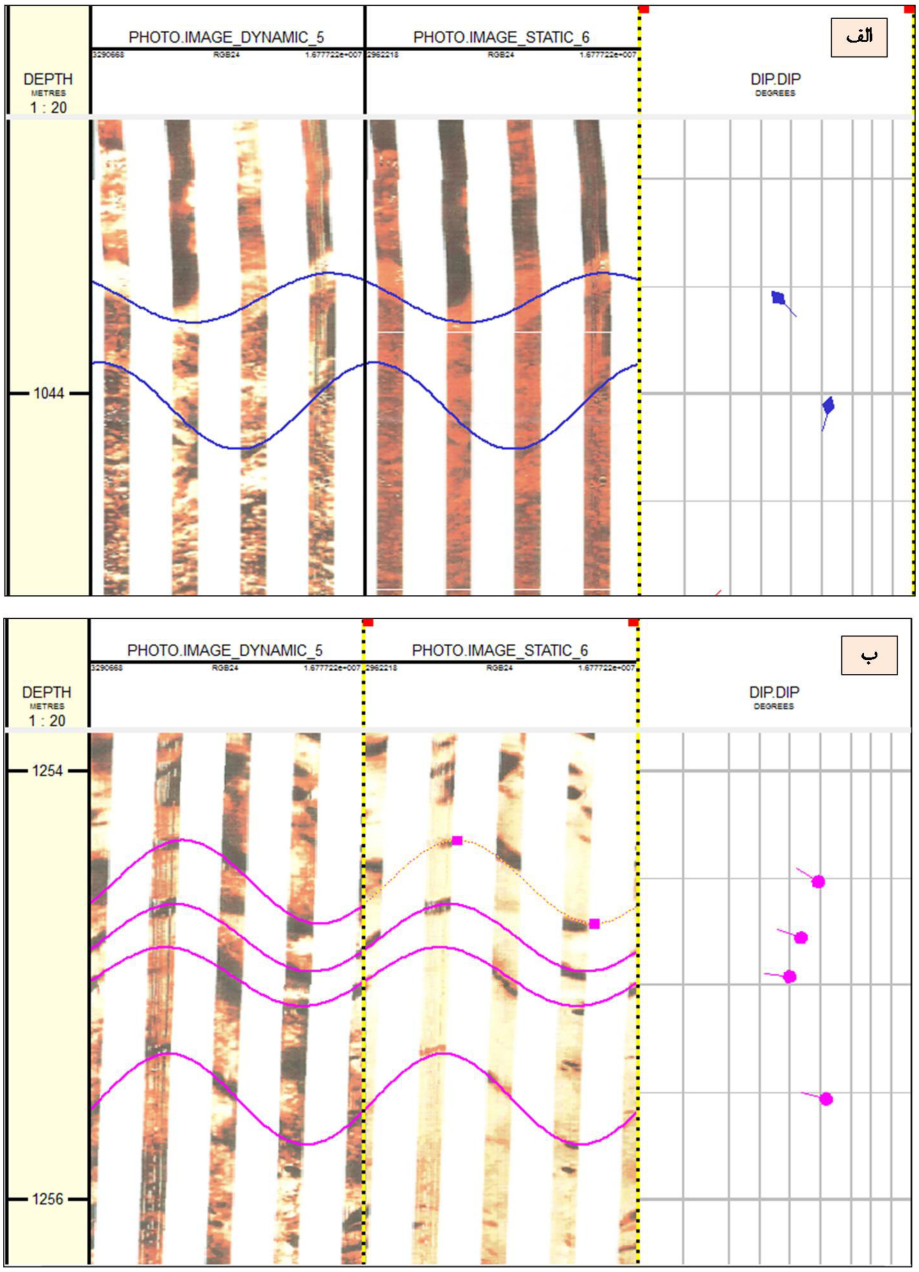
۴-۲۰- بررسی شکستگی‌ها و درزه‌های تحت‌الارضی در میدان گازی یورتشا

شکستگی‌ها یکی از فراوان‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی هستند که در اکثر طبقات رسوبی حضور دارند. اکثر شکستگی‌هایی که در رخنمون‌های سطحی مشاهده می‌شوند در زیر زمین نیز وجود دارند بنابراین شکستگی‌ها تنها حاصل شرایط سطحی نیستند (Nelson, 2001). شکستگی‌های زیرسطحی نقشی اساسی در جریان سیال، اکتشاف، تولید و بهره‌برداری اقتصادی همچنین ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی دارد. به‌طورکلی شکستگی‌ها بخش اساسی کیفیت مخزنی به‌خصوص در سنگ‌های کربناته را تشکیل می‌دهند. به دلیل آنکه امکان مطالعه مستقیم شکستگی‌ها در زیر زمین وجود ندارد در صورت امکان از مغزه‌های تهیه‌شده استفاده می‌شود اما به دلیل هزینه بالا و گاها عدم شرایط لازم برای مغزه گیری از نمودارهای تصویری ازجمله FMS، FMI, UBI و ... استفاده می‌شود. در این مطالعه به بررسی شکستگی‌ها تحت‌الارضی از با استفاده از تصاویر FMS و EMI پرداخته شده است.

۴-۲۱- نتایج بررسی شکستگی‌های میدان گازی یورتشا

در این تحقیق ابتدا به رقومی سازی لاگ‌های تصویری با فرمت JPG، تهیه‌شده از شرکت ذخیره‌سازی، با فرمت نرم‌افزار ژئولاگ (CGM) پرداخته شده است. سپس با استفاده از ماژول DIP شکستگی‌های بر روی تصاویر استاتیک[1] و دینامیک[2] پیک شده است (شکل ۴-۲۰).

[1] Static
[2] Dynamic



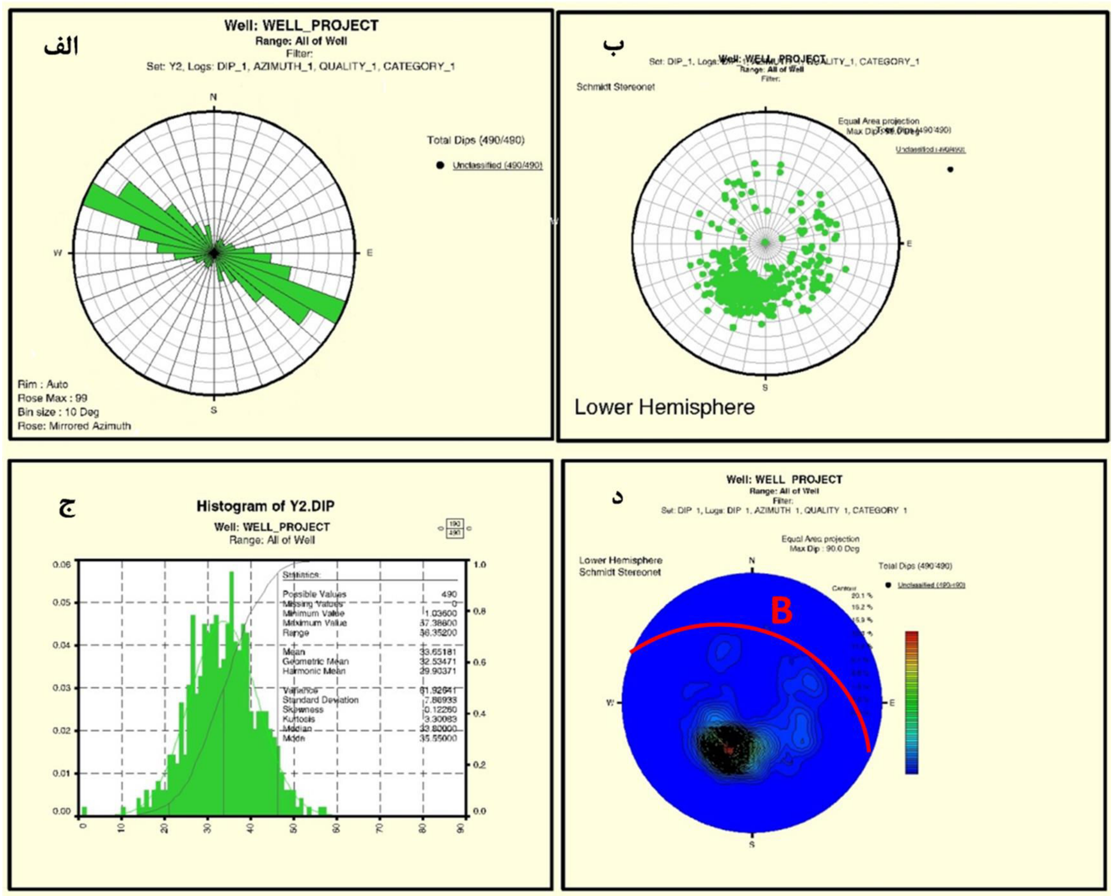
شکل ۴-۲۰: نمایش شکستگی‌های بسته (الف) و شکستگی‌های باز (ب) بر روی تصاویر دینامیک و استاتیک لاگ تصویری **FMS** در چاه **YS3** با استفاده از نرم‌افزار **Geolog**، شکستگی‌های باز و بسته شناسایی شد.

۴-۲۱-۱- چاه شماره ۲

- **پلات آماری لایه‌بندی چاه شماره ۲**

نمودار گل سرخی لایه بندی های چاه ۲ (شکل ۴-۲۱ الف) آزیموت N65W را نشان می دهد. تصویر استریوگرافیک (شکل ۴-۲۱ ب) قطب لایه بندی های چاه ۲ نشان می دهد که قطب لایه‌بندی‌های

چاه ۲ داری پراکندگی است. با توجه به نمودار شیب (شکل ۴-۲۱ ج)، لایه بندی های چاه ۲ شیبی بین ۱۰ تا ۵۸ دارند. با توجه به نمودار کانتوری، چاه ۲ در یال شمالی واقع شده است (شکل ۴-۲۱ د).

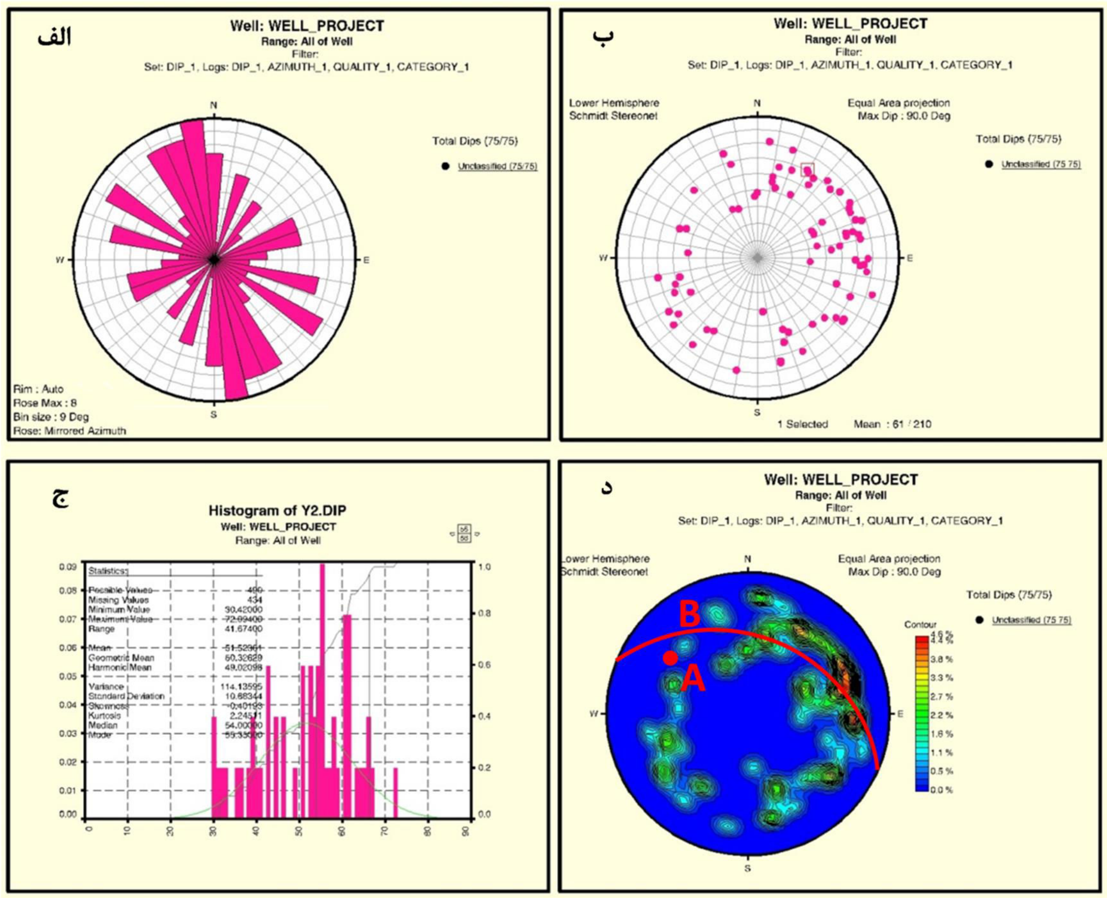


شکل ۴-۲۱: پلات آماری لایه‌بندی چاه شماره ۲؛ الف- نمودار گل سرخی لایه‌بندی‌ها، ب- قطب لایه‌بندی‌ها، ج- نمودار هیستوگرام شیب لایه‌بندی، د- نمودار کانتوری مربوط به چاه ۲

- **پلات آماری شکستگی‌های باز در چاه شماره ۲**

همان‌طور که در پلات (شکل ۴-۲۲ الف) نشان داده شده است، نمودار گل سرخی روند غالب N85E,S65E,S15E را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار استریوگرافی (شکل ۴-۲۲ ب) قطب شکستگی های باز در چاه شماره ۲ دارای پراکندگی است. نمودار کانتوری شکستگی‌های باز نشان می‌دهد که تجمع قطب آن‌ها در بخش شمالی خاوری استریونت است. هیستوگرام شیب نشان می‌دهد

مقدار شیب بین ۳۰ تا ۶۷ متغیر است (شکل ۴-۲۲ ج). با توجه به موقعیت محور(نقطه A) بر روی نمودار کانتوری شکستگی‌های باز در چاه شماره ۲ از نوع شکستگی‌های طولی و به‌موازات محور چین هستند (شکل ۴-۲۲ د).

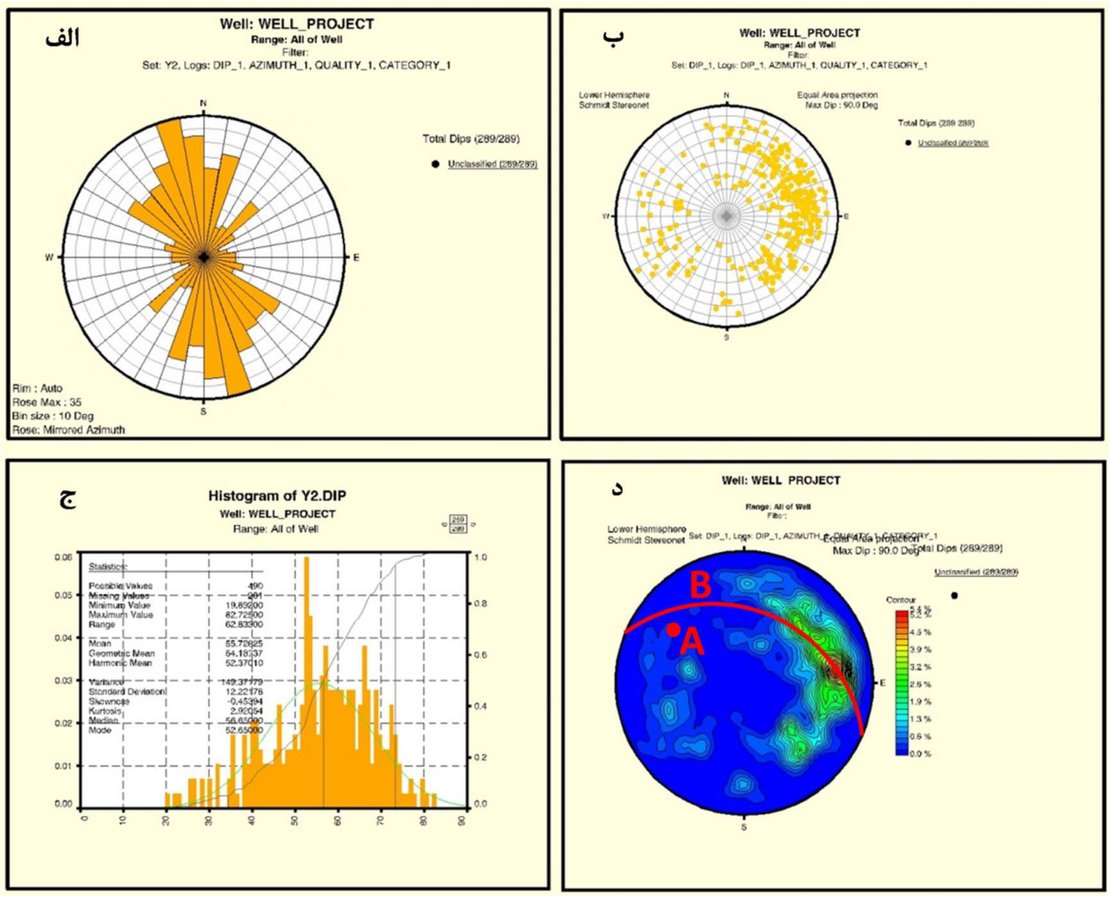


شکل ۴-۲۲: پلات آماری شکستگی‌های باز چاه شماره ۲. الف- نمودار گل‌سرخی شکستگی‌های باز، ب- قطب شکستگی‌های باز، ج- هیستوگرام شیب شکستگی‌های باز، د- نمودار کانتوری شکستگی‌های باز.

