

الحمد لله رب العالمين



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه نفت و ژئوفیزیک

مدل سازی شکستگی ها به روش شبکه گسسته شکستگی در یکی از میادین
جنوب ایران

علمدار فرامرزی

اساتید راهنما:

دکتر بهزاد تخمچی

دکتر مجید انصاری جعفری

پایان نامه ارشد برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته اکتشاف نفت

شهریور ۱۳۹۲



دانشگاه علمی کاربردی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره: ۹۴۲۱۱۴۴

تاریخ: ۹۲/۷/۸

ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای علمدار فرامرزی رشته مهندسی نفت گرایش اکتشاف تحت عنوان مدل سازی شکستگی ها به روش شبکه گسسته شکستگی در یکی از میادین جنوب ایران که در تاریخ ۱۳۹۲/۶/۲۴ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

☐ مردود	☐ دفاع مجدد	☒ قبول (با درجه: <u>خوب</u> امتیاز: <u>۱۷/۱۰</u>)
--------------------------------	------------------------------------	--

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۱- عالی (۱۹ - ۲۰)

۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر بهزاد تخمچی	استادیار	
۲- استاد راهنما	دکتر مجید جعفری انصاری	استادیار	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر امین روشندل کاهو	استادیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی	دانشیار	
۵- استاد ممتحن	دکتر حسین میرزایی نصیرآباد	استادیار	

رئیس دانشکده:



تو نه مثل آفتابی که حضور و غیبت افتد دگران روند و آیند و تو هم چنان که هستی

خالصانه و خاضعانه

تقدیم می‌گردد به سقای آب و ادب

عباس ابن علی (ع)

تشکر و سپاسگذاری

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم. از خانواده مهربانم که مرا یارای بسیار بودند، تشکر و قدردانی می‌نمایم. بی‌شک بدون حمایت این عزیزانم، پیمودن این مسیر کاری دشوار و غیرممکن بود.

از اساتید فرزانه و دلسوز، جناب آقای دکتر بهزاد تخم‌چی و جناب آقای دکتر مجید انصاری جعفری که در کمال سعه صدر، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننموده‌اند و راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند، کمال تشکر و سپاسگذاری را دارم.

از آقایان، دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی دانشیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک و دکتر حسین میرزایی نصیرآباد استادیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از کلیه دوستان مهربانم، علیرضا حیدری، مهدی افشاری، محمد جواد رحیم‌دل، محمد صادقی، محمد شیخ‌الشریعه، مهدی رستگاریان، محمدرحمان کمالی، اسماعیل سیفی و کلیه عزیزانی که مرا در انجام این مهم یاری رساندند تشکر می‌نمایم و از خداوند منان سلامت و سعادت ایشان را خواستارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گویم.

چکیده

شکستگی‌های طبیعی مسیرهای پیچیده‌ای برای عبور سیال ایجاد می‌کنند که در نتیجه آن توصیف مخزن، عملکرد تولیدی مخزن و بازیافت کلی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مطالعه و استفاده از خصوصیات شکستگی‌ها در مخزن عامل مهمی برای بهینه کردن عملکرد مخزن است. هدف از این مطالعه، چگونگی جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از منابع مختلف استاتیکی و دینامیکی، آنالیز این اطلاعات و در نهایت ساختن مدل‌های شکستگی‌ها است. مطالعه حاضر بر روی یکی از میادین کربناته جنوب ایران انجام شده است. سنگ‌شناسی این میدان متشکل از رخساره‌های سنگی سنگ‌آهک، دولومیت، انیدریت و شیل در لایه‌های مخزنی، سازندهای کنگان و دالان است. از روش شبیه‌سازی تصادفی شبکه گسسته شکستگی در این پایان‌نامه جهت استخراج مدل سه‌بعدی شکستگی‌ها استفاده شده است. جهت استخراج ورودی‌های لازم در فرآیند مدلسازی شکستگی‌ها با استفاده از این روش لازم است تا آنالیزهای ضروری بر روی شکستگی‌ها انجام گیرد. این آنالیزها شامل، محاسبه شدت شکستگی در چاه‌ها، بازشدگی شکستگی‌ها، آنالیز جهت‌گیری شکستگی‌ها، دسته‌بندی شکستگی‌ها در قالب دسته شکستگی‌ها و آنالیز جهت‌گیری این دسته‌ها، محاسبه لاگ چگالی در هر یک از چاه‌ها، محاسبه چگالی شکستگی‌ها در هر یک از رخساره‌های سنگی و همچنین مطالعه تأثیر هر یک از رخساره‌ها در ایجاد شکستگی‌هاست. در این مطالعه از نتایج تفسیر نمودارهای تصویری (FMI) در سه چاه A ، B و C که به ترتیب در بازه‌های ۲۱۸۲ تا ۳۲۹۷ متری، ۲۷۳۱ تا ۳۲۲۶ متری و ۲۸۳۶ تا ۳۲۸۶ متری از این چاه‌ها نمودارگیری شده، استفاده شده است. همچنین از داده‌های دینامیکی شامل اطلاعات نمودارهای تولید و همچنین بازه‌های مشبک‌کاری در چهار چاه D ، E ، F و G جهت انجام آنالیزهای دینامیکی شکستگی‌ها استفاده گردیده است. بر اساس آنالیزهای انجام گرفته شدت شکستگی در چاه‌های A ، B و C به ترتیب برابر با $(1/m) 0/22$ ، $(1/m) 0/29$ و $(1/m)$ انجام گرفته شدت شکستگی‌ها نیز در هر یک از چاه‌ها محاسبه گردیده و مقدار میانگین آن در سه چاه

A، B و C به ترتیب عبارتند از: $(cm) 0.02$ ، $(cm) 0.01$ و $(cm) 0.23$. به طور کلی شکستگی‌ها در هر سه چاه دارای جهت‌گیری‌های مختلف با امتداد (جهت شیب) و شیب متفاوت هستند. شیب میانگین شکستگی‌های باز در چاه A، ۶۰ درجه با روند امتداد غالب در $N35E$ است. در چاه B دارای شیب میانگین ۶۲ درجه و روند امتداد غالب $N20E$ و در چاه C شکستگی‌های باز طبیعی دارای شیب میانگین ۶۵ درجه و دو روند غالب در امتداد $N35E$ و $N35W$ هستند. به منظور دسته‌بندی شکستگی‌ها، جهت‌گیری کل شکستگی‌ها در سه چاه به طور همزمان مورد آنالیز قرار گرفته و شکستگی‌ها در سه دسته شکستگی گروه-بندی شده‌اند. چگالی شکستگی محاسبه شده در سه چاه A، B و C به ترتیب عبارتند از $(1/m) 0.417$ ، $(1/m) 0.519$ و $(1/m) 0.347$. همچنین چگالی شکستگی محاسبه شده در رخساره‌های سنگ‌آهک، دولومیت و انیدریت به ترتیب برابر با $(1/m) 0.629$ ، $(1/m) 0.457$ ، $(1/m) 0.127$ و برای شیل صفر محاسبه شده است. از داده‌های دینامیکی و آنالیز آنها نیز جهت تأیید آنالیزهای شکستگی استفاده گردیده است. به طور کلی، لایه‌هایی که بیشترین سهم مشارکتی در تولید را دارا هستند، دارای تعداد شکستگی بیشتری نیز بر اساس آنالیزهای شکستگی هستند. این نتیجه نشان‌دهنده توزیع شکستگی‌ها در کل مخزن و بخصوص در این لایه‌های مخزنی است. در نهایت نیز براساس میانگین اطلاعات استخراجی در هر یک از چاه‌ها و دسته شکستگی‌ها، مدل‌های سه‌بعدی شکستگی‌ها به روش شبکه گسسته شکستگی ساخته شده است.

کلمات کلیدی: مخازن شکافدار طبیعی، شبکه گسسته شکستگی، دهانه شکستگی، چگالی شکستگی، دسته شکستگی

تعهد نامه

اینجانب علمدار فرامرزی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی نفت دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه: مدل سازی شکستگی ها به روش شبکه گسسته شکستگی در یکی از میادین جنوب ایران تحت راهنمایی آقایان دکتر بهزاد تخمچی و دکتر مجید انصاری جعفری متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده 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.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

۱- علمدار فرامرزی، بهزاد تخم‌چی، مجید انصاری جعفری " آنالیز شکستگی ها و تنش‌های برجا

با استفاده از لاگ‌های تصویری در یکی از میادین جنوب ایران" دومین کنفرانس مهندسی

مخازن هیدروکربوری، اردیبهشت ماه ۱۳۹۲

فصل اول: کلیات..... ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۲-۱ اهمیت شناسایی شبکه شکستگی ها ۴

۳-۱ اهمیت مدل های جامع شبکه گسسته شکستگی ها ۵

۴-۱ اهداف مطالعه ۵

۵-۱ مطالعات و کارهای قبلی ۷

۱-۵-۱ مدلسازی شبکه گسسته شکستگی ۷

۶-۱ ساختار پایان نامه ۱۳

فصل دوم: مبانی شکستگی ها و روش شناسی تحقیق ۱۴

۱-۲ مقدمه ۱۵

۲-۲ اطلاعات پایه ای درباره شکستگی ها ۱۵

۱-۲-۲ تعریف شکستگی ۱۵

۲-۲-۲ دسته بندی شکستگی ها ۱۶

۱-۲-۲-۲ شکستگی های رسانا ۱۸

۲-۲-۲-۲ شکستگی های مقاوم ۱۹

۳-۲-۲-۲ شکستگی های القایی حفاری ۱۹

۴-۲-۲-۲ شکستگی های ریزش دیواره چاه ۲۱

۳-۲-۲ غسل ۲۲

۴-۲-۲ تعریف شکستگی های مؤثر ۲۳

۱-۴-۲-۲ لاگ های تصویری ۲۴

۲-۴-۲-۲ تحلیل مغزه ۲۵

۲۶	۳-۴-۲-۲ لاگ فوتوالکتریک
۲۷	۴-۴-۲-۲ امواج استونلی
۲۷	۵-۴-۲-۲ لاگ کالیپر
۲۸	۶-۴-۲-۲ لاگ‌های تولید
۲۸	۷-۴-۲-۲ لاگ دما
۲۸	۸-۴-۲-۲ اطلاعات حفاری
۲۹	۳-۲ مفهوم شبکه گسسته شکستگی
۳۰	۱-۳-۲ موقعیت قرارگیری شکستگی‌ها
۳۰	۲-۳-۲ جهت‌گیری شکستگی‌ها
۳۱	۳-۳-۲ طول خط اثر شکستگی‌ها
۳۱	۴-۳-۲ بازشدگی شکستگی‌ها
۳۲	۴-۲ کاربرد مدل شبکه گسسته شکستگی
۳۳	۵-۲ روش‌شناسی مورد استفاده در مطالعه مخازن شکافدار
۳۷	۶-۲ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
۳۸	فصل سوم: زمین‌شناسی میدان مورد مطالعه و تحلیل آماری شکستگی‌های موجود
۳۹	۱-۳ مقدمه
۳۹	۲-۳ ناحیه مورد مطالعه
۴۰	۱-۲-۳ موقعیت جغرافیایی میدان
۴۱	۲-۲-۳ تاریخچه حفاری میدان
۴۲	۳-۲-۳ ساختار میدان مورد مطالعه
۴۵	۱-۳-۲-۳ سازند کنگان
۴۶	۲-۳-۲-۳ سازند دالان
۴۹	۴-۲-۳ ساز و کار شکل‌گیری شکستگی‌های طبیعی در میدان مورد مطالعه

۳-۳	موقعیت چاه‌های مورد مطالعه در میدان	۵۱
۴-۳	تحلیل آماری داده‌های شکستگی	۵۲
۳-۴-۱	چاه A	۵۲
۳-۴-۱-۱	لایه‌بندی	۵۲
۳-۴-۱-۲	شکستگی‌ها	۵۴
۳-۴-۱-۳	گسل	۵۹
۳-۴-۲	چاه B	۶۱
۳-۴-۲-۱	لایه‌بندی	۶۱
۳-۴-۲-۲	شکستگی‌ها	۶۱
۳-۴-۳	چاه C	۶۴
۳-۴-۳-۱	لایه‌بندی	۶۴
۳-۴-۳-۲	شکستگی‌ها	۶۴
۳-۵	جمع‌بندی و نتیجه‌گیری	۶۷
فصل چهارم: مدل‌سازی شبکه گسسته شکستگی‌ها		
۴-۱	مقدمه	۶۹
۴-۲	تعریف رخساره‌های سنگی	۶۹
۴-۳	آنالیز شکستگی‌ها	۷۳
۴-۳-۱	شدت شکستگی	۷۴
۴-۳-۲	دهانه شکستگی‌ها	۷۶
۴-۳-۳	چگالی شکستگی‌ها	۷۹
۴-۳-۴	جهت‌گیری شکستگی‌ها	۸۶
۴-۳-۵	دسته‌بندی شکستگی‌ها	۹۳
۴-۳-۶	اندازه و شکل شکستگی‌ها	۹۷

۴-۴ ساخت ناحیه مورد نظر	۱۰۰
۴-۵ ساختن مدل های شبکه گسسته شکستگی	۱۰۲
۴-۵-۱ فرآیند تصادفی	۱۰۳
۴-۵-۲ شرطی سازی فرآیندهای تصادفی	۱۰۳
۴-۶ آنالیز دینامیکی شکستگی ها	۱۰۸
۴-۶-۱ هدف از آنالیزهای دینامیکی	۱۰۸
۴-۶-۲ آنالیزهای انجام شده بر روی چاه های مورد مطالعه	۱۰۹
۴-۷ جمع بندی و نتیجه گیری	۱۱۶
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات	۱۱۷
۵-۱ نتیجه گیری	۱۱۷
۵-۲ پیشنهادات	۱۲۰
منابع	۱۲۲

- شکل ۱-۱ (الف) مدل دیسکی بیچر (ب) مدل ونزیانو (ج) مدل درشوویتز ۱۰
- شکل ۱-۲ مورفولوژی شکستگی‌ها ۱۷
- شکل ۲-۲ نمایش شکستگی‌های القایی و ریزش دیواره و استرس‌های بیشینه و کمینه در گمانه ۲۱
- شکل ۳-۲ داده‌های مورد استفاده در نرم‌افزار ۳۴
- شکل ۱-۳ موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه و گنبد شمالی واقع در خلیج فارس ۴۱
- شکل ۲-۳ کمان قطر-فارس، حوضه‌های نمکی پرکامبرین در منطقه خلیج فارس و موقعیت گسل‌های پی‌سنگی با امتداد شمال-شمال شرق در خاورمیانه و پیرامون میدان گازی ۴۳
- شکل ۳-۳ طبقه‌بندی ارائه شده برای واحدهای سنگی پرموتریاس ۴۴
- شکل ۴-۳ چینه‌شناسی میدان مورد مطالعه ۴۸
- شکل ۵-۳ مدل مفهومی پیدایش سری‌های مختلف شکستگی در سازندهای ۵۰
- شکل ۶-۳ موقعیت مکانی چاه‌های مورد مطالعه بر روی نقشه افق لرزه‌ای در بلوک انتخابی ۵۱
- شکل ۷-۳ نمودار گل‌سرخ (الف) و قطبی (ب) لایه‌بندی در چاه A ۵۳
- شکل ۸-۳ تغییرات شیب لایه‌بندی در چاه A ۵۳
- شکل ۹-۳ شکستگی‌های رسانا (پیکان آبی رنگ با تدپل دایره‌ای)، شکستگی‌های محتمل باز (پیکان آبی رنگ با تدپل منفی). ۵۵
- شکل ۱۰-۳ اطلاعات مربوط به جهت شیب و امتداد شکستگی‌ها در کل فاصله نمودارگیری شده در چاه A ۵۶
- شکل ۱۱-۳ شکستگی‌های باز متفرقه (پیکان‌های آبی رنگ با تدپل مثلی)، شکستگی‌های مقاوم (پیکان‌های آبی آسمانی رنگ با تدپل دایره‌ای). ۵۷
- شکل ۱۲-۳ نمودار گل‌سرخ (الف) و قطبی (ب) شکستگی‌های القایی در چاه A ۵۹
- شکل ۱۳-۳ گسل شناسایی شده در چاه A (پیکان صورتی با تدپل مربعی). ۶۰
- شکل ۱۴-۳ نمودار قطبی (الف) و گل‌سرخ (ب) انواع شکستگی‌های طبیعی باز در چاه B ۶۲
- شکل ۱۵-۳ نمودار گل‌سرخ (الف) و قطبی (ب) شکستگی‌های القایی در چاه B ۶۳

- شکل ۳-۱۶ تغییرات شیب شکستگی‌های القایی در چاه B ۶۳
- شکل ۳-۱۷ نمودار گل سرخی (الف) و قطبی (ب) شکستگی‌های طبیعی در چاه C ۶۵
- شکل ۳-۱۸ نمودار گل سرخی (الف) و قطبی (ب) شکستگی‌های القایی در چاه C ۶۶
- شکل ۴-۱ رخساره‌های سنگی تعریف شده به صورت الگوها و رنگ مربوطه یا هر رخساره ۷۰
- شکل ۴-۲ نمایش سه‌بعدی شکستگی‌های قطع‌کننده چاه A و رخساره‌های آن ۷۱
- شکل ۴-۳ نمایش سه‌بعدی شکستگی‌های قطع‌کننده چاه B و رخساره‌های آن ۷۲
- شکل ۴-۴ نمایش سه‌بعدی شکستگیهای قطع‌کننده چاه C و رخساره‌های آن ۷۲
- شکل ۴-۵ نشان‌دادن شکستگی‌ها در طول گمانه ۷۵
- شکل ۴-۶ شکستگی موجود در رخساره و پارامترهای تعیین دهانه شکستگی ۷۸
- شکل ۴-۷ آنالیز چاه و نمودار چگالی محاسبه شده در چاه A ۸۲
- شکل ۴-۸ آنالیز چاه و نمودار چگالی محاسبه شده در چاه B ۸۳
- شکل ۴-۹ آنالیز چاه و نمودار چگالی محاسبه شده در چاه C ۸۴
- شکل ۴-۱۰ تأثیر درصد فراوانی رخساره‌ها بر حسب چگالی شکستگی در ایجاد شکستگی‌ها ۸۵
- شکل ۴-۱۱ نمایش جهت‌گیری شکستگی‌ها در سه چاه مورد مطالعه به روش تدپل ۸۸
- شکل ۴-۱۲ نحوه قرائت مقادیر شیب و آزمون شیب بر روی استریودیگرام ۸۹
- شکل ۴-۱۳ نمایش شکستگی در قالب قطب مربوطه ۹۰
- شکل ۴-۱۴ جهت‌گیری شکستگی‌های باز در چاه A ۹۱
- شکل ۴-۱۵ جهت‌گیری شکستگی‌های باز در چاه B ۹۲
- شکل ۴-۱۶ جهت‌گیری شکستگی‌های باز در چاه C ۹۲
- شکل ۴-۱۷ اطلاعات جهت‌گیری دسته شکستگی‌ها ۹۴
- شکل ۴-۱۸ اطلاعات جهت‌گیری دسته شکستگی N45 ۹۵
- شکل ۴-۱۹ اطلاعات جهت‌گیری دسته شکستگی N50 ۹۵
- شکل ۴-۲۰ اطلاعات جهت‌گیری دسته شکستگی N127 ۹۶
- شکل ۴-۲۱ مشاهده رز دیاگرام دسته شکستگی‌ها و موقعیت چاه‌ها بر روی افق لرزه‌ای ناحیه مورد مطالعه از مخزن ۹۷

شکل ۲۲-۴	مدل مربعی شکستگی در نرم افزار FRACAFLOW	۹۹
شکل ۲۳-۴	مدل بیضوی شکستگی در نرم افزار FRACAFLOW	۹۹
شکل ۲۴-۴	ناحیه انتخاب شده (شعاعی در اطراف چاه) جهت مدلسازی	۱۰۱
شکل ۲۵-۴	ناحیه انتخاب شده (انتخاب سلولهای بین چاهها) جهت مدلسازی	۱۰۱
شکل ۲۶-۴	مدل تصادفی DFN ساخته شده در چاه B	۱۰۴
شکل ۲۷-۴	مدل تصادفی DFN ساخته شده در چاه B	۱۰۵
شکل ۲۸-۴	مدل تصادفی DFN ساخته شده در چاه B	۱۰۶
شکل ۲۹-۴	مدل DFN ساخته شده در ناحیه بین چاههای مورد مطالعه	۱۰۷
شکل ۳۰-۴	مدل DFN ساخته شده در ناحیه بین چاههای مورد مطالعه	۱۰۷
شکل ۳۱-۴	مدل DFN ساخته شده در ناحیه بین چاههای مورد مطالعه	۱۰۸
شکل ۳۲-۴	داده های دینامیکی موجود در هر چاه جهت انجام آنالیزهای دینامیکی	۱۱۰
شکل ۳۳-۴	نمودارهای دینامیکی در چاه D	۱۱۲
شکل ۳۴-۴	نمودارهای دینامیکی در چاه E	۱۱۳
شکل ۳۵-۴	نمودارهای دینامیکی در چاه F	۱۱۴
شکل ۳۶-۴	نمودارهای دینامیکی در چاه G	۱۱۵

جدول ۱-۲ نشانگرهای تشخیص گسل	۲۳
جدول ۱-۳ شکستگی‌های القایی شناسایی شده در چاه A	۵۸
جدول ۲-۳ نشانگرها و نشانه‌های گسل در چاه A	۶۰
جدول ۳-۳ شکستگی‌های القایی شناسایی شده در چاه A	۶۶
جدول ۱-۴ رخساره‌های سنگی تعریف شده به عنوان ورودی در مدلسازی	۷۰
جدول ۲-۴ میانگین دهانه شکستگی‌های محاسبه شده در چاه‌های مورد مطالعه	۷۸
جدول ۳-۴ روش‌های محاسبه لاگ چگالی شکستگی در FRACAFLOW	۸۰
جدول ۴-۴ اطلاعات آماری تأثیر رخساره‌ها در ایجاد شکستگی‌ها	۸۵
جدول ۵-۴ اطلاعات آماری چگالی شکستگی در چاه‌های مورد مطالعه	۸۶
جدول ۶-۴ اطلاعات آماری دسته شکستگی‌ها	۹۳
جدول ۱-۵ شدت شکستگی محاسبه شده در چاه‌های مورد مطالعه	۱۱۸
جدول ۲-۵ اطلاعات آماری چگالی شکستگی در چاه‌های مورد مطالعه	۱۱۹
جدول ۳-۵ اطلاعات آماری تأثیر رخساره‌ها در ایجاد شکستگی‌ها	۱۱۹

۱ فصل اول

کلیات

شکستگی^۱ها ساختارهای فراگیری هستند که در انواع متفاوت سنگ‌ها و توالی‌های تکتونیکی^۲ و در یک محدوده مقیاسی گسترده رخ می‌دهند. تراوایی^۳ این ساختارهای ناهمگون ممکن است به طور متوسط، از نظر بزرگی مقداری بالاتر یا کمتر از سنگ‌های ماتریکس اطرافشان باشد. در نتیجه، شکستگی‌ها و گسل‌ها در سنگ‌ها اجزای مهمی از مهاجرت و جریان هیدروکربن همانند به دام افتادن هیدروکربن، می‌باشند. به این دلیل، داشتن دانش و مدل‌سازی هندسه و خصوصیات شکستگی‌های منفرد و الگوی شکستگی، برای ارزیابی بهتر بازیافت نفت^۴ و بهینه کردن تولید از مخازن شکسته کربناته، حیاتی می‌باشد (Vincent and Caumon, 2009).

بسیاری از میادین هیدروکربوری در ایران نیز از نوع میادین شکافدار طبیعی هستند که دارای نرخ تولید بسیار بالا می‌باشند. تمامی مخازن، مخازن شکافدار طبیعی^۵ با یک درجه مشخص از شکستگی تلقی می‌شوند (Aguilera, 1995). مخزن شکافدار، مخزنی است که در آن شکستگی‌ها تراوایی مخزن را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه نرخ تولید و بازیافت هیدروکربور افزایش یافته است (Narr et al., 2006). شناسایی، پردازش و ارزیابی شکستگی‌های طبیعی یکی از اهداف مهم در مطالعات مخزن برای زمین-شناسان، متخصصین ژئوفیزیک و مهندسان نفت برای اکتشاف و توسعه مناسب مخزن می‌باشد.

سنگ‌های کربناته دارای بافت و شبکه خلل و فرج پیچیده در نتیجه‌ی تاریخچه رسوب‌گذاری و دیاژنز آنها می‌باشند. ناهمگونی در تمامی مقیاس‌ها می‌باشند - در خلل و فرج، دانه‌های سنگ و بافت. ضریب

¹ Fractures

² Tectonic settings

³ Permeability

⁴ Oil recovery

⁵ Naturally Fracture Reservoir

بازیافت^۶ میانگین برای تمامی مخازن حدود ۳۵٪ می‌باشد. اگرچه ضریب بازیافت در مخازن ماسه‌سنگی بیشتر از مخازن کربناته می‌باشد. از دلایل آن می‌توان به ماهیت رسوب، نحوه و محیط رسوب‌گذاری و دیاژنز را نام برد که باعث تغییرات زیادی بخصوص در تخلخل و تراوایی می‌گردند. بیش از ۶۰٪ ذخایر نفت جهان و ۴۰٪ از ذخایر گاز جهان در کربناته‌ها قرار دارند. خاورمیانه دارای ۶۲٪ از ذخایر نفتی اثبات‌شده جهان می‌باشد و تقریباً ۷۰٪ از این مقدار در کربناته‌ها واقع است. همچنین تقریباً ۴۰٪ از ذخایر گاز تثبیت‌شده جهان در خاورمیانه قرار دارد که ۹۰٪ از این ذخایر گازی در سنگ‌های کربناته قرار دارد (Schlumberger, 2007).

مطالعه حاضر بر روی یکی از میدادین عظیم کربناته واقع در جنوب ایران انجام شده است. مخزن کربناته این میدان از چندین لایه مخزنی تشکیل گردیده است که به‌وسیله ویژگی‌های مخزنی متفاوتشان متمایز شده‌اند. مطالعه حاضر با استفاده از نتایج تفسیر نمودارهای تصویری جهت انجام آنالیزها و در نهایت مدل‌سازی شکستگی‌ها در چاه‌های مورد مطالعه این میدان، انجام گردیده است.

هدف از توصیف و مدل‌سازی مخازن شکسته طبیعی ساختن مدل‌های عددی از سنگ و شکستگی‌ها، آماده‌سازی داده‌های ورودی برای شبیه‌سازی واقعی و آنالیزهای شبیه‌سازی جریان سیال می‌باشد. لازمه این کار، داشتن دانش لازم و کافی از ناهمگونی‌های شکستگی‌ها و تطابق آنها در موقعیت چاه و نواحی بین چاه‌ها می‌باشد. تعیین تراکم شکستگی‌ها، امتداد و جهت شیب آنها، میزان بازشدگی، فاصله آنها از یکدیگر، باز و بسته بودن آنها و در نهایت ارائه الگوی مناسب از شکستگی‌های مخازن، کمک فراوانی به برنامه‌ریزی‌های توسعه و تولید میدادین نفتی می‌نماید (Tran, 2004).

⁶ Recovery Factor

۲-۱ اهمیت شناسایی شبکه شکستگی‌ها

شکستگی‌های طبیعی نقش قابل توجهی در جریان سیال در مخازن شکافدار طبیعی ایفا می‌کنند. از دیدگاه زمین‌شناسی، اکثر مخازن دارای تراوایی ماتریکس پایین بوده لذا شکستگی‌ها اصلی‌ترین محیط انتقال سیال به حساب می‌آیند. به طور کلی، هیدروکربورها عمدتاً در تخلخل ماتریکس تجمع یافته‌اند و از طریق گذرگاه‌های تراوا از شکستگی‌ها به سمت چاه‌های تولیدی انتقال می‌یابند. همچنین سیستم‌های شکستگی می‌توانند نقش مهمی در تخلخل سنگ و ذخیره هیدروکربور نیز داشته باشند (Tran, 2004).

مشکلات مهندسی زیادی به خاطر شکستگی‌ها وجود دارد. شکستگی‌ها باعث بروز مشکلاتی در ذخیره مواد سمی و زائد، در پایداری ساختمانی تونل‌ها، معادن و سدها می‌شوند (National Research Council, 1996). برای مثال، هرزروی گل یکی از مشکلات هزینه‌آور در حفاری مناطق شکسته با فشار کم می‌باشد. سیال حفاری از طریق شکستگی‌های متقاطع هرز می‌رود و موجب افزایش زمان حفاری و تحمیل هزینه‌های اضافی به عملیات حفاری می‌گردد (Glowka et al., 1992).

به طور کلی، داشتن دانشی از شبکه گسسته شکستگی‌های زیرزمینی برای توسعه میادین نفتی، تولید گرما از مخازن زمین‌گرمایی و بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی، حیاتی می‌باشد و منجر به ارزیابی دقیق از ذخایر، خطوط تولید و افزایش بازیابی می‌شود. همچنین مشکلات بالقوه مخزن نیز کاهش می‌یابد (Tran, 2004).

۳-۱ اهمیت مدل‌های جامع شبکه گسسته شکستگی‌ها

مدل‌های تصادفی شبکه گسسته شکستگی^۷ به عنوان جزئی از توصیف و شبیه‌سازی مخزن، برای انواع کاربردهای مخزنی حیاتی هستند.

یکی از اهداف طرح‌ریزی مخزن، تعیین مناطق با شدت شکستگی کم و زیاد است. در نتیجه، چاه‌های حفاری می‌توانند شکستگی‌هایی که کنترل‌کننده جریان سیال هستند را هدف قرار دهند. بنابراین، مدل‌های توزیع چگالی شکستگی لازم و ضروری هستند. از آنجایی که شکستگی‌های با خصوصیات مختلف (اندازه، جهت‌گیری و درجه اتصال) تأثیر متفاوتی بر جریان سیال مخزن دارند. به طوری که شکستگی‌های با اندازه بزرگتر و دهانه بازتر سیال را به طور مؤثرتری انتقال می‌دهند. در نتیجه دیگر جزئیات خواص شکستگی نیز مورد نیاز است. جهت‌گیری شکستگی‌ها کنترل‌کننده آنیزوتروپی مخزن و تراوایی جهت‌ی است (Tran, 2004). به عنوان مثال، شکستگی‌های تقریباً "موازی به همدیگر متصل نبوده و لذا یک شبکه به هم پیوسته برای جریان سیال را تشکیل نمی‌دهند. در چنین مواردی، جهت افزایش بازده تولید گمانه‌های حفاری برای قطع کردن شکستگی‌ها به صورت جهت‌دار باید حفر گردند (National Research Council, 1996).

۴-۱ اهداف مطالعه

عملاً رفتار همه مخازنی که در آنها شکستگی‌ها کنترل‌کننده جریان سیال هستند، پیچیده است. لذا مخازن شکافدار باید به صورت مفصل مطالعه گردند. ناحیه انتخاب شده در انجام این مطالعه، ناحیه‌ای از میدان مورد مطالعه است که دارای نتایج تفسیر نمودارهای تصویری و اطلاعات دینامیک از جمله

⁷Stochastic Discrete Fracture Network Modeling

نمودارهای تولید است. ضخامت مخزنی این ناحیه که شامل چهار لایه مخزنی است، متغیر بین ۳۸۰ تا ۵۰۰ متر است.

هدف از انجام این مطالعه را می‌توان به دو بخش تقسیم نمود. بخش اول آنالیز شکستگی‌ها و بخش دوم مدلسازی شکستگی‌ها با انجام روش شبکه گسسته شکستگی^۸ها است. در این مطالعه از نرم‌افزار *FracFlow* برای تولید شبکه گسسته شکستگی در سه بعد جهت توصیف واقعی‌تر الگوی شکستگی‌های طبیعی، استفاده شده است. با استفاده از این نرم‌افزار و ساخت مدل سه بعدی شبکه شکستگی‌ها، جنبه‌های زیادی از ناحیه مورد مطالعه ارزیابی خواهند شد که بخشی از آنها عبارتند از:

- فهم بهتر توزیع شکستگی‌ها و خواص آنها
- مطالعه جهت‌گیری شکستگی‌ها بصورت چاه به چاه
- دسته‌بندی شکستگی‌ها در قالب دسته شکستگی‌ها
- تعیین نوع شکستگی‌ها
- ارزیابی رخساره‌هایی که دارای بیشترین تأثیر در ایجاد شکستگی هستند.
- محاسبه لاگ چگالی شکستگی‌ها در چاه‌ها
- ارزیابی دینامیکی نواحی شکستگی‌ها در تولید
- ساختن مدل گسسته شکستگی‌ها

⁸ Discrete Fracture Network (DFN)

۵-۱ مطالعات و کارهای قبلی

مطالعات گسترده و وسیعی در زمینه شناسایی شکستگی‌ها و مدل‌سازی آن انجام شده است. در این بخش تاریخچه‌ای از مدل‌سازی شکستگی‌ها به روش شبکه گسسته شکستگی و برخی از کارهای انجام شده در این زمینه آورده شده است.