- **پلات آماری شکستگی‌های بسته در چاه شماره ۲**

شکستگی‌های بسته در چاه شماره ۲ دارای آزیموت N15W است (شکل ۴-۲۳ الف). همان‌طور که در پلات (شکل ۴-۲۳ ب) نشان داده شده است، قطب شکستگی‌های بسته نشان می‌دهد که تجمع قطب‌ها بیشتر در بخش شمال خاوری استریونت می‌باشد. در شکل ۴-۲۳ (ج) هیستوگرام شیب نشان

می‌دهد مقدار شیب بین ۲۰ تا ۸۲ متغیر است. با توجه به موقعیت محور(نقطه A) بر روی نمودار کانتوری شکستگی‌های باز در چاه شماره ۲ از نوع مایل و عرضی هستند (شکل ۴-۲۳ د).



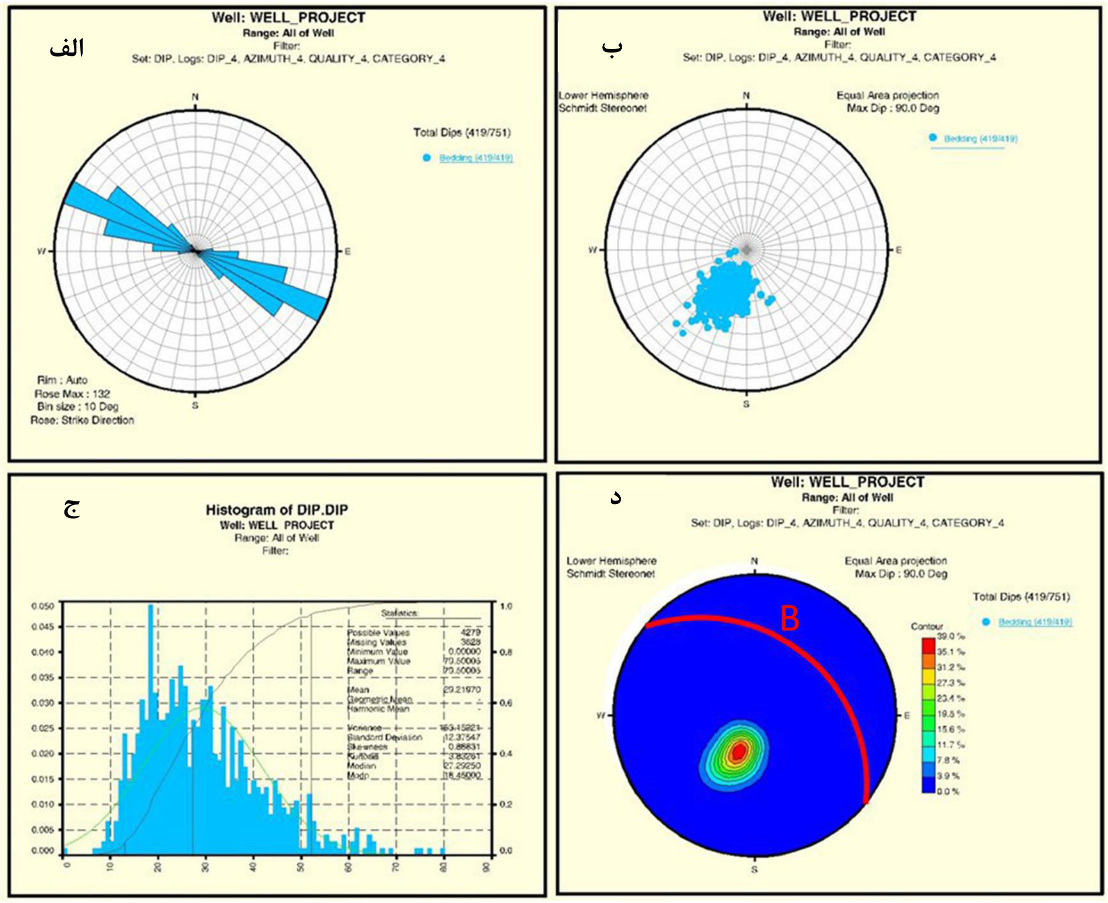
شکل ۴-۲۳: پلات آماری شکستگی‌های بسته چاه شماره ۲. الف- نمودار گل‌سرخی شکستگی‌های بسته، ب- قطب شکستگی‌های بسته، ج- هیستوگرام شیب شکستگی‌های بسته، د- نمودار کانتوری شکستگی‌های بسته.

۴-۲۱-۲- چاه شماره ۳

- **پلات آماری لایه‌بندی چاه شماره ۳**

تصاویر و پلات‌های آماری لایه‌بندی‌های چاه شماره ۳ نشان می‌دهد که مرز طبقات دارای آزیموت 115E می‌باشند (شکل ۴-۲۴ الف). با توجه به نمودار استریوگرافی (شکل ۴-۲۴ ب)، تجمع قطب لایه بندی ها در چاه ۳ در بخش جنوب غرب قرار دارد. با توجه به نمودار شیب (شکل ۴-۲۴ ج)، مقدار شیب لایه ها در چاه شماره ۳ بین ۱۰ تا ۸۰ متغییر است ولی اکثر آن‌ها شیبی کمتر از ۵۰ درجه

دارند. همان‌طور که نمودار کانتوری نشان می‌دهد، چاه ۳ در یال شمالی تاقدیس یورتشا قرار دارد. (شکل ۴-۲۴ د).

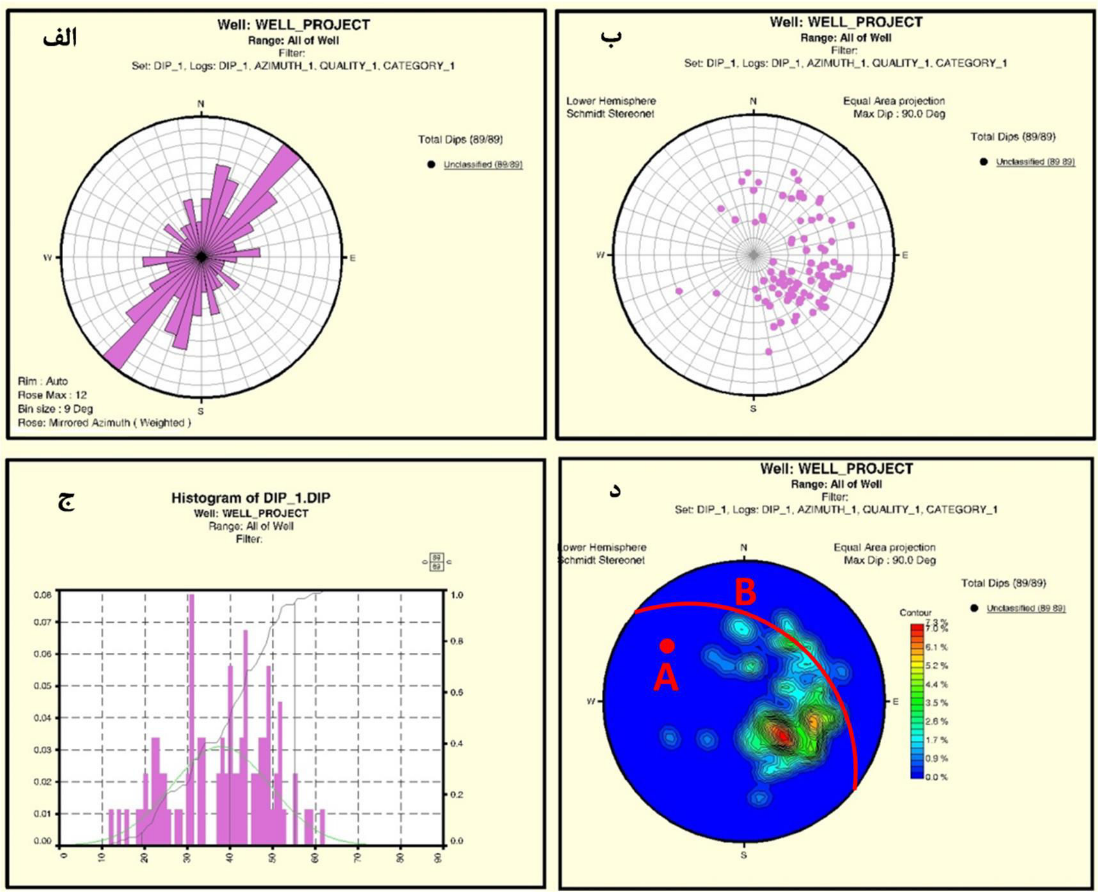


شکل ۴-۲۴: پلات آماری لایه‌بندی چاه شماره ۳؛ الف- نمودار گل سرخی لایه‌بندی‌ها، ب- قطب لایه‌بندی‌ها، ج- نمودار هیستوگرام شیب، د- نمودار کانتوری لایه‌بندی مربوط به چاه ۳

- **پلات آماری شکستگی‌های باز در چاه شماره ۳**

با توجه به نمودار گل سرخی شکستگی‌های رسانا دارای آزیموت N45W است (شکل ۴-۲۵ الف). پلات شکل ۴-۲۵ (ب) قطب شکستگی‌های باز را نشان می‌دهد که در بخش جنوب‌غربی (استریونت) تجمع بیشتری دارند. نمودار هیستوگرام شیب شکستگی‌های رسانا نشان می‌دهد که به‌طورکلی مقدار شیب پایین است، ولی مقدار آن بین ۱۲-۶۳ متغیر است (شکل ۴-۲۵ ج). با توجه به موقعیت محور

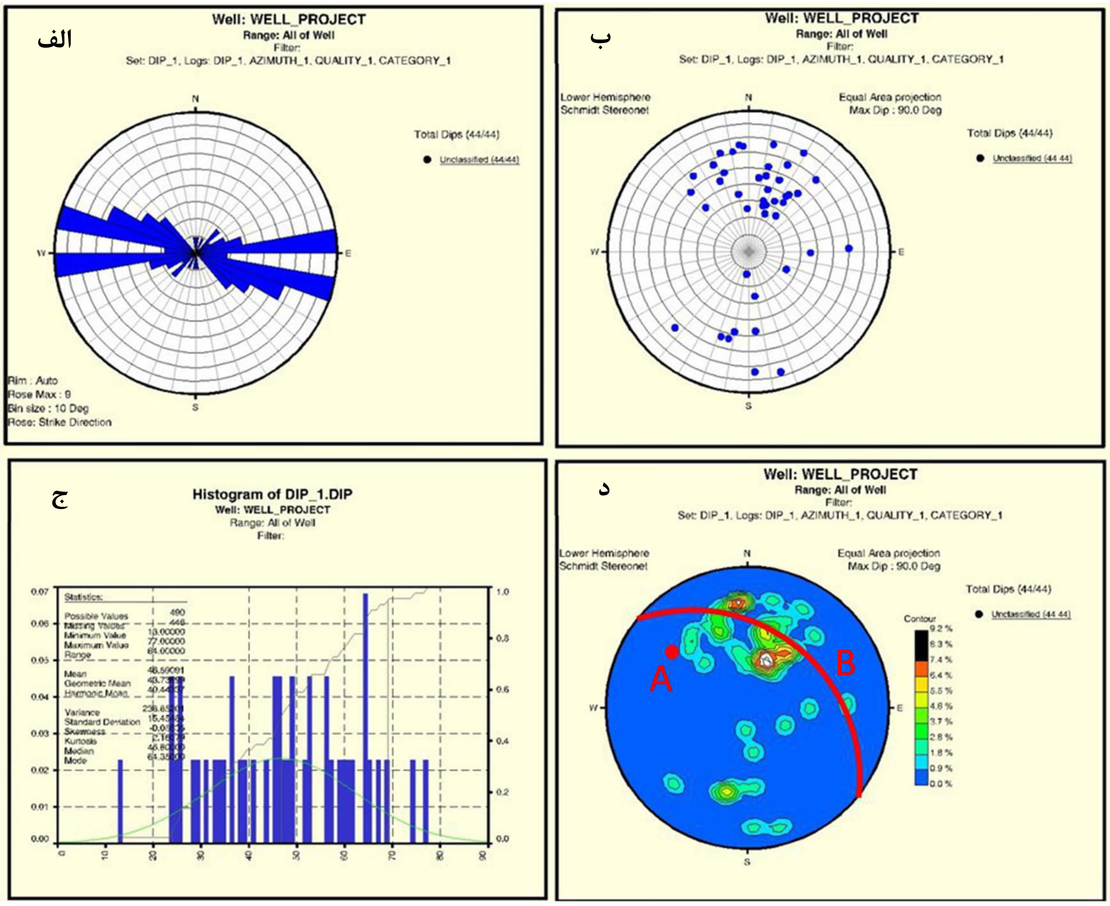
(نقطه A) بر روی نمودار کانتوری شکستگی‌های باز در چاه شماره ۳ از نوع شکستگی‌های عرضی که عمود بر محور چین هستند، می‌باشد (شکل ۴-۲۵ د).



شکل۴-۲۵: پلات آماری شکستگی‌های باز چاه شماره ۳؛ الف- نمودار گل‌سرخی شکستگی‌های باز، ب- قطب شکستگی‌های باز، ج- هیستوگرام شیب شکستگی‌های باز، د- نمودار کانتوری شکستگی‌های باز

- **پلات آماری شکستگی‌های بسته در چاه شماره ۳**

شکستگی‌های بسته دارای دو امتداد عمده N80E,10SE و S80E,40SW هستند (شکل ۴-۲۶ الف). همان‌طور که در پلات شکل ۴-۲۶ (ب) نشان داده شده است، قطب شکستگی‌های بسته نشان می‌دهد که تجمع قطب‌ها بیشتر در بخش شمالی استریونت می‌باشد. در بخش (ج) هیستوگرام شیب نشان می‌دهد مقدار شیب بین ۱۲تا ۷۸متغیر است. با توجه به موقعیت محور(نقطه A) بر روی نمودار کانتوری شکستگی‌های باز در چاه شماره ۳ از نوع مایل هستند.

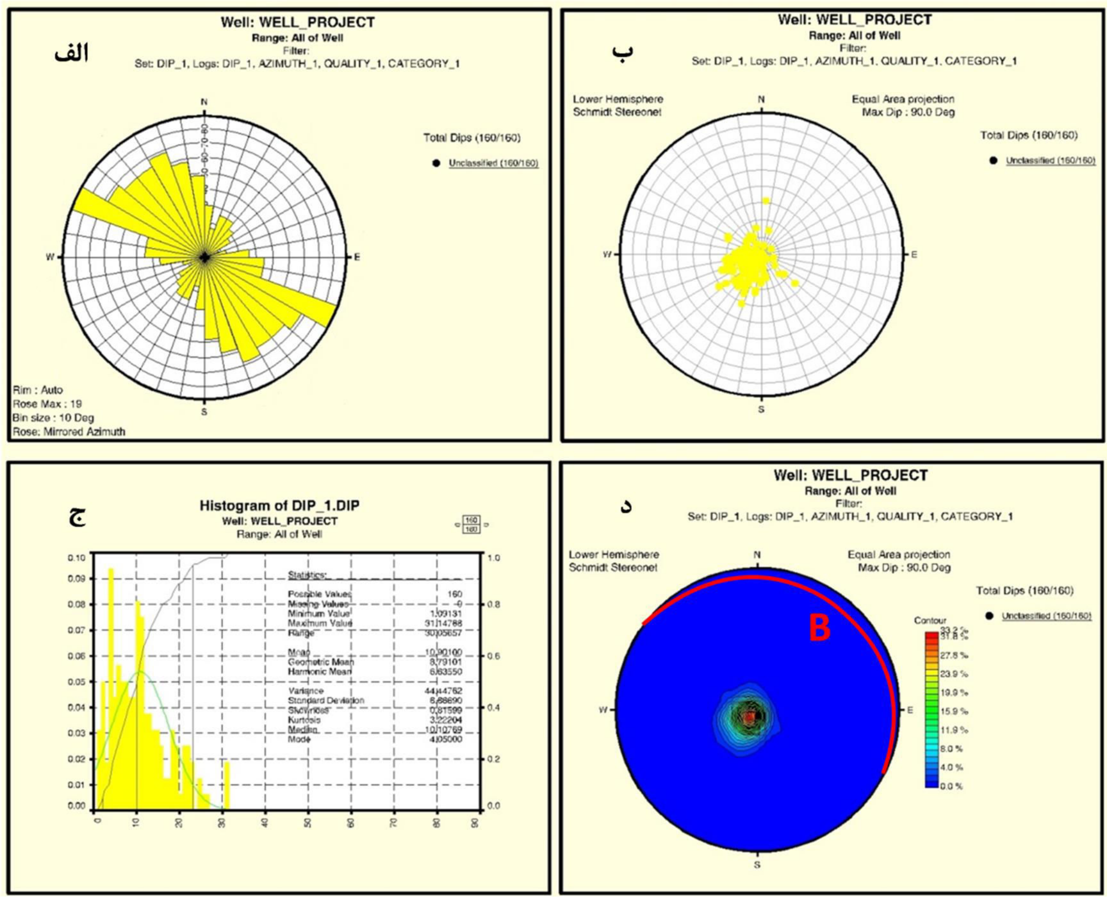


شکل ۴-۲۶: پلات آماری شکستگی‌های بسته چاه شماره ۳؛ الف- نمودار گل‌سرخی شکستگی‌های بسته، ب- قطب شکستگی‌های بسته، ج- هیستوگرام شیب شکستگی‌های بسته، د- نمودار کانتوری شکستگی‌های بسته.