۱-۵-۱ مدل‌سازی شبکه گسسته شکستگی

براساس گیلمن (Gilman, 2003) معمولاً از سه روش برای توصیف جریان سیال در مخازن شکافدار طبیعی استفاده می‌شود. اولین روش توسط مدل تخلخل دوگانه-تراوایی یگانه^۹ ارائه شده است که در آن بلوک‌های ماتریکس فقط از طریق شبکه‌های شکستگی متصل هستند. در این مدل بیشتر ذخایر سیال در ماتریکس قرار دارد که دارای تخلخل بسیار بیشتری نسبت به شکستگی است و جریان سیال فقط از طریق شکستگی‌های بسیار تراوا انجام می‌گیرد. روش دوم به وسیله مدل تخلخل دوگانه-تراوایی دوگانه^{۱۰} ارائه شده است. در مقایسه با مدل قبلی بلوک‌های ماتریکس با یکدیگر در ارتباط بوده و منجر به جریان یافتن سیال از طریق آنها علاوه بر جریان ماتریکس به شکستگی می‌شود.

روش سوم، مدل‌سازی جریان شبکه گسسته شکستگی، جدیدترین روش است. این روش متکی به طرح فضایی سه بعدی از صفحات شکستگی است که منجر به ساخت شبکه به هم پیوسته از سطوح شکستگی است. هرگونه حجم سنگ‌های مخزن که در سه بعد توسط شکستگی‌ها محدود شده است، بلوک‌های ماتریکس می‌باشند. مزیت اصلی این مدل‌ها نسبت به دو مدل قبلی این است که شکستگی‌ها به عنوان

^۹ dual-porosity/single-permeability model

^{۱۰} dual-porosity/dual-permeability model

ویژگی‌های گسسته شناخته می‌شوند. در حالی که در دو مدل قبلی، شکستگی‌ها توسط یک دسته از شبکه شکستگی با فضای منظم در مکعب‌های ماتریکس شناخته می‌شدند.

این روش در پایداری شیب توده سنگ‌ها^{۱۱} (Einstein et.al, 1979)، پایداری تونل‌ها^{۱۲} (Goodman and Shi, 1984)، تغییر شکل توده سنگ^{۱۳} (Dershowitz and Einstein, 1980)، جریان آب‌های زیرزمینی^{۱۴} (Long et al., 1985) استفاده گردید و سپس به طور پیوسته بعد از آن توسعه یافت و دارای کاربردهای فراوانی در عمران^{۱۵}، مهندسی محیط زیست^{۱۶} و مهندسی مخزن^{۱۷} و دیگر علوم زمین شد. و به صورت یک تکنیک بی‌همتا در شبیه‌سازی الگوی سه بعدی شکستگی‌ها تبدیل گردید.

این نوع از مدل‌های شبکه گسسته شکستگی در اواخر دهه ۱۹۸۰ بدلیل نیاز به تحقیقات در زمینه جریان سیال در مخازن زباله‌های هسته‌ای گسترش یافتند. که منجر به ظهور مدل‌های شکستگی تصادفی^{۱۸} گردید. این مدل‌ها همچنین کاربردهایی در مهندسی معدن یافتند. مدل‌های اولیه از شبکه شکستگی به صورت قطعی^{۱۹} به عنوان گروهی از شکستگی‌های از پیش تعریف شده بودند. این مدل‌های شبکه شکستگی به دلیل ثابت بودن شکستگی‌ها که در بلوک‌های یکسان جدا شده بودند، مدل‌های ساده-ای بودند. اما بعد از آزمایش و بررسی نمونه‌های رخنمون مشخص شد که شکستگی‌ها به این شیوه ظاهر نمی‌گردند، مدل‌های تصادفی خیلی زود پیشنهاد گردیدند.

¹¹ rock slope stability

¹² rock tunnel stability

¹³ rock mass deformation

¹⁴ groundwater flow

¹⁵ Civil engineering

¹⁶ Environmental engineering

¹⁷ Reservoir engineering

¹⁸ Stochastic Fracture Models

¹⁹ Deterministic Models

اولین مدل‌های تصادفی، مدل‌های ساده‌ای بودند که در آنها شکستگی‌ها به صورت صفحه‌ای و محدود در نظر گرفته شده بود. روش‌شناسی مدلسازی شبکه شکستگی توسط مؤلفین بسیاری توسعه پیدا کرده است و مدل‌های مختلفی ارائه گردیده است.

الف) مدل دیسکی^{۲۰} (Baecher, Lanney, and Einstein, 1978)

در این مدل شکستگی‌ها بصورت دیسکی شکل بوده و جهت‌گیری آنها توسط قطر مشخص شده و پراکندگی آنها به صورت تصادفی و با توزیع پواسون^{۲۱} در فضا می‌باشد شکل (۱-۱).

ب) مدل چندضلعی ونزیانو^{۲۲} (Veneziano (1979))

در این مدل، شکستگی‌های چندضلعی بوسیله فرآیندی تصادفی (پواسون) از خطوط بر صفحات تعریف می‌شوند. توزیع جهت‌گیری این صفحات به صورت دلخواه انجام می‌گیرد. چندضلعی‌های در هر صفحه مستقل از یکدیگرند بنابراین هیچ امکانی برای تعیین محل خاتمه شکستگی‌ها^{۲۳} در محل تقاطع وجود ندارد شکل (۱-۱).

ج) مدل درشوویتز^{۲۴} (Dershowitz (1984))

در این مدل، شکستگی‌های چندوجهی بر روی صفحات شکستگی تعریف می‌شوند. این کار توسط فرآیندی از خطوط پواسون^{۲۵} که نتیجه تقاطع صفحات شکستگی است انجام می‌گیرد. این مدل قادر است محل خاتمه شکستگی در تقاطع شکستگی‌ها یا سنگ بکر را مدل کند. اما لازمه‌ی آن تعریف اندازه و محل خاتمه آن به طور غیر مستقیم از شدت صفحات شکستگی است شکل (۱-۱).

²⁰ The disk model

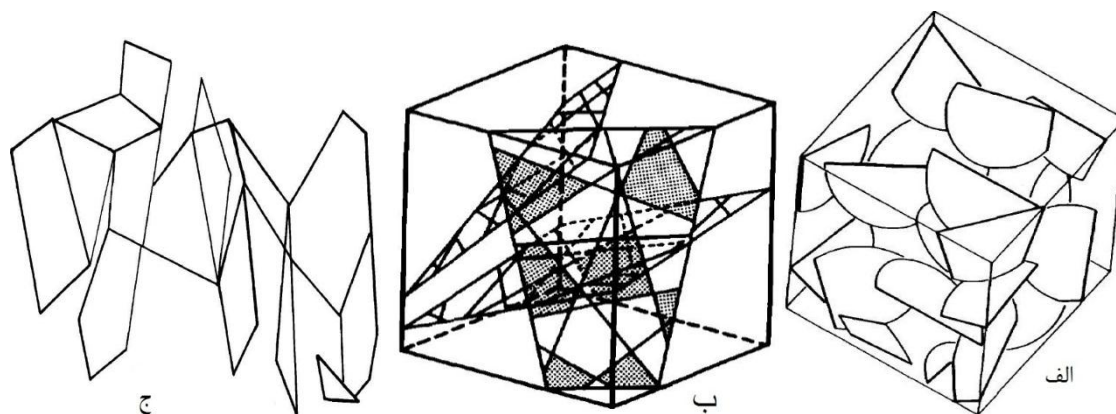
²¹ Poisson Distribution

²² The Veneziano polygon model

²³ Fracture Termination

²⁴ The Dershowitz Fracture Model

²⁵ Poisson lines



شکل ۱-۱ الف) مدل دیسکی بیچر ب) مدل ونزیانو ج) مدل درشوویتز (Dershowitz and Schrauf, 1987)

کوئنز و همکاران (Quenes et al., 2000) روش جدیدی که در آن از ترکیب مدل‌سازی شبکه گسسته و پیوسته شکستگی استفاده شده است را توسعه دادند. از مزیت‌های این روش، ساخت مدل شکستگی‌ها براساس تمامی داده‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و داده‌های مهندسی است و پس از آن مدل‌های گسسته شکستگی مشروط ساخته می‌شوند. فرآیند مدل‌سازی با ساختن مدل‌های شکستگی پیوسته شروع شده که قادر به گرفتن رابطه بین شدت شکستگی و خصوصیات زمین‌شناسی مرتبط با شکستگی می‌باشند. ابزارهای هوش مصنوعی برای انطباق بین خصوصیات زمین‌شناسی و شدت شکستگی استفاده شده است. و در نهایت مدل‌های گسسته شکستگی بازتاب دهنده شرایط زمین‌شناسی منعکس شده در مدل‌های پیوسته و همچنین نشان‌دهنده مشخصات شکستگی مشاهده شده می‌باشند.

ترن و همکاران (Tran et al., 2002) روش‌شناسی یکپارچه جدیدی برای مدل‌سازی شبکه شکستگی ارائه دادند. این روش‌شناسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، روش‌های آماری و هوش مصنوعی در یک حلقه تودرتو^{۲۶} را یکپارچه می‌کند و برای توصیف شبکه‌های شکستگی و شبیه‌سازی آنها بکار می‌رود. از شبکه

²⁶ Nested Loop

عصبی برای به دست آوردن رابطه پارامترهای اولیه و ثانویه شکستگی از داده‌های لاگ تصویری و مغزه استفاده شده است.

ترن و همکاران (*Tran et al., 2003*) روش‌شناسی یکپارچه‌ای دیگری برای مدلسازی شبکه شکستگی با استفاده از مدلسازی شیء گرا^{۲۷} و بهینه‌سازی جهانی^{۲۸} را ارائه دادند. در ابتدا، به عنوان مدل شیء گرا هر شکستگی مشخص شده و به عنوان یک شیء مجزا عمل می‌کند. در این روش شکستگی به عنوان یک شیء که به وسیله موقعیت، جهت و اندازه توصیف شده، در نظر گرفته می‌شود. هر شیء قوانین مختلفی مانند جابجایی، چرخش، رشد، کوتاه شدگی، تکرار یا حذف به عنوان رفتار در فضا دارند. مدل شبکه گسسته شکستگی (*DFN*)، به صورت مخلوطی از تعداد کل شکستگی‌ها، تک شکستگی و خواص آنها تعریف می‌شود. از طرفی، مدل شبکه و هندسه آن، مدل رفتار و شرایط کرانی خواص نیز لحاظ می‌شود.

درشوویتز (*Dershowitz, 2007*) روش شبکه گسسته شکستگی را برای مخزن کربناته توسعه داده است. در این کار روش‌های شناسایی خصوصیات زمین‌شناسی کربناته مثل ویژگی‌های کارستیک، شکستگی‌های موجود در لایه و مرز لایه، تطابق بین شدت شکستگی و ضخامت لایه‌بندی توسعه داده شده است.

گوایکوریان و همکاران (*Guaquirian et al., 2007*) از روش شبکه گسسته شکستگی برای مدلسازی شکستگی‌های میدان اوروکوآل^{۲۹} در سازند سن خووآن^{۳۰} واقع در ونزوئلا^{۳۱} استفاده کرده‌اند و از تمامی داده‌های موجود شامل داده‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و داده‌های مهندسی مخزن شامل داده‌های تولید، جریان سنج‌ها و چاه‌آزمایی برای تعیین انواع اصلی شکستگی‌ها، پیش‌بینی رخداد آنها در مخزن و تعیین

²⁷ Object Base Modeling

²⁸ Global Optimization

²⁹ Orucual Field

³⁰ San Juan Formation

³¹ Venezuela

خواص هیدرولیکی دسته شکستگی‌های متفاوت، استفاده کردند. روش شبکه گسسته شکستگی برای توصیف شکستگی‌های طبیعی در مقیاس چاه و مدل‌سازی سه‌بعدی شبکه شکستگی در مقیاس میدان استفاده گردیده است.

لازم به ذکر است که توصیف شکستگی‌های طبیعی فرآیند پیچیده‌ای است و به شرایط زمین‌شناسی توسعه مخزن بستگی دارد. محیط رسوبی نقش مهمی در تولید شکستگی‌ها مخزن بازی می‌کند. شکستگی‌های با رده یکسان که احتمالاً در زمان یکسانی ایجاد شده‌اند در یک دسته شکستگی گروه‌بندی می‌شوند. هر شبکه شکستگی حداقل شامل یک دسته شکستگی می‌باشد و الزاماً محدود به آن نمی‌باشد. موقعیت سنگ‌های رسوبی بسیار متفاوت می‌باشد، بنابراین مدل‌های پیچیده‌تری برای ارتباط بین دسته شکستگی‌های متفاوت توسعه یافتند.

کونارد و جکووین^{۳۲} احتمالاً اولین اشخاصی بودند که یک مدل دو مرحله‌ای که شامل ارتباط دسته شکستگی‌های تولید شده بود را ارائه داده‌اند (Einstein et al., 2000). در سال ۱۹۹۰ گروه مکانیک سنگ مؤسسه تکنولوژی ماساچوست^{۳۳} مدلی را ارائه دادند که در آن شکستگی‌ها با الگوی سلسله مراتبی^{۳۴} ساخته می‌شد. این مدل شکستگی‌های دو بعدی واقعی‌تری را تولید می‌کرد. بعدها این مدل در MIT در سال ۱۹۹۸ توسط ایوانووا^{۳۵} و در سال ۱۹۹۹ توسط میر^{۳۶} با ساخت مدل‌های سه‌بعدی که نسبتاً قوی و منعطف بودند، توسعه پیدا کرد.

³² Conrad and Jacquin

³³ Massachusetts Institute of Technology (MIT)

³⁴ Hierarchical pattern

³⁵ Ivanova

³⁶ Meyer

۱-۶ ساختار پایان نامه

در فصل اول، تحت عنوان کلیات پایان نامه، به اهمیت مدلسازی شکستگی‌ها، اهداف انجام این مطالعه، اهمیت مدلسازی گسسته شکستگی و لزوم انجام آن و در نهایت به مرور ادبیات و کارهای انجام شده در زمینه آنالیز و مدلسازی شکستگی‌ها اشاره شده است.

فصل دوم با عنوان مبانی شکستگی‌ها و روش‌شناسی تحقیق با هدف شناخت بهتر شکستگی‌ها و انواع آن‌ها و همچنین بعضی از روش‌های شناسایی شکستگی‌ها و در نهایت روش مورد استفاده شده در انجام این پایان نامه، آمده است. در بخش آخر مبانی کلی روش شبکه گسسته شکستگی‌ها بیان شده است.

از آنجایی که داشتن دانش قبلی از زمین‌شناسی میدان مورد مطالعه در درک بهتر مطالعه شکستگی‌ها کمک شایانی می‌کند، فصل سوم به زمین‌شناسی میدان مورد مطالعه اختصاص داده شده است. همچنین در این فصل اطلاعات آماری شکستگی‌های سه چاه مورد مطالعه در نمودارهای تصویری نیز بررسی گردیده است.

در فصل چهارم، آنالیز شکستگی‌ها، تعریف و استخراج ورودی‌های لازم جهت انجام مدلسازی آمده است. این موارد شامل شدت شکستگی‌ها، جهت‌گیری آنها، دسته‌بندی شکستگی‌ها و محاسبه لاگ چگالی در چاه‌های مورد مطالعه است. در نتیجه آن مدل شبکه گسسته شکستگی ساخته شده و در نهایت آنالیز دینامیکی جهت کالیبره کردن مدل و انطباق با نتایج استخراج شده آورده شده است.

و بالاخره در فصل پنجم، جمع بندی کلی از نتایج به دست آمده و در نهایت پیشنهادات جهت انجام کارهای بعدی و تکمیلی آورده شده است.

۲ فصل دوم

مبانی شکستگی‌ها و روش‌شناسی تحقیق

۱-۲ مقدمه

هدف از مطالعه روش‌های مختلف مدل‌سازی جامع مخازن شکافدار، ساختن مدل شکستگی معتبر با استفاده از اطلاعات پیوسته و گسسته سرشت‌نمایی شده و در دسترس است. در آغاز این فصل ابتدا اطلاعات پایه‌ای درباره شکستگی‌ها پرداخته شده است. سپس مختصری از کاربرد چاه‌نمودارها در شناسایی شکستگی‌ها آورده شده است. در ادامه به معرفی مدلسازی شبکه گسسته شکستگی پرداخته شده است. در نهایت نرم‌افزار مورد استفاده و روش‌شناسی مورد استفاده در مدلسازی شکستگی معرفی شده است.

۲-۲ اطلاعات پایه‌ای درباره شکستگی‌ها

برای مطالعه بهتر و دقیق‌تر مخازن شکافدار و تعیین خصوصیات آنها، داشتن اطلاعات اولیه از شکستگی‌ها، انواع شکستگی‌ها و روش‌های مختلف شناسایی و تفسیر لازم و ضروری است. در این بخش، در ابتدا به تعریف شکستگی‌ها و تقسیم‌بندی آنها اشاره شده است. در ادامه به کاربرد انواع نمودارهای چاه‌پیمایی در شناسایی کیفی و کمی شکستگی‌ها و خصوصیات آنها اشاره گردیده است.

۱-۲-۲ تعریف شکستگی

واژه شکستگی به هرگونه ترک یا ناپیوستگی فیزیکی در سنگ بواسطه تنش فراتر از مقاومت سنگ، اطلاق می‌گردد (Ghafoori, 2005). شکستگی‌ها شامل درزه‌ها^{۳۷} و گسل‌ها نیز می‌باشند. درزه‌ها سطوح شکستگی بدون جابجایی هستند درحالی که گسل شکستگی یا ناحیه‌ای از شکستگی‌ها هستند که در طول سطوح آنها جابجایی وجود دارد. به طور کلی، گسل‌ها دارای شیب زیاد در رژیم‌های کششی و چرخشی هستند.

³⁷ joints

درحالی که در رژیم‌های فشارشی، ممکن است دارای شیب با زاویه زیاد تا کم باشند. شکستگی‌های طبیعی در مخازن قبل از حفاری گمانه در آنها وجود دارند. شکستگی‌های القایی^{۳۸}، شکست محلی سنگ بواسطه عملیات حفاری هستند.

شکستگی‌ها می‌توانند به شدت جهت مهاجرت سیال را در زیرسطح تحت تأثیر قرار دهند. اکتشافات اخیر حاکی از آن است که شکستگی‌ها نقش بسیار مهمی در تولید از سنگ‌های کربناته با تراوایی کم ایفا می‌کنند. به این دلیل که شکستگی‌ها سطح مشترکی با ماتریکس تشکیل می‌دهند که بسیار بزرگتر از سطحی است که توسط گمانه ایجاد می‌شود.

۲-۲-۲ دسته‌بندی شکستگی‌ها

طبقه‌بندی‌های متفاوتی برای شکستگی‌ها وجود دارد مثل طبقه‌بندی آزمایشگاهی^{۳۹} (برشی^{۴۰}، توسعه-ای^{۴۱} و کششی^{۴۲}) و طبقه‌بندی تکتونیکی^{۴۳} (شکستگی‌های وابسته به گسل^{۴۴} و وابسته به چین‌خوردگی^{۴۵}) (Nelson, 2001). به دلیل اینکه در این تحقیق از شکستگی‌های به دست آمده از لاگ‌های تصویری استفاده شده در نتیجه از طبقه‌بندی شکستگی بر مبنای مورفولوژی^{۴۶} و منشأ شکستگی استفاده شده است.

³⁸ Induced fracture

³⁹ Laboratory Classification

⁴⁰ Shear

⁴¹ Extension

⁴² Tension

⁴³ Tectonic Classification

⁴⁴ Fault Related

⁴⁵ Fold Related

⁴⁶ Morphology

شکستگی‌ها بر مبنای لاگ‌های تصویری به گروه‌های زیر طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۲-۳):

الف. شکستگی طبیعی

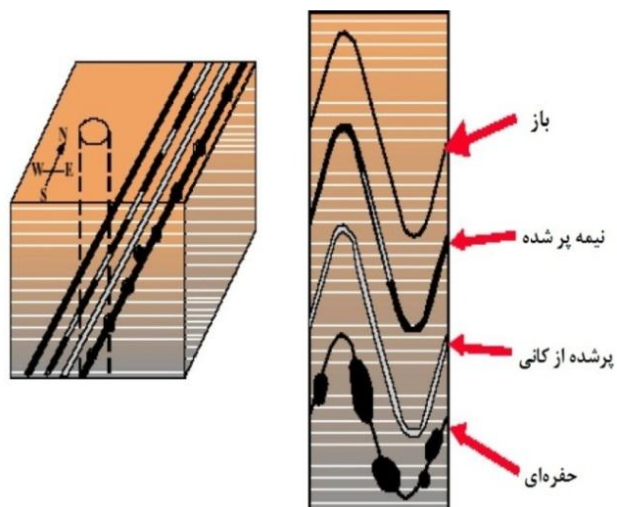
I. شکستگی باز

- شکستگی باز پیوسته
- شکستگی محتمل باز
- شکستگی باز متفرقه (باز ناپیوسته)

II. شکستگی بسته

ب. شکستگی القایی حفاری

ج. شکستگی ریزش دیواره



شکل ۲-۱ مورفولوژی شکستگی‌ها (Serra, O, 1989).

۱-۲-۲-۲ شکستگی‌های رسانا^{۴۷}

زمانی که این شکستگی‌ها به وسیله گل رسانا (در سازند عاری از رس) پر شده باشند، براحتی در لاگ-های تصویری به عنوان ساختارهای رسانا قطع کننده لایه بندی شناسایی می شوند. اگرچه ممکن است به ندرت موازی با لایه بندی نیز باشند. به دلیل اینکه مقاومت این گونه شکستگی‌ها تفاوت زیادی با سنگ میزبان دارد، در لاگ‌های تصویری نمایان می شوند. در موارد شکستگی‌های باز، سیال حفاری در آنها نفوذ کرده و باعث ایجاد یک سطح نازک رسانا می گردد. در مقابل، شکستگی کاملاً سیمانی شده یک سطح نازک مقاوم را شکل می دهد. در هر دو مورد، خطوط جریان در مقایسه با محیط یکنواخت کاملاً متمایز می باشد. این نوع از شکستگی‌های طبیعی بر پایه مورفولوژی و پیوستگی آنها در اطراف چاه تقسیم می شوند و به صورت شکستگی‌های باز پیوسته، محتمل باز^{۴۸} و باز متفرقه^{۴۹} (باز ناپیوسته) تقسیم می گردند.

• شکستگی‌های محتمل باز

دیواره‌های گمانه معمولاً نشانه‌های بسیاری از ساختارهای خطی ناپیوسته را دارا هستند که دارای ظاهری مشابه اثر شکستگی هاست ولی در واقع مربوط به فرآیندهای حفاری می شوند. به طور مشابه، در بعضی از لیتولوژی‌ها نیز می توانند باعث گسترش شبکه‌ای از ساختارهای کوچک ناپیوسته شوند که ساختارهای طبیعی هستند و برای تعیین مشخصات مخزن مهم می باشند. در جاهایی که نتوان بین این دو نوع شکستگی تمایزی تشخیص داد آنگاه این ساختارها در نمودارهای تصویری در مقوله‌ی شکستگی‌های محتمل قرار می گیرند.

⁴⁷ Conductive fractures

⁴⁸ Possible Open Fracture

⁴⁹ Miscellaneous Open Fracture

۲-۲-۲-۲ شکستگی‌های مقاوم^{۵۰}

دارای ظاهر مقاوم به واسطه پرشدن دهانه آنها با مواد متراکم می‌باشند. شکستگی‌هایی که در ابتدا به صورت باز بوده‌اند اما بعدها توسط مواد مقاوم (انیدریت، رس و پیریت) پر شده‌اند به عنوان شکستگی‌های مقاوم طبقه‌بندی می‌شوند. اگرچه، شکستگی‌هایی که دارای رس یا پیریت هستند دارای پاسخ‌های رسانا می‌باشند. عرض دهانه این شکستگی‌ها ممکن است در طول گمانه تغییر کند. مواد مقاوم پرکننده این شکستگی‌ها در سازندهای کنگان و دالان، کلسیت و انیدریت می‌باشند. برای تمایز بین شکستگی‌های پر شده از گل حفاری و شکستگی‌های پر شده از رس و پیریت، داشتن دانشی از رسوب‌شناسی و سکانس چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه ضروری است. در بعضی موارد، لاگ‌های متداول پتروفیزیکی نیز برای تمایز بسیار مفید هستند.

۲-۲-۲-۳ شکستگی‌های القایی حفاری^{۵۱}

زمانی که گمانه حفاری می‌شود، رژیم تنش بواسطه برداشته شدن سنگ کاملاً تغییر می‌کند (Ghafoori, 2005). دلایل تشکیل شکستگی‌های القایی مشابه با شکستگی‌های طبیعی می‌باشد. میدان تنش محیط باید از گرادیان شکستگی^{۵۲} سنگ بیشتر شود. منشأ شکستگی‌ها تابعی از تنش، فشار منفذی و سنگ (لیتولوژی) می‌باشد. بخش منحصربه فرد شکستگی‌های القایی این است که منشأ تنش‌های محلی شامل فرآیندهای حفاری می‌باشد (Tingay et al, 2008 & Ghafoori, 2005).

⁵⁰ Resistive fracture

⁵¹ Drilling Induced Fracture

⁵² Fracture Gradient

بعضی از دلایل تشکیل شکستگی‌های القایی عبارتند از:

- وزن اضافی روی مته^{۵۳}: حفار برای کاهش مدت زمان حفاری وزن اضافی روی مته اعمال می‌کند. شکستگی‌ها در حین حفاری یا مغزه‌گیری بواسطه افزایش وزن رشته حفاری ایجاد می‌شوند.
- نیروهای هیدرواستاتیکی^{۵۴} (وزن گل سنگین^{۵۵}): شکستگی‌های توسعه‌یافته در محیط گمانه تمایل به عریض شدن دارند. این شکستگی‌ها مشابه با عملیات شکستگی هیدرولیکی می‌باشند. شکستگی‌ها بواسطه تغییرات فشار در عملیات مغزه‌گیری در حین ورود و خروج از محفظه مغزه نیز القا می‌شوند. این شکستگی‌های هیدرولیکی تمایل به بودن در امتداد چاه و بیرون رفتن از مرز لایه دارند و خصوصیات مکانیک سنگی متفاوتی دارند، مثل مدول یانگ^{۵۶} یا نسبت پواسون^{۵۷}.
- تنش پیچشی (چرخش) مته^{۵۸}: هر دو شکستگی‌های طبیعی و القایی با این شرایط تحت تأثیر قرار می‌گیرند. زمانی که شکستگی‌های القایی گمانه را در یک زاویه حاده قطع می‌کنند، خردشدگی رخ خواهد داد. دلیل آن این است که مته حفاری دارای اثر لبه چاقویی بر روی صفحه شکستگی است.
- تخلیه بار^{۵۹}: زمانی که طبقه‌های پوششی در زیر مته برداشته می‌شوند، رخ می‌دهد. تنش‌های برجا باعث انبساط سنگ به داخل حفره حفاری شده می‌شود.

⁵³ Excessive Weight on the Bit

⁵⁴ Hydrostatic Forces

⁵⁵ Heavy Mud Weight

⁵⁶ Young's modulus

⁵⁷ Poisson's ratio

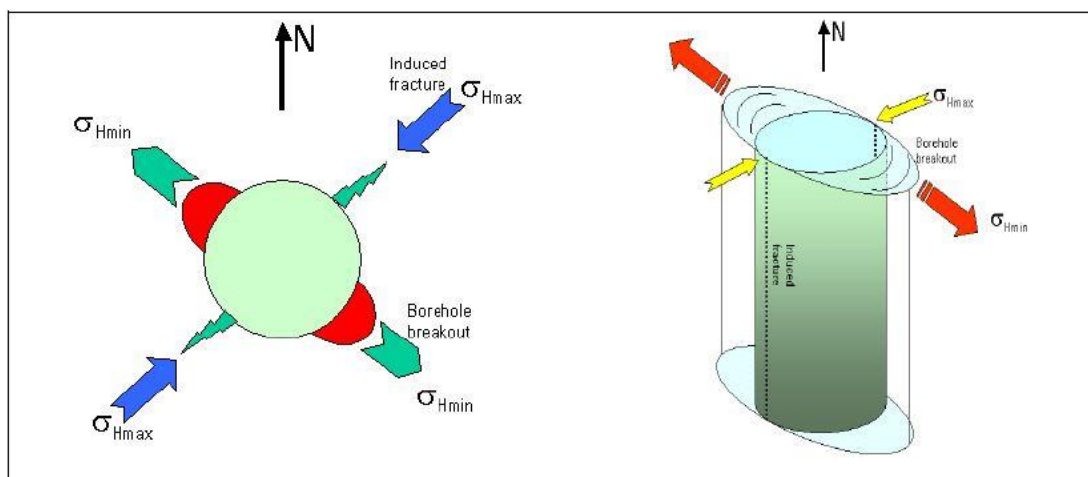
⁵⁸ Torsional Stress/Bit Rotation

⁵⁹ Unloading

شکستگی‌های القایی حفاری عموماً به صورت عوارض بسیار باریک که تقریباً موازی یا کمی مایل نسبت به محور گمانه هستند در چاه‌های قائم توسعه می‌یابند (Tingay et al, 2008 & Ghafoori, 2005). امتداد شکستگی‌های القایی معرف جهت تنش افقی بیشینه در اطراف گمانه است شکل (۲-۲).

۴-۲-۲-۲ شکستگی‌های ریزش دیواره چاه^{۶۰}

زمانی که گمانه حفاری می‌شود، مواد جابجا شده از زیرسطح، سنگ‌های پیرامونشان را پشتیبانی نمی‌کنند. در نتیجه، تنش‌ها در سنگ‌های پیرامون (یعنی، دیواره‌های گمانه) تمرکز می‌یابند. ریزش گمانه زمانی که تنش‌های اطراف گمانه از تنش مورد نیاز برای شکست فشارشی دیواره چاه فراتر می‌رود، ایجاد می‌گردند. بزرگ‌شدگی گمانه توسط توسعه صفحات برشی مزدوج متقاطع ایجاد می‌شوند که باعث ریزش قسمتی از دیواره چاه می‌شوند. این ریزش‌ها بیانگر جهت‌گیری تنش افقی کمینه (σ_{Hmin}) در گمانه هستند شکل (۲-۲).



شکل ۲-۲ نمایش شکستگی‌های القایی و ریزش دیواره و استرس‌های بیشینه و کمینه در گمانه (Shamsnia and Tamimi, 2001).

⁶⁰ Borehole breakouts

گسل‌ها، ساختارهای مهمی هستند که می‌توانند نقش مهمی در اتصال مخزن داشته باشند. لاگ‌های تصویری، ابزارهای بسیار مفیدی در تشخیص و تعیین خصوصیات این ساختارها در گمانه هستند. تشخیص گسل‌ها و تعیین اثرات آنها در تصاویر گمانه ممکن است بسیار نامنظم بوده و به پارامترهای مختلفی بستگی دارد. بنابراین برای تعیین اطمینان از گسل‌های تشخیص داده شده استفاده از یک نرخ اطمینان^{۶۱} ضرورت دارد. برای تعیین کیفیت تشخیص گسل، از نشانگرهای کلیدی^{۶۲} که نشانگرهای قوی (درجه ۱) و نشانگرهای ضعیف (درجه ۲) نامیده می‌شوند، استفاده می‌گردد (جدول ۳-۱). براساس تعداد هر کدام از این نشانگرها، به هر کدام از گسل‌های تفسیری یک سطح اطمینان که در ادامه آورده شده است، اختصاص می‌یابد (Shamsnia and Tamimi, 2001).

A: اطمینان بالا^{۶۳} (پنج نشانگر از درجه ۱)

B: اطمینان متوسط^{۶۴} (چهار نشانگر از درجه ۱)

C: اطمینان پایین^{۶۵} (بدون نشانگرهای درجه ۱، سه نشانگر از درجه ۲)

D: اطمینان ضعیف^{۶۶} (بدون نشانگرهای درجه ۱، یک یا دو نشانگر از درجه ۲)

⁶¹ Confidence Rate

⁶² Key Indicators

⁶³ High Confidence

⁶⁴ Moderate Confidence

⁶⁵ Low Confidence

⁶⁶ Poor Confidence

جدول ۱-۲ نشانگرهای تشخیص گسل (Shamsnia and Tamimi, 2001).

نشانگرهای درجه ۱ (۹ معیار)	نشانگرهای درجه ۲ (۱۲ نشانه)
صفحه گسل واضح، قطع کننده ساختارها یا بافت‌های رسوبی	تجمع شکستگی‌ها
زاویه صفحه‌ای زیاد بین انواع سنگ‌ها	تبلور بلور مجدد
جابجایی لایه‌های رسوبی	چینه‌های کششی یا تغییر حالت کمتر از ۲۰ متر
تجمع زیاد انواع شکستگی‌ها به صورت خوشه‌ای	جهت امتداد مطابق با روند منطقه‌ای
تغییرات شیب ساختمانی	خرده سنگی شدن (برشی شدن) و یا ناحیه‌ای از شیب‌های بی‌نظم
نبود یا تکرار مقاطع در ستون چینه‌شناسی	شرایط BADHOLE و یا آنومالی‌های انحراف گمانه
چینه‌های کششی یا تغییر حالت بیشتر از ۲۰ متر	توسعه و یا خاتمه ناگهانی ریختگی‌های گمانه
وجود ناپیوستگی‌ها	آنومالی‌ها و یا پروفایل قطع شده از منحنی‌های لاگ
تغییرات ناگهانی در توزیع تنش افقی اصلی اطراف چاه	تجمع حفرات یا دیگر عوارض انحلالی
	تغییرات ضخامت بستر نزدیک به گسل
	تغییرات ناگهانی در جهت گیری شکستگی‌ها

۴-۲-۲ تعریف شکستگی‌های مؤثر

به طور کلی سه منبع اصلی برداشت داده‌ها جهت شناسایی شکستگی‌های طبیعی وجود دارد: داده‌های
 رخنمون^{۶۷}، داده‌های لرزه‌ای^{۶۸} و داده‌های چاه^{۶۹}. برای انجام این تحقیق به دلیل نبود داده‌های لرزه‌ای با
 وضوح بالا استفاده از این داده امکان‌پذیر نمی‌باشد. برای انجام این تحقیق از داده‌های چاه استفاده شده

⁶⁷ Outcrop Data

⁶⁸ Seismic Data

⁶⁹ Well Data

است. فقط شکستگی‌های مؤثر برای محاسبه خصوصیات شکستگی‌ها استفاده شده است. براساس تعریف نار^{۷۰}: " شکستگی مؤثر^{۷۱}، شکستگی می‌باشد که هم باز است و هم دارای گسترش قابل توجه، خواه به تنهایی یا از طریق اتصال با دیگر شکستگی‌ها، هستند. همچنین جریان سیال به سمت چاه را به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهند". داده‌های چاه جهت تعریف ورودی‌های مختلف برای ساخت مدل-های شکستگی استفاده شده است.

روش‌های متداول چاه‌نگاری، اطلاعات حفاری، و لاگ‌های تولید، اطلاعات حیاتی برای قضاوت درباره اینکه شکستگی‌ها مؤثر هستند یا نه را فراهم می‌نمایند. تمامی شکستگی‌های مؤثر توسط زمین‌شناسان شرکت تفسیر شده و اطلاعات عمق و جهت‌داری آنها نیز موجود می‌باشد. از آنجایی که از این اطلاعات در این کار استفاده شده، فرض ما بر این است که تفاسیر موجود صحیح بوده و این شکستگی‌ها در ساخت مدل شبکه گسسته شکستگی استفاده شده‌اند.

بسیاری از لاگ‌ها به شیوه‌های متفاوتی به شکستگی‌ها پاسخ می‌دهند. در زیر توصیف مختصری از هر لاگ استفاده شده برای تفسیر شکستگی‌ها و پاسخ هر کدام آورده شده است. اگرچه، آنالیز یک لاگ به تنهایی برای مطالعه شکستگی‌ها کافی نبوده و برای افزایش دقت تفسیر تمامی لاگ‌های موجود بایستی در کنار یکدیگر استفاده گردند.

۱-۴-۲-۲ لاگ‌های تصویری

لاگ‌های تصویری از مهمترین منابع اطلاعاتی برای مطالعه مخازن شکافدار و سرشت‌نمایی شکستگی‌ها هستند. دو نوع اصلی لاگ‌های تصویری، الکتریکی و لاگ‌های صوتی می‌باشند. که نوع اول بدلیل داشتن وضوح عمودی بالاتر برای شناسایی شکستگی‌ها دارای کاربرد بالاتری است (Ogilvie et al., 2004). لاگ-

⁷⁰ Narr (2010)

⁷¹ Effective Fractures

های تصویری، تصویری استوانه‌ای شکل و مجازی از دیواره چاه با قدرت تفکیک بالا هستند که قادرند پدیده‌های ظریف دیواره را نشان دهند. هر پدیده صفحه‌ای شکل، مانند لایه‌بندی و شکستگی، که چاه را به صورت غیر قائم قطع کرده باشد، در استوانه چاه به شکل بیضی دیده می‌شود. در صورتی که استوانه در امتداد محورش بریده و باز شود یعنی همان شکلی که در لاگ تصویری نمایش داده می‌شود، شکستگی یا لایه‌بندی به صورت یک موج سینوسی ظاهر می‌شود (Schlumberger, 1992). لاگ‌هایی که توسط زمین‌شناس شرکت تفسیر شده است، جهت محاسبه اطلاعات مهم از قبیل جهت‌گیری، عمق و دهانه شکستگی‌ها و صفحات لایه‌بندی استفاده گردیده است. هر شکستگی شناسایی شده از لاگ‌های *FMI* آنالیز شده و باز یا بسته بودن آن و چگونگی پاسخ هیدرولیکی آن در چاه مشخص گردیده است. معمولاً شکستگی‌های باز توسط گل حفاری یا سیال سازندی پر شده و در نتیجه، مقاومت بالا را نشان داده و به صورت موج سینوسی سفیدرنگ بر روی تصاویر مشخص می‌گردد. لاگ *FMI* تصویری ۳۶۰ درجه از چاه را در حالت ۲ بعدی فراهم کرده در نتیجه شکستگی‌ها به صورت امواج سینوسی ظاهر می‌گردند.

۲-۴-۲-۲ تحلیل مغزه

توسط آنالیز مغزه^{۷۲} اطلاعات مستقیمی راجع به خواص سنگ مخزن به‌دست می‌آید. با انجام آزمایش‌هایی بر روی مغزه‌ها، می‌توان تخلخل، نفوذپذیری، اشباع سیالات موجود و همچنین اطلاعاتی از خود سنگ و کانی‌های موجود را به‌دست آورد. با مشاهده و انجام آزمایش بر روی مغزه، اطلاعاتی از شکستگی‌های موجود و پارامترهای مربوط به آن حاصل می‌شود. پارامترهای شکستگی که توسط مغزه قابل اندازه‌گیری است عبارتند از (Ogilvie et al., 2004):

- پارامترهای شبکه شکستگی از قبیل شدت^{۷۳}، فاصله، جهت‌گیری^{۷۴} و خاتمه یافتن. تعداد

⁷² Core Analysis

⁷³ Fracture Intensity

شکستگی‌هایی که خط مرکزی قطعه‌های مغزه را قطع می‌کنند، اطلاعاتی راجع به چگالی شکستگی^{۷۵} می‌دهند.

- دهانه شکستگی^{۷۶}: از آنجایی که دهانه شکستگی به استرس‌های درجا حساس است و فقط در شرایط سطح قابل مشاهده هستند، استفاده از آنها باید با احتیاط انجام گیرد.

- مورفولوژی و پرشدگی شکستگی (موازی بودن، نیمه پر بودن، زبری شکستگی، حفره‌ای بودن)

- ارتباط بین پرکننده شکستگی و دیاژنز سنگ میزبان، برای پیش‌بینی تغییرات فضایی^{۷۷} در سیمان‌شدگی شکستگی.

- زمان نسبی^{۷۸} ایجاد شکستگی، ارتباط بین دسته‌های مختلف شکستگی با اپیزودهای تکتونیکی مختلف.

مطالعه شکستگی و آنالیز آنها در چاه‌های مورد مطالعه بر روی مغزه‌ها انجام نشده است و مطالعات مغزه‌ها، اطلاعات پراکنده و طبقه‌بندی‌نشده‌ای درباره شکستگی‌ها را دارند. از اینرو، نتایج مطالعات مغزه‌ها را نمی‌توان برای آنالیز شکستگی‌ها استفاده نمود و فقط از خروجی تفاسیر لاگ‌های تصویری استفاده گردیده است.

۳-۴-۲-۲ لاگ فوتوالکتریک^{۷۹}

این لاگ جذب فوتوالکتریک اشعه گاما توسط الکترون را اندازه‌گیری می‌کند. باریت، یکی از اجزای گل حفاری، دارای اندیس جذب فوتوالکتریک (Pe) بسیار بالایی است. زمانی که گل حفاری در شکستگی-های باز رخنه می‌کند، نتیجه آن وجود پیک‌های بزرگ بر روی منحنی این لاگ است (Adlet, 2013).

⁷⁴ Fracture Orientation

⁷⁵ Fracture Density

⁷⁶ Fracture Aperture

⁷⁷ Spatial Variation

⁷⁸ Relative Timing

⁷⁹ Photoelectric (PEF) Logs

۴-۴-۲-۲ امواج استونلی^{۸۰}

معمولاً امواج استونلی در طی عملیات چاه‌نگاری صوتی تولید می‌شوند. این امواج در طول دیواره چاه پر از سیال انتشار می‌یابد. شکستگی‌ها دارای اثر قابل توجه بر روی امواج استونلی بخصوص در فرکانس‌های پایین هستند. عبور امواج از شکستگی‌های تراوا باعث تضعیف دامنه امواج می‌گردد (Adlet, 2013).

۵-۴-۲-۲ لاگ کالیپر^{۸۱}

این ابزارها اندازه و شکل چاه را اندازه‌گیری می‌کنند. ساده‌ترین و مهمترین استفاده از کالیپرها اندازه‌گیری پروفایل عمودی از قطر چاه است (Mohebbi et al., 2007). هرگونه انحراف قطر چاه از قطر حفاری شده ممکن است نشاندهنده حضور شکستگی باشد. اگرچه، ریزش دیواره نیز نشاندهنده افزایش قطر چاه می‌باشد که این موضوع باید در تفسیر شکستگی‌ها ملاحظه گردد. به همین دلیل است که تفسیر شکستگی‌ها باید در ترکیب با روش‌های مختلف از منابع متفاوت باشد (Adlet, 2013).

به طور کلی وجود شکستگی‌ها از دو جهت بر روی این نمودار تأثیر می‌گذارند (Mohebbi et al., 2007):

- کاهش تدریجی در قطر چاه به دلیل وجود اندود گل ضخیم (به خصوص برای گل‌های سنگین) به علت نفوذ بیشتر تراویده گل به داخل سازند که از طریق شکستگی‌ها رخ می‌دهد.

- مشاهده طولیل‌شدگی گمانه در جهت اصلی شکستگی‌ها در مناطق شکسته‌شده به دلیل فروریختن ناحیه شکستگی در طی عملیات حفاری.

⁸⁰ Stoneley Waves

⁸¹ Caliper Log

۶-۴-۲-۲ لاگ‌های تولید

ابزارهای چاه‌نگاری تولید^{۸۲} عملکرد دینامیکی چاه و شاخص تولید از هر ناحیه را آنالیز می‌کنند. همچنین برای ارزیابی توزیع نسبی یا جریان کلی از بازه‌های چاه نیز استفاده می‌شوند. در مخازن شکافدار، *PLT* تحت شرایط جریان‌دهی برای ارزیابی توزیع سیال از شکستگی‌ها رانده می‌شود. نواحی که افزایش زیادی در نرخ جریان از تولید تجمعی هیدروکربور را نشان می‌دهند، مناطقی با پتانسیل برای داشتن شکستگی-های رسانا هستند.

۷-۴-۲-۲ لاگ دما

یکی از روشهای تشخیص شکستگی‌ها، استفاده از نمودار دما^{۸۳} بر حسب عمق می‌باشد. دمای گل حفاری در چاه معمولاً کمتر از دمای سازند می‌باشد. مبنای استفاده از این روش این است که حین حفاری در نقاط که شکستگی وجود دارد، گل وارد سازند می‌شود و بنابراین دمای ثبت شده برای سازند، تحت تأثیر دمای گل قرار خواهد گرفت. نفوذ سیال گرم سازند باعث افزایش دما شده و به عنوان نشانگر خوبی برای موقعیت شکستگی‌ها عمل می‌کند (Beda and Carugo, 2001).

۸-۴-۲-۲ اطلاعات حفاری

علاوه بر لاگ‌های متداول، بعضی از اطلاعات حفاری^{۸۴} را می‌توان برای تشخیص شکستگی‌ها استفاده کرد. نشانگرهای اولیه در حین حفاری شکستگی‌ها، بی‌ثباتی گشتاور، افزایش ناگهانی در نرخ نفوذ و در جاهایی که غار وجود دارد، افتادن مته حفاری می‌باشند. مواجه شدن با این شرایط منجر به هرزروی شدید گل حفاری و در نتیجه مسائل کنترل چاه می‌شود. به طور کلی اطلاعات هرزروی گل در شناسایی حضور

⁸² Production logs

⁸³ Temperature logs

⁸⁴ Drilling Information

شکستگی‌های رسانا مفید می‌باشد. می‌توان از نواحی هرزروی گل جهت تخمین کیفی قابلیت هدایت شکستگی‌ها براساس حجم هرزروی استفاده نمود (Beda and Carugo, 2001).

۲-۳ مفهوم شبکه گسسته شکستگی

این روش بر این فرض استوار است که خواص توده سنگ‌های شکسته به‌وسیله رفتار شکستگی‌های منفرد تعیین می‌شوند و توده سنگ محیطی پیوسته است. در نتیجه، توده سنگ به عنوان شبکه‌ای از عناصر گسسته که معرف شکستگی‌ها هستند مشخص می‌گردند (Vincent, 2009).

در تعریف ساده این مفهوم پیچیده می‌توان گفت که در این نوع مدلسازی فضای شکستگی‌ها به صورت مجموعه‌ای از اشکال هندسی مانند خط در فضای دو بعدی و صفحات دایره‌ای یا چند ضلعی در فضای سه بعدی متناظر شده و تحلیل اندرکنش این اشکال بیانگر رفتار شکستگی‌ها محسوب می‌شود. در ایجاد شبکه گسسته شکستگی سیستم پیچیده‌ای از شکستگی‌ها بر مبنای تغییرات موقعیت فضایی، شکستگیهای متقاطع با هم با طول‌های متفاوت و شبکه نامنظم به وجود می‌آید (ملايوسفی، ۱۳۹۰).

برای ساخت مدل‌های عددی نحوه حرکت سیال از درون شکستگی‌ها، ابتدا به ساخت مدل شبکه گسسته شکستگی‌ها نیاز است. مدل‌های شبکه گسسته شکستگی با کاربرد شبیه‌سازی مونت کارلو^{۸۵} و طبق توابع توزیع آماری طول، جهت و موقعیت فضایی سیستم‌های شکستگی ایجاد می‌شوند. هرکدام از پارامترهای شکستگی‌ها مانند فاصله‌داری، مکان فضایی، جهت‌گیری و اندازه می‌توانند با توابع توزیع آماری مانند توزیع‌های نرمال، لاگ نرمال، یکنواخت، گوسی و یا توابع توزیع دیگر بیان شوند. در ساخت شبکه گسسته شکستگی‌ها باید توزیع آماری هر یک از پارامترهای مکان قرارگیری، امتداد، طول خط اثر و میزان

⁸⁵ Monte Carlo Simulation (MCS)

دهانه بازشدگی شکستگی‌ها مشخص گردد و چنانچه مدلسازی دو بعدی برای شبکه درزه‌های مجزا در نظر گرفته شود با داشتن تعداد شکستگی‌ها در واحد سطح می‌توان مدل هندسی فضایی شکستگی‌ها را ایجاد نمود (ملایوسفی، ۱۳۹۰). در ادامه هریک از پارامترهای هندسی فوق توضیح داده می‌شوند:

۲-۳-۱ موقعیت قرارگیری شکستگی‌ها

در محیط‌های همگن فرض می‌شود شکستگی‌ها به طور کاملاً تصادفی پخش شده‌اند. موقعیت مکانی شکستگی‌ها با فرآیند آماری پواسون یا روش *BART*، که کاربرد گسترده‌ای در مدلسازی شبکه گسسته شکستگی‌ها دارند، تعیین می‌شوند. فرایند پواسون به طور خاص بیانگر تابع توزیع آماری محل قرارگیری شکستگی‌هاست و دانسیته متوسط شکستگی‌ها به عنوان کنترل‌کننده این فرآیند تصادفی است. با وجود اینکه تراکم شکستگی‌ها می‌تواند متغیر باشد، استفاده از نقاط ناهمگن در فرایند پواسون بر صحت بیشتر شبیه‌سازی موقعیت شکستگی‌ها می‌افزاید (ملایوسفی، ۱۳۹۰).

۲-۳-۲ جهت‌گیری شکستگی‌ها

جهت‌گیری شکستگی‌ها (شامل شیب و جهت شیب) با استفاده از داده‌های تحلیلی زمین‌شناسی شبیه‌سازی می‌شوند. جهت فضایی شکستگی‌ها عمدتاً به نوع شکستگی یعنی برشی، کششی و فشاری بستگی دارد. جهات محلی تنشهای اصلی که بردارهای ویژه تانسور تنش^{۸۶} می‌باشند، کنترل‌کننده روند غالب شکستگی‌های به وجود آمده هستند (ملایوسفی، ۱۳۹۰).

⁸⁶ Stress Tensor

۳-۳-۲ طول خط اثر شکستگی‌ها^{۸۷}

طول خط اثر شکستگی‌ها معمولاً از تابع توزیع نمایی یا توانی تبعیت می‌کند. طول اثر شکستگی‌ها با محل قرارگیری شکستگی در ارتباط است و در مناطقی که امکان انتشار ترک و شکاف نیست (مانند لایه‌های نمکی که دارای رفتار خمیری هستند و محل‌های مناسبی برای دفن زباله‌های هسته‌ای محسوب می‌شوند) طول شکستگی‌ها شدیداً کاهش می‌یابد. همچنین طول اولیه شکستگی‌ها می‌تواند در برخورد با شکستگی‌های جدید دچار تغییر شوند. طول خط اثر و امتداد فضایی شکستگی‌ها به طور تصادفی با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو تولید می‌شوند (ملایوسفی، ۱۳۹۰).

۳-۳-۴ بازشدگی شکستگی‌ها

این پارامتر که متوسط فاصله عمودی میان صفحات شکستگی است، مهمترین نقش را در عبور جریان دارد. شکستگی‌های باز به صورت منفرد و یا در ارتباط با شبکه شکستگی‌ها و با ایجاد کانال‌های جریان هدایت سیالات را بر عهده دارند، در صورتی که شکستگی‌های بسته به عنوان سدهای جریان محسوب می‌شوند. وجود شکستگی‌های بسته خود می‌تواند در هدایت سیال به نقاط دیگر مؤثر واقع شود و به صورت غیر مستقیم در هدایت جهت جریان شرکت نمایند. بازشدگی شکستگی‌ها معمولاً به صورت توابع توزیع احتمال نرمال، لاگ نرمال یا توانی بیان می‌شود (ملایوسفی، ۱۳۹۰).

مراحل فرآیند مدلسازی شکستگی‌ها را به طور مختصر می‌توان به موارد زیر تقسیم نمود:

گام اول: جمع‌آوری داده‌های ناپیوسته برای انجام آنالیزهای آماری^{۸۸} است. که این داده‌ها در مقیاس چاه (لاگ‌های متداول، مغزه و ...) و یا در مقیاس میدانی (لرزه، سرعت لرزه‌ای، ساختار مخزن و ...) هستند.

⁸⁷ Fracture Trace Length

گام دوم: تقسیم شکستگی‌ها به زیر دسته‌ها با توجه به جهت‌داری شکستگی‌هاست. شکستگی‌های از یک نوع که در یک زمان ایجاد شده‌اند در یک دسته شکستگی گروه‌بندی می‌شوند. هر شبکه شکستگی شامل شکستگی‌هایی است که حداقل دارای یک دسته شکستگی هستند اما ممکن است شامل تعداد دسته‌های بیشتری نیز باشند [۱].

گام سوم: تحلیل فضایی شکستگی‌ها و آنالیز الگوی آنهاست. آنالیزهای فضایی شامل تحلیل خصوصیات شکستگی مثل، موقعیت، جهت‌داری، شدت، اثر طول، بازشدگی و یا دیگر خواص هیدرولیکی است.

در نهایت، گام چهارم: شبیه‌سازی هندسه شکستگی‌های منفرد است. اندازه شکستگی‌ها (قطر یا بازشدگی) و جهت‌داری آنها غالباً بوسیله شبیه‌سازی مونت کارلو انجام می‌پذیرد. اگر نیاز باشد، دیگر خصوصیات شکستگی‌ها مثل تراوایی، زبری و ... را نیز می‌توان به مدل اضافه نمود.

۲-۴ کاربرد مدل شبکه گسسته شکستگی

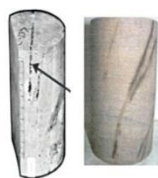
مدلسازی شبکه گسسته شکستگی یک معرفی تصادفی از شبکه‌های شکستگی طبیعی هستند و به طور گسترده و رو به رشد در توصیف مخازن شکسته طبیعی برای هیدروکربور استفاده می‌شوند. گسترش شبکه شکستگی به وسیله اطلاعات آماری از داده‌های میدانی پیش‌بینی می‌شود. در این مطالعه از بسته نرم افزاری *OPENFLOW* که توسط شرکت *IFP* و *BeicipFranlab* فرانسه توسعه داده شده، استفاده شده است. برای ساخت و آنالیز شبکه گسسته شکستگی از ماژول *FracFlow* استفاده شده است. در نرم افزار *FracFlow* امکان انجام آنالیز بر روی داده‌های استاتیک مانند خواص ماتریس، نمودارهای پتروفیزیکی، نمودارهای تصویری، مغزه و نشانگرهای لرزه ای و همچنین آنالیز داده‌های دینامیک مانند

تاریخچه تولید، آزمایش‌های شاخص بهره‌دهی، چاه‌آزمایی، نمودارهای تولید چاه^{۸۹} و اطلاعات هرزروی گل فراهم شده است.

۲-۵ روش‌شناسی مورد استفاده در مطالعه مخازن شکافدار

به دلیل پیچیدگی رفتار مخازن شکافدار و نیز کمبود داده‌های مورد استفاده در آنالیز شبکه شکستگی‌ها لازم است در مطالعه شکستگی‌ها از همه اطلاعات موجود که می‌تواند ما را در تحلیل بهتر شکستگی‌ها یاری رساند، استفاده گردد. این اطلاعات گستره وسیعی از اطلاعات حاصل از مراحل اولیه اکتشاف و تولید مخزن مانند اطلاعات زمین‌شناسی و تکتونیک ناحیه‌ای، ژئوفیزیک، مدل‌ها و اطلاعات ژئومکانیک، حفاری، نمودارهای مختلف چاه‌پیمایی، چاه‌آزمایی و... تا اطلاعات حاصل در حین بهره‌برداری و تولید از مخزن مانند تاریخچه تولید چاه‌ها و مخزن را شامل می‌شود (محبی، ۱۳۹۰) شکل (۲-۳).

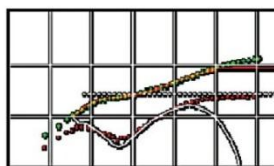
⁸⁹ Production logging tools (PLT)



Core data



Outcrops



Transient well tests

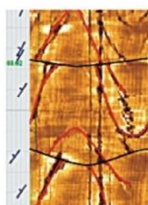
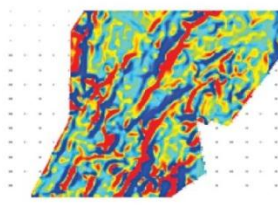
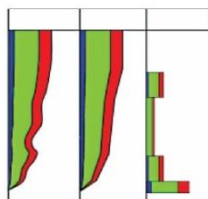


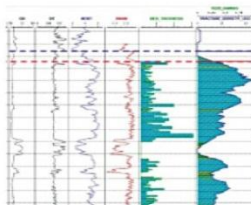
Image logs



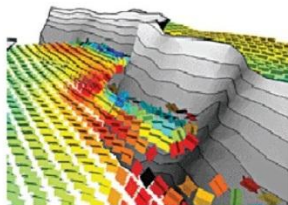
Seismic & attributes Analysis



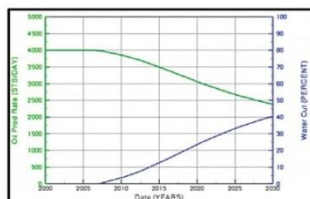
Flowmeter



Wireline Logs



Geomechanical analysis



**Production data
Drilling reports, Pressure
data, Tracer tests, etc**

Well data

Inter-well data

Dynamic Analysis

Static analysis

شکل ۲-۳ داده‌های مورد استفاده در نرم‌افزار Fracaflo (Fracaflo user manual).

استفاده مناسب و به جا از هر یک از داده‌های فوق می‌تواند ما را در شناخت بهتر رفتار شکستگی‌ها، مکانیزم‌های ایجاد و گسترش آنها و نیز نقش آنها در تولید و نهایتاً ساخت یک مدل مفهومی از شکستگی‌ها یاری رساند. بدیهی است که در این بین نقش داده‌هایی مانند اطلاعات مغزه و نمودارهای تصویری که مستقیماً اطلاعاتی در مورد شکاف‌ها ارائه می‌دهد بیشتر خواهد بود (مجبی، ۱۳۹۰).

با انجام آنالیزهای مربوطه و استفاده از انواع مختلف داده‌های قابل استفاده در این نرم‌افزار می‌توان به درک بهتری از چگونگی توزیع شکستگی‌ها در مخزن رسیده و برآورد بهتری از نقش آنها در تولید از مخزن به دست آورد.

در این نرم‌افزار امکان انجام تحلیل‌های آماری و زمین‌آماری بر روی اطلاعات چاه و استفاده از داده‌های مختلف (هر نوع عاملی که می‌تواند در توسعه شکستگی‌ها در مخزن نقش داشته باشد) فراهم آمده است و در نتیجه می‌توان تأثیر عوامل مختلف را بررسی نموده و در ساخت مدل شکستگی مورد بهره‌برداری قرار داد.

مراحل کلی مطالعه و مدلسازی شکستگی در نرم‌افزار *Fracaflo* شامل 4 مرحله زیر است (محبی، ۱۳۹۰):

الف. آنالیز اطلاعات موجود برای شناخت ویژگی‌های شکستگی‌ها و شبکه شکاف‌ها

ب. مدل‌سازی شکستگی‌ها و گسل‌ها به وسیله روش‌های تصادفی و ساخت مدل *DFN*

ج. کالیبراسیون مدل شکستگی‌ها با استفاده از اطلاعات دینامیک

د. محاسبه پارامترهای مختلف شکستگی‌ها مانند تراوایی، تخلخل

برای انجام مدلسازی در این مطالعه ابتدا آنالیزهای شکستگی بر روی تمامی شکستگی‌های باز در چاه-های مورد مطالعه انجام شده است. اطلاعات لازم از جمله شیب انواع شکستگی‌های باز و شیب گسل، در صورت وجود، استخراج شده و امتداد هر کدام از آنها نیز در چاه‌های مورد مطالعه بررسی می‌گردد. ارتباط گسل‌ها با سیستم شکستگی‌ها نیز باید بررسی گردد که آیا تشکیل این شکستگی‌ها بواسطه گسل بوده یا خیر؟ سپس براساس اطلاعات جهت‌گیری شکستگی‌ها، شکستگی‌های باز در تمامی چاه‌ها، همزمان آنالیز

شده و شکستگی‌ها در قالب دسته شکستگی‌ها^{۹۰} گروه‌بندی می‌شوند. همچنین شکستگی‌ها در چاه‌ها به- صورت جداگانه در قالب دسته شکستگی‌ها مورد بررسی قرار گرفته و لاگ چگالی شکستگی در تمامی چاه‌ها محاسبه می‌گردد.

دهانه (جداشدگی) شکستگی‌ها نیز به عنوان دیگر ورودی لازم در مدلسازی، برای تمامی چاه‌ها محاسبه می‌گردد. شدت شکستگی نیز در هر چاه تعیین می‌شود.

در گام بعد چگالی شکستگی در هر یک از دسته شکستگی‌ها باید محاسبه گردد و همچنین چگالی شکستگی در هر یک از رخساره‌های سنگی نیز باید تعیین گردد.

اندازه شکستگی‌ها^{۹۱} یکی دیگر از ورودی‌های مدل شبکه گسسته شکستگی است که باید مشخص گردد.

ناحیه‌ای در اطراف چاه که شکستگی‌ها در آن قرار دارند دارای بیشترین تأثیر بر جریان سیال به طرف چاه را دارند. در گام بعدی باید ناحیه مورد نظر^{۹۲} (ZOI) برای چاه‌هایی که دارای اطلاعات شکستگی هستند محاسبه گردد.

و در نهایت مدل شبکه گسسته شکستگی ساخته می‌شود. هر یک از دسته شکستگی‌ها باید در فرآیند مدلسازی تعریف گردند و اطلاعات به‌دست آمده در مراحل قبلی در این مرحله استفاده می‌شوند.

در گام آخر، آنالیز دینامیکی^{۹۳} در چاه‌هایی که دارای اطلاعات دینامیکی هستند، انجام می‌گیرد و نتایج آن با نتایج مدل ساخته شده مقایسه می‌گردد.

⁹⁰ Fracture Sets

⁹¹ Fracture size

⁹² Zone Of Interest

⁹³ Dynamic Analysis

۶-۲ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این فصل با بیان کلیاتی درباره شکستگی‌ها، به تعریفی از شکستگی‌ها، انواع شکستگی‌ها و طبقه‌بندی آنها بر مبنای مورفولوژی پرداخته شده است. شناسایی شکستگی‌ها با استفاده از روش‌های زیادی، مستقیم و غیر مستقیم، انجام می‌گیرد. استفاده از نمودارهای تصویری متداولترین و از دقیقترین روش‌های شناسایی شکستگی است که می‌توان اطلاعات آماری مفیدی از شکستگی‌ها که مبنای مدلسازی آنها است را به‌دست آورد. از مهمترین روش‌های مدلسازی شکستگی‌ها، روش تصادفی شبکه گسسته شکستگی است. مفاهیم مربوط به این روش نیز در این فصل بررسی گردید. در مدلسازی شکستگی‌ها در این مطالعه از نرم‌افزار *fractflow* استفاده گردیده است. این نرم‌افزار بر مبنای مدل‌های تصادفی شبکه گسسته شکستگی است.

۳ فصل سوم

زمین‌شناسی میدان مورد مطالعه و تحلیل آماری شکستگی‌های موجود

۳-۱ مقدمه

مطالعه زمین‌شناسی و ساختارهای ساختمانی میدان‌های هیدروکربوری می‌تواند در شناخت هرچه بیشتر تشکیل شکستگی‌ها و نحوه توزیع آنها در میدان کمک شایانی نماید. در بخش اول این فصل، به مطالعه زمین‌شناسی میدان مورد مطالعه پرداخته و در بخش دیگر، بررسی آماری نتایج به دست آمده از تفسیر نمودارهای تصویری در چاه‌های مختلف ارائه شده است.

۳-۲ ناحیه مورد مطالعه

با توجه به اینکه مطالعه حاضر بر روی یکی از میادین جنوب ایران (واقع در خلیج فارس) انجام شده است، در این قسمت مختصری از موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی خلیج فارس بیان می‌شود.

خلیج فارس^{۹۴} در حاشیه شرقی منطقه عربی، بین عرض‌های جغرافیایی ۲۳ تا ۳۰ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۳۸ تا ۷۰ درجه شرقی واقع شده است. خلیج فارس ۱۰۰۰ کیلومتر طول و ۲۰۰ الی ۳۰۰ کیلومتر عرض دارد. عمق متوسط آن ۳۵ متر و حداکثر عمق آن ۱۰۰ متر است. این خلیج در حوضه‌ای تکتونیکی مربوط به اواخر پلیوسن تا پلیستوسن بوده که مورفولوژی آن به شدت تحت تاثیر فرآیندهای تکتونیکی قرار گرفته است. در ژئوسنکلینال خلیج فارس تا دوران دوم فعالیت تکتونیکی عمده‌ای رخ نداده است. از زمان پرمین، حرکت نمک‌های پرکامبرین بصورت ساختمان‌های دیاپیری و گنبدهای رشدی باعث ایجاد ساختمان‌های زمین‌شناسی شده است (آذین، ۱۳۸۸).