۴-۲۱-۳- چاه شماره ۴

- **پلات آماری لایه‌بندی چاه شماره ۴**

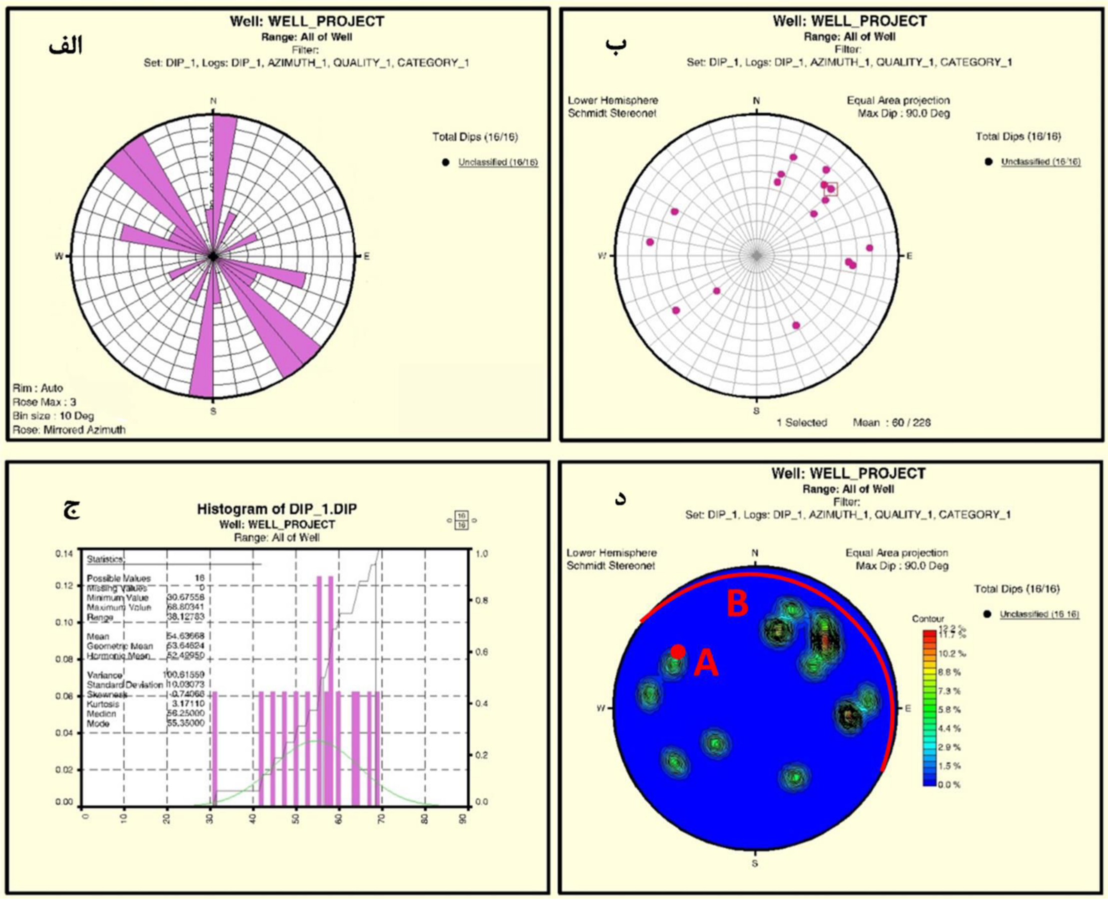
تصاویر و پلات‌های آماری لایه‌بندی‌های چاه شماره ۴ نشان می‌دهد آزیموت مرز طبقات S75E است (شکل ۴-۲۷ الف). با توجه به شکل ۴-۲۷ (ب) قطب لایه‌بندی‌ها در چاه ۴ در بخش جنوب غرب نزدیک به مرکز استریونت قرار دارند. با توجه به شکل ۴-۲۷ (ج) دامنه شیبی بین ۲ تا ۳۰ درجه دارند؛ همچنین نمودار کانتوری مشخص می‌کند که چاه ۴ نزدیک لولا قرار دارد (شکل ۴-۲۷ د).



شکل ۴-۲۷: نمودار قطب لایه‌بندی و کانتور لایه‌بندی‌ها؛ الف- نمودار گل سرخی لایه‌بندی‌ها، ب- قطب لایه‌بندی‌ها، ج- نمودار هیستوگرام شیب لایه‌بندی، د- نمودار کانتوری مربوط به تاقدیس یورتشا

- **پلات آماری شکستگی‌های بسته در چاه شماره ۴**

آزیموت شکستگی‌های بسته در چاه شماره ۴ N50E,N95E است (شکل ۴-۲۸ الف). همان‌طور که در پلات شکل ۴-۲۸ (ب) نشان داده شده است، قطب شکستگی‌های بسته نشان می‌دهد که تجمع قطب‌ها در بیشتر بخش شمال خاوری استریونت است. در بخش (ج) هیستوگرام شیب نشان می‌دهد مقدار شیب بین ۳۰ تا ۷۰ متغیر است. با توجه به موقعیت محور(نقطه A) بر روی نمودار کانتوری شکستگی‌های باز در چاه شماره ۴ از نوع شکستگی‌های طولی و به‌موازات محور چین هستند.



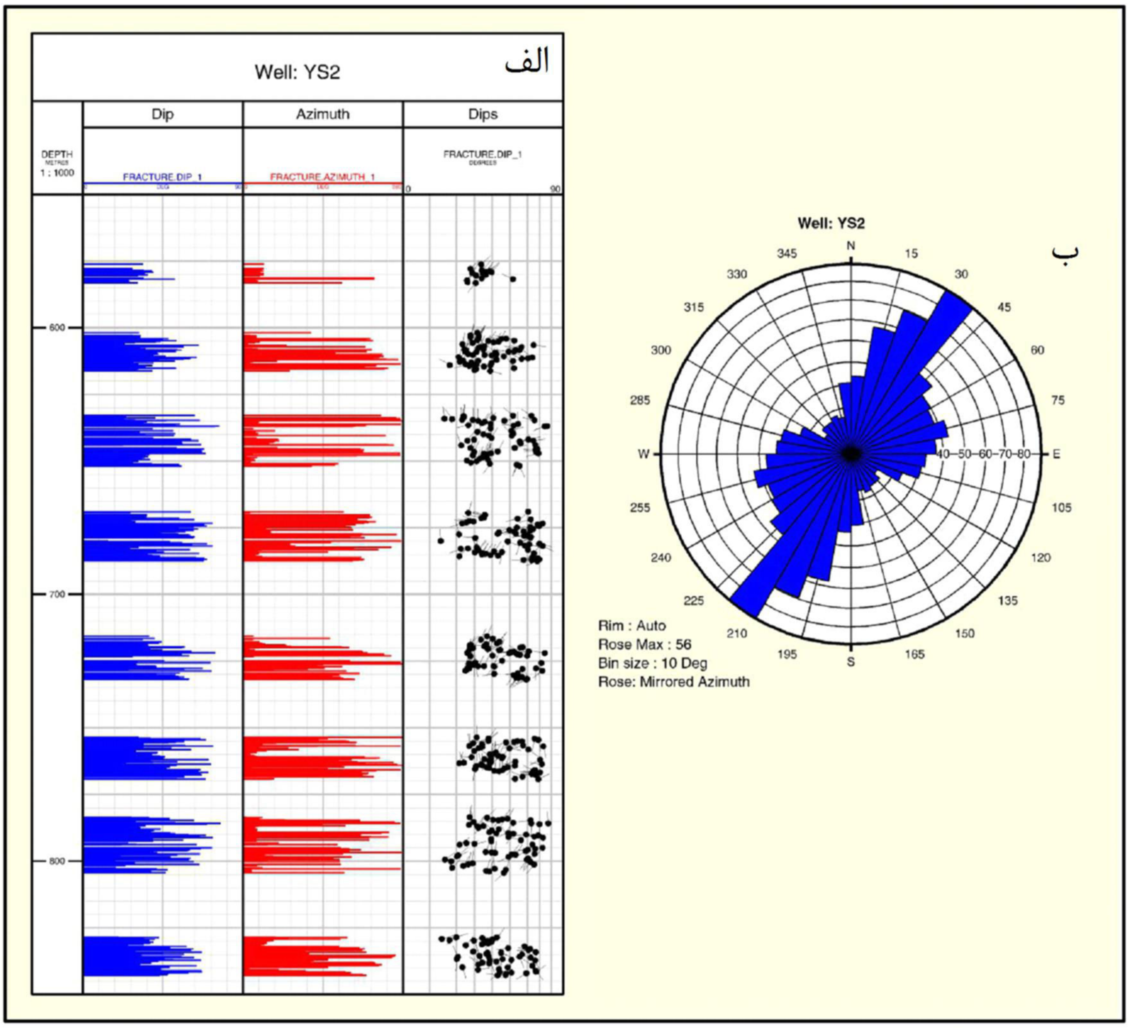
شکل ۴-۲۸: پلات آماری شکستگی‌های بسته چاه شماره ۴. الف- نمودار گل‌سرخی شکستگی‌های بسته، ب- قطب شکستگی‌های بسته، ج- هیستوگرام شیب شکستگی‌های بسته، د- نمودار کانتوری شکستگی‌های بسته.

۴-۲۱-۴- جمع‌بندی نتایج بررسی شکستگی‌ها در چاه‌های ۲، ۳ و ۴

به‌منظور سهولت در مطالعه نتایج بررسی تمام شکستگی‌های چاه‌های شماره ۲، ۳ و ۴ میدان گازی یورتشا نمودار میله‌ای شیب و آزیموت شکستگی‌ها و همچنین نمایش ترک پد به همراه رز دیاگرام آزیموت و آزیموت شکستگی‌ها ترسیم شده است.

- **چاه شماره ۲**

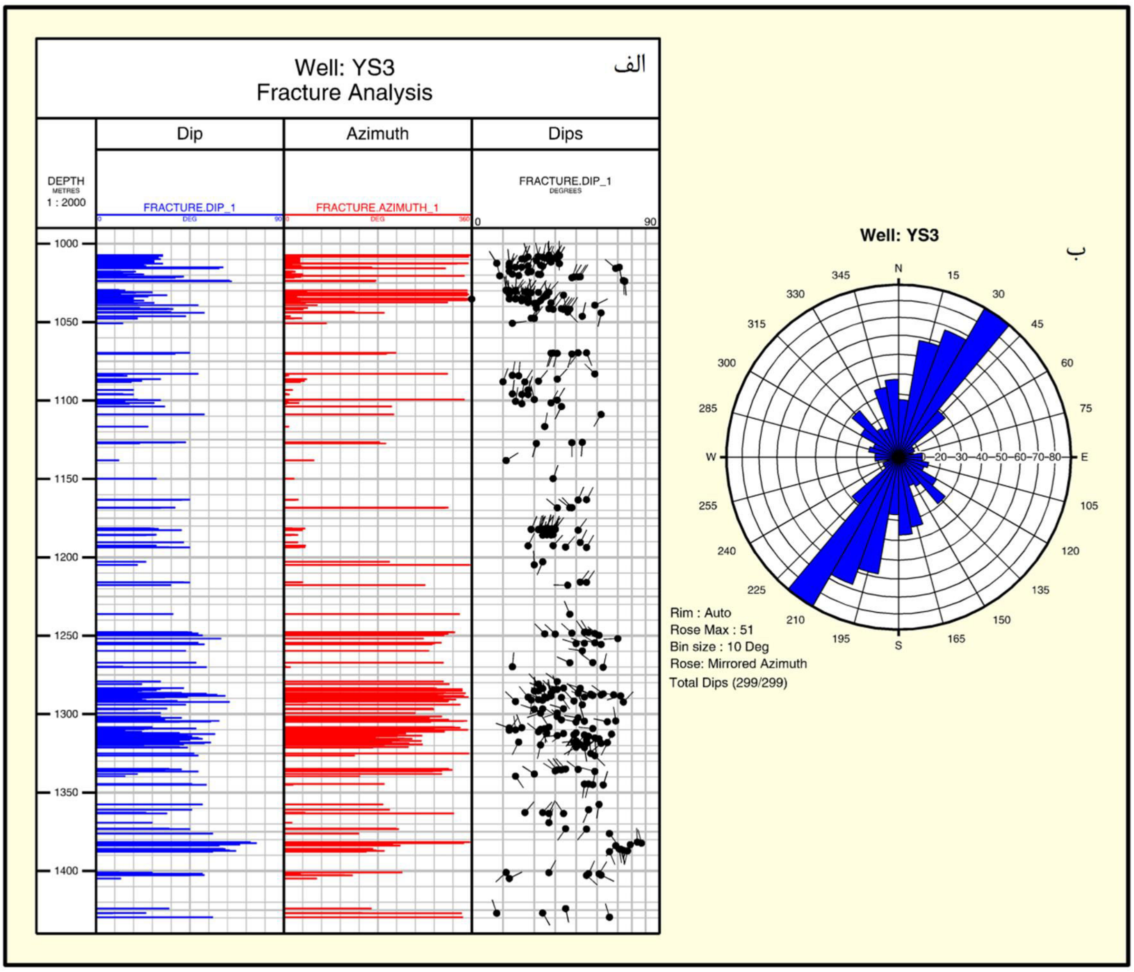
نتایج بررسی شکستگی‌ها در چاه شماره ۲ در شکل ۴-۲۹ ارائه شده است. شکل ۴- ۲۹ (الف) نشان دهنده نمودار میله ای شیب و آزیموت کل شکستگی‌های چاه شماره ۲ است. شکل ۴-۲۹ (ب) امتداد شکستگی های شناسایی شده در چاه ۲ را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۹: الف- توزیع عمقی کل شکستگی‌های زیرسطحی تفسیرشده چاه شماره ۲، ب- نمودار گل سرخی کل شکستگی‌های چاه شماره ۲

- **چاه شماره ۳**

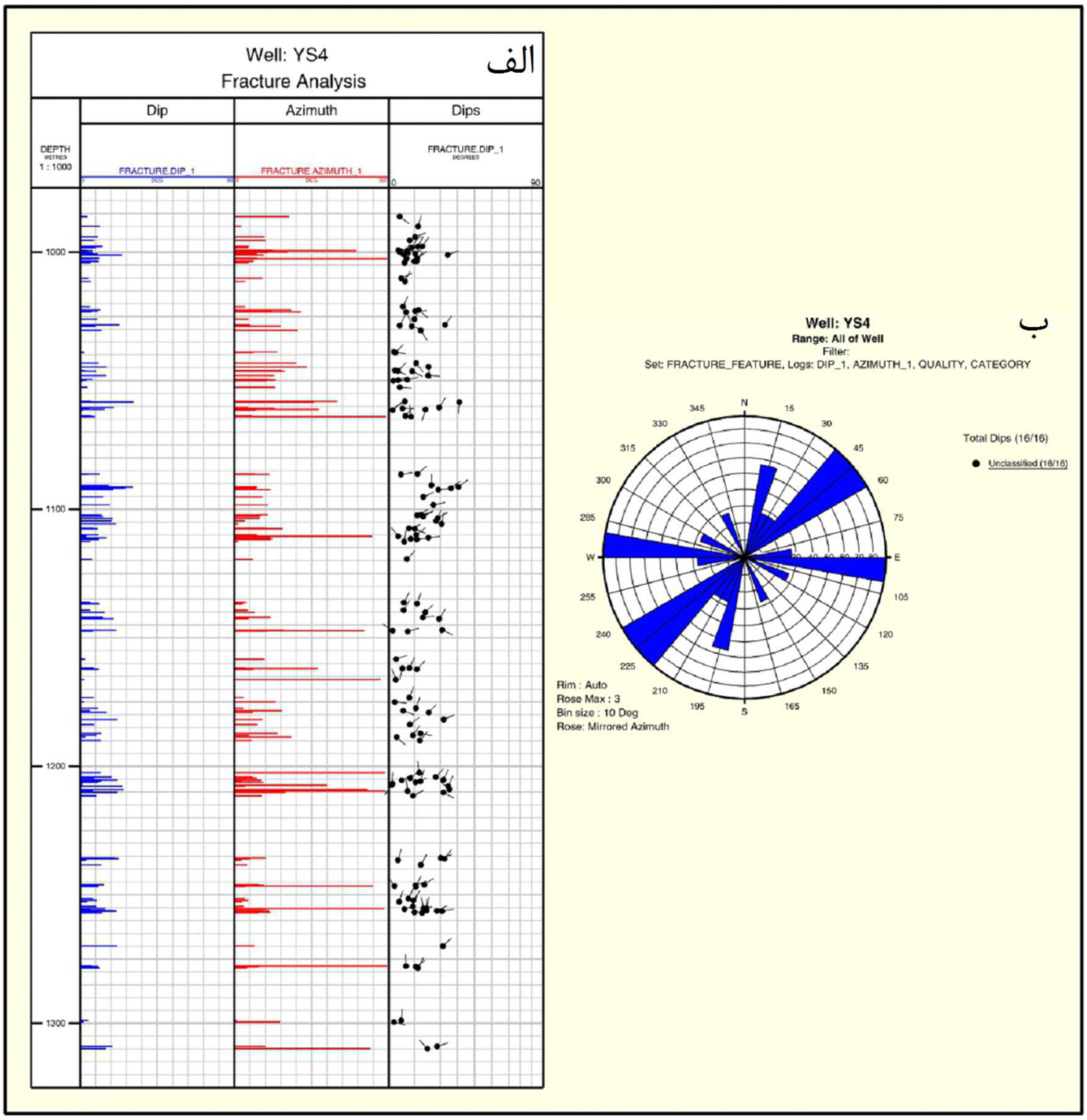
نتایج بررسی شکستگی‌ها در چاه شماره ۳ در شکل ۴-۳۰ ارائه شده است. شکل ۴- ۳۰ (الف) نشان دهنده نمودار میله ای شیب و آزیموت کل شکستگی‌های چاه شماره ۳ است. شکل ۴-۳۰ (ب) امتداد شکستگی های شناسایی شده در چاه ۳ را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳۰: الف- توزیع عمقی کل شکستگی‌های زیرسطحی تفسیرشده چاه شماره ۳، ب- نمودار گل سرخی کل شکستگی‌های چاه شماره ۳

- **چاه شماره ۴**

نتایج بررسی شکستگی‌ها در چاه شماره ۴ در شکل ۴-۳۱ ارائه شده است. شکل ۴- ۳۱ (الف) نشان دهنده نمودار میله‌ای شیب و آزیموت کل شکستگی‌های چاه شماره ۴ است. شکل ۴-۳۱ (ب) امتداد شکستگی های شناسایی شده در چاه ۴ را نشان می‌دهد.

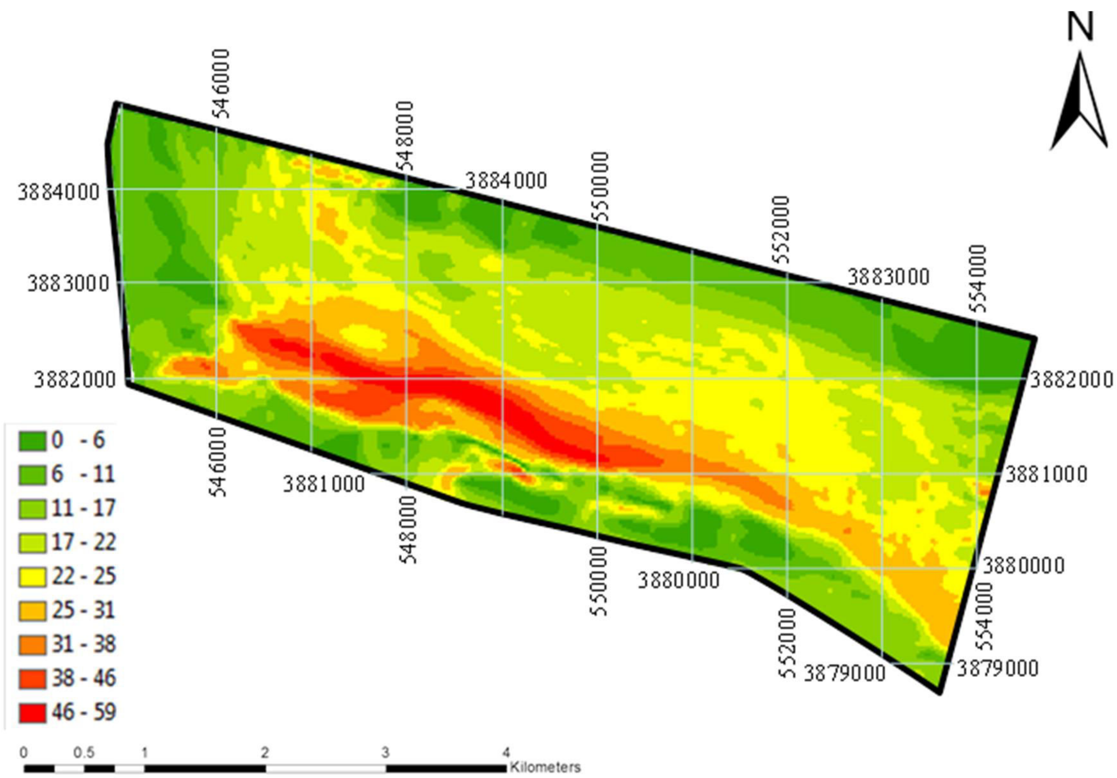


شکل ۴-۳۱: الف- توزیع عمقی کل شکستگی‌های زیرسطحی تفسیرشده چاه شماره ۴، ب- نمودار گل سرخی کل شکستگی‌های چاه شماره ۴

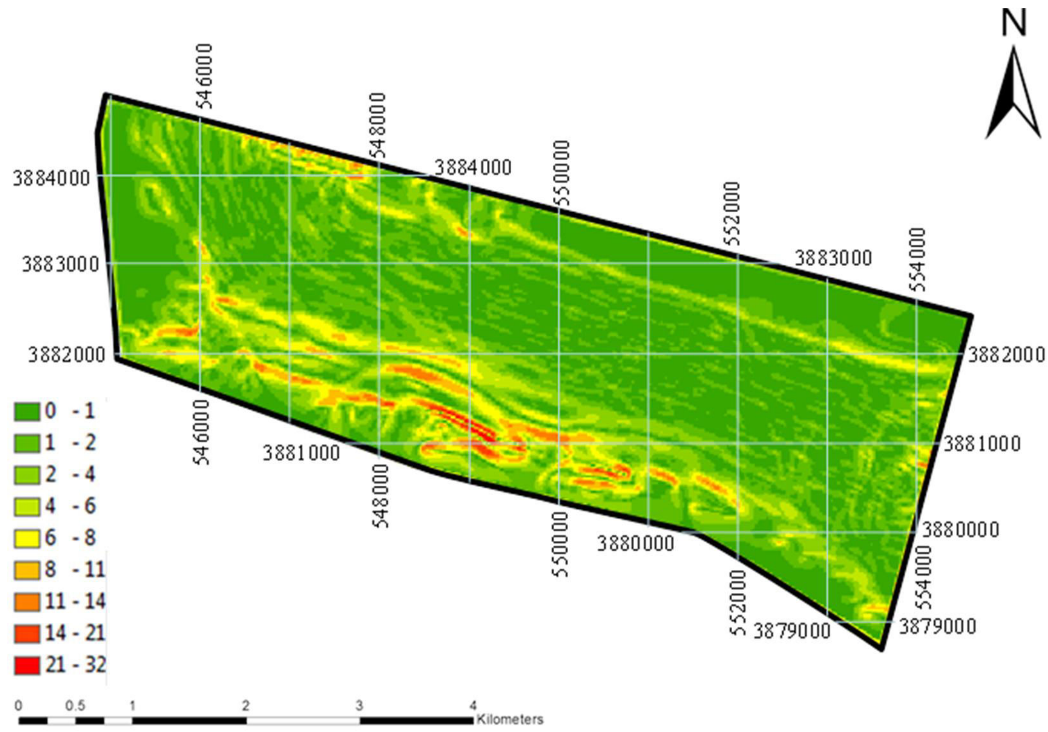
۴-۲۲- روش مشتق‌گیری ریاضی از نقشه‌های ساختمانی زیرسطحی

در نقشه خطوط تراز زیرسطحی مربوط به افق سازند قم میدان گازی یورتشا در هر قسمت از مقطع ساختاری، به‌عنوان یک سهمی در دستگاه مختصات با دو بعد عرض جغرافیایی (X) و ارتفاع (Y) در نظر گرفته شده است. در این نیمرخ ساختاری هر نقطه از (X) دارای شیب خاصی نسبت به (Y) است. شیب منحنی در هر نقطه درواقع شیب خط مماس بر آن منحنی و برابر با مشتق اول سهمی در

آن نقطه است. به‌طورکلی یک نقشه خطوط تراز زیرسطحی، مشتق مقاطع ساختاری، آهنگ تغییرات شیب را نشان می‌دهد. درواقع نقشه هم‌شیب یا مشتق اول با مشتق‌گیری جزبه‌جز از المان‌های محدود و متصل نمودن نقاطی با درجه شیب برابر به دست می‌آید. مشتق دوم خطوط تراز زیرسطحی، آهنگ تغییرات شیب یا مناطقی که در آن تغییرات شیب شدید گردیده است را نشان می‌دهد. نقشه‌ی مشتق دوم منطبق بر مناطقی با حداکثر انحناء و شیب ساختاری و درنتیجه بیشترین شکستگی مرتبط با آن است. باید توجه داشت که در تفسیر نقشه مشتق دوم وجود بی‌نظمی‌های کوچک‌مقیاس می‌تواند سبب خطا در نتایج این روش گردد. به دلیل اینکه نقشه خروجی نتیجه درون‌یابی نرم‌افزار است این اختلال به‌تمامی قسمت‌های چین ربط داده می‌شود. بنابراین اگر در نقشه‌ی رقومی شده‌ای که به‌عنوان اطلاعات خام استفاده‌شده خطوط منحنی تراز تحت عملکرد گسلش یا انحناء شدید ناشی از آن باشد نقشه دوم مشتق دوم حاصل از آن دارای خطا خواهد شد.



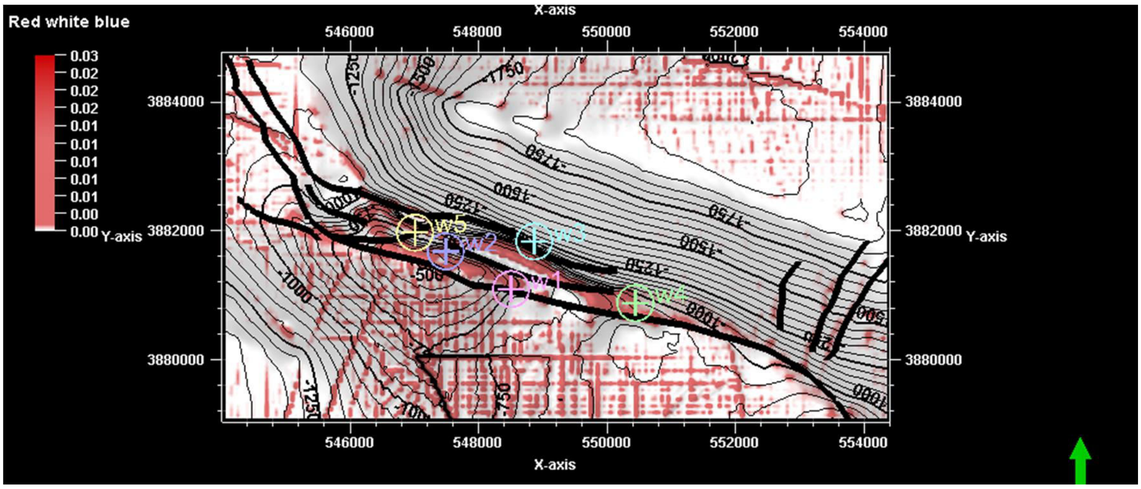
شکل ۴-۳۲: نقشه مشتق اول رأس سازند قم میدان گازی یورتشا



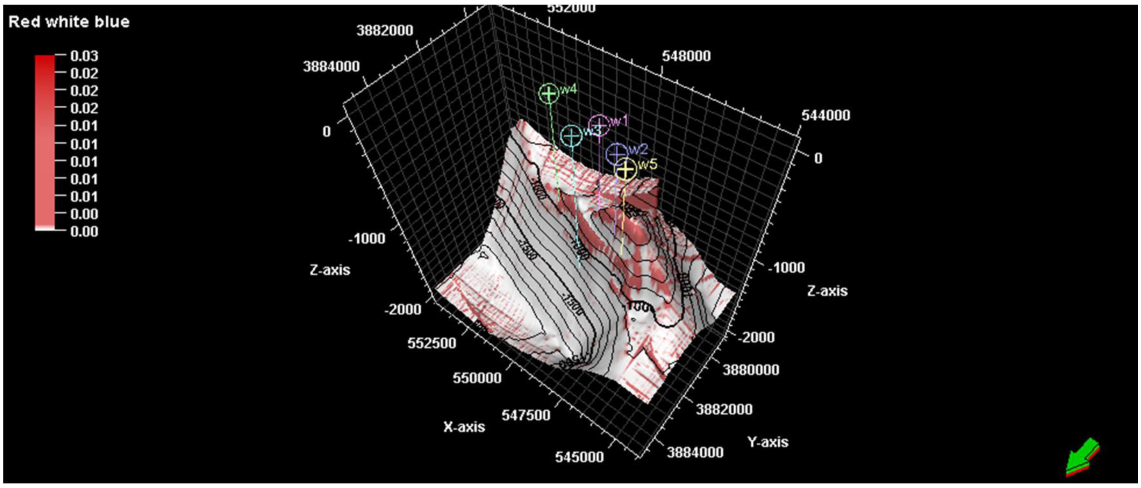
شکل ۴-۳۳: نقشه مشتق دوم رأس سازند قم میدان گازی یورتشا

۴-۲۳- روش تحلیل دوایر محاطی

درروش تحلیل دوایر محاطی مناطق مستعد گسترش شکستگی باز ناشی از انحنای عرضی (انحنا ناشی از چین‌خوردگی) در ساختار تاقدیس و ناودیس تعیین می‌شوند. اساس این روش بر تغییرات انحنا تاقدیس و تأثیر آن بر میزان تراکم شکستگی‌ها است. به‌عبارت‌دیگر در یک لایه سنگی که تحت انحنا غیریکنواخت قرار گرفته است، تغییرات و یا افزایش شیب در آن لایه معرف انحنا بیشتر و همچنین تراکم بیشتر شکستگی‌ها است. در این مرحله ابتدا خطوط کانتوری میدان در نرم‌افزار global mapper از فرمت shp به فرم (x,y,z) تغییر داده شده و سپس در نرم‌افزار پترل فراخوان یافته و خطوط کانتوری بازسازی شده و با استفاده از ماژول curvature در نرم‌افزار پترل مناطق دارای حداکثر خمش به‌صورت نقشه مناطق مستعد شکستگی به نمایش در آمده است. سپس شکستگی‌های به‌دست‌آمده از لاگ‌های تصویری به تمام تاقدیس نسبت داده شده است تا بتوان مناطق با شکست بیشتر را در تاقدیس بهتر نمایش داد و در برنامه‌های آتی میدان استفاده نمود.



شکل ۴-۳۴: نقشه دو بعدی حاصل از تحلیل دوایر محاطی که نواحی مستعد شکستگی‌های کششی ناشی از چین‌خوردگی در زون‌های مختلف سازند قم را نشان می‌دهد. مناطق قرمز، معرف مناطق با انحنای بیشتر و مستعد شکست بیشتر است.