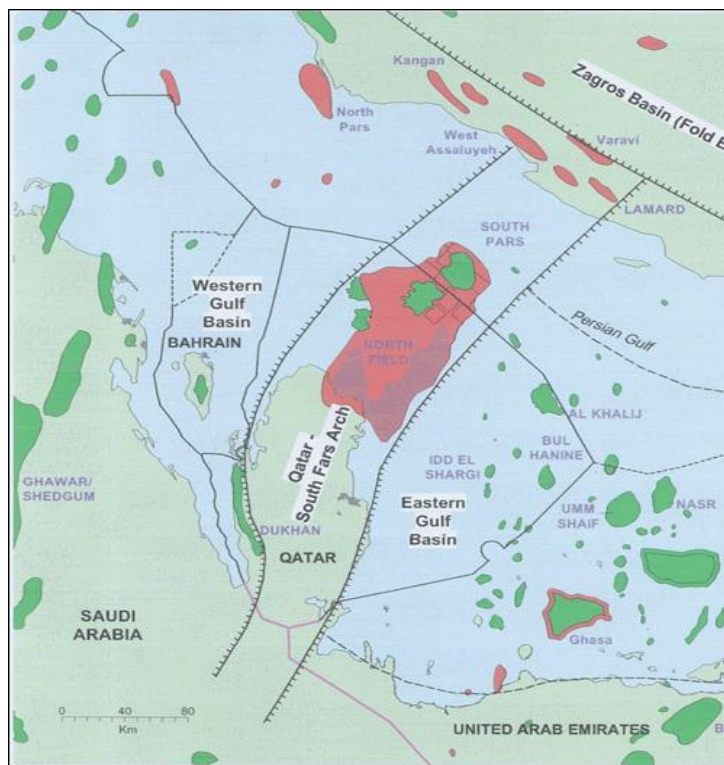
⁹⁴ Persian Gulf

۳-۲-۱ موقعیت جغرافیایی میدان

میدان مورد مطالعه در موقعیت ۵۲ تا ۵۲/۵ درجه شرقی و ۲۶/۵ تا ۲۷ درجه شمالی قرار دارد. این میدان بزرگترین میدان گازی غیر همراه جهان است. این میدان در سال ۱۹۹۰ میلادی کشف شد و در ۱۰۰ کیلومتری جنوب غربی بندر عسلویه در آبهای خلیج فارس واقع است، که ادامه میادین گازی گنبد شمالی^{۹۵} امیرنشین قطر می باشد (شکل ۲-۱). قسمت قطری این میدان توسط شرکت شل در سال ۱۹۷۱ با حفاری چاه گنبد شمال غربی کشف گردید. مساحت کل این میدان ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع است که ۳۷۰۰ کیلومتر مربع از آن متعلق به ایران می باشد. سازندهای دالان و کنگان به سن پرموتریاس، مخازن اصلی این میدان را تشکیل می دهند که غالباً حاوی گاز و محصولات میعانی می باشند. این دو سازند به لحاظ لیتولوژی^{۹۶} بیشتر از آهک، انیدریت و دولومیت می باشند. میدان مورد مطالعه و گنبد شمالی در کنار هم و با بیش از ۱۲۰۰ تریلیون فوت مکعب گاز درجا بزرگترین میدان گازی دنیا را تشکیل می دهند (Aali et al., 2006).

⁹⁵ North Dome

⁹⁶ Lithology



شکل ۳-۱ موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه و گنبد شمالی واقع در خلیج فارس (Aali et al., 2006).

۳-۲-۲ تاریخچه حفاری میدان

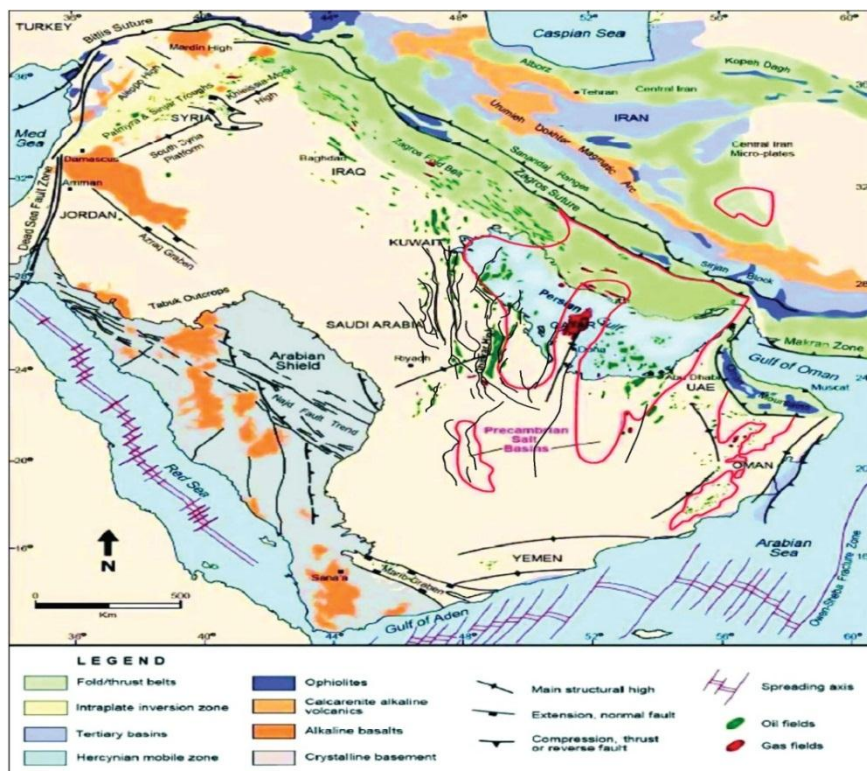
در سال ۱۳۶۷ عملیات لرزه‌نگاری دریایی در منطقه‌ای از آب‌های خلیج فارس در مقابل آب‌های قطر که بنام بلوک پنج نامیده شد، اطلاعات مهمی در مورد گسترش ناحیه شمالی ساختمان گنبد شمالی در کشور قطر بدخل آب‌های ایران عرضه نمود. این مرحله برداشت‌های لرزه‌نگاری منحصر به آب‌های میانی و به موازات خط مرزی در خلیج فارس اختصاص یافت. عملیات فوق به منظور تامین اهداف اکتشافی در جهت کشف میادین مشترک جدید و مشخص نمودن حدود و وسعت میادین و یا ساختمان‌های زمین-شناسی مشترک شناخته شده بود. نتیجه این برداشت‌های اولیه، کشف پدیده‌های مثبت زمین‌شناسی متعدد در مناطق مختلف بوده که از آن جمله، ساختمان زمین‌شناسی میدان مورد مطالعه است که ادامه

یال شمالی میدان عظیم گازی شمال امیرنشین قطر می‌باشد. مرحله دوم لرزه‌نگاری که در سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۶۹ در مناطق مختلف دیگر از جمله بخش شمال‌شرقی ساختمان میدان انجام پذیرفت، ابعاد گسترده‌تر از وسعت میدان مذکور را در اختیار گذاشت و حد انتهایی سطح آب و گاز کسب شده از گزارشات منتشره در مجلات نفتی را تا اندازه قابل اطمینانی مشخص نمود. بر اساس اطلاعات حاصله از برداشت‌های لرزه‌نگاری و حفاری اولین چاه اکتشافی در منطقه قله‌ی ساختمان، نزدیک به خط میانی آب-های خلیج‌فارس در اسفند ماه ۱۳۶۹ شروع گردید. عملیات حفاری این چاه در عمق ۳۵۲۲ متری در رسوبات فراقان در تاریخ ۱۳۷۰/۱۰/۱۱ به پایان رسید و نتیجه بررسی‌های حفاری و آزمایشات بهره‌دهی وجود مواد هیدروکربوری در طبقات چهارم (نفت آسفالتی- قیر)، داریان، گدوان و فهلیان (نفت)، سورمه بالایی (نفت سنگین) و مقادیر عظیمی از هیدروکربورهای گازی در سازندهای کنگان و دالان را مشخص نمود (نجم آبادی، ۱۳۷۲).

۳-۲-۳ ساختار میدان مورد مطالعه

این میدان در فراساحل ایران، قسمتی از کمان قطر- گاوبندی^{۹۷} است که در قسمت شرقی صفحه عربی تشکیل شده و به نظر می‌رسد، تصادم عمار در ۶۴۰-۶۲۰ میلیون سال پیش عامل اصلی پیدایش این کمان بوده که در یک روند شمالی- جنوبی، شبه جزیره عربستان را در طول جغرافیایی $45^{\circ}E$ قطع نموده است (Al-Husseini et al., 2000). در میان عوامل زمین‌ساختی مؤثر در شکل و موقعیت منطقه خاورمیانه، به نظر می‌رسد که ساختمان اولیه و اصلی پی‌سنگ، بیشترین اثر را در پیدایش ساختمان این میدان با روند شمالی - جنوبی داشته است و سایر عوامل همچون جنبش‌های نمک و حرکات کوهزایی میوسن میانی (کوهزایی زاگرس) ضعیف‌تر عمل نموده‌اند (شکل ۲-۲) (Konert et al., 2001).

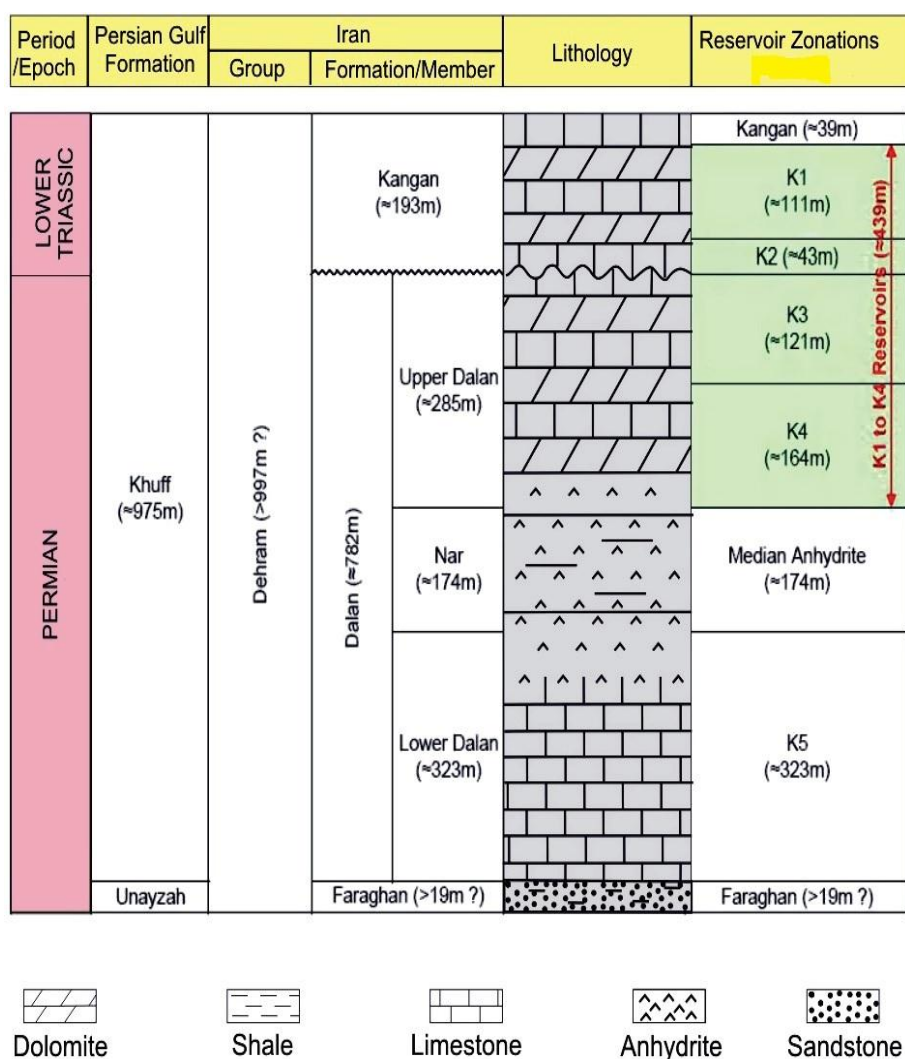
⁹⁷ Qatar-Gavbandi Arch



شکل ۲-۳ کمان قطر- فارس، حوضه‌های نمکی پرکامبرین در منطقه خلیج فارس و موقعیت گسل‌های پی‌سنگی با امتداد شمال-شمال شرق در خاورمیانه و پیرامون میدان گازی (Konert et al., 2001).

حضور سکانس‌های عظیم کربناته کم‌عمق که از زمان پیشروی دریا در پرمین، بر روی سنگ‌های پالئوزوئیک زیرین در حاشیه شمال شرقی صفحه عربی نهشته گردیده‌اند، همراه با وضعیت مطلوب ساختمان منطقه و حضور گستره وسیعی از سنگ‌های منشأ غنی در حوضه عربستان با سن سیلورین، زمینه‌سازهای اصلی حضور مخازن عظیم هیدروکربوری در این منطقه محسوب می‌گردند. اتصال هیدرولیکی واحدهای مخزنی دو سازند کنگان و دالان سبب شده است که به طور پیوسته به عنوان یک مخزن گازی در نظر گرفته شوند و تنها بر مبنای ویژگی‌های مخزنی و سکانس استراتیگرافی، به چهار واحد مخزنی K1 تا K4 تفکیک گردند (شکل ۲-۳). مطالعات انجام گرفته حکایت از آن دارد که تغییرات ضخامت و لیتولوژی این واحدهای مخزنی در جهت افقی ناچیز بوده و پارامترهای مخزنی به شدت تحت

کنترل دیاژنهای قبل از تدفین، به ویژه آبشویی و دولومیتی شدن قرار دارند. از طرف دیگر، سیمان‌شدگی منافذ و شکستگی‌ها با انیدریت نیز نقش مهمی در کاهش کیفیت مخزنی این واحدها ایفا می‌نماید. سازندهای کنگان و دالان با سن پرمین بالایی و تریاس زیرین (لطف‌پور و همکاران، ۱۳۷۹) مخزن اصلی ذخایر گازی خلیج فارس را تشکیل می‌دهند. در ادامه به توضیح دو سازند مخزنی کنگان و دالان پرداخته می‌شود (شکل ۲-۴).



شکل ۳-۳ طبقه‌بندی ارائه شده برای واحدهای سنگی پرموتریاس (خان محمدی، ۱۳۸۹).

کنگان نام شهرستانی در نزدیکی میدان عظیم گازی کنگان در حاشیه خلیج فارس است که در ۲۷۰ کیلومتری جنوب بندر بوشهر قرار دارد. برش نمونه این سازند در چاه شماره یک کوه سیاه واقع در طاقدیسی به همین نام که در جنوب شرقی بوشهر و در شرق تاقدیس و گنبد نمکی خورموج قرار دارد، انتخاب شده است که دارای ضخامت ۱۷۸ متر در برش مقطع است و در چاه سطح الارضی کوه سورمه ضخامت این سازند به ۱۷۰ متر می‌رسد. سازند کنگان متعلق به تریاس زیرین است که مرز پایینی آن با سازند دالان ناپیوستگی دارد. مرز بالایی این سازند با بخش شیلی آغار از سازند دشتک پیوسته و هم شیب است. ضخامت این سازند در چاه‌های حفاری شده، ۱۵۰ تا ۱۵۵ متر می‌باشد. این سازند دارای سه واحد زمین‌شناسی کنگان بالایی، K1 و K2 است. از لحاظ مخزنی این سازند به دو واحد K1 و K2 تقسیم می‌شود. ضخامت واحد K1 تقریباً ۱۱۰ متر و ضخامت واحد مخزنی K2 تقریباً ۴۰ تا ۴۵ متر است. هر کدام از این واحدها خود بر اساس لیتولوژی به چند زیر واحد تقسیم می‌شوند. واحد مخزنی K1 بر اساس لیتولوژی به سه بخش تقسیم می‌شود که شامل واحد دولومیتی در بالا، واحد آهکی در وسط و واحد دولومیتی-انیدریتی در پایین است (شکل ۲-۴).

واحد K1 که مصادف با بخش بالایی سازند کنگان است، شامل سنگ رس، توالی دولومیت و آهک و لایه‌های انیدریتی می‌باشد. بر اساس تفاوت خصوصیات سنگ‌شناسی و مخزنی این واحد به سه زیر واحد مخزنی مجزا شامل K1a و K1b و K1c تقسیم می‌شود. زیر واحد K1a عمدتاً دولومیتی و شیلی، و K1b اغلب آهکی و واحد K1c شامل توالی دولومیت و آهک است. برخی لایه‌های انیدریتی ضخیم در مرز پایینی K1 و در بخش بالایی این واحد توالی لایه‌های انیدریت و شیل دیده می‌شود (شیل آغار). وجود لایه‌ها و پلاگ‌های انیدریتی در بخش دولومیتی باعث کیفیت پایین تا متوسط مخزنی در این زیر واحد شده است.

واحد K_2 به لحاظ سنگ‌شناسی غالباً دولومیت و لایه‌های انیدریتی (بخش‌های بالایی) و آهک (بخش‌های پایینی) است. بر اساس تفاوت خصوصیات سنگ‌شناسی و مخزنی این واحد، به دو زیر واحد مخزنی مجزا شامل K_{2a} و K_{2b} تقسیم می‌شود. زیر واحد K_{2a} عمدتاً دولومیتی با میان لایه‌های انیدریتی و K_{2b} اغلب آهکی با توالی دولومیت است. این بازه به خاطر وجود تخلخل قابل مشاهده دارای کیفیت بالای مخزنی است. تخلخل غالب در این رخساره تخلخل‌های بین بلوری و قالبی و بین دانه‌ای است. مقدار سیمان‌های ثانویه انیدریتی ناچیز است که خود باعث حفظ تخلخل در این رخساره شده است.

۲-۳-۲ سازند دالان

سازند دالان با لیتولوژی آهک و دولومیت، یکی از بزرگترین مخازن گاز در حوضه خلیج فارس می‌باشد. نام این سازند از طاق‌دیسی به همین نام واقع در فاصله تقریبی ۱۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز، انتخاب شده است و چاه شماره یک اکتشافی دالان در همین طاق‌دیس حفاری شده است. برش نمونه این سازند تحت الارضی است و در چاه اکتشافی شماره یک کوه سیاه بین اعماق ۲۸۶۹ تا ۳۶۱۷ متر قرار دارد و ضخامت آن به ۷۴۸ متر می‌رسد. قابل دسترس‌ترین برش سطحی این سازند در دامنه شرقی کوه سورمه قرار دارد که ضخامت این سازند در آنجا به ۶۳۸ متر می‌رسد. کوه سورمه در استان فارس و در ۱۱۰ کیلومتری جنوب شیراز قرار دارد. این سازند دارای دو واحد مخزنی K_3 و K_4 و بخش انیدریتی نار می‌باشد (شکل ۲-۴).

واحد K_3 با ضخامت تقریبی ۱۲۵ متری به سن پرمین بالایی است. واحدهای K_4 با ضخامت تقریبی ۱۵۹ متری نیز به سن پرمین بالایی است. هر کدام از این واحدها خود بر اساس لیتولوژی به چند زیر واحد تقسیم می‌شوند. واحد مخزن K_3 بر اساس لیتولوژی به سه بخش دولومیتی تقسیم می‌شود.

واحد K3 که مطابق با بخش بالایی سازند دالان است، اغلب شامل رخساره های دولومیتی، انیدریت و سنگ آهک است. بر اساس تفاوت خصوصیات سنگ شناسی و مخزنی واحد به سه زیر واحد مخزنی مجزا شامل K_{3a} و K_{3b} و K_{3c} تقسیم می شود. از لحاظ خصوصیات مخزنی در مقایسه با سایر واحدها به عنوان یک واحد غیرمخزنی شناخته می شود.

واحد K4 به عنوان توده مخزنی عمده در خلیج فارس شناخته شده است که بعد از توده های انیدریتی نار ته نشست شده است. در این واحد زیر واحدهای مخزنی با کیفیت بالا وجود دارد. سنگ شناسی غالب این واحد دولومیت، رخساره های آهکی در بخش میانی، آهک دولومیتی و دولومیت آهکی است. بر اساس تفاوت خصوصیات سنگ شناسی و مخزنی این واحد، به سه زیر واحد مخزنی مجزا شامل K_{4a} و K_{4b} و K_{4c} تقسیم می شود. K_{4a} اغلب دولومیتی با کیفیت مخزنی بالا، و K_{4b} اغلب آهکی و K_{4c} اغلب دولومیتی است.

Geologic Time Units		Lithostratigraphic Units		Group	Formations and Lithostratigraphic Units		
Period	Epoch / Age	Qatar			South Pars		
TERTIARY	Oligocene-Miocene	FARS	Middle	Fars	Mishan		
			Lower		Gachsaran		
	Paleocene-Eocene	Dammam	Dammam	Asmari			
		Rus	Rus	Jahrum			
		Umm e Radhuma	Umm e Radhuma	Sachun Equiv.	Anh. Facies *		
CRETACEOUS	Campa.-Santonian	Aruma	Simsima	Bangestan	Ilam (Halul)		
			Figa		Laffan		
			Halul		Sarvak	Upper Sarvak	
			Lafan			Ahmadi Mbr.	
	Ceno. Turonian	Wasia	Mishrif			Mauddud Mbr.	
			Ahmadi		Kazhdumi		
	Alb.-Cenimanian	Thamama	Mauddud		Burgan sand		
	Barremian - Aptian		Nahr Umr		Dariyan		
			Valanjian		Shuaiba	Gadvan	Upper Gadvan
	Berriasian				Kharaib		Khalij Mbr.
					Ratawi(Yamama)		Lower Gadvan
Sula'iy	Fahliyan						
JURASSIC	Malm	Hith	Hith	Hith			
		Qatar	Arab A	Surmeh	Up. Surmeh		
			Arab B		Up. Dolomite **		
			Arab C		Up.Limestone		
	Darb	Arab D	Mid. Limestone **				
		Dogger	Diyab(Jubaila)		Mand Mbr		
	Dhruma		Hanifa		Low.Limestone		
		Liassic	Marrat		Dhruma	Low.Surmeh Shale	
	Marrat				Lithiotis Bed		
	TRIASSIC		Gulailah	Gulailah	Kazerun	Neyriz	
Sudair			Khail	Dashtak		Up. Dashtak	
			Khuf			Deh Ram	Evaporite B
							Khuf
Khuf							
	Khuf	Khuf	Low. Sudair				
			Khuf	Khuf	Aghar Shales		
Khuf					Khuf	Kangan	
	Khuf	Khuf				K1	
			Khuf	Khuf		K2	
Khuf					Khuf	Upper	K3
	Khuf	Khuf				Nar Mbr.	K4
			Khuf	Khuf		Lower Dalan	
Khuf					Khuf	Faraghoun	

شکل ۳-۴ چینه‌شناسی میدان مورد مطالعه.

۳-۲-۴ ساز و کار شکل‌گیری شکستگی‌های طبیعی در میدان مورد مطالعه

یکی از پیچیدگی‌های موجود در طبیعت، حضور سیستم‌های شکستگی در آن دسته از طبقات رسوبی است که تغییر شکل تکتونیکی مشخصی را نشان نمی‌دهند. صرف‌نظر از عملکرد عوامل دیاژنزی در پیدایش پاره‌ای از شکستگی‌های طبیعی با جهت‌یابی‌های پراکنده و تصادفی، عدم حضور سطوح گسلی و چین‌خوردگی، تفسیر شکستگی‌های طبیعی را در طبقات رسوبی مسطح دشوار نموده و زمین‌شناسان را دچار تردید می‌سازد. این میدان گازی نیز نمونه‌ای از این موارد است که تغییرات ناچیز در شیب لایه‌بندی و انحنای ساختمانی از یک طرف و فقدان سطوح گسلی و گنبدهای نمکی از طرف دیگر، تحلیل هندسی شکستگی‌های مشاهده شده بر روی نمودارهای الکتریکی FMI را دشوار نموده است. بنابراین با توجه به آنچه که گفته شد، می‌توان از عوامل تکتونیکی محلی به‌عنوان فاکتورهای شکل‌دهنده شکستگی در این میدان صرف‌نظر نمود. اما با توجه به اهمیت گسل‌های پی‌سنگی با روند شمال - شمال شرقی در شکل‌گیری ساختمان میدان و تشابه روند شکستگی‌های واحدهای سنگی پرموتریاس با شکستگی‌های سازندهای چین‌خورده آسماری و سروک (Ahmadhadi et al., 2008)، عملکرد سه عامل منطقه‌ای در پیدایش این شکستگی‌ها، توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌است (خان محمدی، ۱۳۸۹). این عوامل عبارتند از:

❖ حضور گسل‌های پی‌سنگی و فعالیت حاصل از آنها که عامل کنترل‌کننده ضخامت و توزیع

رخساره‌های رسوبی طبقات فوقانی آنها محسوب می‌گردند.

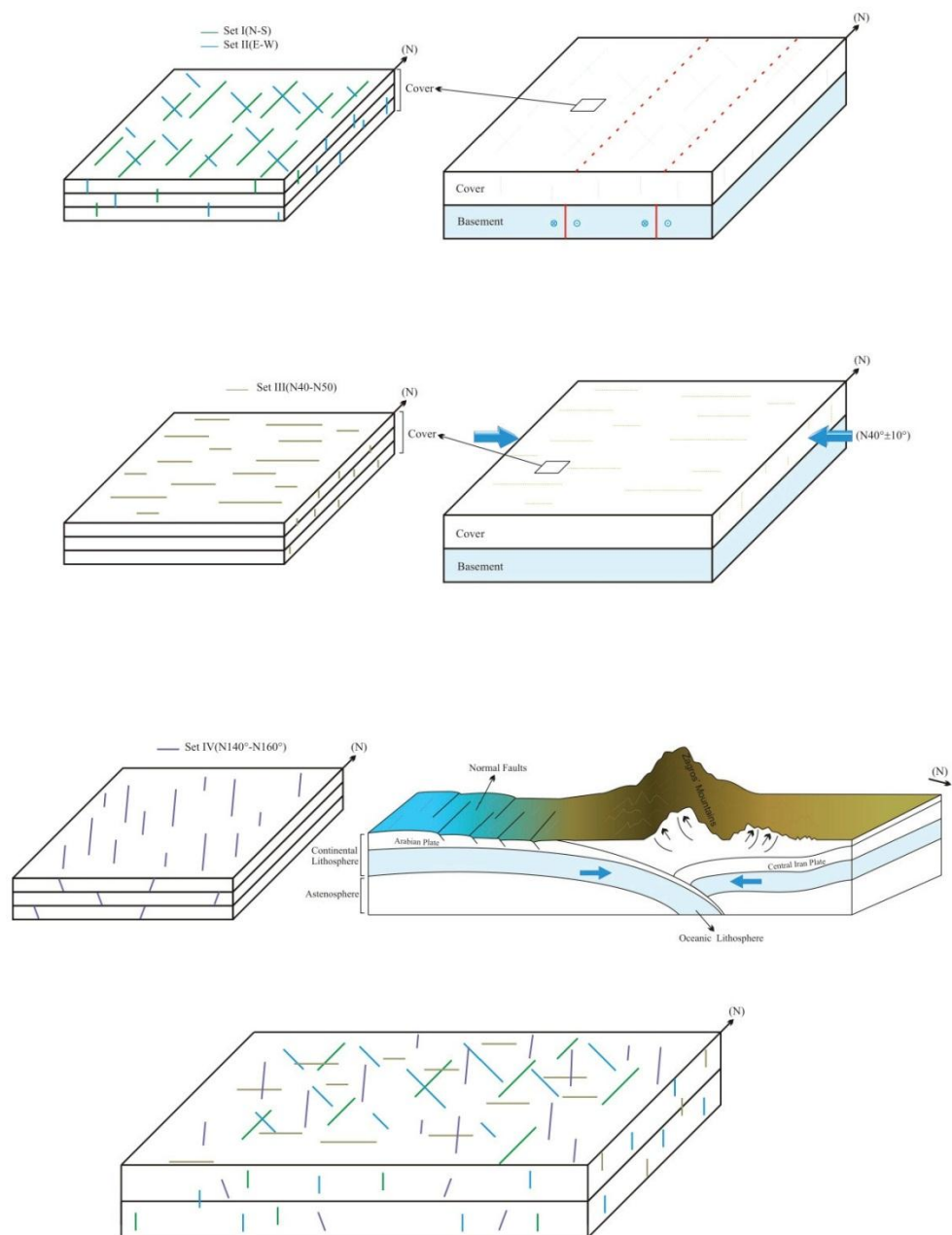
❖ اختلاف فشارش ناشی از تغییرات ضخامت در طول حوضه، یکی از پارامترهای ایجادکننده

شکستگی در پی‌سنگ است. فعالیت بعدی این شکستگی‌ها، منجر به شکستگی‌های بعدی در

مقیاس منطقه‌ای می‌شود.

❖ بارگذاری‌های حاصل از چین‌خوردگی و ایجاد انحنای منطقه‌ای در قسمت پیش بوم حوضه (در

نتیجه فرورانش صفحه عربی به زیر صفحه ایران مرکزی) که عامل تراستی شدن طبقات وشکستگی آنها در طول حوضه می گردد.

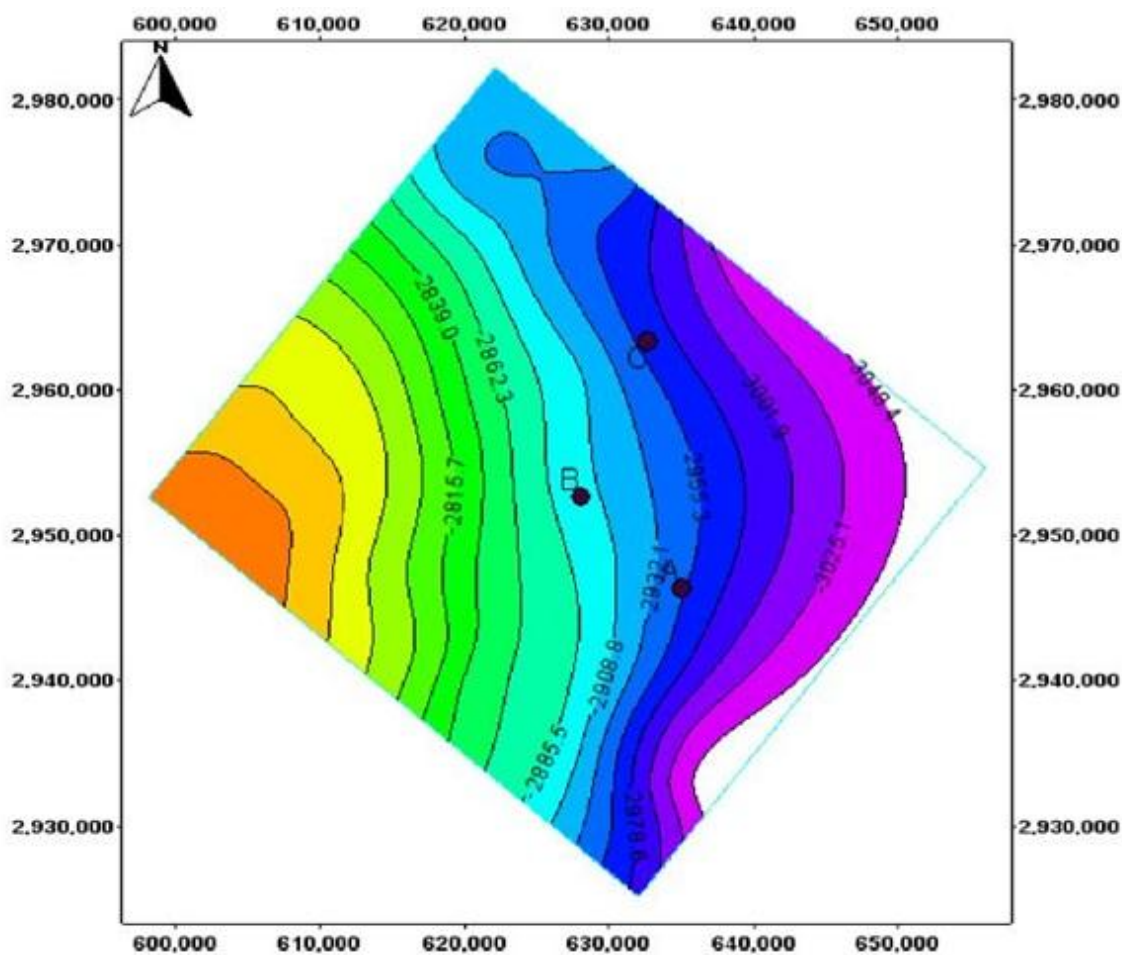


شکل ۵-۳ مدل مفهومی پیدایش سری های مختلف شکستگی در سازندهای

کنگان و دالان (خان محمدی، ۱۳۸۹).