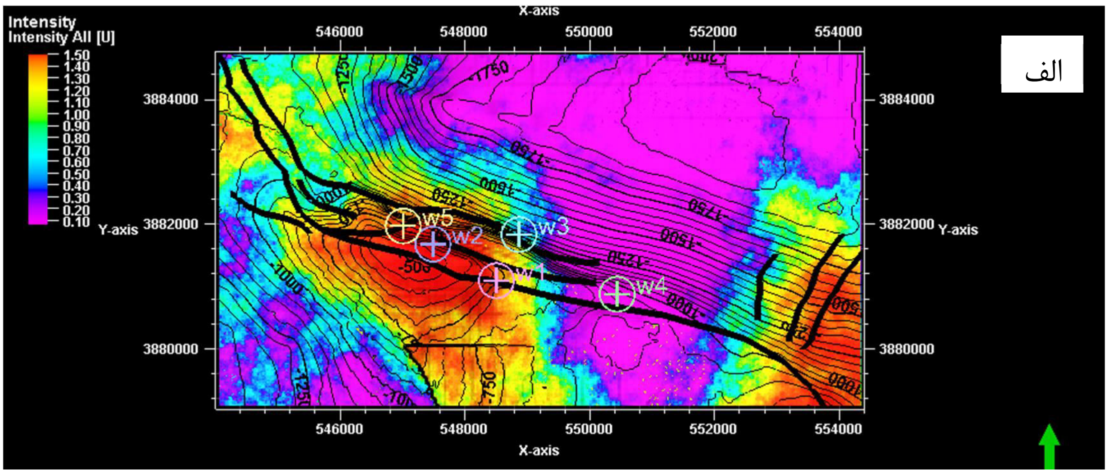


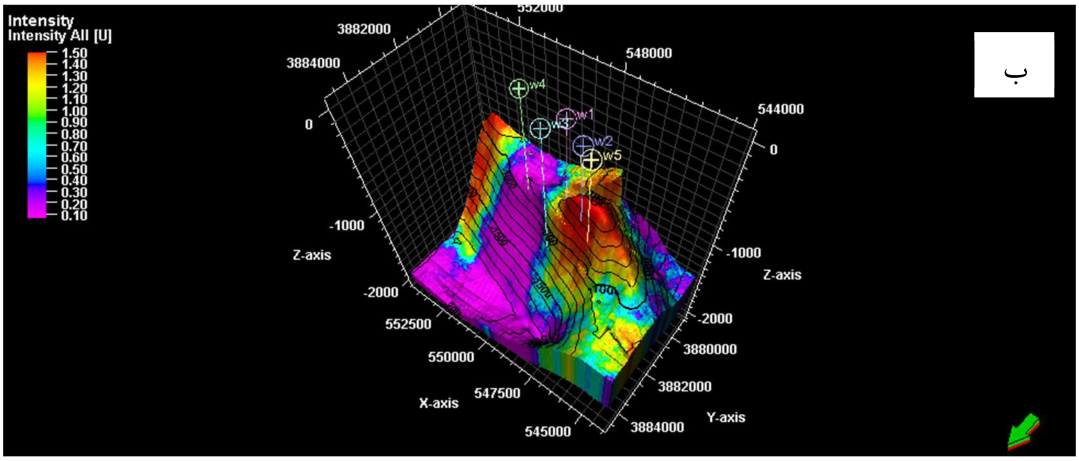
شکل ۴-۳۵: نقشه سه بعدی حاصل از تحلیل دوایر محاطی که نواحی مستعد شکستگی‌های کششی ناشی از چین‌خوردگی در زون‌های مختلف سازند قم را نشان می‌دهد. مناطق قرمز، معرف مناطق با انحنای بیشتر و مستعد شکست بیشتر است.

۴-۲۴- شدت شکستگی در تاقدیس یورتشا

۴-۲۴-۱- ساخت لاگ‌های شدت (Intensity logs)

لاگ شدت لاگی است که تراکم شکستگی‌ها را بر واحد طول، مساحت یا حجم توصیف می‌کند و برای هر دسته شکستگی جداگانه مشخص می‌شود. در ابتدا شکستگی‌های مشخص‌شده توسط تصاویر FMS در چاه ۲ و ۳ و تصویر EMI در چاه ۴، بر روی نقشه UGC سازند قم اعمال گردید. سپس با تعریف پارامتر شدت در مدل ایجادشده توسط نرم‌افزار PETREL نقشه شدت شکستگی‌ها با توجه به دسته شکستگی‌های تعیین‌شده تهیه گردید. در شکل ۴-۳۶ نقشه شدت شکستگی‌های مربوط به تمامی شکستگی‌های واردشده در نرم‌افزار ارائه شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که نواحی قرمزرنگ نشان‌دهنده مناطق دارای شدت شکستگی پایین و نواحی نارنجی‌رنگ بیان‌کننده نواحی با شدت شکستگی بالا است. همان‌طور که انتظار می‌رود در نواحی اطراف گسل‌ها شدت شکستگی بیشتر از دیگر نواحی است.

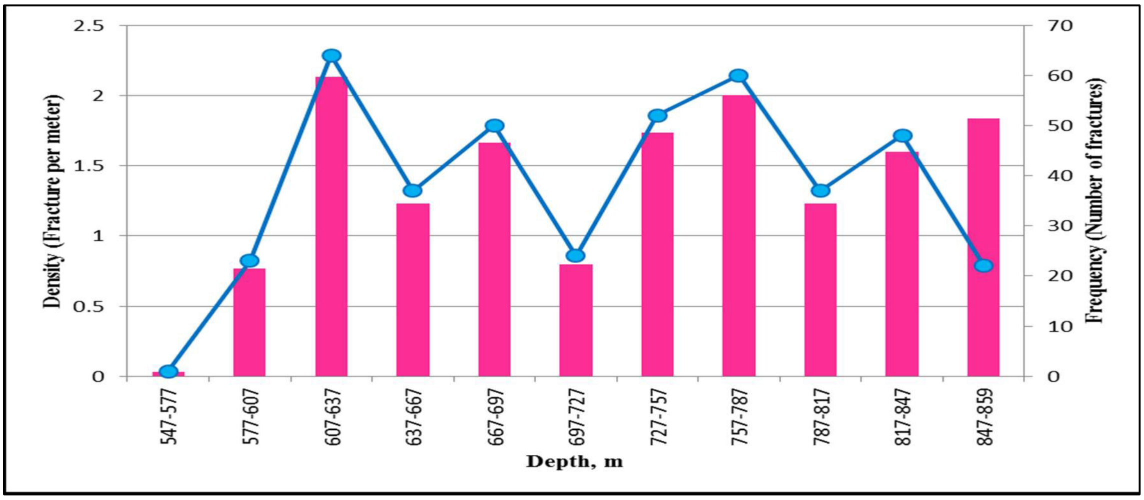




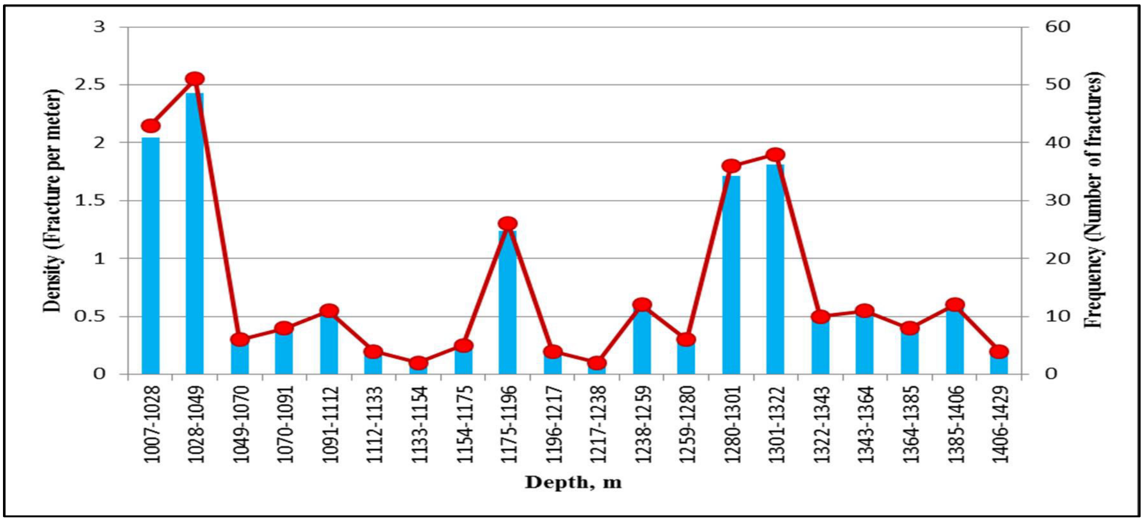
شکل ۴-۳۶: الف- نقشه شدت شکستگی ۲ بعدی، ب- نقشه شدت شکستگی ۳ بعدی؛ بخش‌های قرمزرنگ بیشترین شدت و بخش‌های بنفش‌رنگ کمترین تراکم شکستگی را نشان می‌دهند.

۴-۲۵- تراکم شکستگی‌های زیرسطحی

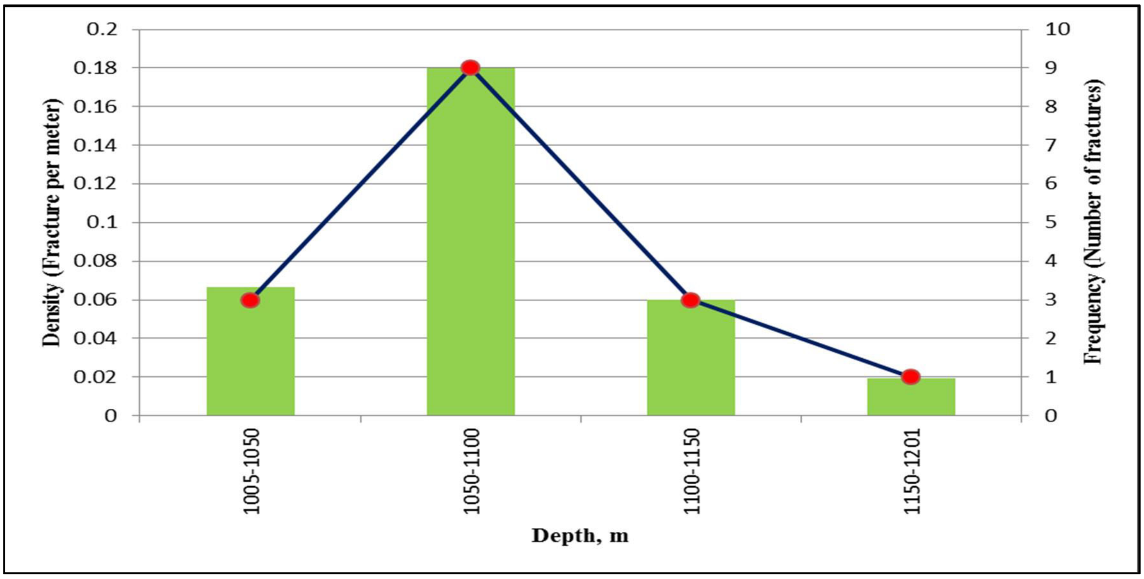
به‌طورکلی شکل‌گیری و توسعه شکستگی‌ها و ساختارهای سه‌بعدی آن‌ها شدیداً وابسته به رفتار ماده در یک توالی رسوبی است. استحکام یک لایه رسوبی توسط فاکتورهای متعدد ازجمله ترکیب مواد، تخلخل، سیمانی شدن و ... کنترل می‌شود. علاوه بر اینکه سنگ‌های مختلف دارای استحکام متفاوتی هستند بلکه سنگ‌های مشابه تنها با تفاوت در ریزساختارها می‌توانند دارای استحکام متفاوت باشند. به‌عنوان‌مثال مقداری خاک رس در یک افق سنگ‌آهک بسیار شکل‌پذیرتر است تا آهک خالص. شکستگی‌ها در سازند قم در میدان گازی یورتشا نیز از این الگو پیروی می‌کنند. بنابراین در میدان مذکور تمرکز شکستگی‌ها در مناطقی که آهک نسبتاً خالص است بیشتر است. در شکل‌های ۴-۳۷ الی ۴-۳۹ نمودار تراکم شکستگی‌های مربوط به چاه‌های ۲، ۳ و ۴ به‌ترتیب ارائه شده‌اند.



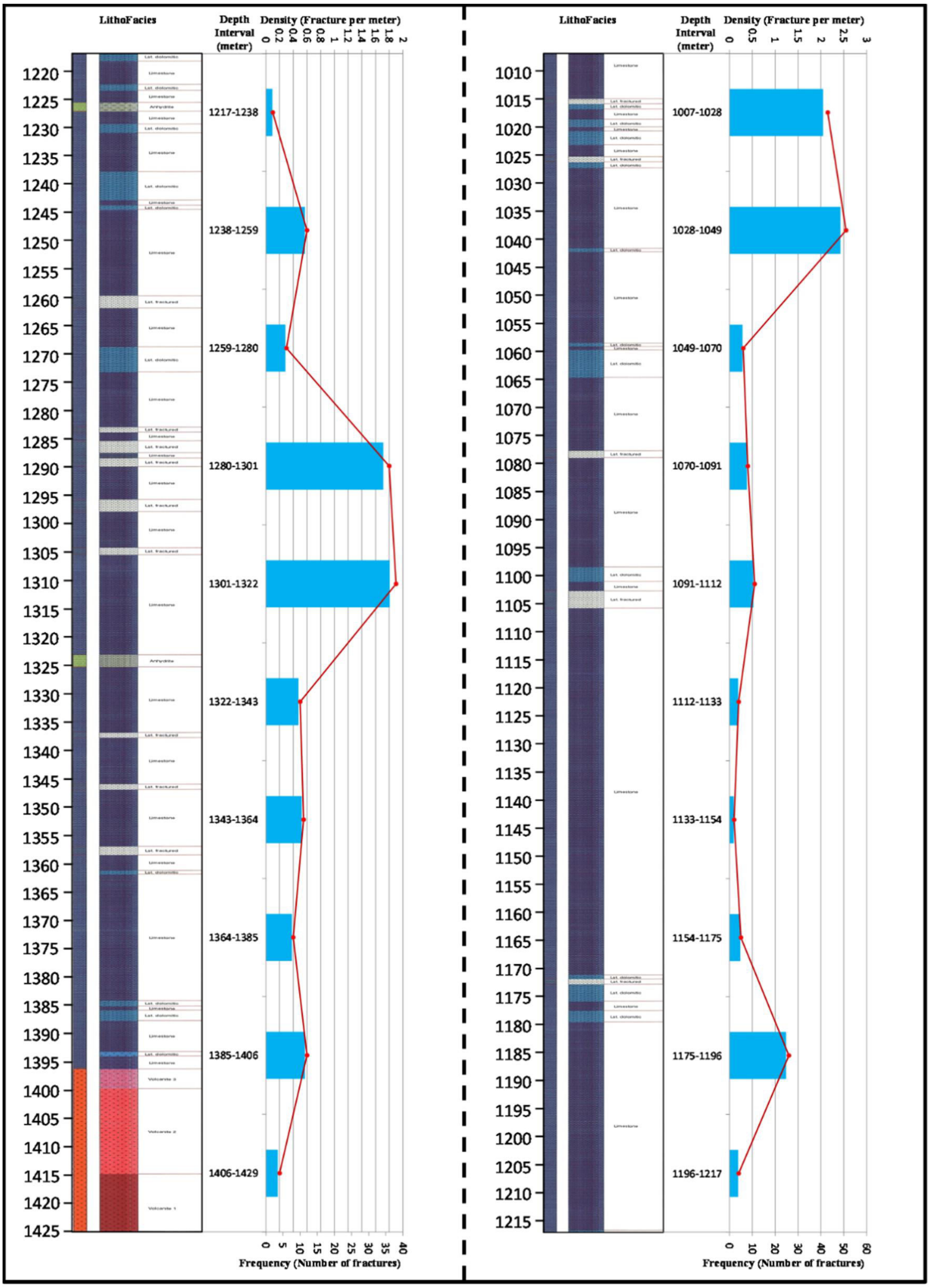
شکل ۴-۳۷: نمودار خطی تراکم شکستگی‌ها در چاه **YS2** میدان گازی یورتشا. تراکم شکستگی‌ها به‌صورت تعداد شکستگی‌ها ثبت‌شده (محور عمودی سمت راست) و به‌صورت فراوانی در متر (محور عمودی سمت چپ) نشان داده‌شده‌اند.. چنانچه مشاهده می‌شود در فواصل عمقی ۶۰۷-۶۳۷، ۷۲۷-۷۵۷، ۷۵۷-۷۸۷ و ۸۴۷-۸۵۹ متر را نشان می‌دهد؛ متوسط فراوانی شکستگی‌ها در فواصل ۶۰۷-۶۳۷ متر بیشتر از سایر نقاط است.



شکل ۴-۳۸: نمودار خطی تراکم شکستگی‌ها در چاه **YS3** میدان گازی یورتشا. تراکم هم به‌صورت تعداد شکستگی‌ها ثبت شده و هم به‌صورت فراوانی در متر نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود در فواصل عمقی ۱۰۵۰-۱۰۱۰، ۱۱۹۶-۱۱۷۵ و ۱۳۲۰-۱۲۸۰ متر را نشان می‌دهد؛ متوسط فراوانی شکستگی‌ها در فواصل ۱۰۲۸-۱۰۴۹ متر بیشتر از سایر نقاط است.



شکل ۴-۳۹: نمودار خطی تراکم شکستگی‌ها در چاه **YS4** میدان گازی یورتشا. تراکم شکستگی‌ها به‌صورت تعداد شکستگی‌ها ثبت‌شده (محور عمودی سمت راست) و به‌صورت فراوانی در متر (محور عمودی سمت چپ) نشان داده‌شده‌اند.. چنانچه مشاهده می‌شود در فواصل عمقی ۱۰۵۰-۱۰۰۵، ۱۱۰۰-۱۰۵۰، ۱۱۵۰-۱۱۰۰ و ۱۲۰۱-۱۱۵۰ متر را نشان می‌دهد؛ متوسط فراوانی شکستگی‌ها در فواصل ۱۱۰۰-۱۰۵۰ متر بیشتر از سایر نقاط است.



شکل ۴-۴۰: نمایش رابطه تراکم شکستگی‌ها با لیتولوژی در چاه شماره ۳ میدان یورتشا

۴-۲۶- مقایسه شکستگی‌ها در بخش سطحی و زیرسطحی

۴-۲۶-۱- مقایسه شکستگی‌ها در چاه‌های شماره ۲، ۳ و ۴

چاه شماره ۲ در نقطه عطف نزدیک لولا تاقدیس قرار دارد. این چاه به دلیل نزدیکی به گسل‌های اصلی میدان دارای شکستگی‌های قابل‌توجه است و شکستگی‌های شناسایی‌شده در این چاه بر اساس ریخت‌شناسی در دو گروه باز و بسته بررسی شده است و نتایج نشان می‌دهد شکستگی‌های بسته دارای روند NE و شکستگی‌های باز علاوه بر روند NE پراکندگی جزیی در امتداد NW را نیز نشان می‌دهند.

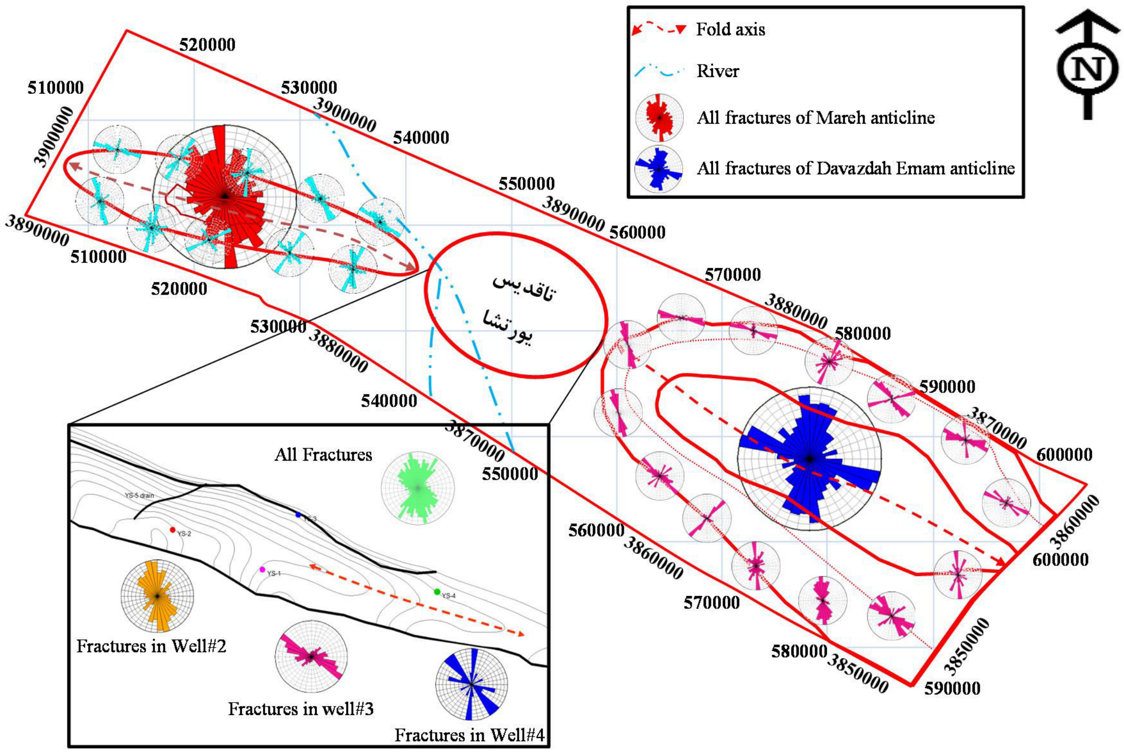
چاه شماره ۳ بر روی یال جنوب باختری تاقدیس گرفته است. شکستگی‌های شناسایی‌شده در این چاه از فراوانی قابل‌توجهی برخوردار است از عوامل آن می‌توان به روی گسل قرار گرفتن چاه اشاره کرد. در این چاه شکستگی‌ها همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد در دو گروه شکستگی‌های باز و بسته بررسی شده است که شکستگی‌های باز دارای روند شمال غرب جنوب شرق هستند و اکثر شکستگی‌های بسته روند NE را نشان می‌دهند.

در چاه شماره ۴ تعداد شکستگی‌های شناسایی‌شده اندک است؛ از دلایل آن می‌توان به لاگ تصویری استفاده‌شده در چاه ۴ که از نوع EMI بوده است و نسبت به FMS از کیفیت کمتری برخوردار است اشاره کرد. اکثر شکستگی‌های شناسایی‌شده در این چاه همانند دو چاه دیگر دارای روند NW است.

۴-۲۶-۲- مقایسه امتداد شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی

در این بخش شکستگی‌های شناسایی‌شده در لاگ تصویری FMS و برداشت‌های سطحی به‌منظور مقایسه امتداد شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی منطقه، موردبررسی قرار گرفته‌اند. شکل ۴-۴۱ نمودار گل سرخی حاصل از برداشت‌های سطحی، که تقریباً در امتداد گسل سیاه کوه یا به عبارتی در امتداد محور تاقدیس‌های موردمطالعه قرار دارند را با نمودارهای گل سرخی شکستگی‌های زیرسطحی سازند قم که بر اساس نتایج تصویر FMS و EMI که به ترتیب از چاه‌های شماره ۳،۲ و ۴ میدان

یورتشا به‌دست آمده‌اند، مقایسه کرده است. در این تصویر، روند نمودار گل‌سرخی کل شکستگی‌های تاقدیس مره شمال غرب- جنوب شرق است درحالی‌که رزدیاگرام‌های شکستگی‌های سطحی در تاقدیس دوازده امام علاوه بر روند شمال غرب- جنوب شرق پراکندگی قابل‌توجهی نیز در روند شمال شرق – جنوب غرب که تقریباً عمود بر محور تاقدیس است را نشان می‌دهند. محور تاقدیس یورتشا که بر اساس روش غیرمستقیم و تحلیل زیرسطحی به‌دست‌آمده دارای مشخصات 296E,09NE است به‌طوری‌که محور تاقدیس زیرسطحی یورتشا تقریبا هم‌راستا با محور تاقدیس‌های سطحی است. بر اساس تفسیر لاگ FMS چاه شماره ۲ و ۳ میدان یورتشا، عمده شکستگی‌های زیرسطحی روند شمال غرب– جنوب شرق دارند. در این تحقیق شکستگی‌های زیرسطحی در دو گروه شکستگی‌های باز و بسته مطالعه، و با توجه به نمودارهای گل‌سرخی سه دسته شکستگی زیرسطحی با امتدادهای N5E، N80E و N45W شناسایی شدند. نمودار گل سرخی شکستگی‌های چاه ۴ که از تصاویر EMI به دست آمده است، روندهای متفاوتی را نشان می‌دهد. نمودار گل سرخی مجموع شکستگی‌های برداشت‌شده در برون‌زد تاقدیس‌های سطحی مره و دوازده امام که ۱۸۵۲ شکستگی را شامل می‌شود نیز چهار روند غالب با امتداد N10E، N45W، S80E و N45E را نشان می‌دهند. بنابراین مشاهده می‌گردد که شکستگی‌های سطحی به طور نسبی هم‌روند با شکستگی‌های زیرسطحی بوده است.



شکل ۴-۴۱: مقایسه امتداد شکستگی‌های شناسایی‌شده زیرسطحی با برداشت‌های صحرایی در منطقه موردمطالعه.

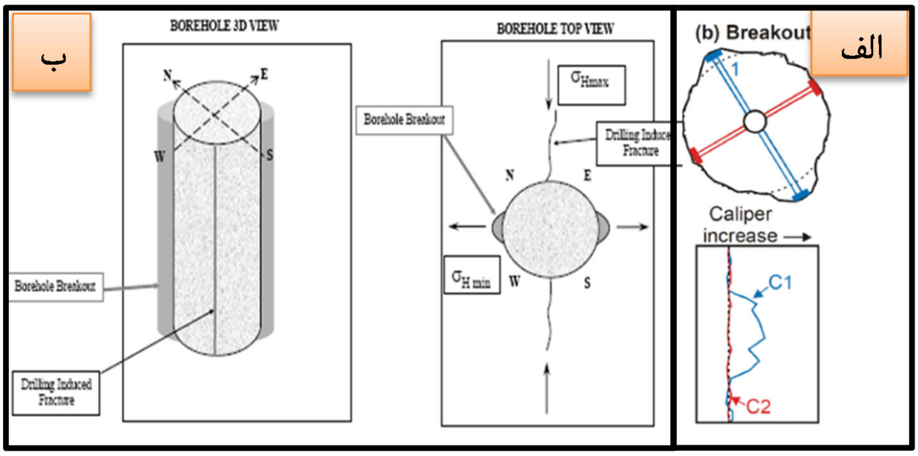
۴-۲۷- تحلیل تنش

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های پدیده ریزش دیواره چاه در مطالعات زمین‌شناسی ساختمانی زیرسطحی، جهت‌گیری آن است که تنش کنونی سازند را مشخص می‌کند. مدیریت مناسب مخزن نیازمند این است که تنش‌ها و تغییرات آن‌ها قبل و در حین تخلیه مخزن شناخته‌شده باشند. تمرکز تنش‌ها اطراف دهانه چاه می‌تواند منجر به شکستگی‌های فشاری شود که به‌عنوان گسیختگی دیواره چاه و شکستگی‌های القایی دیواره چاه شناخته می‌شوند (Bell, 1996).

گسیختگی‌های دیواره چاه موازی با حداقل تنش افقی (S_{hmin}) است درحالی‌که شکاف‌های القائی ناشی از حفاری، موازی با حداکثر تنش افقی (S_{hmax}) برای یک چاه عمودی است (شکل ۴-۴۲ الف). در این

مطالعه تعدادی گسیختگی‌های دیواره چاه[1] (۸ عدد) شناسایی شده که شیبی برابر با ۸۵-۸۱ با امتداد NW-SE داشته‌اند که بیانگر جهت کمترین تنش وارد بر چاه است (شکل ۴-۴۳ الف).

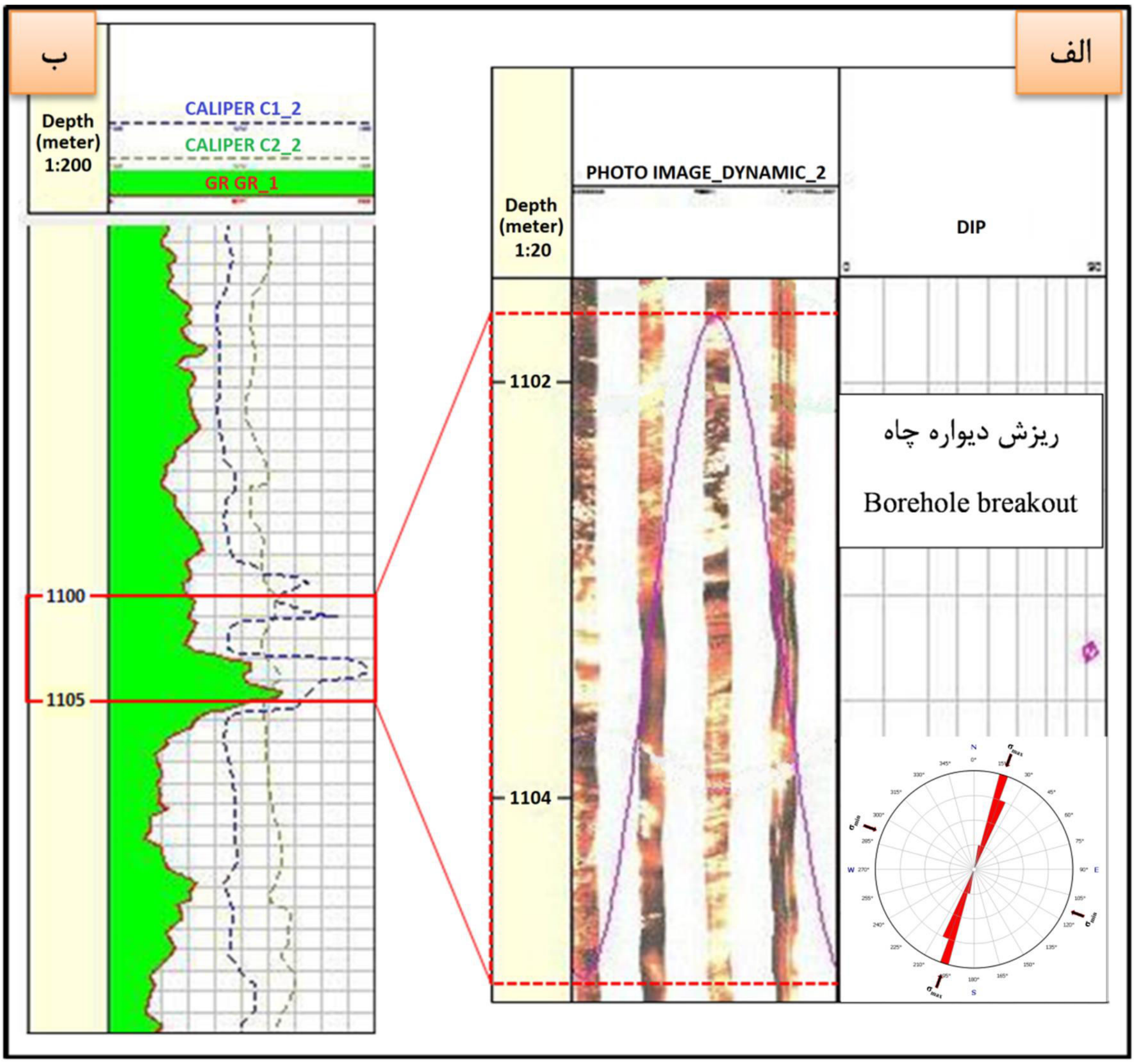
مجموعه‌های عمود بر هم بازوهای کالیپر[2] که به ابزار FMI متصل می‌شود جهت تفسیر گسیختگی‌های دیواره چاه مورداستفاده قرار می‌گیرد. لاگ‌های کالیپر در ترکیب با تصویر FMI، می‌تواند به تشخیص گسیختگی‌های دیواره چاه، ایجادشده در حین حفاری کمک کند (شکل ۴-۴۲ ب). در این تحقیق به علت وضوح کم شکستگی‌های ناشی از ریزش دیواره چاه بر روی لاگ‌های تصویری FMS از لاگ‌های خطی کالیپر نیز برای اطمینان بیشتر استفاده شده است. همانطور که می-دانیم لاگ کالیپر به منظور اندازه‌گیری قطر دهانه چاه مورد استفاده قرار می گیرد به‌طوری‌که در لاگ CALIPER زمانی که در یک عمق مشخص افزایش شارپ دیده شود معمولاً نشان‌دهنده شکستگی‌های ناشی از حفاری بوده است (شکل ۴-۴۳ ب).



شکل ۴-۴۲: الف– افزایش قطر دهانه چاه و پاسخ لاگ‌های کالیپر. ب– وضعیت تنش‌های اصلی که باعث به وجود آمدن گسیختگی‌های دیواره چاه و شکستگی‌های القایی در حین حفاری می‌شود.

---

[1] Breake out
[2] Caliper



شکل ۴-۴۳: الف- نمایش گسیختگی دیواره چاه بر روی تصویر دینامیک. ب- نمایش ریزش‌های دیواره چاه (گسیختگی‌های دیواره چاه)؛ به بازشدگی لاگ‌های کالیپر توجه شود.