۳-۳ موقعیت چاه‌های مورد مطالعه در میدان

در این مطالعه از سه چاه اکتشافی واقع در میدان که تقریباً در همسایگی هم نیز می‌باشند، استفاده شده است. در شکل (۶-۳) موقعیت سه چاه مذکور بر روی نقشه افق لرزه‌ای میدان در بلوک انتخابی آورده شده است.



شکل ۶-۳ موقعیت مکانی چاه‌های مورد مطالعه بر روی نقشه افق لرزه‌ای در بلوک انتخابی

۳-۴ تحلیل آماری داده‌های شکستگی

در این بخش به تحلیل آماری شکستگی‌های ثبت شده توسط نمودارهای تصویری در سه اکتشافی A، B و C پرداخته شده است.

اساس کار در بخش تحلیل آماری، تجزیه و تحلیل بر روی انواع شکستگی‌ها می‌باشد. اطلاعات به دست آمده از تفسیر نمودارهای تصویری به دو بخش لایه‌بندی و انواع شکستگی‌ها تقسیم شده و هر دسته به طور جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

بررسی آماری داده‌ها پیش از تعبیر و تفسیر، باعث حذف جزئیاتی می‌شوند که متأثر از تغییرات جزئی در میدان تنش بوده و لزوماً مبین عدم صحت اطلاعات نیستند. بنابراین دسته‌بندی و تفسیر زایشی شکستگی‌ها، مقدم بر بررسی‌های آماری می‌باشد. شایان ذکر است که دامنه تغییرات ذکر شده برای شیب و آزمون پدیده‌ها، به میزان یک برابر انحراف معیار حول میانگین در نظر گرفته شده است.

۳-۴-۱ چاه A

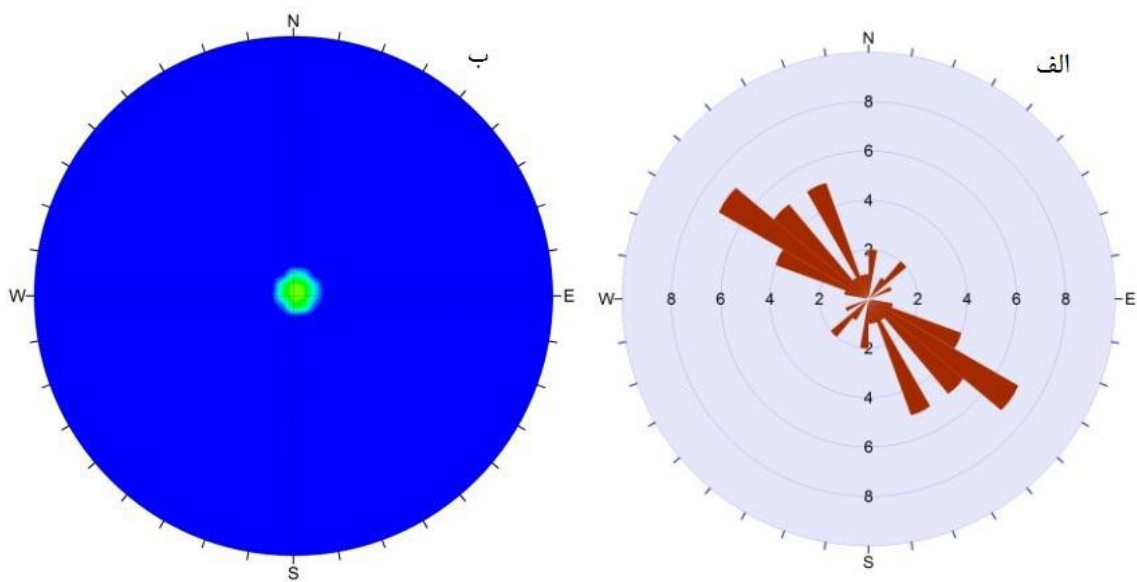
این چاه در بازه ۲۸۱۲ متری تا ۳۲۹۷ متری نمودارگیری شده است.

۳-۴-۱-۱ لایه‌بندی

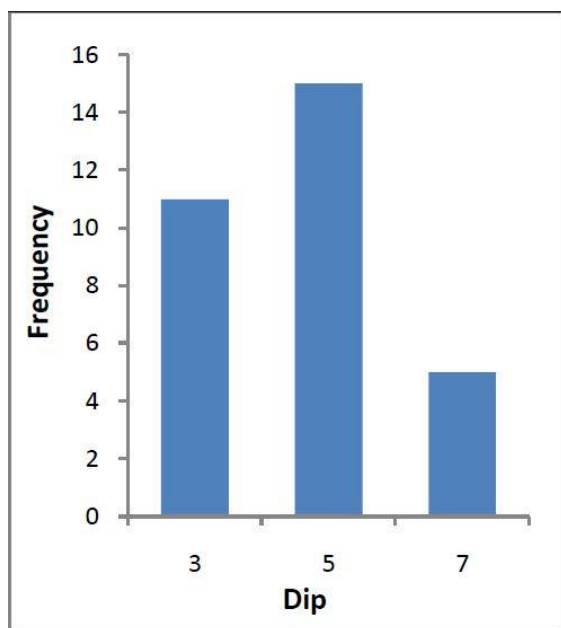
شیب ساختمانی در کل بازه تفسیر شده $N35E$ و با زاویه میل^{۹۸} سه درجه و امتداد^{۹۹} $N55W-S55E$ است
شکل (۳-۷ و ۳-۸).

⁹⁸ Inclination

⁹⁹ Strike



شکل ۳-۷ نمودار گل سرخی (الف) و قطبی (ب) لایه بندی در چاه A



شکل ۳-۸ تغییرات شیب لایه بندی در چاه A

برای تحلیل شکستگی‌ها ابتدا شکستگی‌های تفسیر شده در دو دسته شکستگی‌های طبیعی و شکستگی‌های القایی تفکیک شده و تحلیل‌های آماری جداگانه‌ای برای هر دسته انجام شد.

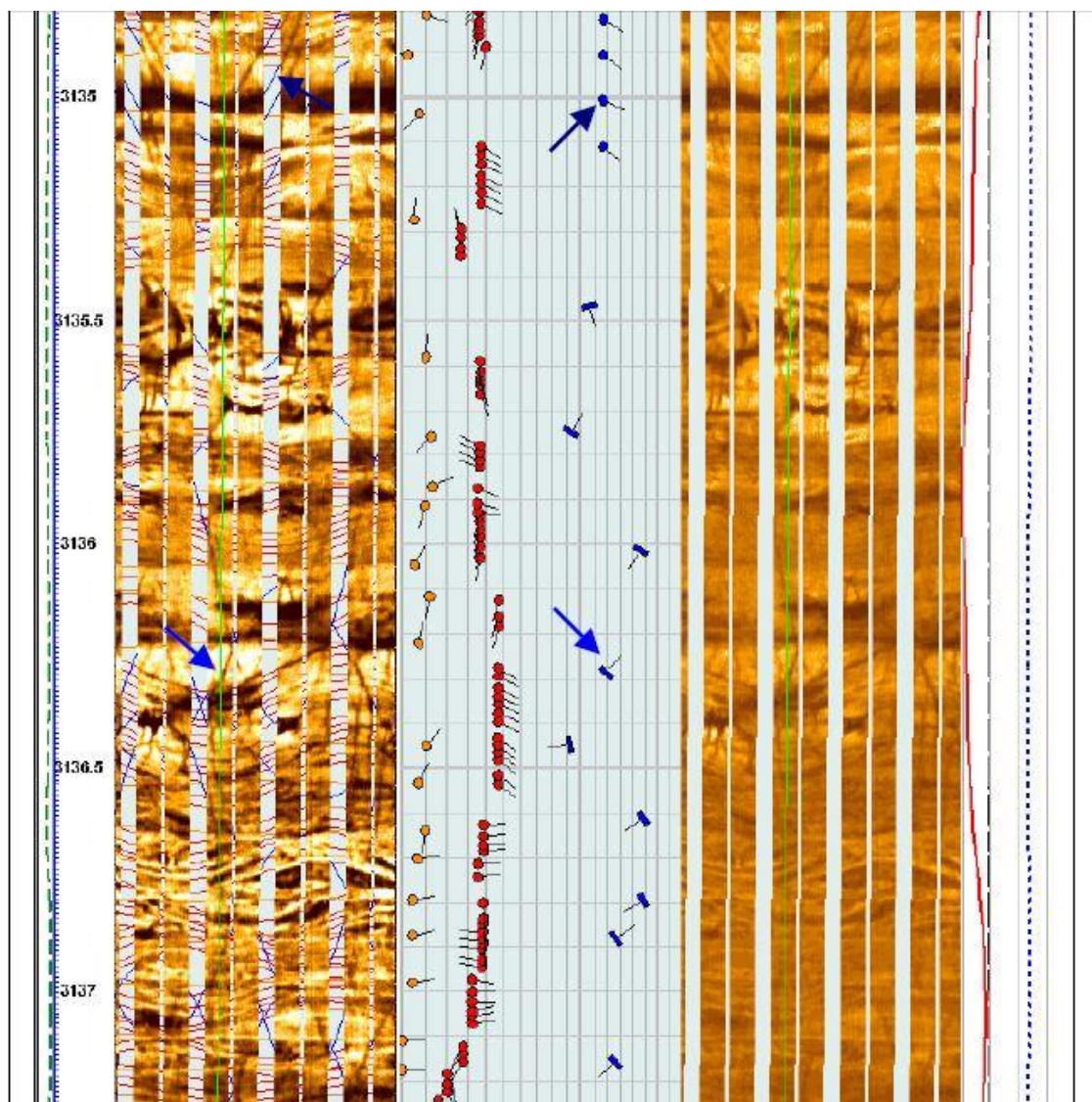
الف) شکستگی‌های طبیعی

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، این دسته از شکستگی‌ها به دو گروه شکستگی‌های باز و پرشده تقسیم‌بندی می‌شوند.

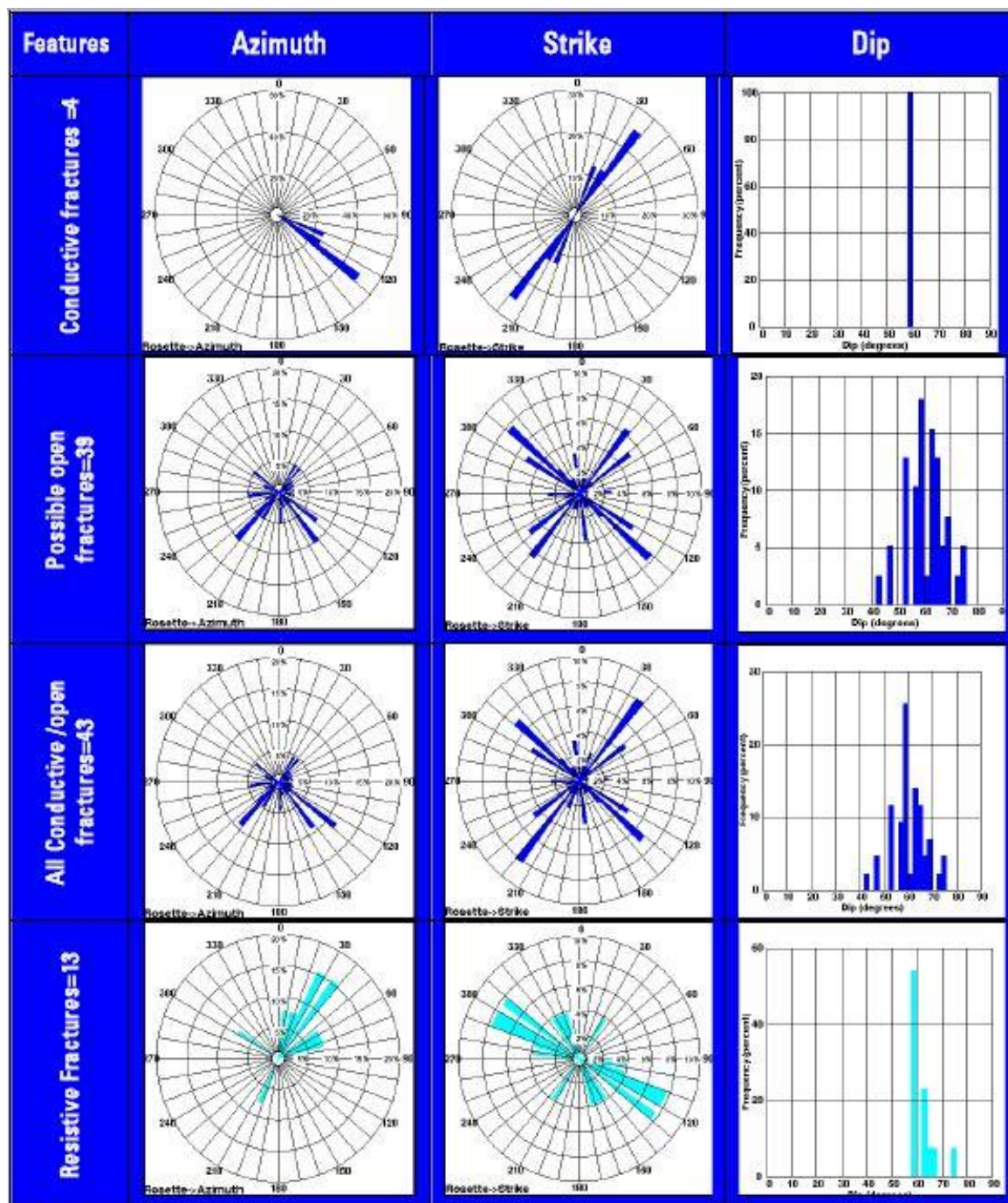
تعداد ۱۱۰ شکستگی باز که شامل سه گروه شکستگی‌های باز پیوسته، شکستگی‌های باز ناپیوسته/حفره‌ای و شکستگی‌های محتمل باز در این گمانه‌شناسایی شده است شکل (۳-۹ و ۳-۱۱). اگرچه اغلب این شکستگی‌ها دارای اثرات ناپیوسته کمتری بر روی تصاویر هستند و در نتیجه ممکن است دارای سهم قابل توجه در جریان سیال نباشند. ولی تنها ۴۳ شکستگی باز دارای نتایج تفسیر (نشانگر شیب^{۱۰۰}) می‌باشند. شکستگی‌های باز دارای شیب میانگین ۶۰ درجه هستند و همچنین دارای روند استرایک غالب $N35E-S35W$ می‌باشند شکل (۳-۱۰).

تعداد ۱۳ شکستگی، که ظاهراً توسط مواد مقاوم پرشده‌اند، به عنوان شکستگی‌های مقاوم بر روی تصاویر شناسایی شده‌اند شکل (۳-۱۱). شکستگی‌های مقاوم پراکندگی در جهت آزمون‌شان از خود نشان می‌دهند، اگرچه یک جهت استرایک غالب از خود نشان می‌دهند که به سمت $N65W$ می‌باشد. شیب آنها از ۵۸ تا ۷۵ درجه تغییر می‌کند و میانگین شیب ۶۲ درجه می‌باشد شکل (۳-۱۰).

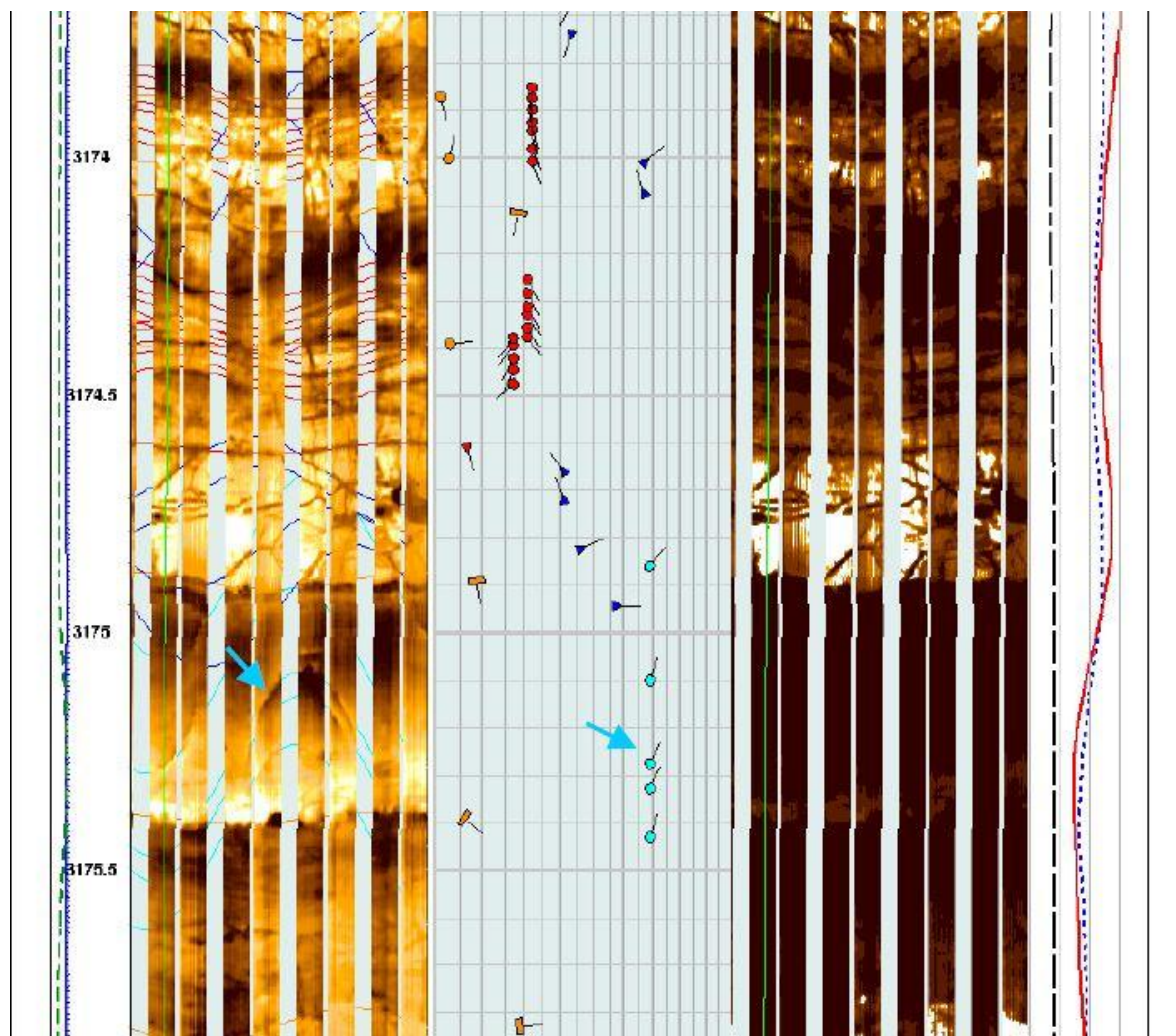
¹⁰⁰ Dip Attribute



شکل ۳-۹ شکستگی‌های رسانا (پیکان آبی رنگ با تدپل دایره‌ای) ، شکستگی‌های محتمل باز (پیکان آبی رنگ با تدپل منفی).



شکل ۳-۱۰ اطلاعات مربوط به جهت شیب و امتداد شکستگی ها در کل فاصله نمودارگیری شده در چاه A.



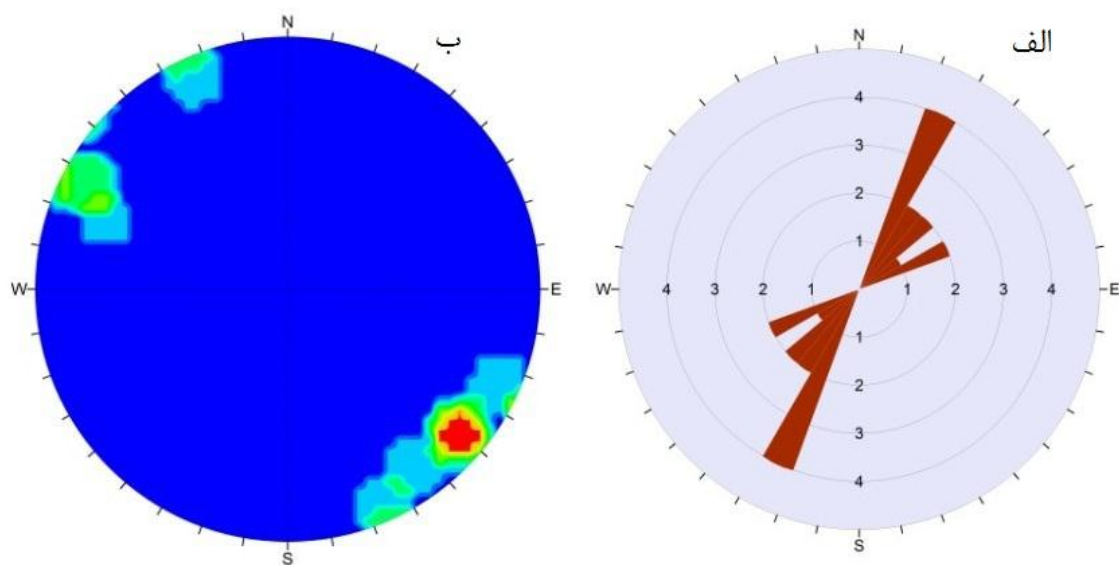
شکل ۳-۱۱ شکستگی‌های باز متفرقه (پیکان‌های آبی رنگ با تدپل مثلثی)، شکستگی‌های مقاوم (پیکان‌های آبی رنگ با تدپل دایره‌ای).
آسمانی رنگ با تدپل دایره‌ای).

(ب) شکستگی‌های القایی

همان‌طور که پیش‌تر گفته شده است شکستگی‌های القایی گروه متنوع از شکستگی‌ها هستند که در اثر عملیات حفاری، مغزه‌گیری، حمل و نقل و انبار کردن مغزه به وجود می‌آیند. شکستگی‌های القایی در این گمانه از نوع شکستگی‌های القایی در اثر حفاری که در مجاورت مته و هنگام حفاری تشکیل می‌شوند و در دیواره گمانه نیز گسترش می‌یابند، است. با توجه به جدول (۳-۱) تعداد ۱۱ شکستگی القایی حفاری در چاه مورد مطالعه شناسایی شده است. این شکستگی‌ها در امتداد جهت NE از چاه توسعه یافته‌اند.

جدول ۳-۱ شکستگی‌های القایی شناسایی شده در چاه A

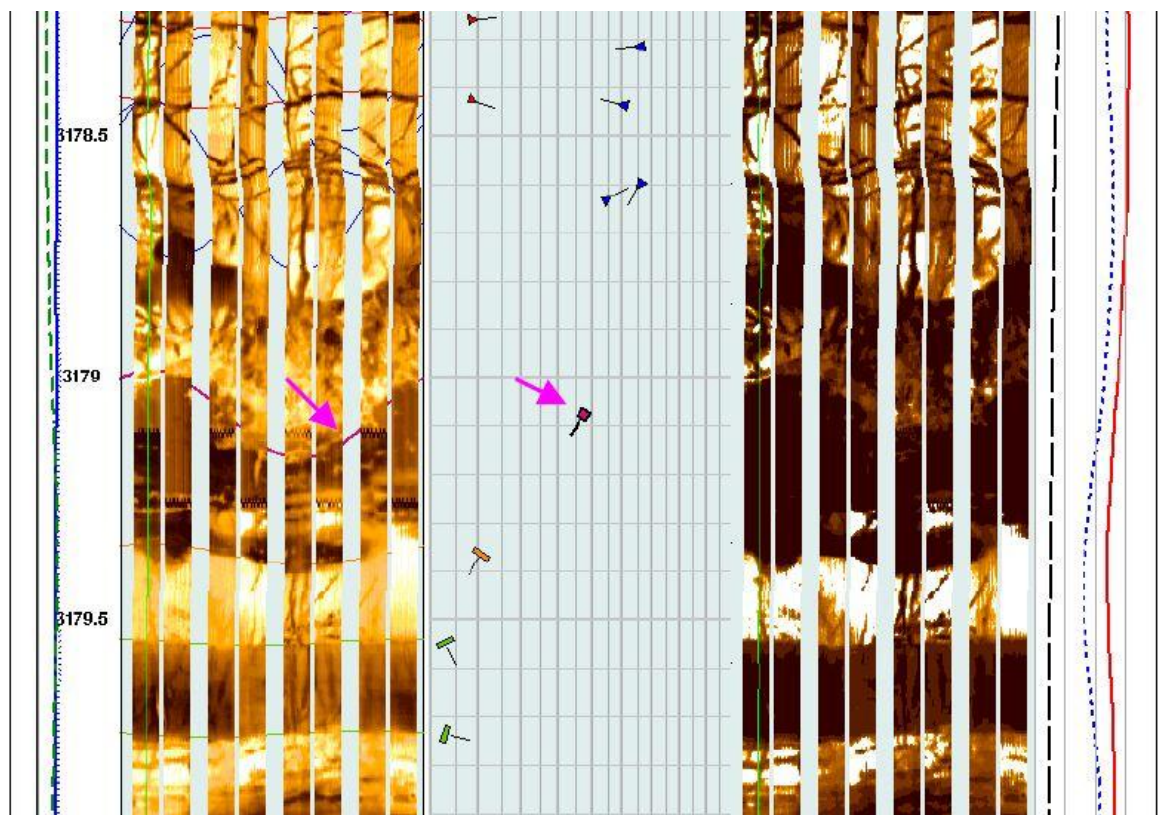
عمق (m)	زاویه شیب	زاویه آزمون
۳۰۳۷	۸۵	۲۴
۳۰۴۹	۸۳	۲۰۸
۳۰۵۸	۸۴	۲۰۷
۳۱۲۵	۸۵	۲۴۶
۳۱۲۹	۸۱	۵۵
۳۱۵۱	۷۵	۲۰۱
۳۱۵۸	۸۶	۶۶
۳۱۶۴	۸۱	۳۸
۳۱۷۰	۸۲	۴۲
۳۲۲۶	۸۵	۴۱
۳۲۴۶	۸۳	۳۹



شکل ۱۲-۳ نمودار گل سرخی (الف) و قطبی (ب) شکستگی‌های القایی در چاه A

۳-۱-۴-۳ گسل

براساس تفسیر *FMI*، یک گسل محتمل در تصاویر در عمق ۳۱۷۹-۳۱۷۹/۵ متری شناسایی شده است (شکل ۱۳-۳). مهمترین نشانه‌های تشخیص این گسل شامل، زاویه صفحه‌ای زیاد بین انواع سنگ‌ها، تمرکز شکستگی‌ها، تخلخل و دهانه خیلی زیاد محاسبه شده می‌باشد. این گسل دارای شیب ۳۷ درجه و امتداد $N52W$ می‌باشد جدول (۲-۳).



شکل ۳-۱۳ گسل شناسایی شده در چاه A (پیکان صورتی با تدیل مربعی).

جدول ۳-۲ نشانگرها و نشانه‌های گسل در چاه A.

عمق گسل (m)	نشانگرهای درجه ۱	نشانگرهای درجه ۲	شیب/آزیموت	نرخ اطمینان
۳۱۷۹-۳۱۷۹/۵ متری	زاویه صفحه‌ای زیاد بین انواع سنگ‌ها	(۱) تجمع شکستگی‌ها (۲) دهانه محاسبه- شده زیاد	S35W/ درجه ۳۷	B

۳-۴-۲ چاه B

این چاه در بازه عمقی ۲۷۳۱ متری تا ۳۲۲۶ متری نمودارگیری شده است.

۳-۴-۱-۲ لایه بندی

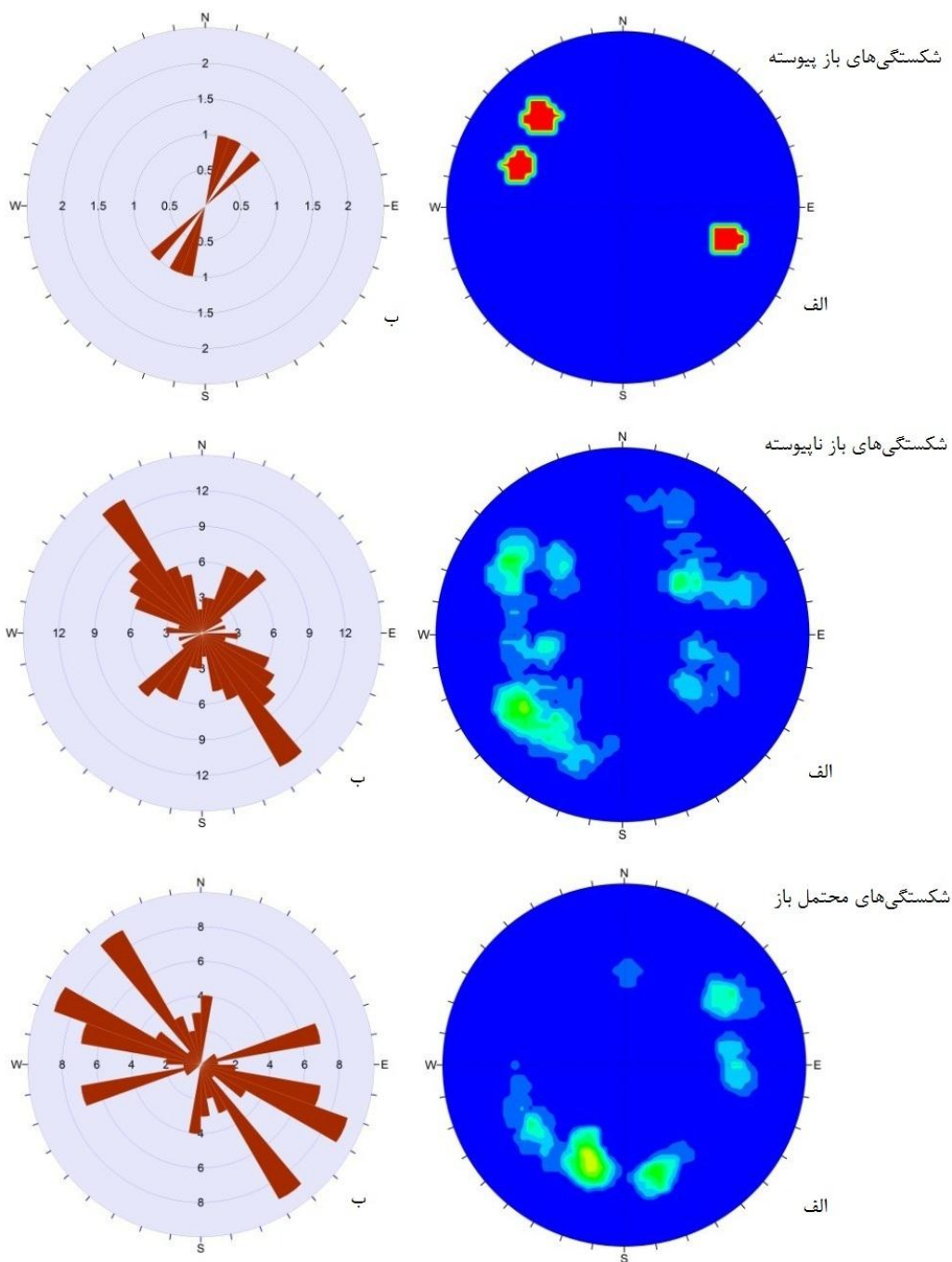
شیب ساختمانی در کل بازه تفسیر شده $N45E$ و با زاویه میل میانگین سه درجه و روند امتداد $N45W$ است.

۳-۴-۲-۲ شکستگی ها

در این چاه نیز شکستگی های باز، شکستگی های بسته و شکستگی های القایی در نمودار تصویری تشخیص داده شده اند. اطلاعات آماری مربوط به این شکستگی ها در ادامه آورده شده است.