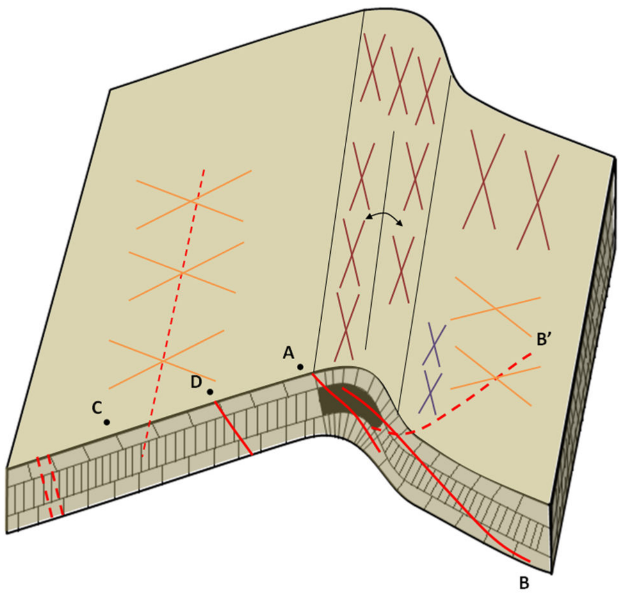
۴-۲۸- خط سیر چاه‌های توسعه‌ای

با توجه به روابط ذکرشده برای شکستگی‌های مرتبط با چین‌خوردگی می‌توان برای تعیین مکان چاهی جدید در فازهای اکتشافی، بهره‌برداری ویا ذخیره‌سازی، از فاکتورهای زیر کمک گرفت. این فاکتورها شامل تغییرات نسبی فاصله‌بندی شکستگی‌ها در لایه‌های سنگ و چگونگی تغییرات آن‌ها از یال پشتی و یال جلویی به سمت لولا و نیز بررسی آزیموت شکستگی‌ها در قسمت‌های مختلف چین هستند. با آگاهی از آزیموت دسته شکستگی‌ها در قسمت‌های مختلف چین، فاصله‌بندی شکستگی‌ها

و تنش محلی می‌توان آزیموت بهینه گمانه چاه را محاسبه کرد. در شکل ۴-۴۴ بهترین مسیرهای بهینه برای یک چین کربناته نامتقارن ارائه شده است. در این شکل بهترین نرخ تولید پیش‌بینی‌شده در امتداد مسیر چاه A رخ می‌دهد. در مسیر A شکستگی‌ها از نوع طولی هستند که موازی محور چین و عمود بر لایه‌بندی است. در این مسیر شکستگی‌ها دارای فاصله‌بندی کم هستند. فاصله‌بندی شکستگی‌ها یا به عبارتی شدت آن‌ها در هنگام ورود لایه از یال به لولا افزایش می‌یابد. درنتیجه مسیر چاه با آزیموت عمود بر شکستگی‌های طولی تا حد امکان لایه‌های بیشتری را قطع خواهد کرد (Nelson, 2001).

به‌منظور توسعه یک یال به‌شدت شیب‌دار انتظار می‌رود که چاه A عمیق‌تر حفر شود همانند آنچه در دو چاه B و B′ مشاهده می‌شود. چاه B در جهت شیب حفرشده که با برخورد شکستگی‌های نوع ۲ (ایجادشده توسط فرآیند توسعه چین با لولای ثابت و یا مهاجر) مسیر بهینه‌ای را فراهم می‌کند. از طرفی چاه B′ که در جهت نیمساز بین جهت شیب و جهت امتداد حفرشده است، هم شکستگی‌های نوع ۱ (که عمود بر لایه‌بندی و تقریباً موازی با جهت شیب هستند) و هم شکستگی‌های نوع ۲ را قطع می‌کند. با توجه به مسیر حفرشده توسط چاه B′، بهینه بودن آن توسط تراکم شکستگی‌های نوع ۱ و ۲ تعیین می‌شود. در مسیر حفرشده توسط چاه C سعی شده است که چاه دسته شکستگی‌های نوع ۱ را دور زده و با آن‌ها برخوردی نداشته باشد. شکستگی‌های نوع ۲ موجود در ناحیه یال فراوانی کمتری نسبت به شکستگی‌های نوع ۱ داشته و لذا شکستگی‌های نوع ۲ تمایل به بزرگ‌تر شدن دارند به‌طوری‌که ابعاد بزرگ‌تری از چین را به هم پیوند می‌دهند. اگرچه ممکن است نرخ جریان ورودی به چاه C کمتر از دیگر چاه‌ها باشد (به دلیل کمتر بودن فراوانی شکستگی‌ها در تمام لایه‌ها نسبت به ناحیه لولا) اما به دلیل خاصیت شکستگی‌های نوع ۲ و متعاقباً ارتباط بیشتر بین نواحی وسیع‌تر چین، میزان تولید تجمعی بالاتری نسبت به دیگر چاه‌ها خواهد داشت.

از بررسی‌های انجام‌شده می‌توان نتیجه گرفت که در رابطه با مسیرهای بهینه، چاه‌های واقع در یال پشتی می‌بایست لایه‌ها را در جهت امتداد حفر کنند، درحالی‌که چاه‌های واقع در لولا باید لایه‌ها را در جهت شیب قطع کنند. همچنین در یال جنوبی، مسیرهای بهینه چاه‌ها وابسته به جنس سنگ و تاریخچه لولاهای مهاجر یا ثابت است. این مسیرها لایه‌ها را قطع کرده و می‌توانند آزیموتی بین صفر تا ۴۵ درجه نسبت به جهت شیب داشته باشند. بر طبق مطالب ذکرشده در بالا می‌توان بیان کرد که با توجه به اینکه چاه‌های شماره ۲ و ۳ در یال شمالی تاقدیس یورتشا در جهت شیب حفر شده‌اند، می‌توان مسیر این دو چاه را همانند مسیر چاه B متصور شد و چاه شماره ۴ در نزدیکی لولای تاقدیس قرار دارد که این ناحیه را می‌توان همانند ناحیه حفرشده توسط چاه A در شکل ۴-۴۴ نظر گرفت به‌طوری‌که افزایش تراکم و شدت شکستگی‌ها در این مسیر نسبت به سایر مسیرها بیشتر است.



شکل ۴-۴۴: مسیرهای بهینه چاه‌ها در یک چین نامتقارن کربناته (**Nelson and Serra, 1995**)

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و

پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری

۵-۱-۱ نتایج به‌دست آمده از تاقدیس مره

۱. با توجه مقطع عرضی تاقدیس مره تاقدیس مره بر اساس نظریه (Macly 2003) یک چین مرتبط با گسل است.

۲. با توجه به رزدیاگرام ۱۸۰۰ شکستگی برداشت شده از تاقدیس مره و رزدیاگرام نقشه خطواره‌ها که از بررسی تصاویر لندست در نرم افزار Envi و Arcgis به دست آمده است تقریبا ٪۹۰ شکسنگی‌ها روندNW-SE دارند.

۳. با توجه به مقطع عرضی رسم شده تاقدیس مره یک چین نامتقارن است.

۵-۱-۲ نتایج به‌دست آمده از تاقدیس دوازده‌امام

۱. بر اساس ۱۰۰۰ شکستگی برداشت شده و نقشه‌ی خطواره‌ها تاقدیس دوازده امام روند شکستگی پراکندگی زیادی دارد. دو روند NW-SEو NE-SW غالب است.

۲. با توجه به مقطع عرضی رسم شده تاقدیس دوازده امام یک چین نامتقارن، غیراستوانه‌ای است.

۵-۱-۳ نتایج تحلیل شکستگی‌های تاقدیس یورتشا

۱. با توجه به تصاویر FMS مرز لایه بندی در چاه شماره ۲ دارای مشخصات N291,39NE است. شکستگی‌های باز اکثرا طولی و تعداد کمی از آنها عرضی و شکستگی‌های بسته از نوع طولی می‌باشند.

۲. با توجه به تصاویر FMS مرز لایه بندی در چاه ۳ دارای مشخصات N309,34NE است. و اکثر شکستگی های باز از نوع عرضی و اکثر شکستگی‌های بسته از نوع طولی هستند.

۳. با توجه به تصاویر EMI مرز لایه بندی در چاه شماره ۴ دارای مشخصات N299,08NE است. شکستگی‌های شناسایی شده از نوع بسته و طولی هستند با توجه به موقعیت قطب لایه بندی چاه شماره ۴ نزدیک به محور تاقدیس قرار دارد.

۴. بر اساس نقشه مشتق اول راس مخزن قم بیشترین میزان شیب یال‌ها در این مخزن مربوط به یال شمال خاوری و بخش مرکزی بوده است. با توجه به نقشه مشتق دوم، بیشترین آهنگ تغییرات شیب و درنتیجه بالاترین استعداد توسعه شکستگی‌ها ناشی از انحنای عرضی ساختار در مخزن قم که بیشترین مقدار آن مربوط به بخش شمال خاوری و کمترین مقدار آن مربوط به بخش جنوب باختری است.

۵. بررسی‌های انجام شده با استفاده از تحلیل دوایر محاطی نشان می‌دهد که سازند قم مستعد شکستگی بوده بخصوص در بخش‌های انتهایی یال شمالی و محور تاقدیس که گسل‌های اصلی نیز در این نواحی قرار دارند ولی با توجه به کافی نبودن اطلاعات در بخش یال جنوبی نمی‌توان به طور قطعی اظهار نظر کرد.

۶. بر اساس شکستگی‌های حاصل از گسیختگی‌های دیواره چاه که تنش حال حاضر را نشان می‌دهند تنش حداکثر دارای روند N15E و تنش حداقل تقریبا به صورت افقی است.

۷. خصوصیات هندسی ساختاری تاقدیس یورتشا:

الف- بر اساس رده بندی Fleuty (1964) که یک رده بندی کاملا توصیفی است تاقدیس یورتشا در محدوده چینهای بسته قرار دارد.

ب- با توجه به مقطع عرضی رسم شده تاقدیس یورتشا یک چین نامتقارن، غیراستوانه‌ای و مرتبط با گسل است.

۵-۲ پیشنهادات

۱. به منظور شناخت دقیق ساختمان یورتشا و تعیین سازوکار چین‌خوردگی در نواحی مختلف، پیشنهاد می‌شود عملیات لرزه‌نگاری سه بعدی بر روی آن صورت گیرد.

۲. نواحی مستعد شکستگی (شکستگی‌های هیدرولیکی) در این میدان بیشتر در قسمت‌های انتهای یال شمالی و محور تاقدیس قرار دارد لذا پیشنهاد میشود توجه خاصی به این نواحی شود.

۳. با توجه به موقعیت گسل اصلی که نزدیک به یال جنوبی تاقدیس دارد پیشنهاد می‌شود نقشه UGC که در قسمت یال جنوبی ناقص است برای مطالعه بیشتر تکمیل گردد.

پیوست الف

شکستگی‌های برداشت‌شده

شکستگی‌های تاقدیس مره و دوازده‌امام به روش dip و dip direction برداشت شده است که بخشی از آن‌ها در جدول‌های ۱ و ۲ پیوست شده است.

جدول ۱: بخشی از شکستگی‌های برداشت‌شده در تاقدیس مره

S1		S2		S۳		S4		S5		S6		S7		S8		S9		S10	
Dip	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**
25	350	89	195	85	110	60	20	45	290	70	270	65	268	85	220	75	26	85	265
10	125	65	200	85	190	85	120	85	340	60	15	60	50	75	130	75	26	85	265
15	45	85	160	88	110	85	110	85	20	70	5	55	280	70	22	75	26	85	280
70	50	85	100	30	200	80	80	80	310	85	89	60	30	45	210	75	26	80	95
75	50	85	200	75	100	65	20	85	330	89	40	85	70	85	195	85	130	80	105
70	270	80	260	55	160	80	295	80	350	60	350	85	305	82	60	86	135	82	85
89	290	85	210	35	150	85	300	80	40	75	70	85	288	87	235	85	20	80	100
80	240	70	30	85	100	55	40	50	10	75	110	80	250	48	180	86	20	85	95
85	190	80	50	85	270	80	300	85	210	80	100	75	30	52	185	89	88	85	294
86	60	80	90	60	200	85	300	85	110	65	20	70	250	75	75	88	120	85	275
86	240	75	100	85	270	80	300	80	75	80	80	75	100	68	90	88	88	80	282
80	60	85	350	85	110	80	300	70	230	70	100	70	220	25	65	88	88	84	282
65	350	80	270	80	210	55	45	68	170	80	80	70	40	85	265	85	124	84	288
70	55	85	260	80	290	85	290	70	150	75	290	85	45	65	350	63	30	79	280
80	10	80	310	85	140	85	300	88	260	80	90	65	70	85	15	72	62	70	10
85	60	75	135	60	215	80	60	70	230	75	89	70	75	88	40	82	85	70	10
88	240	85	180	80	110	60	40	70	235	60	350	70	75	80	325	82	85	60	10
70	350	85	180	85	290	85	300	45	358	85	280	60	40	85	290	82	85	64	5
85	180	85	210	65	290	85	50	50	350	85	280	70	50	70	165	85	145	65	150
85	32	65	50	70	290	85	305	85	150	60	340	70	5	66	280	80	95	75	295
	70	85	115	55	220	85	30	40	330	85	110	55	20	85	220	70	95	75	115

ادامه جدول ۱: بخشی از شکستگی‌های برداشت‌شده در تاقدیس مره

S1		S2		S۳		S4		S5		S6		S7		S8		S9		S10	
Dip	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**
85	45	85	100	60	20	80	300	75	5	88	110	70	240	85	80	70	114	74	105
85	35	85	80	85	210	60	50	80	150	60	10	75	100	85	140	88	88	73	15
89	184	85	170	80	200	60	55	85	140	75	350	80	85	85	75	80	88	65	20
64	165	85	160	60	200	60	55	80	140	75	355	80	5	85	75	80	93	65	347
70	325	89	170	65	160	55	55	85	150	60	305	75	50	85	75	87	28	60	282
85	230	80	170	70	290	88	295	40	210	75	5	75	70	85	23	123	20	74	183
70	350	80	120	60	260	85	310	45	230	65	10	80	70	52	25	70	35	85	288
60	30	70	90	80	290	65	60	80	160	80	300	80	10	52	25	67	287	88	290
88	50	75	195	70	275	85	300	80	250	80	280	85	240	82	262	66	28	55	20
85	195	85	110	60	290	85	300	70	240	80	290	85	265	85	264	66	75	70	18
80	350	85	90	65	290	85	300	65	150	85	50	70	270	85	94	64	10	85	270
80	45	70	110	50	260	40	55	80	250	75	260	65	25	75	262	75	85	88	268
85	10	85	130	45	270	60	50	85	330	80	50	85	10	50	200	70	345	86	273
75	50	75	110	70	290	85	290	89	330	65	10	80	280	88	82	65	83	87	290
70	55	75	85	70	300	85	300	85	170	85	5	80	260	55	115	68	82	87	288
85	55	35	60	75	290	85	300	88	310	80	230	80	250	45	56	70	82	76	115
70	40	80	55	75	300	75	280	85	245	60	220	82	250	55	125	70	82	85	50
85	50	80	50	75	285	80	300	85	325	85	280	85	30	85	75	70	82	65	3
70	130	75	30	70	260	70	10	80	320	55	220	85	355	85	75	70	243	64	160
85	90	85	260	85	280	80	280	85	240	70	240	85	240	85	75	84	150		
70	225	25	50	75	280	65	250	80	235	75	265	88	250	85	75	75	10		
88	150	80	100	80	285	70	310	78	225	80	200	60	320	85	55	79	5		
86	150	85	70	65	290	65	20	45	330	75	30	75	270	85	55	68	3		
80	65	85	65	65	280	85	300	65	320	75	80	85	10	86	25	85	55		

جدول ۲: بخشی از شکستگی‌های برداشت‌شده در تاقدیس دوازده‌امام

S11		S12		S13		S14		S15		S16		S17		S18		S19		S20		S21		S22		S23		S24	
Dip Direc.	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**
170	88	40	85	135	85	5	38	75	85	103	55	210	75	205	65	55	85	230	75	80	85	15	70	15	88	145	75
280	85	45	70	75	85	200	50	75	85	280	80	10	75	204	88	10	78	225	75	89	65	15	65	220	70	50	75
3	70	25	75	120	85	200	75	75	85	295	70	7	70	205	86	265	70	58	75	305	75	350	65	265	80	135	65
25	75	110	80	210	85	45	75	82	85	108	98	335	70	198	88	265	70	40	80	265	50	5	65	100	85	130	67
120	70	60	75	300	88	75	64	255	75	280	70	5	60	197	88	140	80	45	80	8	60	28	60	24	65	160	63
15	80	75	80	310	85	5	70	70	75	105	75	5	65	194	84	197	70	48	83	85	75	5	45	28	70	140	63
125	85	260	75	315	80	47	72	70	75	288	70	335	63	200	88	352	70	46	77	85	75	3	64	28	70	140	67
90	85	90	86	175	65	224	88	245	80	275	65	315	65	210	70	345	62	45	75	85	75	3	75	28	70	140	75
80	80	290	85	305	85	45	75	80	76	285	85	360	65	208	88	345	62	50	75	85	75	5	65	28	70	135	70
90	85	30	85	50	75	210	85	235	80	295	85	20	60	207	85	345	62	60	88	85	75	305	75	111	62	135	70
75	85	280	85	310	80	230	75	305	85	285	85	12	65	250	85		75	68	85	15	84	210	85	120	80	145	67
160	80	140	70	20	85	45	75	320	67	295	88	12	64	205	88	5	70	78	88	35	85	17	70	133	58	145	70
75	80	215	75	310	85	210	65	72	65	95	86	5	64	95	88	7	63	55	80	20	75	24	83	70	68	150	65
55	80	250	70	315	85	66	88	227	76	262	85	25	75	295	75	7	63	80	85	45	70	24	83	8	88	240	73
55	85	210	70	220	85	197	62	285	70	286	85	185	85	268	78	347	50	60	80	185	80	20	65	75	85	224	85
260	80	80	75	130	80	192	64	315	75	190	88	190	85	100	88	10	42	105	88	28	70	4	88	110	85	245	80
240	75	110	65	322	85	212	45	275	74	10	70	297	70	100	85	317	50	95	84	10	65	20	80	65	88	220	85
230	85	235	70	315	85	208	75	275	74	50	50	220	70	95	85	20	85	70	80	26	70	60	65	90	80	220	88
265	85	110	80	320	80	24	75	275	74	15	88	10	65	26	70	55	80	235	80	18	65	285	80	85	88	233	85
105	65	120	85	305	80	60	80	95	60	5	68	5	70	15	75	50	67	165	70	35	72	305	18	65	85	215	80
210	80	100	85	255	80	75	88	280	85	10	70	345	50	22	75	50	67	165	75	34	60	225	70	295	85	215	85
210	80	245	85	315	80	54	86	317	85	117	70	193	65	26	76	15	60	174	75	12	58	345	80	298	85	225	70
85	80	130	85	205	85	25	88	325	80	17	60	170	75	13	70	167	70	163	83	170	85	35	80	345	85	240	70
225	75	125	80	310	75	224	65	95	60	15	66	195	76	19	75	165	70	165	80	12	60	340	85	265	80	50	62