الف) شکستگی های طبیعی

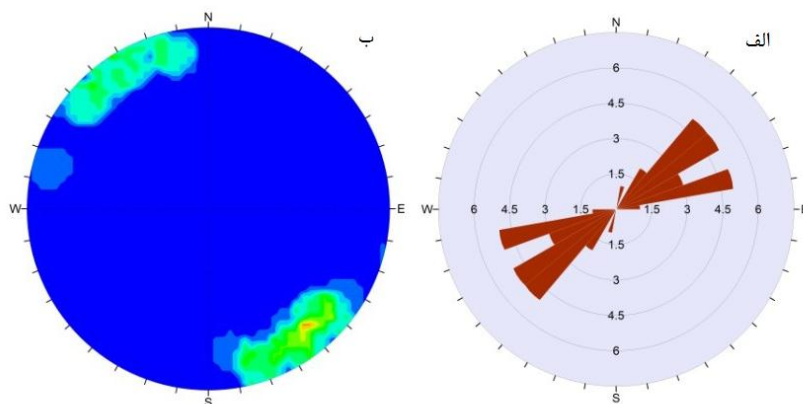
تعداد ۱۴۸ شکستگی های باز پیوسته، شکستگی های باز ناپیوسته/حفره ای و شکستگی های محتمل باز شناسایی شده است. شیب میانگین شکستگی های باز برابر با ۶۲ درجه می باشد شکل (۳-۱۴). تعداد ۲۴ شکستگی بسته بر روی تصاویر شناسایی شده اند. دو استرایک غالب تر از بقیه استرایک ها می باشند که عبارتند از $N5W$ و $N55W$.



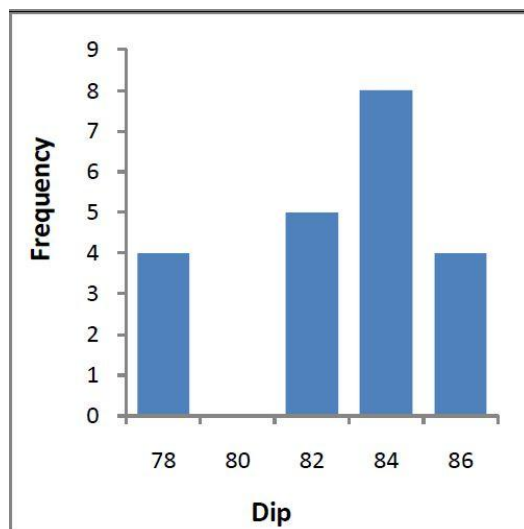
شکل ۳-۱۴ نمودار قطبی (الف) و گل‌سرخ (ب) انواع شکستگی‌های طبیعی باز در چاه B

(ب) شکستگی‌های القایی

در این چاه تعداد ۲۲ شکستگی القایی حفاری در چاه مورد مطالعه شناسایی شده است. این شکستگی‌ها در امتداد جهت $NE-SW$ از چاه توسعه یافته‌اند. نمودار گل‌سرخ و قطبی شکستگی‌های القایی در شکل (۱۵-۳) و تغییرات شیب نیز در شکل (۱۶-۳) آورده شده است.



شکل ۱۵-۳ نمودار گل‌سرخ (الف) و قطبی (ب) شکستگی‌های القایی در چاه B



شکل ۱۶-۳ تغییرات شیب شکستگی‌های القایی در چاه B

۳-۴-۳ چاه C

این چاه در بازه ۲۸۳۶ متری تا ۳۲۸۶ متری نمودارگیری شده است.

۱-۳-۴-۳ لایه بندی

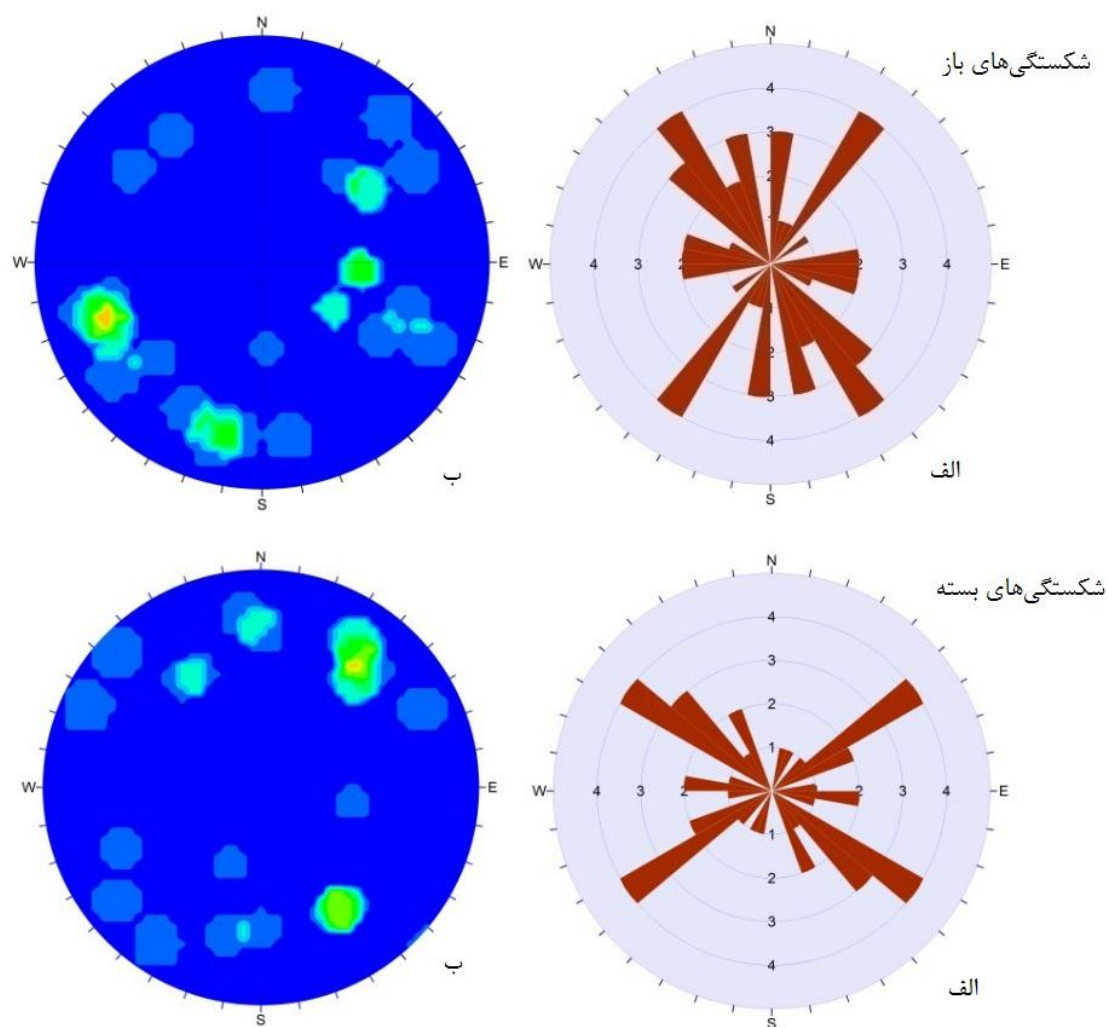
شیب ساختمانی در کل بازه تفسیر شده شمال شرقی و با زاویه میل میانگین سه درجه و امتداد NW-SE است.

۲-۳-۴-۳ شکستگی ها

مطابق روال مطالعه گمانه های قبلی، شکستگی های شناسایی شده توسط چاه نمودارهای تصویری به دو دسته طبیعی و مصنوعی تقسیم بندی می شوند.

الف) شکستگی های طبیعی

تعداد ۲۹ شکستگی باز شناسایی شده است. شیب میانگین شکستگی های باز برابر با ۶۵ درجه می باشد. تعداد ۲۴ شکستگی بسته بر روی تصاویر شناسایی شده اند. دو استرایک غالب مشاهده شده N55E و N55W با شیب میانگین ۶۹ درجه هستند شکل (۳-۱۷).



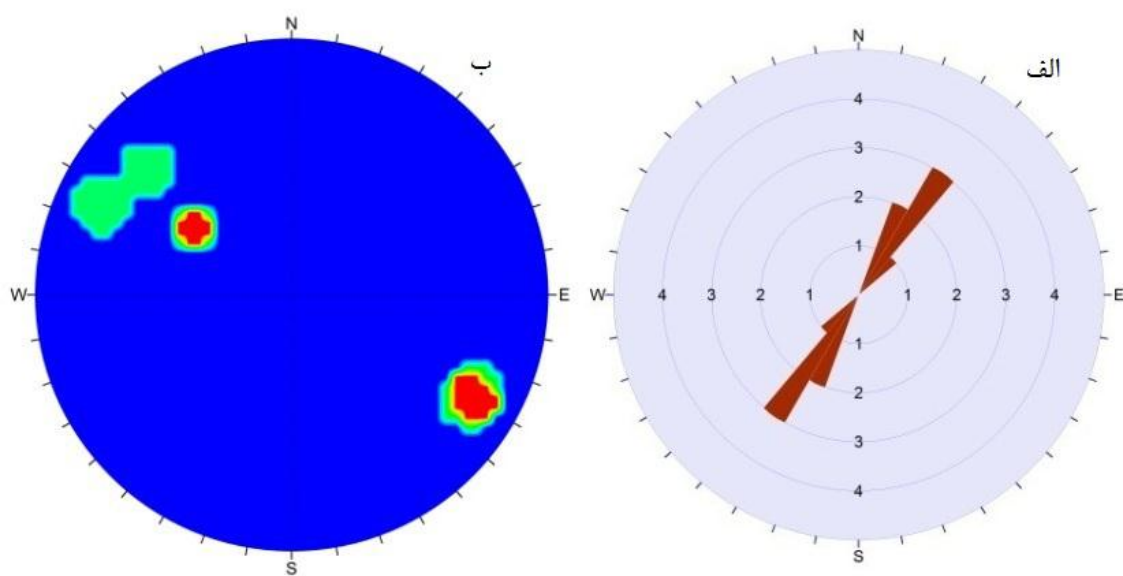
شکل ۳-۱۷ نمودار گل‌سرخ (الف) و قطبی (ب) شکستگی‌های طبیعی در چاه C

(ب) شکستگی‌های القایی

تعداد شش شکستگی القایی حفاری در چاه مورد مطالعه شناسایی شده است. اطلاعات آماری این شکستگی‌ها در جدول (۳-۳) آمده است. این شکستگی‌ها در امتداد جهت $NE-SW$ از چاه توسعه یافته‌اند (شکل (۳-۱۸)).

جدول ۳-۳ شکستگی‌های القایی شناسایی شده در چاه A

عمق (m)	زاویه شیب	زاویه آزمون
۲۸۷۶	۷۸	۲۸
۲۹۶۸	۷۳	۲۲۱
۳۱۰۴	۴۹	۲۱۴
۳۱۰۴	۴۹	۲۱۶
۳۱۲۶	۷۸	۲۰۵
۳۲۴۵	۷۷	۳۱



شکل ۳-۱۸ نمودار گل‌سرخ (الف) و قطبی (ب) شکستگی‌های القایی در چاه C

۳-۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

داشتن دانش کافی از زمین‌شناسی میادین هیدروکربوری و سنگ‌شناسی این میادین در فهم بهتر سیستم شکستگی‌ها کمک شایانی می‌کند. ناحیه مورد مطالعه در یکی از مخازن گازی جنوب ایران واقع در خلیج فارس می‌باشد. سازندهای مخزنی این میدان کنگان و دالان با سن پرموتریاس می‌باشند. لایه‌های مخزنی این سازندها $K1$ و $K2$ در سازند کنگان و $K3$ و $K4$ در سازند دالان هستند. همچنین اطلاعات آماری هر یک از شکستگی‌های طبیعی و القایی نیز در این فصل بررسی گردید. با توجه به بررسی لیتولوژی سازندهای مخزنی در میدان مورد مطالعه (غالب سنگ آهک و دولومیت) و بررسی ساختار شکستگی‌ها در میدان، در فصل ۴ به مدل‌سازی شبکه شکستگی در واحدهای مخزنی $K1$ ، $K2$ ، $K3$ و $K4$ پرداخته شده است. شایان ذکر است بر اساس دسته‌بندی شکستگی‌های صورت گرفته در این فصل، نوع شکستگی‌های مورد استفاده در مدل DFN ، شکستگی‌های طبیعی باز می‌باشند.

۴ فصل چهارم

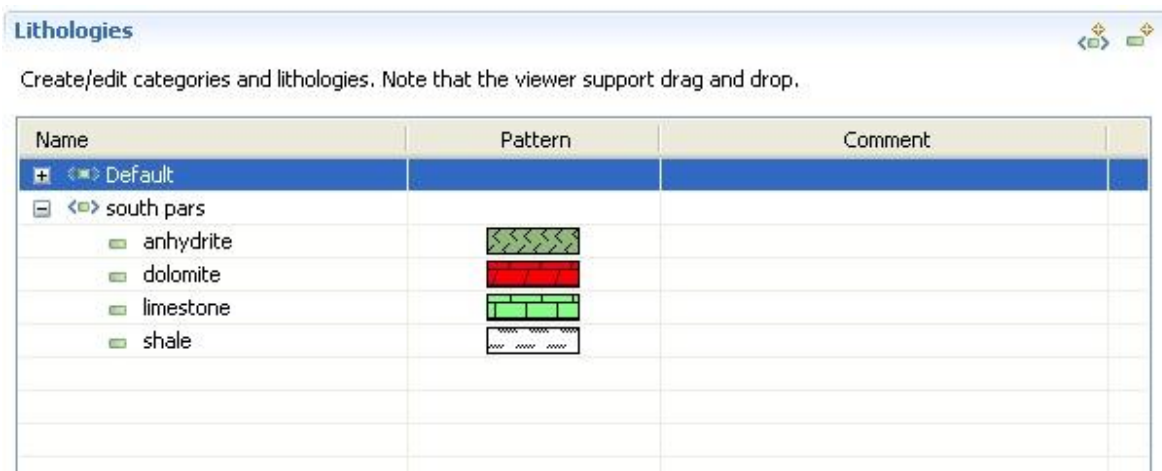
مدل سازی شبکه گسسته شکستگی ها

برای ساخت مدل شبکه گسسته شکستگی‌ها، پارامترهای شکستگی‌ها باید تعیین گردد و در ساخت مدل از آن استفاده شود. مطالب این فصل به دو بخش کلی تقسیم شده است. در بخش اول، آنالیزهای لازم جهت استخراج پارامترها در چاه‌ها انجام گرفته است و در انتهای بخش مدل شبکه گسسته شکستگی‌ها ساخته شده است. در بخش دوم جهت اطمینان از صحت انجام آنالیز شکستگی‌ها و مدل ساخته شده آنالیزهای دینامیکی بر روی چاه‌هایی که دارای داده‌های دینامیکی هستند، انجام گرفته است.

۴-۲ تعریف رخساره‌های سنگی

اولین ورودی برای مدلسازی شبکه گسسته شکستگی‌ها، رخساره‌های سنگی^{۱۰۱} لایه‌های مورد مطالعه می‌باشد. همان طور که در فصل دوم ذکر شد، ناحیه مورد مطالعه از رخساره‌های کربناته تشکیل گردیده است. لایه‌های مخزنی میدان مورد مطالعه، لایه‌های $K1$ ، $K2$ ، $K3$ و $K4$ می‌باشد. همانطور که قبلاً در فصل سوم ذکر گردید، لایه $K1$ از سنگ آهک، دولومیت، میان لایه‌های انیدریتی و میان لایه‌های شیلی در قسمت‌های بالایی تشکیل شده است. لایه $K2$ از سنگ آهک و دولومیت تشکیل گردیده است. لایه $K3$ از دولومیت، سنگ آهک و میان لایه‌های انیدریتی تشکیل شده است. لایه $K4$ عمدتاً متشکل از سنگ آهک و دولومیت است و در قسمت‌های پایینی این لایه میان لایه‌های انیدریتی نیز وجود دارد. بر همین اساس در این مطالعه، ورودی تعریف شده لیتولوژی‌های سنگ آهک، دولومیت، انیدریت و شیل می‌باشد (شکل ۴-۱). در این شکل می‌توان الگوی هر کدام از لیتولوژی‌ها به همراه رنگ آنها را مشاهده نمود.

¹⁰¹ Lithofacies



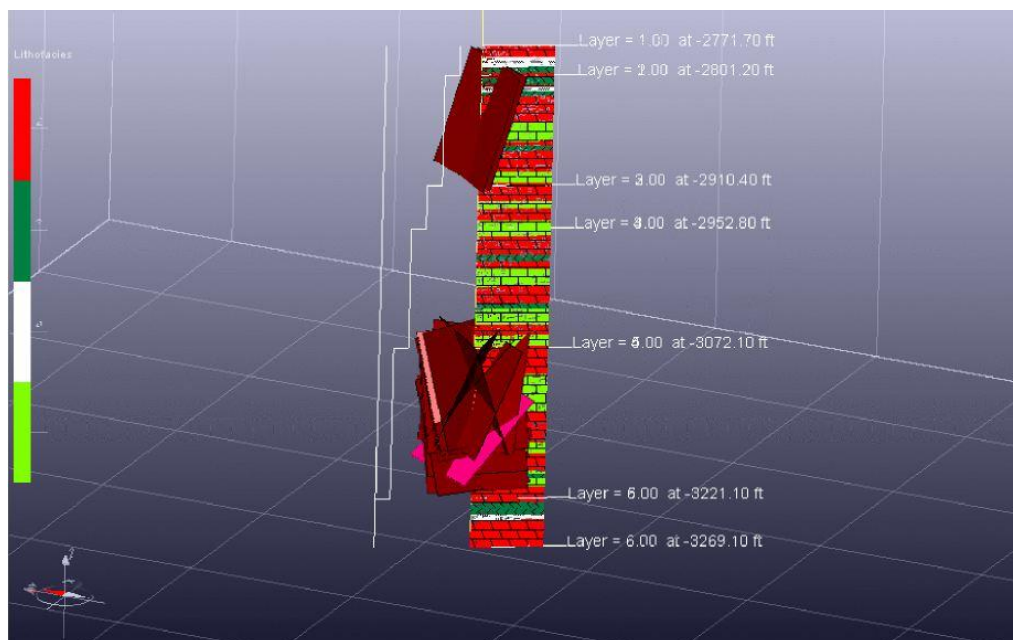
شکل ۱-۴ رخساره‌های سنگی تعریف شده به صورت الگوها و رنگ مربوطه یا هر رخساره.

بعد از تعریف نمودن هر لیتولوژی، برای تعریف رخساره‌ها در نرم‌افزار باید به هر یک از آنها یک اندیس اختصاص داده شود. اندیس‌ها باید عدد باشند که معرف رخساره‌ها در شبکه زمین‌شناسی^{۱۰۲} می‌باشند. شماره اندیس کاملاً دلخواه است. در جدول (۱-۴) اندیس اختصاص داده شده در این مطالعه به هر رخساره آمده است.

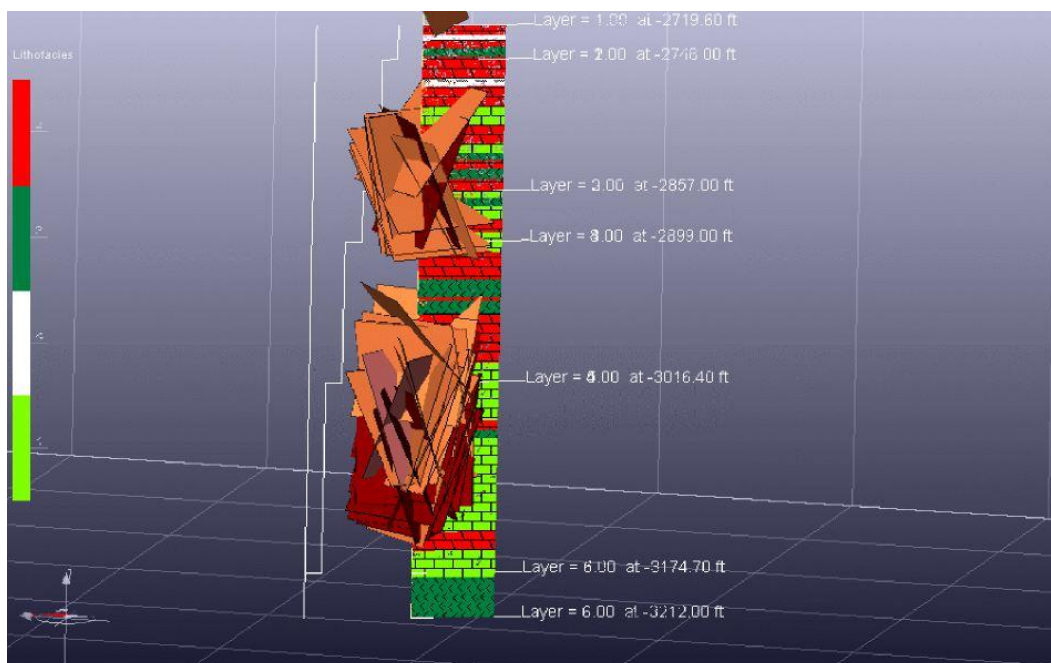
جدول ۱-۴ رخساره‌های سنگی تعریف شده به عنوان ورودی در مدلسازی

اندرس اختصاصی	رخساره سنگی
۱	سنگ آهک
۲	دولومیت
۳	انیدریت
۴	شیل

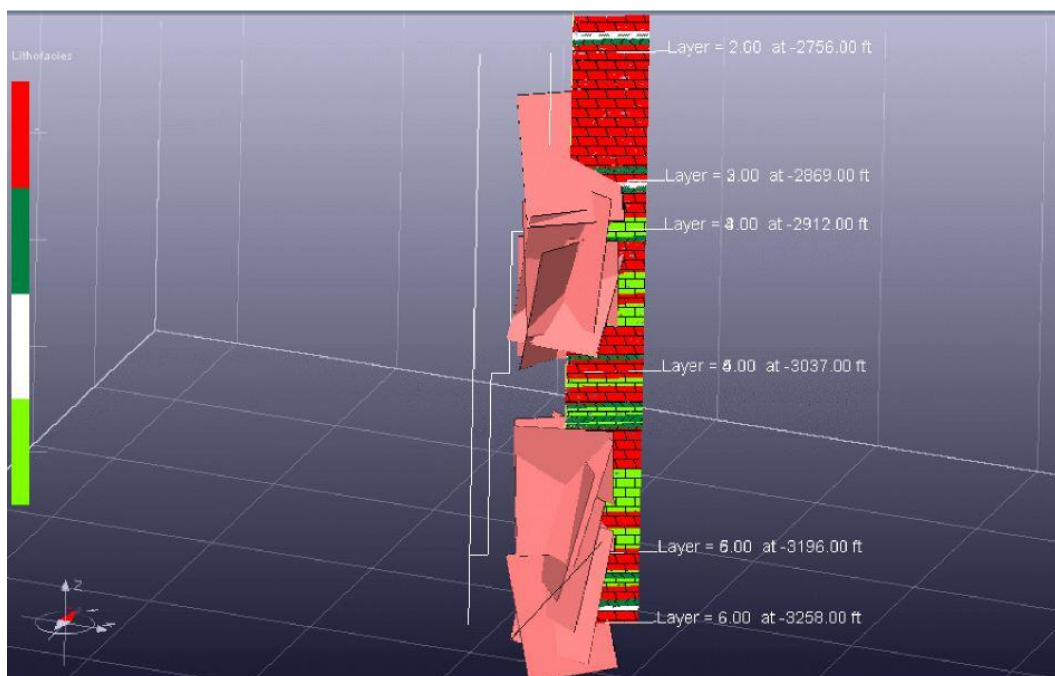
بعد از تعریف رخساره‌های سنگی و وارد کردن اطلاعات شکستگی‌ها و لایه‌بندی‌ها، می‌توان رخساره‌ها و شکستگی‌ها را بصورت شیء مجزا در طول مسیر چاه در فضای سه بعدی مشاهده نمود. در شکل‌های (۴-۴-۲، ۴-۴ و ۴-۳) چاه‌های مورد مطالعه دارای اطلاعات شکستگی نمایش داده شده است. هر یک از رخساره‌های تعریف شده به صورت الگوها و رنگ‌های تعریف شده نشان داده شده‌اند. رنگ سبز روشن معرف سنگ آهک، رنگ قرمز معرف دولومیت، رنگ سبز تیره معرف انیدریت و رنگ سفید معرف شیل می‌باشند.



شکل ۴-۲ نمایش سه‌بعدی شکستگی‌های قطع‌کننده چاه A و رخساره‌های آن



شکل ۳-۴ نمایش سه بعدی شکستگی‌های قطع کننده چاه B و رخساره‌های آن.



شکل ۴-۴ نمایش سه بعدی شکستگی‌های قطع کننده چاه C و رخساره‌های آن.

۳-۴ آنالیز شکستگی‌ها

هدف از آنالیز شکستگی‌ها، تعیین دسته شکستگی‌ها در قالب موقعیت، جهت‌گیری و شیب می‌باشد. به طور جزئی‌تر در نرم‌فزار *FracFlow* می‌توان اهداف زیر را از آنالیز شکستگی‌ها دنبال کرد (*Fracflow* :user manual):

- أ) آنالیز جهت‌گیری شکستگی‌ها در چاه‌های مورد مطالعه.
 - ب) محاسبه و آنالیز لاگ‌های چگالی شکستگی به صورت چاه به چاه و تعیین نوع شکستگی (پراکنده^{۱۰۳}، خوشه‌ای^{۱۰۴}).
 - ت) دسته‌بندی شکستگی‌ها در قالب دسته شکستگی.
 - ث) مطالعه و ویرایش دسته شکستگی‌ها در مقیاس میدانی.
 - ج) ایجاد گروه‌های شکستگی^{۱۰۵} در هر بازه عمقی.
 - ح) تعیین نوع هر کدام از گروه‌ها (پراکنده، خوشه‌ای).
- برای انجام این آنالیزها، چاه‌های ورودی با داده‌های شکستگی (تفسیر لاگ‌های تصویری، داده‌های مغزه) نیاز می‌باشند. که در این مطالعه از نتایج تفسیر لاگ‌های تصویری استفاده شده است.

¹⁰³ Diffuse

¹⁰⁴ Cluster

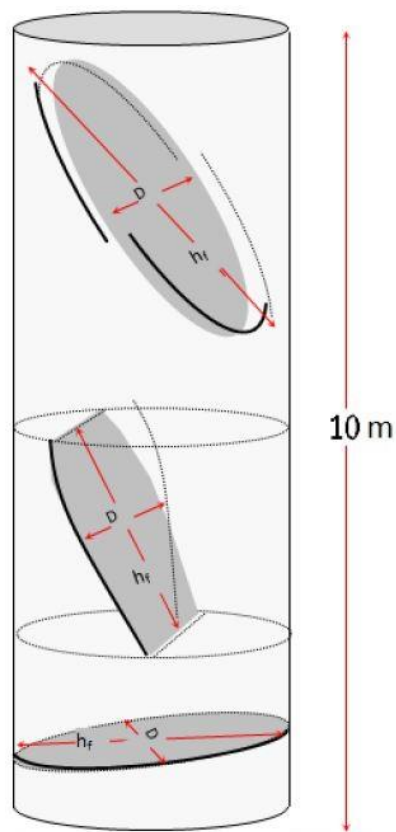
¹⁰⁵ Fracture Groups

۴-۳-۱ شدت شکستگی

یکی از مهمترین خصوصیات مخازن شکافدار، شدت شکستگی^{۱۰۶} است. شدت شکستگی را می‌توان در یک، دو و سه بعد اندازه‌گیری نمود (Dershowitz, 1984). اگرچه، اندازه‌گیری‌های میدانی از شدت شکستگی سازندها، معمولاً در یک بعد در طول گمانه انجام می‌گیرد. اندازه‌گیری یک بعدی شدت شکستگی عموماً به صورت تعداد شکستگی‌ها در واحد طول در توده سنگ تعریف می‌شود (Dershowitz, 1984). برای مثال اگر سه شکستگی در ۱۰ متر از گمانه تفسیر شده باشند (شکل ۴-۵)، شدت شکستگی را می‌توان از طریق معادله (۴-۱) تخمین زد و برابر با $1/3$ ($1/m$) خواهد بود.

$$FI = \frac{N}{L} \quad (4-1)$$

که در آن N تعداد شکستگی‌ها و L طول گمانه می‌باشد.



شکل ۴-۵ نشان دادن شکستگی‌ها در طول گمانه (Narr et al, 2006).

به کارگیری این محاسبات به طور قابل ملاحظه‌ای ثبات آنالیزها و مدلسازی شکستگی‌ها را بهبود خواهد بخشید. شدت شکستگی‌ها معمولاً از لاگ‌های تفسیری تخمین زده می‌شود.

براساس تفاسیر لاگ‌های تصویری، بازه‌ی ۴۸۵ متری از چاه A نمودارگیری شده که تعداد ۱۱۰ شکستگی باز در آن تفسیر شده که فقط ۴۳ تا از شکستگی‌ها دارای نتایج تفسیر می‌باشند. بر اساس معادله (۴-۱) شدت شکستگی در این چاه براساس تعداد شکستگی‌های تفسیر شده برابر با $(1/m)$ ۰/۲۲ و براساس تعداد شکستگی‌های دارای نتایج تفسیر برابر با $(1/m)$ ۰/۰۹ می‌باشد.

چاه B در یک بازه‌ی عمقی ۴۹۵ متری نمودارگیری شده که تعداد ۱۴۸ شکستگی باز در آن تفسیر شده که بر همین اساس، شدت شکستگی در این چاه مطابق معادله (۴-۱) برابر با $(1/m) 0/29$ خواهد بود.

۴۵۰ متر از چاه C نمودارگیری شده که تنها ۲۹ شکستگی باز در این چاه تفسیر شده که براساس معادله (۴-۱) شدت شکستگی در این چاه برابر با $(1/m) 0/064$ خواهد بود.

۴-۳-۲ دهانه شکستگی‌ها

دهانه شکستگی‌ها به مورفولوژی صفحات شکستگی مربوط می‌شود و یکی از عناصر مهم از تراوایی و تخلخل شکستگی‌ها است (Nelson, 2001). چهار نوع اساسی از مورفولوژی صفحه شکستگی طبیعی وجود دارد:

❖ شکستگی‌های باز.

❖ شکستگی‌های تغییر شکل یافته^{۱۰۷}: شکستگی‌های پر شده از خرده‌سنگ^{۱۰۸} و شکستگی‌های خش لغزشی^{۱۰۹}.

❖ شکستگی‌های پر شده از کانی‌ها^{۱۱۰}.

❖ شکستگی‌های حفره‌ای^{۱۱۱}.

¹⁰⁷ Deformed fractures

¹⁰⁸ Gouge-filled fractures

¹⁰⁹ Slickenside fractures

¹¹⁰ Mineral-filled fractures

¹¹¹ Vuggy fractures

بازشدگی^{۱۱۲} یا پهنای شکستگی‌ها^{۱۱۳} به وسیله ویژگی‌های دهانه کنترل می‌شود و دهانه شکستگی عبارتست از فاصله بین دو سطوح شکستگی.

دهانه شکستگی‌ها در نمودارهای تصویری بوسیله فرمول ضمنی که توسط لوئی و سوهایت (Luthi, S. (1990) and Souhaite, P. ارائه شده است به دست می‌آید.

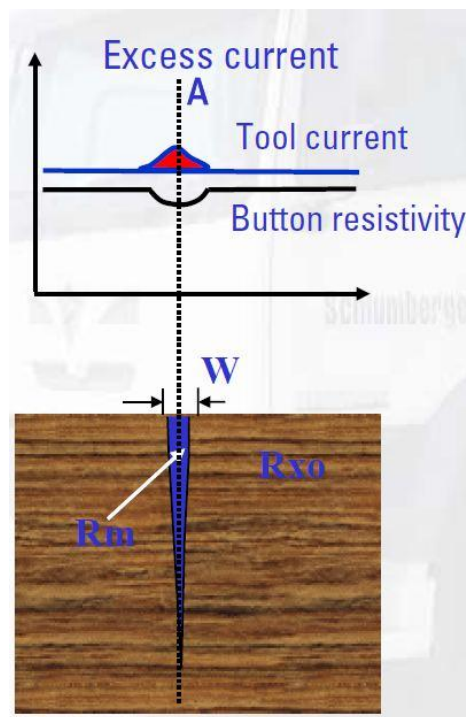
$$W = c . A . Rm^b . Rxo^{1-b} \quad (۲-۴)$$

که در آن W پهنای شکستگی (mm)، Rm مقاومت گل، Rxo حساسیت سازند و A جریان اضافی است که بواسطه حضور شکستگی ایجاد می‌شود شکل (۴-۶). ضریب c و توان b به صورت عددی از مدل سازی پیشرو به دست می‌آیند. در استفاده از این فرمول یکسری فرضیاتی نیز باید نمود که عبارتند از نامتناهی بودن شکستگی‌ها، شکستگی‌های کاملاً باز و ماده رسانای پر کننده‌ی شکستگی، سیال حفاری است. پاسخ‌های مشابه در حالتی که شکستگی توسط مواد رسانا مثل رس و پیریت پر شده باشد و همچنین تأثیرپذیری محاسبه دهانه از سیال‌ها (مناطق هیدروکربوری در مقابل مناطق آبی) از محدودیت‌های این روش است.

در جدول (۲-۴) میانگین دهانه شکستگی‌ها در هر یک از چاه‌ها مورد مطالعه آورده شده است. به طور کلی دهانه شکستگی‌های محاسبه شده بسیار پایین بوده و احتمال دارد که نشان‌دهنده این باشد که شکستگی‌ها تأثیر چندانی در جریان سیال نداشته باشند. براساس مقادیر به دست آمده دهانه شکستگی‌های چاه C بزرگتر از بقیه چاه‌ها می‌باشد.

¹¹² Fracture Opening

¹¹³ Fracture Width



شکل ۶-۴ شکستگی موجود در رخساره و پارامترهای تعیین دهانه شکستگی.

جدول ۲-۴ میانگین دهانه شکستگی‌های محاسبه شده در چاه‌های مورد مطالعه.

چاه	دهانه شکستگی (cm)
A	۰/۰۳
B	۰/۰۲
C	۰/۲۴

چگالی شکستگی از مهمترین خصوصیات شبکه شکستگی محسوب می‌شود. از آنجایی که شکستگی‌ها باعث سهولت جریان سیال می‌شوند، نواحی با چگالی شکستگی زیاد، برای رفع مشکل هرزروی و یا نشتی سیال حفاری، باید شناسایی گردند.

اکثر مطالعات قبلی، چگالی شکستگی را به عنوان تعداد شکستگی‌ها در واحد سطح یا واحد حجم معرفی کرده‌اند (Deutsch & Journel, 1994). اگرچه این تعریف به صورت کیفی زون‌های با شدت شکستگی کم و یا زیاد را نمایش می‌دهد، اما بررسی کمی شکستگی صورت نمی‌گیرد. همانطوریکه شکستگی‌های بلند و یا کوتاه نقش متفاوتی در جریان سیال ایفا می‌کنند، شناسایی آنها ضرورت دارد.

چگالی شکستگی به مجموع طول تجمعی شکستگی در واحد سطح (در دوبر، P_{21}) و یا مساحت تجمعی شکستگی در واحد حجم (در سه بعد، P_{32}) اطلاق می‌شود جدول (۳-۴). این تعریف، مجموع تعداد شکستگی‌ها و اندازه‌های مربوط به آنها را شامل می‌شود و کاربردی‌ترین اندازه‌گیری چگالی شکستگی در سرشت‌نمایی گسسته شکستگی است (Dershowitz and Herda, 1991).

در نرم‌افزار FracaFlow می‌توان لاگ چگالی را در هر یک از چاه‌ها در ابعاد مختلف شکستگی محاسبه نمود جدول (۳-۴). در این مطالعه، تعریف چگالی شکستگی به شدت شکستگی‌ها نسبت داده می‌شود. و به صورت تعداد شکستگی‌ها در واحد طول (P_{10}) تعریف و محاسبه می‌گردد. می‌توان به صورت کیفی یک سری اطلاعات از این نمودارها استخراج کرد.

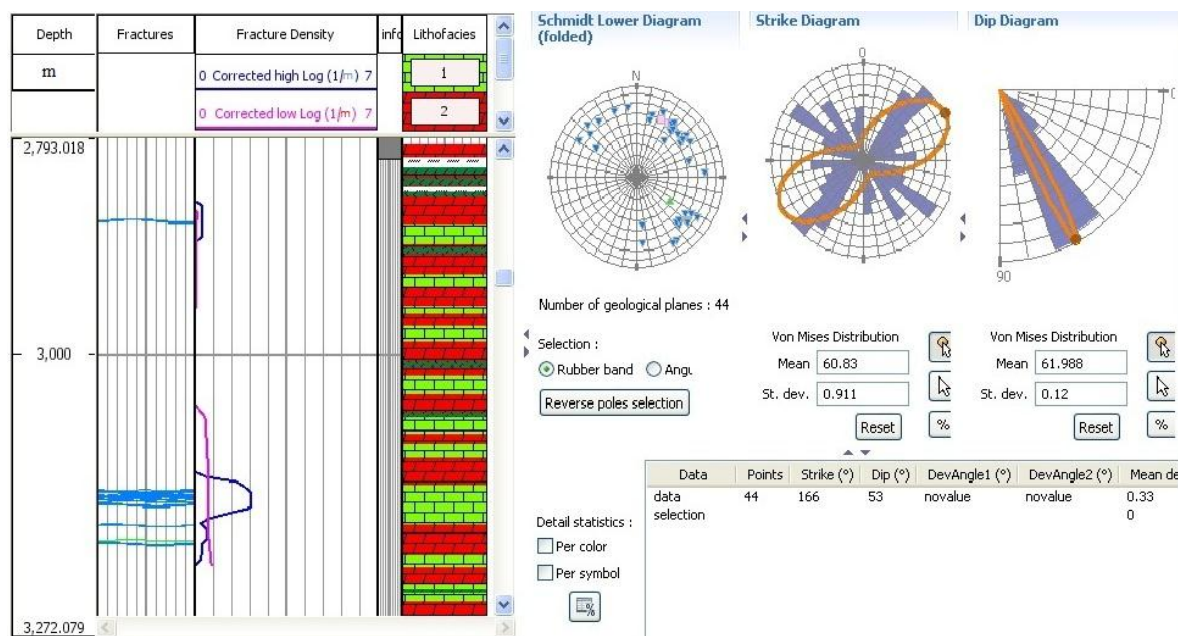
جدول ۳-۴ روش‌های محاسبه لاگ چگالی شکستگی در FracFlow (Fracflow user manual)

سه حجم	دو مساحت	یک طول	بعد اندازه‌گیری
			بعد شکستگی
$P30$ تعداد شکستگی‌ها در واحد حجم ($m-3$)	$P20$ تعداد شکستگی‌ها در واحد سطح ($m-2$)	$P10$ تعداد شکستگی‌ها در واحد طول ($m-1$)	صفر: تعداد شکستگی‌ها
$P31$ طول تجمعی شکستگی در واحد حجم ($m-2$)	$P21$ طول تجمعی شکستگی در واحد سطح ($m-1$)		یک: طول
$P32$ مساحت تجمعی شکستگی در واحد حجم ($m-1$) (1)	$P22$ مساحت شکستگی در واحد سطح تجمعی (%)		دو: مساحت
$P33$ حجم شکستگی در واحد حجم (= تخلخل شکستگی) (%)			سه: حجم

در شکل (۴-۷) نمودار چگالی محاسبه شده چاه A آورده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود نمودار چگالی شکستگی در کل بازه نمودارگیری محاسبه گردیده است. بیشتر شکستگی ها در لایه K4 و به ندرت در بقیه لایه ها وجود دارند. به طور کلی تعداد شکستگی ها کم می باشد. عمق ساختارها در واحد متر در قسمت اول مشاهده می شود. شکستگی ها به صورت منحنی سینوسی در قسمت دوم نمایش داده شده اند. اثر شکستگی های باز پیوسته به رنگ صورتی، شکستگی های محتمل باز به رنگ آبی و گسل نیز به رنگ سبز می باشد. در قسمت سوم، نمودار چگالی شکستگی ها به دو روش لاگ تصحیح شده چگالی کم^{۱۱۴} و لاگ تصحیح شده چگالی زیاد^{۱۱۵} محاسبه شده است. اختلاف این دو روش در اندازه پنجره محاسبه می باشد. اندازه این پنجره را می توان تغییر داد و بهترین نتیجه را که نشان دهنده ی بیشترین تغییرات مطابق با شکستگی های سازندها می باشد را محاسبه نمود. همچنین تعداد نمونه گیری در واحد طول را نیز باید مشخص نمود. همانطور که از چگالی محاسبه شده مشخص است، شکستگی ها در ۲۸۵۵-۲۸۵۰، ۳۱۴۷-۳۱۳۱، ۳۱۵۸-۳۱۵۵، ۳۱۷۹-۳۱۷۱ متری تجمع یافته اند. همچنین در بخش رخساره-های سنگی و تطابق آن با چگالی محاسبه شده می توان نتیجه گرفت که شکستگی ها در سنگ های کربناته (سنگ آهک و دولومیت) توسعه یافته اند.

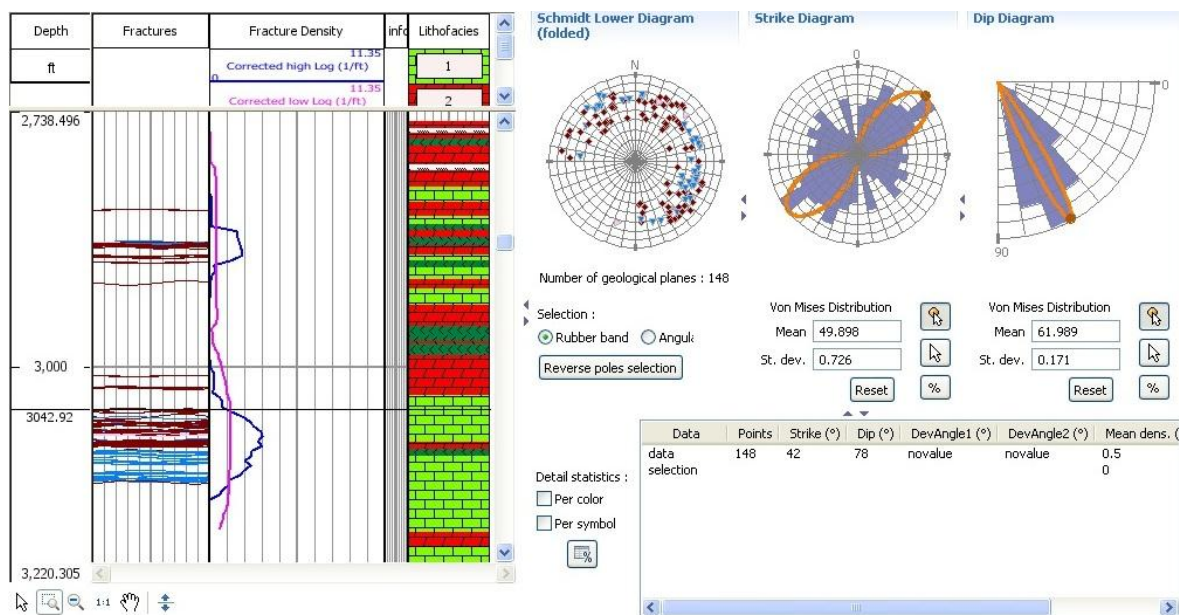
¹¹⁴ Corrected Low Log

¹¹⁵ Corrected High Log



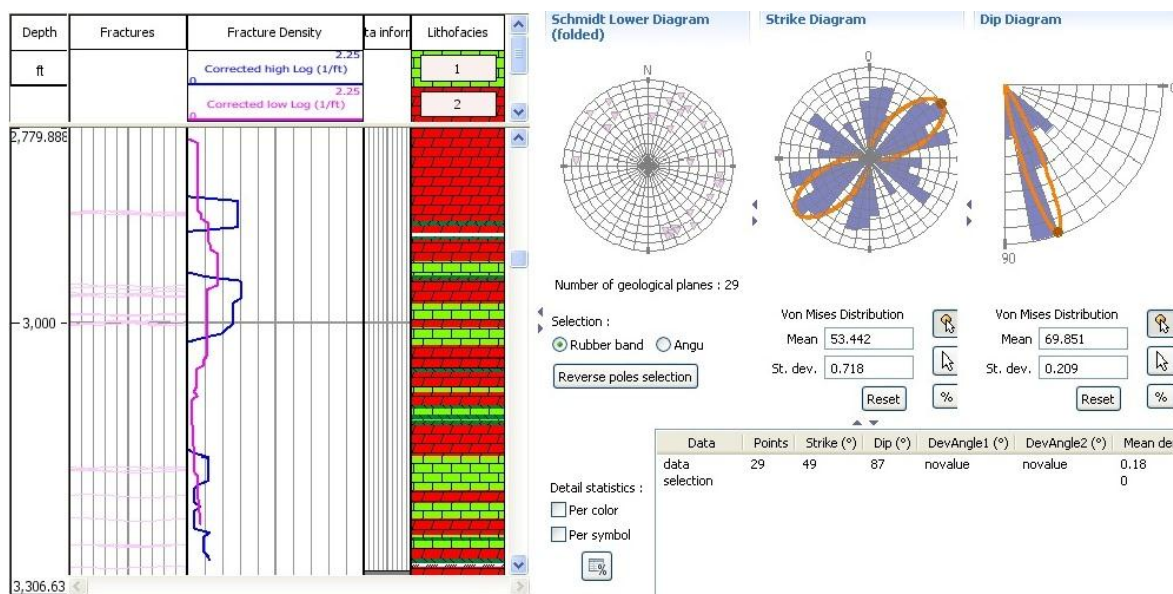
شکل ۷-۴ آنالیز چاه و نمودار چگالی محاسبه شده در چاه A.

در شکل (۷-۴) نمودار چگالی چاه B را می‌توان مشاهده نمود. شکستگی‌های باز پیوسته به رنگ صورتی، شکستگی‌های متفرقه به رنگ قهوه‌ای و شکستگی‌های محتمل باز به رنگ آبی می‌باشند. در این چاه تعداد شکستگی‌ها نسبت به چاه A بیشتر می‌باشند. عمده شکستگی‌ها در لایه‌های K1 و K4 و در بازه‌های عمقی ۲۸۷۲-۲۸۷۸ متری در لایه K1 و ۳۰۶۱-۳۰۸۵/۵، ۳۰۷۰-۳۰۶۳/۵، ۳۰۸۲-۳۰۷۵/۵ و ۳۱۱۷/۵-۳۱۱۴ متری در لایه K4 قرار دارند. در این چاه نیز مثل چاه قبل رخساره‌های کربناته (کلسیت و دولومیت) دارای بیشترین شکستگی‌ها می‌باشند.



شکل ۴-۸ آنالیز چاه و نمودار چگالی محاسبه شده در چاه B.

نمودار چگالی شکستگی چاه C را می‌توان در شکل (۴-۹) مشاهده نمود. در این شکل فقط شکستگی‌های باز پیوسته شناسایی شده که به رنگ صورتی می‌باشند. تعداد شکستگی‌ها نسبت به دو چاه اول کمتر می‌باشد. در این چاه نیز مثل چاه قبل رخساره‌های کربناته (کلسیت و دولومیت) دارای بیشترین شکستگی‌ها می‌باشند. در این چاه شکستگی‌ها در تمامی لایه‌ها وجود دارند ولی عمدتاً در لایه K4 می‌باشند. شکستگی‌ها عمدتاً در بازه‌های ۲۸۷۵-۱۸۷۳ در لایه K1، ۲۹۷۵-۲۹۶۵ در لایه K2، ۲۹۹۷-۳۰۰۲ در لایه K3 و ۳۱۶۵-۳۱۶۰ متری در لایه K4 تجمع یافته‌اند.

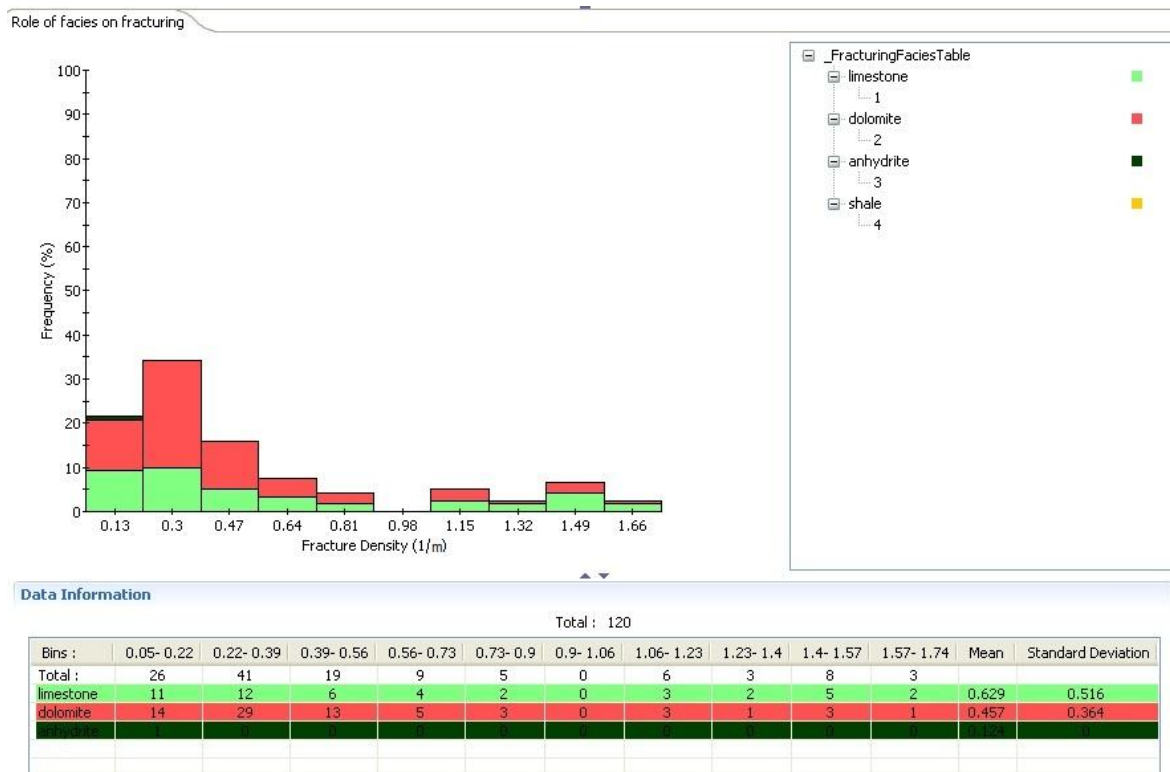


شکل ۴-۹ آنالیز چاه و نمودار چگالی محاسبه شده در چاه C.

یکی دیگر از ورودی‌های مدل DFN میانگین چگالی شکستگی در هر رخساره می‌باشد. در FracaFlow می‌توان تأثیر رخساره‌های سنگی در ایجاد شکستگی‌ها را به طور همزمان در هر سه چاه A، B و C مورد بررسی قرار داد و میانگین چگالی شکستگی در هر رخساره سنگی را تعیین نمود. در جدول (۴-۴) اطلاعات آماری میانگین چگالی شکستگی و انحراف معیار چگالی برای رخساره را می‌توان مشاهده کرد. همانطور که از اطلاعات آماری پیداست رخساره‌های کلسیتی دارای بیشترین تأثیر و شیل‌ها نیز هیچ گونه تأثیری بر ایجاد شکستگی در مخزن گازی مورد مطالعه ندارند. هیستوگرام در صد فراوانی رخساره‌ها بر حسب چگالی شکستگی نیز در شکل (۴-۱۰) آمده است. این شکل گویای نتایج قبلی می‌باشد.

جدول ۴-۴ اطلاعات آماری تأثیر رخساره‌ها در ایجاد شکستگی‌ها

رخساره	متوسط چگالی (1/m)	انحراف معیار چگالی (1/m)
سنگ آهک	۰/۶۲۹	۰/۵۱۶
دولومیت	۰/۴۵۷	۰/۳۶۴
انیدریت	۰/۱۲۴	۰
شیل	۰	۰



شکل ۴-۱۰ تأثیر درصد فراوانی رخساره‌ها بر حسب چگالی شکستگی در ایجاد شکستگی‌ها.

اطلاعات آماری چگالی شکستگی در هر یک از چاه‌ها را می‌توان در جدول (۴-۵) مشاهده نمود. با توجه به این نتایج، همچنان که قبلاً ذکر شد، مشهود است که چاه B دارای بیشترین تعداد شکستگی در واحد طول و در نتیجه بیشترین میانگین چگالی شکستگی می‌باشد. چاه C نیز دارای کمترین میانگین چگالی شکستگی است.

جدول ۴-۵ اطلاعات آماری چگالی شکستگی در چاه‌های مورد مطالعه.

چاه	متوسط چگالی $(1/m)$	انحراف معیار چگالی $(1/m)$
A	۰/۵۱۴	۰/۴۱۷
B	۰/۶۱۴	۰/۵۱۹
C	۰/۴۴۵	۰/۳۴۷

۴-۳-۴ جهت‌گیری شکستگی‌ها

یکی از ورودی‌های مهم در مدلسازی شبکه گسسته شکستگی، جهت‌گیری شکستگی‌هاست و نقش اساسی در جریان سیال مخزن با کنترل تراوایی جهتی دارد. از منابع زیادی برای فراهم نمودن اطلاعات جهت‌گیری شکستگی‌ها استفاده می‌شود. در این مطالعه از مطالعات لاگ‌های تصویری برای تفسیر شیب و آزمون شکستگی‌ها استفاده گردیده است. برای آنالیزهای جهت‌گیری فقط شکستگی‌های طبیعی باز که تأثیرگذار بر جریان سیال هستند آنالیز شده‌اند.

چندین راه متفاوت برای نمایش جهت‌گیری شکستگی‌ها وجود دارد که شامل پلات تدپل^{۱۱۶} و استریوپلات^{۱۱۷} می‌باشد. در پلات تدپل، شکستگی‌ها به صورت نقاطی بر روی گراف عمق-شیب رسم شده و قسمت دم^{۱۱۸} آنها نشان‌دهنده جهت امتداد شکستگی‌هاست (شکل ۴-۱۱). رنگ‌های متفاوت متناظر با انواع مختلف شکستگی‌های طبیعی است. این شکل شکستگی‌های سه چاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در چاه A، شکستگی‌های باز پیوسته به رنگ صورتی، شکستگی‌های محتمل باز به رنگ آبی و گسل به رنگ سبز می‌باشند. در این چاه تعداد ۴۴ شکستگی شناسایی شده است. که تعداد ۴ شکستگی از نوع شکستگی‌های رسانا، تعداد ۳۹ تا از نوع شکستگی‌های احتمالاً باز و یک گسل می‌باشند.

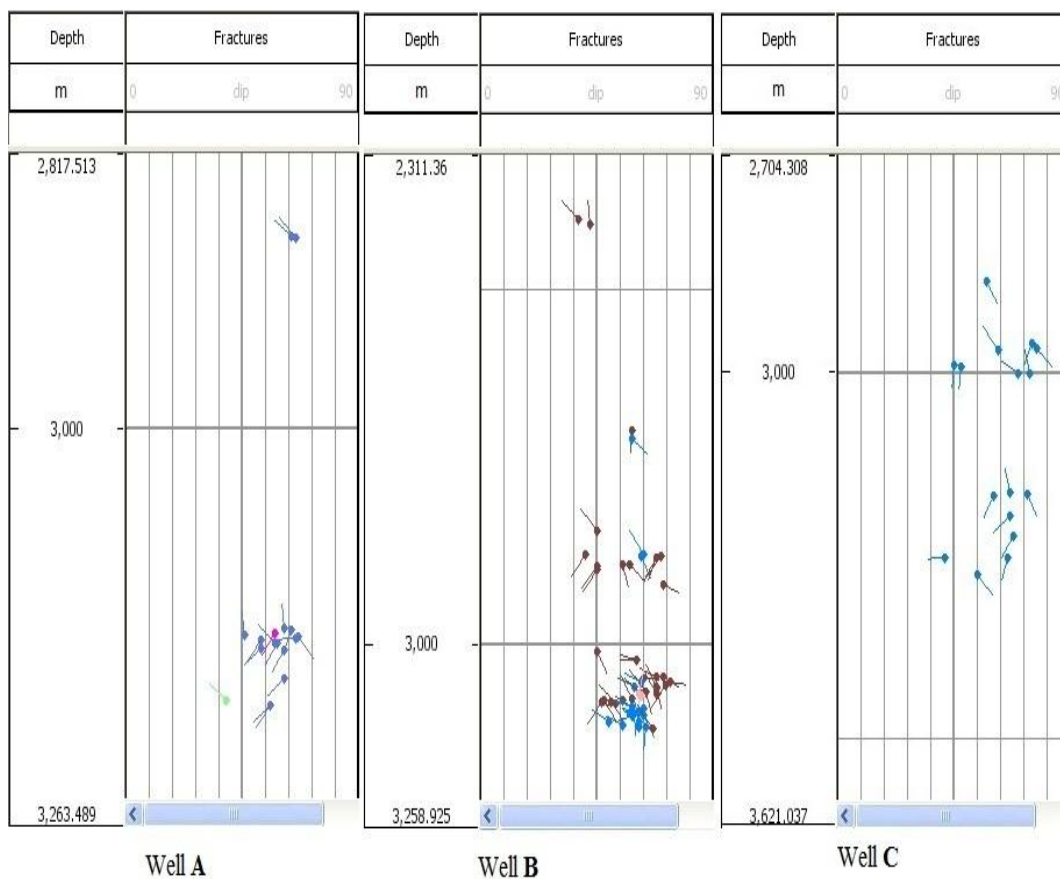
در چاه B، شکستگی‌های باز پیوسته به رنگ صورتی، شکستگی‌های محتمل باز به رنگ آبی و شکستگی‌های باز متفرقه (باز ناپیوسته) به رنگ قهوه‌ای می‌باشند. در این چاه تعداد ۱۴۸ شکستگی از هر سه نوع شکستگی طبیعی باز شناسایی شده است. که تعداد ۳ شکستگی از نوع شکستگی‌های باز پیوسته، تعداد ۵۳ تا از نوع شکستگی‌های محتمل باز و ۹۲ تا نیز از نوع شکستگی‌های باز متفرقه (باز ناپیوسته) می‌باشند.

در چاه C، شکستگی‌های باز پیوسته به رنگ آبی می‌باشند. در این چاه تعداد ۲۹ شکستگی باز پیوسته شناسایی و تفسیر شده است. با توجه به (شکل ۴-۱۱)، اکثر شکستگی‌ها در لایه K4 قرار دارد. این روند در تمامی چاه‌ها وجود دارد.

¹¹⁶ Tadpole Plot

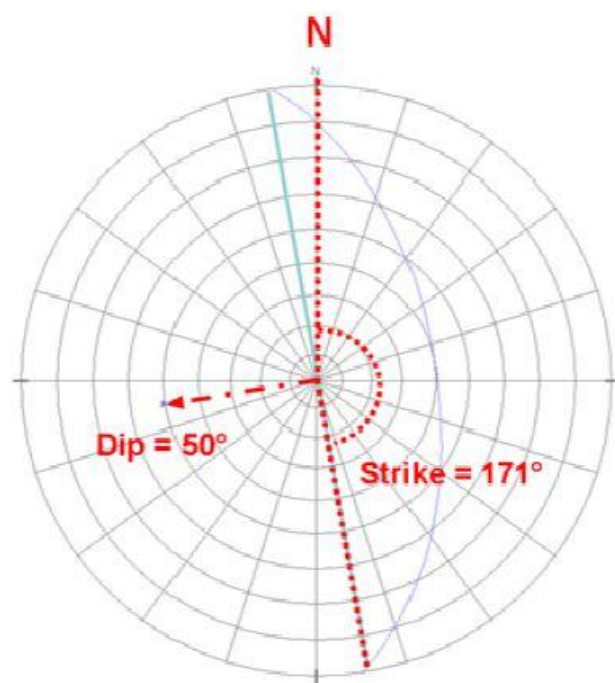
¹¹⁷ Stereoplots

¹¹⁸ Tail



شکل ۱۱-۴ نمایش جهت‌گیری شکستگی‌ها در سه چاه مورد مطالعه به روش تدپل.

استریوپلات‌ها برای مشاهده جهت‌گیری سه بعدی قطب‌های شکستگی در فضای دوبعدی استفاده می‌شوند. مقادیر محیطی دایره معرف جهت آزمون و مقادیر مرکزگرای دایره معرف زاویه شیب می‌باشند. شکل (۱۲-۴) نحوه محاسبه شیب و جهت شیب را از طریق استریونت نشان می‌دهد.



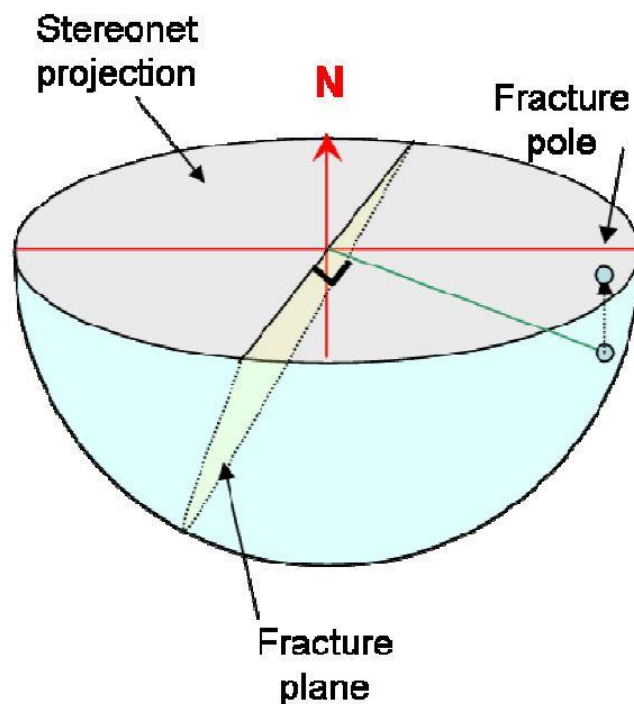
شکل ۴-۱۲ نحوه قرائت مقادیر شیب و آزیموت شیب بر روی استریودیگرام (Fracaflo user manual).

این بخش شامل سه دیاگرام می‌باشد: استریونت، دیاگرام استرایک (یا رز دیاگرام^{۱۱۹}) و دیاگرام شیب.

استریونت برای نمایش ساختار سه بعدی صفحات شکستگی استفاده می‌شود. هر محور یک ساختار خطی است. برای ساده‌سازی نمایش شکستگی‌ها، هر شکستگی بصورت یک نقطه نمایش داده می‌شود: قطب شکستگی^{۱۲۰} (شکل ۴-۱۳). قطب، خطی است که از مرکز کره تصویر می‌گذرد و عمود بر صفحه شکستگی می‌باشد. هر قطب یک زاویه ۹۰ درجه با خط استرایک و زاویه ۹۰ درجه نیز با خط شیب می‌سازد. بنابراین، قطب، همیشه در ربع مخالف کره استریونت از شیب صفحه قرار دارد.

¹¹⁹ Rose Diagram

¹²⁰ Fracture pole



شکل ۴-۱۳ نمایش شکستگی در قالب قطب مربوطه (Fracaflo user manual).

در نرم افزار FracaFlow از دو نوع استریونت استفاده می‌شود: اشمیت^{۱۲۱} و والف^{۱۲۲}.

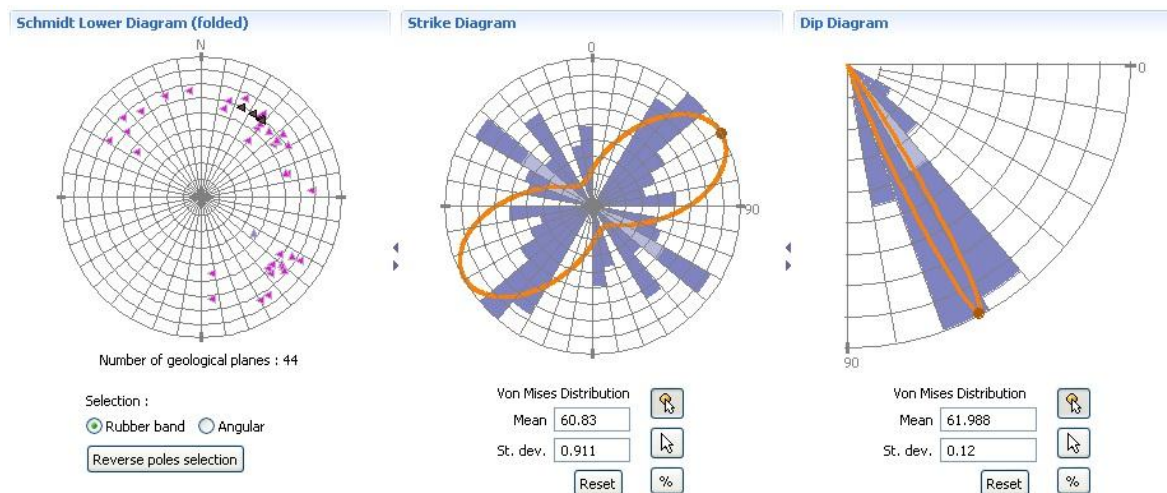
دیاگرام اشمیت برای نواحی پایدار (اندازه پایدار است ولی زوایا و اشکال تغییر می‌یابند) استفاده می‌شود. والف دیاگرام برای زوایای پایدار استفاده می‌شود. اشمیت دیاگرام یک استریودیاگرام است که صفحات شکستگی را در قالب قطب‌های تصویر شده بر روی صفحه استوایی کره نشان می‌دهد.