ادامه جدول ۲: بخشی از شکستگی‌های برداشت‌شده در تاقدیس دوازده‌امام

S11		S12		S13		S14		S15		S16		S17		S18		S19		S20		S21		S22		S23		S24	
Dip Direc.	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**	**Dip Direc.**	**Dip**
195	80	80	70	135	80	198	73	95	75	285	82	95	75	12	80	30	70	70	75	304	80	200	79	290	85	20	70
75	80	290	86	315	85	180	75	132	65	235	33	18	68	8	71	344	85	95	67	35	85	220	85	290	85	50	58
120	80	70	75	330	85	90	85	143	65	290	84	18	68	4	70	223	70	93	85	20	75	245	86	290	85	62	70
75	85	85	80	40	85	115	83	186	100	100	65	18	68	225	80	355	70	353	85	10	75	40	88			45	64
110	85	110	80	335	80	155	65	227	72	250	85	65	55	225	85	20	68									73	70
260	85	340	55	195	80	170	85	310	68	105	75	134	70	250	70	130	100									65	70
268	85	85	88	30	85	170	85	200	82	70	75	105	78	255	70	297	70									55	70
208	85	85	85	215	85	140	82	105	75	323	85	210	80	50	75	304	80									75	70
245	86	85	85	40	80	140	82	95	65	40	70	240	80	265	74	295	80									50	75
265	80	85	80	120	85	140	75	295	85	223	83	10	75	268	72	320	70									64	85
120	85	285	75	125	85	112	73	105	87	73	70	7	80	267	73	150	80									250	75
240	80	150	75	50	80	205	75	95	73	73	70	26	68	170	70	310	75									30	80
115	85	265	70	310	80	340	65	98	60	276	63	12	75	187	72	300	65									29	78
120	80	240	70	50	75	145	85	293	85	278	60	280	72	45	85	335	60									25	80
275	80	100	65	310	80	345	70	95	65	82	55	60	30	87	80	220	40									35	80
280	70	110	85	340	85	325	60	95	82	63	50	350	60	35	85	320	70									192	60
250	85	285	60	20	75	112	65	100	73	285	73	95	85	30	80	225	80									200	65
260	85	340	85			222	85	100	73	85	67	10	68	185	88	230	75									35	65
28	85	325	85			105	85	300	80	20	55	276	65	202	75	330	85									230	70
190	80	340	85			115	85	285	60	85	65	65	65	290	75	15	75									202	75
250	85	140	80			75	50	108	85	105	75	355	68	195	80	315	75									208	80
230	65	140	50			295	88	100	78	83	72	115	82	175	70	335	80									205	80
100	85	115	75			355	85	100	75			125	70	85	75	345	55									190	85

مراجع

منابع فارسی

آقانباتی، ع، (۱۳۸۳)، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور.

امامی، م. ه.، (۱۳۷۰) شرح نقشه زمین شناسی چهارگوش قم، ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

امامی، م. ه.، (۱۳۶۲)، گزارش مقدماتی بخش شمال خاوری چهارگوش آران و زمین‌شناسی اقتصادی منطقه سیاه کوه - دوازده امام، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.

پیروز, ا.، (۱۳۸۳)، "اکتشاف قنات های شناخته با بکارگیری روش ژئوالکتریک"، هشتمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، شاهرود، انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود

جهانگیری، م.، (۱۳۹۱)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد: "تحلیل شکستگی‌های میدان نفتی پازنان (جنوب باختر ایران)"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان.

رحیم زاده، ف.، (۱۳۷۳)، زمین شناسی ایران- الیگوسن، میوسن و پلیوسن، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی ایران، ۳۱۱ صفحه.

قاسم العسکری م. ک.، (۱۳۹۰)، اصول پتروفیزیک، انتشارات ستایش.

ماهنامه ندای گاز، (۱۳۹۳)، افتتاح بزرگ ترین طرح ذخیره سازی گاز خاورمیانه، شماره ۱۱۳، شهریور.

محسن حائری نژاد، م.، (۱۳۹۲)، نگاهی به ذخیره سازی گاز طبیعی در ایران و جهان.

مطیعی، ه.، (۱۳۷۴)، زمین شناسی ایران زمین شناسی نفت زاگرس، سازمان زمین شناسی.

نبوی، ح، (۱۳۵۵)، دیباچه ای بر زمین شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور.

نوگل سادات، م. ع. ا.، (۱۳۵۷) منطقه های برشی و خمیدگی ساختاری در ایران، دستاوردهای تحلیل ساختاری ناحیه قم، گزارش شماره ۵۵ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

یزدانی، ه. (۱۳۸۵)، میکروبیواستراتیگرافی فرامینیفرهای سازند قم در غرب ساوه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

منابع لاتین

Abaie IL, Ansari HJ, Badakhshan A, Jaafari A (1964) History and development of the Alborz and Sarajeh fields of Central Iran. Bull Iranian Petroleum Inst 15:561–574

Abaie, I.L., Ansari, H.J., Badakhshan, A. & Jaafari, A. 1963. History and development of the Alborz and Serajh fields, central Iran. In: Proceedings of the sixth world petroleum conference, Frankfurt, section 2. 000–111.

Aydin, Atilla, and James M. DeGraff. "Evolution of polygonal fracture patterns in lava flows." *Science* 239.4839 (1988): 471-477.

Barton, Christopher C. "Systematic jointing in the Cardium sandstone along the Bow River, Alberta, Canada." (1983).

Bates, R. L., and J. A. Jackson. "Glossary of Geology, 2nd." *American Geological Institute* 751 (1980).

Bell J. Petro Geoscience 1. In situ stresses in sedimentary rocks (part 1): measurement techniques. Geoscience Canada. 1996 Jun 6;23(2).

Berberian, M. Continental deformation in the Iranian plateau (Contribution to the seismotectonics of Iran, part IV). Geological Survey of Iran. No. 52. report, 1983.

Berberian, M., and G. C. P. King, Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, Can. J. Earth Sci., 18, 210 – 265, 1981.

Busk, H.G., 1929, Earth Flexures. Cambridge University Press, London, 106 p.

Casas, Antonio M, Angel L Cortes, Adolfo Maestro, M Asunción Soriano, Andres Riaguas, and Javier Bernal. "Lindens: A Program for Lineament Length and Density Analysis." Computers & Geosciences 26, no. 9 (2000): 1011-22.

Crain, E. "Crain's Petrophysical Handbook, Online Shareware Petrophysics Training and Reference Manual." *Available on:< https://www.spec2000.net/07-acousticimagelog.htm >. Access on: Jan* 1 (2015): 2017.

Davatzes NC, Hickman S. Comparison of acoustic and electrical image logs from the Coso geothermal field, CA. InProceedings, Thirtieth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University 2005 Jan 31 (pp. 1-11).

De Morgan J.: ‘‘ Mission scientifique en Perse ” ***3,*** ILrc partie, Géologie stratigraphique, Paris, 1905

Donselaar, M.E. and Schmidt, J.M., 2005. Integration of outcrop and borehole image logs for high-resolution facies interpretation: example from a fluvial fan in the Ebro Basin, Spain. Sedimentology, 52(5), pp.1021-1042.

Fam, M. Y., et al. "Applying electrical micro-imaging logs to reservoir characterization." *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers, 1995.

Fleuty, M.J., 1964. The description of folds. *Proceedings of the Geologists' Association*, *75*(4), pp.461-492.

Fossen, H. "Structural Geology, 463 pp." (2010).

Frei, E., and B. Mostofi. "17. The Main Sedimentary Basins of Iran and Their Oil Prospects." *5th World Petroleum Congress*. World Petroleum Congress, 1959.

Friedman, M. "Structural analysis of fractures in cores from Saticoy Field, Ventura County, California." *AAPG Bulletin* 53.2 (1969): 367-389.

Furrer, M.A., Soder, P.A., 1955. The Oligo–Miocene marine formation in the Qom region (Central Iran). Proceedings of the 4th World Petroleum Congress, Rome, Section I/A/5, 267–277.

Gansser, Augusto. "2. New Aspects of the Geology in Central Iran (Iran)." *4th World Petroleum Congress*. World Petroleum Congress, 1955.

Guidish, T. M., et al. "Basin evaluation using burial history calculations: an overview." *AAPG Bulletin* 69.1 (1985): 92-105.

Harris, John F, Garvin L Taylor, and Jack L Walper. "Relation of Deformational Fractures in Sedimentary Rocks to Regional and Local Structure." *AAPG Bulletin* 44, no. 12 (1960): 1853-73.

Hatcher Jr, R. D., et al. "Tectonic map of the US Appalachians: Geological Society of America, The Geology of North America, v." *F-2, Plate* 1 (1990).

Hessami, K., Jamali, F., and Tabassi, H., 2003. “Major active faults of Iran, scale 1:2,500,000.” International Institute of Earthquake Engineering and Seismology.

Hodgson, Robert A. "Reconnaissance of Jointing in Bright Angel Area, Grand Canyon, Arizona: GEOLOGICAL NOTES." *AAPG Bulletin* 45.1 (1961): 95-97.

Hodgson, Robert A. "Regional study of jointing in Comb Ridge-Navajo mountain area, Arizona and Utah." *AAPG Bulletin* 45.1 (1961): 1-38.

Hodgson, Robert Arnold. "Classification of structures on joint surfaces." American journal of science 259.7 (1961): 493-502.

http://iodp.ldeo.columbia.edu/LOG_SUM/exp320_321/320_321.index.html

HUNT, T . STERRY, 1861, *Montreal Gazette* (March i).

Jamison, William R. "Geometric analysis of fold development in overthrust terranes." *Journal of Structural Geology* 9.2 (1987): 207-219.

Kalhor R., Geology of Neogene formation in Varamin-Garmsar area and evaluation of Abardej Nose. NIOC, Geological Report, 233, 1961

Mamtani, M. A., Ghosh, A., Chaudhuri, A. K., & Sengupta, D. (2004). Joint Pattern in Precambrian rocks around Galudih (India): implications for fold mechanism. *Gondwana Research*, *7*(2), 579-583.

McClay, K. R., & Whitehouse, P. (2004). Analogue models of doubly convergent orogens. In K. R. McClay (Ed.), Thrust tectonics and hydrocarbon systems. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 82, in press.

McClay, K. R., et al. "3D evolution of fold and thrust belts formed by oblique convergence." *Marine and Petroleum Geology* 21.7 (2004): 857-877.

National Research council. *Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications*. National Academies Press, 1996.

Nelson, H. W. (1956). *Contribution to the geology of the Central and Western Cordillera of Colombia in the sector between Ibagué and Cali* (Vol. 22). Eduard Ijdo.

Nelson, R. A. "Natural fracture systems: Description and classification: Geologic notes." *AAPG Bulletin* 63.12 (1979): 2214-2221.

Nelson, R. A., and S. Serra. "Vertical and lateral variations in fracture spacing in folded carbonate sections and its relation to locating horizontal wells." *Journal of Canadian Petroleum Technology* 34.06 (1995).

Nelson, R., 2001. Geologic analysis of naturally fractured reservoirs. Gulf Professional Publishing.

Pollard, David D and Atilla Aydin. "Progress in Understanding Jointing over the Past Century." GSA Bulletin 100, no. 8 (1988): 1181-204.

Price, N.J., 1966. Fault and Joint Development in Brittle and Semi-Brittle Rock. Pcrgamon.

Rezaie, Amir H., and Mir Aliakbar Nogole-Sadat. "Fracture modeling in Asmari reservoir of Rag-e Sefid oil-field by using Multiwell Image Log (FMS/FMI)." *Iranian International Journal of Science* 5.1 (2004): 107-121.

Schlumberger, Borehole geology, geomechanics and 3D reservoir modeling (FMI), 2002.

Schlumberger, Wireline Services eCatalog, 2015.

Schwartz, Bryan C. Fracture pattern characterization of the Tensleep Formation, Teapot Dome, Wyoming. Diss. West Virginia University, 2006.

Serra, O., 1984, Fundamentals of well log interpretation, Volume 1: The acquisition of logging data: Amsterdam, Elsevier, 423 p.

Serra, O., 1989. Formation microscanner image interpretation. Schlumberger Educational Services.

Singhal, Brij Bhusan Saran, and Ravi P. Gupta. *Applied hydrogeology of fractured rocks*. Springer Science & Business Media, 2010.

Stearns, D.W., 1968b, "Certain Aspects of Fracture in Naturally Deformed Rocks," in NSF Advanced Science Seminar in Rock Mechanics, R. E. Rieker, Ed., Special Report, Air Force Cambridge Research Laboratories, Bedford, Massachusetts, AD 6693751, pp. 97–118

Stöcklin, J., 1968b, Structural history and tectonics of Iran-a review: Am. Assoc. Petr. Geol. Bull., v. 52, no. 7, p. 1229–1258.

Twiss, Robert J. and Eldridge M. Moores. Structural geology. Macmillan, 1992.

Vernant, Ph, et al. "Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman." *Geophysical Journal International* 157.1 (2004): 381-398.

Williams, T., Image and fracture analysis, LDEO, 2008.

Yildirim, Aycan. *Subsurface fracture analysis using FMI logs: Implications for regional state of stress prediction in the Black Warrior Basin, Alabama*. The University of Alabama, 2014.

Zangerl, Christian, Simon Loew, and Erik Eberhardt. "Structure, Geometry and Formation of Brittle Discontinuities in Anisotropic Crystalline Rocks of the Central Gotthard Massif, Switzerland." *Eclogae Geologicae Helvetiae* 99, no. 2 (2006): 271-90.

Abstract

In the past decade, several geophysical, geological and reservoir studies have been done on the Qom formation in the Yortesha field for injection and gas storage purposes. Qom formation in this field has a poor reservoir characteristic (low porosity and permeability); therefore the role of fractures for increasing permeability and improving reservoir quality is very important. In the current study, fractures' concentration and strike patterns of the Qom and Upper Red formations as the carbonate reservoir and cap rock, respectively, have been investigated and compared in the Yortesha anticline and its adjacent anticlines (Davazdah Emam and Morreh) using surface and subsurface investigations. In order to achieve this goal, desert data gathering methods, remote sensing, and image log analysis have been used. Subsurface studies and interpretation of FMS and EMI image logs determined that fractures have also a strike of NE-SW in addition to strike of NW-SE. Based on the FMS image log interpretation of well No. 2, two subsurface fracture sets have been identified with the strikes of N65W and N15W as well as using the EMI log of well No. 4 shows the two dominant strike of N10E and S40E. Investigation of the Qom formation's fractures (as for the image logs) shows that, the regions which have purer shale than other parts of formation are more fractured. The total 1852 specified fractures in the out crops of the Morreh and Davazdah Emam surface anticlines can lead to rose diagrams that show four fracture sets with the strikes of N10E, S45E, S80E, and N45E. Due to the well breakouts in the FMS images logs of the well number 3, the minimum stress on borehole has the strike of NW-SE; while the maximum stress has the strike of NE-SW, perpendicular to the breakouts.

Keywords: Yortesha field, Qom formation, Natural gas storage, Fracture concentration, Image log

Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

Tectonic Group

MSc Thesis in Tectonic

Fracture analysis in reservoir rock of the Qom Formation in Urtsha Field, using surface and subsurface data

By:Mahnaz Sabahi

Supervisors:

Dr. Ramazan Ramazani Omali

Dr. Masoumeh Kordi

Advisor:

Mohsen Door andish

September 2017