با استفاده از دیاگرام استرایک، جهت‌گیری اصلی صفحات شکستگی را می‌توان دید. دیاگرام شیب، شیب اصلی صفحات شکستگی را نسبت به سطح افقی نمایش می‌دهد. اطلاعات جهت‌گیری تمام شکستگی‌های طبیعی باز در هر سه چاه مورد مطالعه، چاه A، چاه B و چاه C به ترتیب در شکل‌های (۴-۱۴، ۴-۱۵ و ۴-۱۶) آمده‌است. در چاه A، شکستگی‌های باز پیوسته دارای روند غالب $N35E$ و شیب

¹²¹ Schmidt

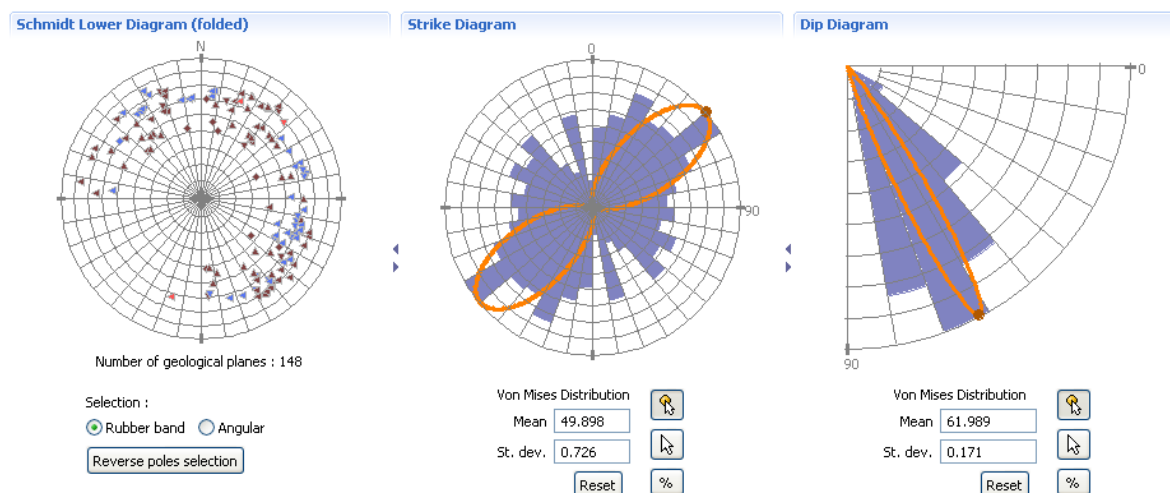
¹²² Wulff

میانگین ۵۸ درجه می‌باشند. شکستگی‌های محتمل باز نیز در این چاه دارای دو روند غالب $N35E$ و $N45W$ بوده و شیب آنها بین ۴۳ تا ۷۵ درجه تغییر می‌کند. شیب میانگین شکستگی‌های محتمل باز برابر با ۶۰ درجه می‌باشد.



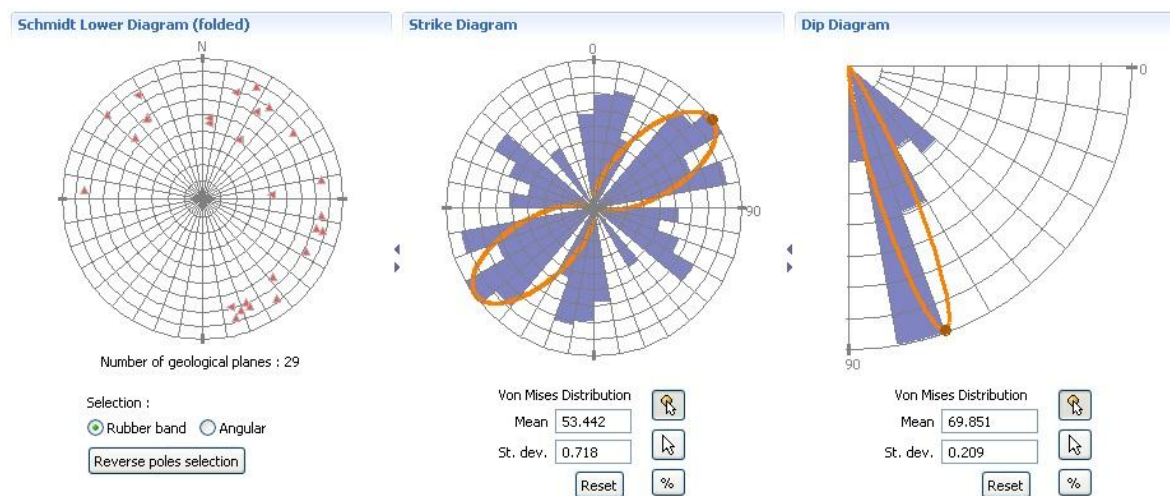
شکل ۴-۱۴ جهت‌گیری شکستگی‌های باز در چاه A

در چاه B، شکستگی‌های باز پیوسته دارای روند غالب $N20E$ و شیب میانگین ۶۲ درجه هستند. شکستگی‌های محتمل باز پراکنده بوده ولی روند غالب آنها $N65W$ است. شیب این شکستگی‌ها بین ۴۸ تا ۷۵ درجه متغیر است و شیب میانگین آنها برابر با ۶۵ درجه می‌باشد. پراکندگی شکستگی‌های باز متفرقه (باز ناپیوسته) نیز در این چاه زیاد بوده و روند امتداد $N35W$ روند غالب آنها می‌باشد. شیب این شکستگی‌ها در محدوده ۳۹ تا ۷۲ درجه متغیر بوده و شیب میانگین برابر با ۵۸ درجه می‌باشد.



شکل ۴-۱۵ جهت‌گیری شکستگی‌های باز در چاه B

شکستگی‌های باز در چاه C در تمام جهات شیب دارند. این شکستگی‌ها در ربع‌های NE، NW و SE دیده می‌شوند. شیب این شکستگی‌ها متغیر در بازه ۴۰ تا ۸۰ درجه با شیب میانگین ۶۵ درجه می‌باشد.



شکل ۴-۱۶ جهت‌گیری شکستگی‌های باز در چاه C

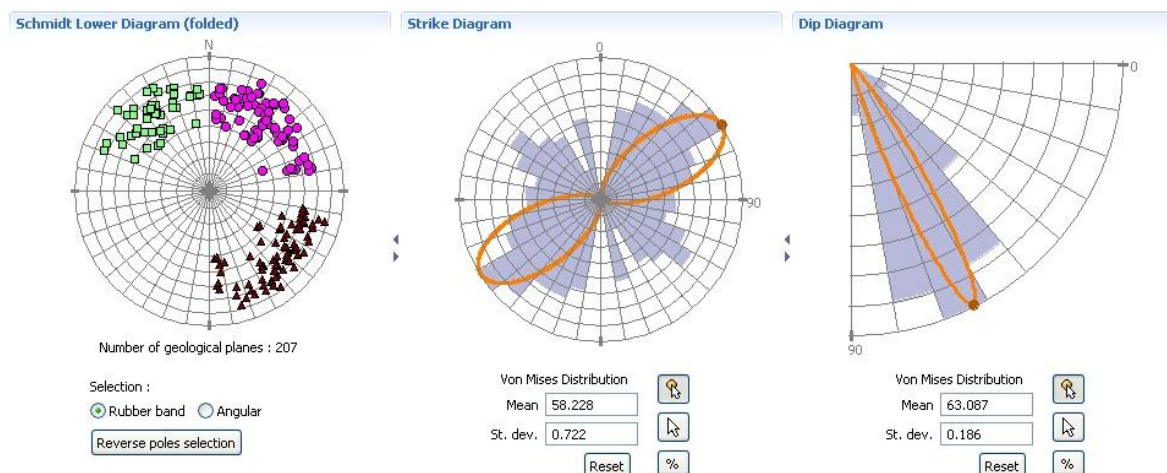
۵-۳-۴ دسته‌بندی شکستگی‌ها

شکستگی‌هایی که از یک مقوله هستند، که احتمالاً در دوره زمانی یکسانی ایجاد شده‌اند، در یک دسته شکستگی گروه‌بندی می‌گردند. در گروه‌بندی شکستگی‌ها بصورت دسته‌های مختلف، فرض بر آن است که شکستگی‌ها احتمالاً دارای خصوصیات یکسان بخصوص جهت‌گیری مشابه می‌باشند.

شکستگی‌ها در هر سه چاه به طور همزمان مورد آنالیز قرار گرفته و شکستگی‌هایی که دارای خصوصیات جهت‌گیری مشابه هستند در دسته شکستگی‌ها گروه‌بندی شده‌اند. بر این اساس در این سه چاه سه دسته شکستگی ایجاد گردید که اطلاعات آماری این دسته شکستگی‌ها در جدول (۴-۶) آمده است. شکستگی‌ها نیز از نوع پراکنده می‌باشند. به طور کلی از ۲۲۱ شکستگی موجود در هر سه چاه تعداد ۲۰۷ شکستگی در قالب این سه دسته شکستگی قرار گرفت. اطلاعات جهت‌گیری دسته شکستگی‌ها در شکل (۴-۱۷) می‌توان مشاهده کرد. در این شکل، دسته شکستگی $n45$ به شکل مثلث و رنگ قهوه‌ای، دسته شکستگی $n50$ به شکل مربع و رنگ سبز، دسته شکستگی $n127$ به شکل دایره و رنگ قرمز می‌باشند.

جدول ۴-۶ اطلاعات آماری دسته شکستگی‌ها.

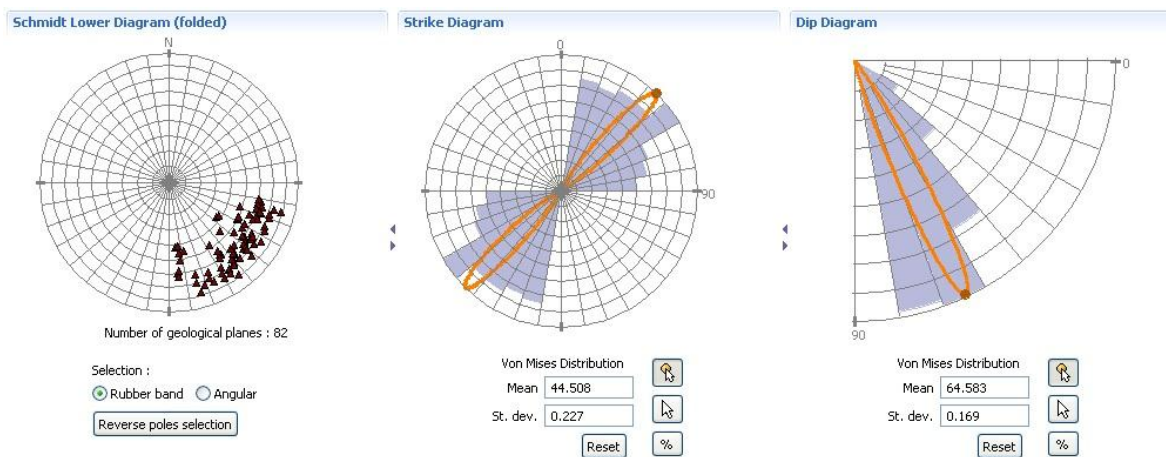
<i>Data</i>	<i>Points</i>	<i>Strike (°)</i>	<i>Dip (°)</i>	<i>DevAngle (°)</i>
<i>data</i>	207	54	85	<i>Novalue</i>
<i>n127</i>	79	127	59	23
<i>n50</i>	46	53	63	23
<i>n45</i>	82	45	63	22



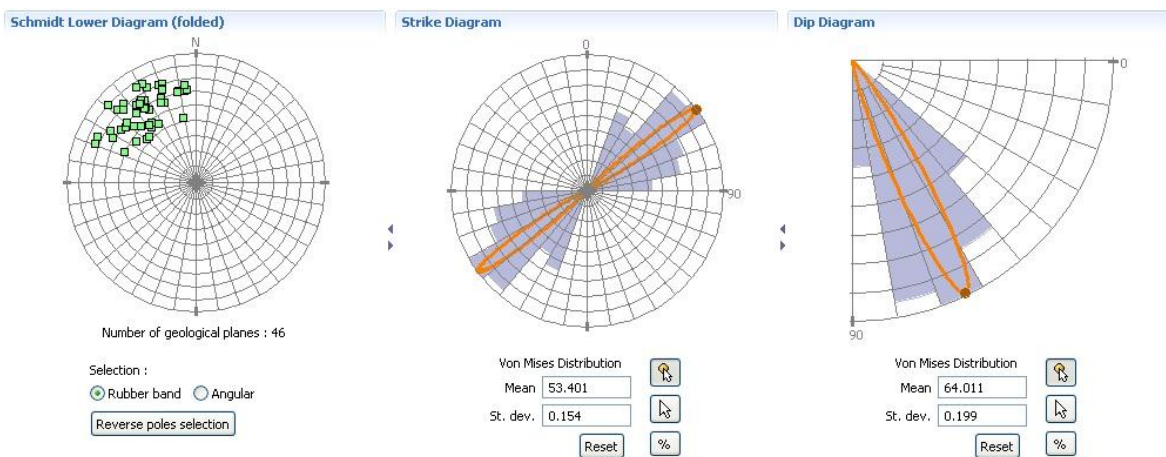
شکل ۴-۱۷ اطلاعات جهت گیری دسته شکستگی ها.

همچنین اطلاعات جهت گیری هر یک از دسته شکستگی ها به طور مجزا در شکل های (۴-۱۸، ۴-۱۹ و ۴-۲۰) آمده است.

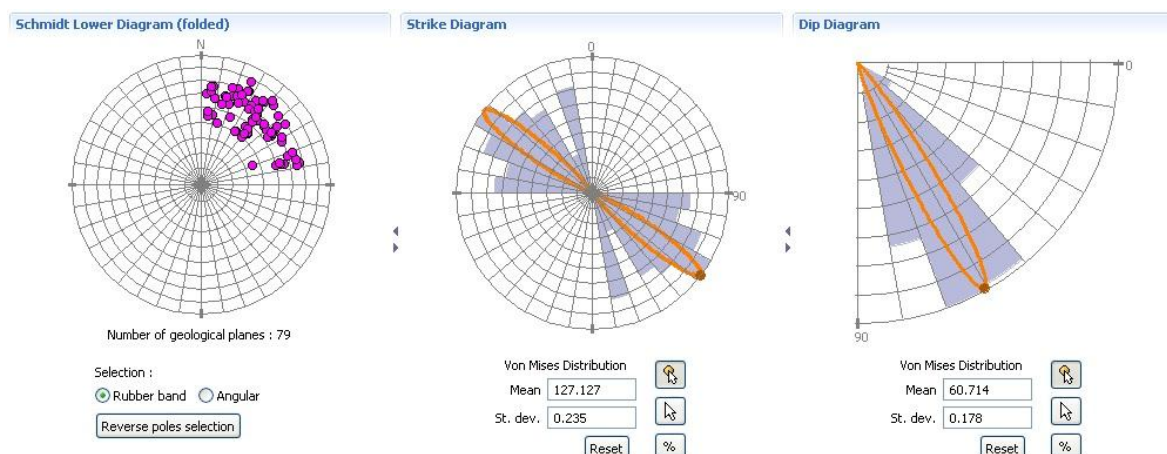
شیب شکستگی ها در دسته $n45$ بین ۴۰ تا ۸۰ درجه متغیر است و میانگین آنها ۶۵ درجه می باشد. دسته $n50$ دارای شیب در محدوده بین ۴۰ تا ۹۰ درجه بوده و میانگین شیب در این دسته تقریباً ۶۵ درجه می باشد. شیب شکستگی ها در دسته $n127$ نیز متغیر بین مقادیر ۴۰ تا ۸۰ درجه بوده و میانگین شیب شکستگی ها نیز برابر با ۶۰ درجه است.



شکل ۱۸-۴ اطلاعات جهت گیری دسته شکستگی n45.



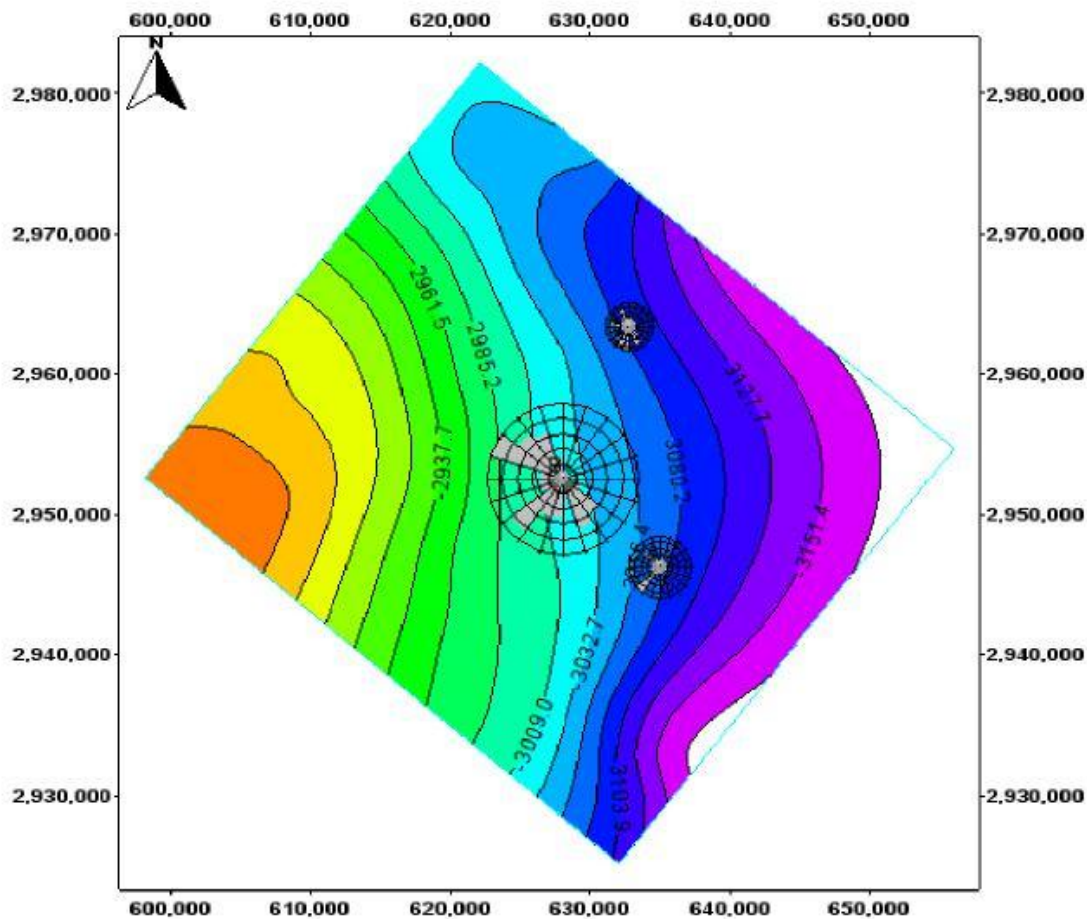
شکل ۱۹-۴ اطلاعات جهت گیری دسته شکستگی n50.



شکل ۴-۲۰ اطلاعات جهت‌گیری دسته شکستگی n127.

در *FracFlow* می‌توان رز دیاگرام دسته شکستگی‌های هر چاه را در دو بعد و بر روی نقشه افق‌های لرزه‌ای^{۱۲۳} مشاهده نمود. در شکل (۴-۲۱) موقعیت چاه‌ها و همچنین رز دیاگرام مربوط به شکستگی‌های هر چاه در قالب دسته‌شکستگی‌ها بر روی افق لرزه‌ای *K1* می‌توان مشاهده نمود.

¹²³ Seismic Horizon



شکل ۴-۲۱ مشاهده رز دیاگرام دسته شکستگی‌ها و موقعیت چاه‌ها بر روی افق لرزه‌ای ناحیه مورد مطالعه از مخزن.

۴-۳-۶ اندازه و شکل شکستگی‌ها

بدلیل اینکه هیچ یک از ابزارهای درون چاهی قادر به اندازه‌گیری مستقیم اندازه شکستگی‌ها نمی‌باشند، این پارامتر کمتر از بقیه پارامترها مشخص است. به‌دست آوردن اندازه شکستگی‌ها از نمودارهای تصویری مشکل می‌باشد. به این دلیل که گمانه فقط قسمتی از شکستگی‌ها را قطع می‌نماید. منبع دیگری که قادر

به محاسبه این پارامتر می‌باشد، بررسی رخنمون می‌باشد. داده‌های دینامیکی نیز ایده‌ی کلی از اندازه شکستگی‌ها می‌دهند (Hoffman et al, 2009).

اطلاعات درباره شکل شکستگی‌ها نیز بسیار محدود می‌باشد. توسط بررسی‌های رخنمون نیز نمی‌توان اطلاعات کاملی از شکل شکستگی‌ها به‌دست‌آورد. در نرم‌افزار *FracFlow*، شکستگی‌ها به صورت مستطیل شکل و یا بیضی شکل نمایش داده می‌شوند. طول شکستگی معرف اندازه محور اصلی مستطیل یا بیضی است. در *FracFlow* می‌توان نسبت وجه^{۱۲۴} را نیز تعریف نمود. نسبت وجه برابر با نسبت محور کوچکتر به محور بزرگتر در مستطیل و بیضی است. این مقدار همواره کوچکتر یا مساوی یک می‌باشد. در این مطالعه، برای مدل کردن شکستگی‌ها در نواحی اطراف چاه، شکل شکستگی‌ها به‌صورت مستطیلی شکل و در نواحی بین چاه‌ها به صورت بیضی شکل در نظر گرفته شده است شکل (۴-۲۲).

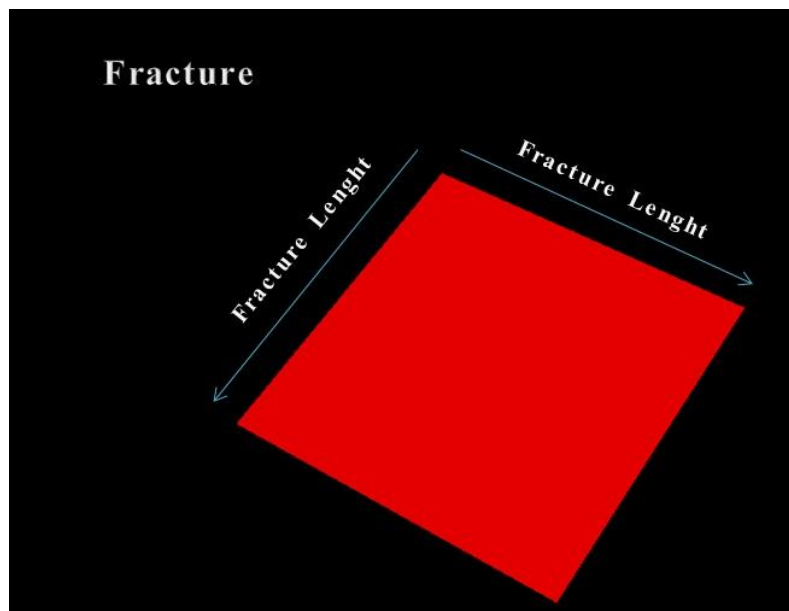
اندازه شکستگی‌ها را می‌توان از دو طریق محاسبه نمود و در مدل وارد کرد. راه اول، استفاده از اطلاعات بررسی رخنمون است که توسط زمین‌شناسان انجام می‌پذیرد. از آنجایی که نتایج بررسی رخنمون در دسترس نمی‌باشد، نمی‌توان از این طریق اندازه شکستگی را محاسبه و در مدل وارد نمود.

راه دوم، بر پایه تطابق بین توزیع دهانه شکستگی و طول آن می‌باشد. کاملاً واضح است که بین اندازه شکستگی و دهانه آن رابطه‌ای برقرار است. توزیع دهانه به نسبت وجه بین دهانه و طول بزرگتر مرتبط است. براساس معادله (۴-۲) دهانه شکستگی‌ها به‌دست می‌آید.

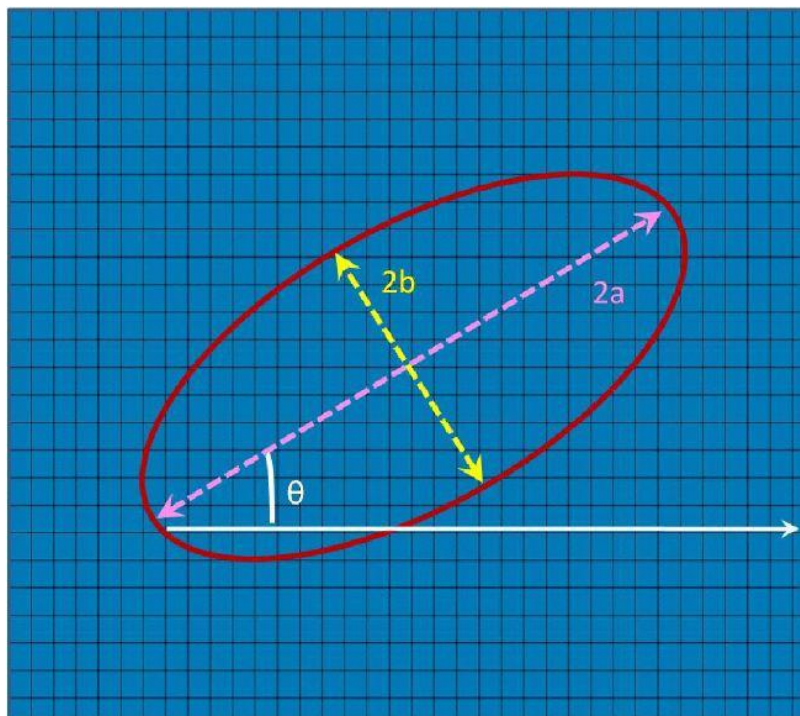
$$a = ar * L \quad (۴-۲)$$

که در این معادله، a دهانه شکستگی (m)، ar نسبت وجه (بی‌بعد) و L طول شکستگی (m) هستند.

¹²⁴ Aspect Ratio



شکل ۴-۲۲ مدل مربعی شکستگی در نرم افزار *FracFlow*

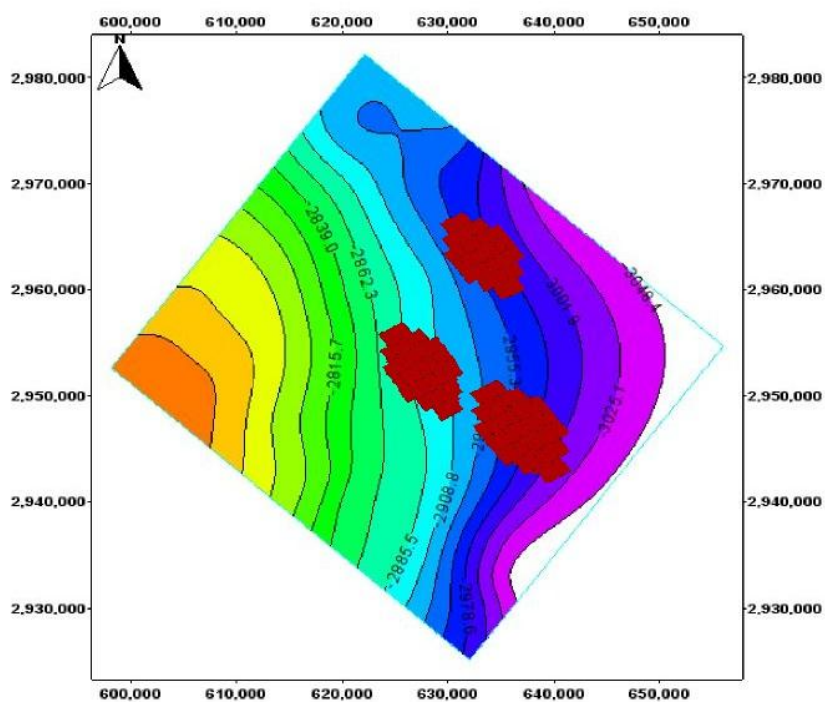


شکل ۴-۲۳ مدل بیضوی شکستگی در نرم افزار *FracFlow*

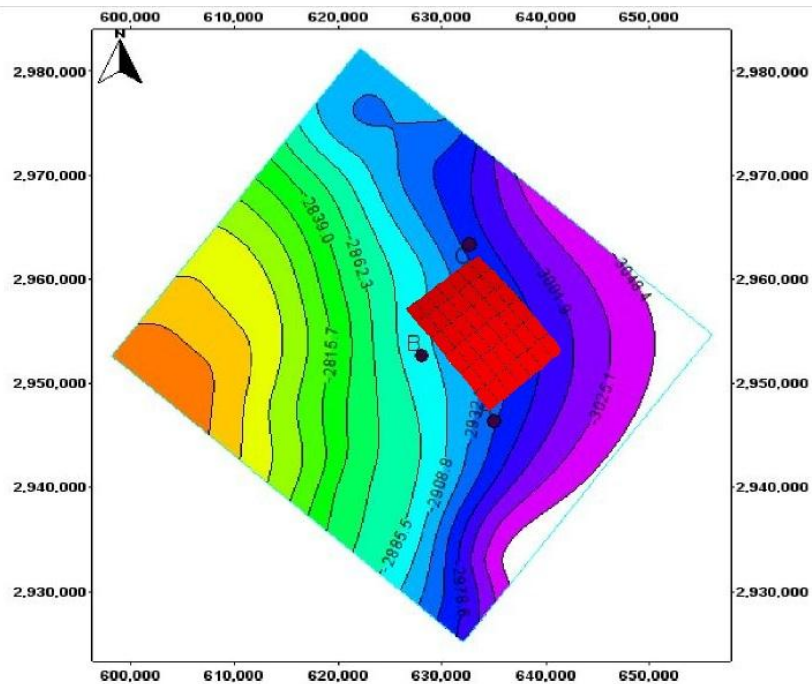
۴-۴ ساخت ناحیه مورد نظر^{۱۲۵}

برای ساخت مدل شبکه شکستگی‌ها باید ناحیه‌ای که می‌خواهیم شکستگی‌ها را در آن مدل کنیم مشخص نماییم. در تعیین این ناحیه، باید گسترش عمودی و گسترش جانبی جهت ساخت مدل را تعیین نمود. گسترش عمودی، لایه‌های مخزنی مورد مطالعه است. چندین نوع گسترش جانبی را می‌توان انتخاب نمود. این گسترش‌های جانبی شامل، انتخاب دستی سلول‌های شبکه، انتخاب کل شبکه، انتخاب شعاعی در اطراف چاه (تعداد سلول‌ها در اطراف گمانه) و انتخاب سلول‌های بین دو چاه می‌باشند. به دلیل اهمیت شکستگی‌های اطراف چاه در جریان سیال به طرف چاه و تولید از آن، در این پایان‌نامه شعاعی در اطراف چاه‌ها که برابر با سه سلول است، به عنوان ناحیه مورد نظر تعیین گردیده است. در شکل (۴-۲۴) ناحیه انتخاب شده اطراف چاه‌ها در دو بعد نمایش داده شده است. همچنین برای مدل‌سازی شکستگی‌های بین چاه‌ها نیز ناحیه بین چاه‌های مورد مطالعه انتخاب گردیده است. نمایش دوبعدی آن در شکل (۴-۲۵) قابل رؤیت است.

¹²⁵ Zone Of Interest (ZOI)



شکل ۴-۲۴ ناحیه انتخاب شده (شعاعی در اطراف چاه) جهت مدل‌سازی



شکل ۴-۲۵ ناحیه انتخاب شده (انتخاب سلول‌های بین چاه‌ها) جهت مدل‌سازی

۴-۵ ساختن مدل‌های شبکه گسسته شکستگی

هدف از مدل‌سازی شکستگی‌ها یکپارچه‌سازی اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و داده‌های مهندسی مخزن، در صورت در دسترس بودن، جهت ساخت مدل‌های سه‌بعدی قابل قبول از شبکه شکستگی است. این کار با هدف (i) پیش‌بینی توزیع خصوصیات دسته شکستگی‌ها در واحدهای مخزنی و (ii) ساختن مدل سه‌بعدی شبکه شکستگی جهت استفاده در محاسبات جریان سیال، انجام می‌گیرد. برای ساخت مدل‌های شبکه گسسته شکستگی‌ها به یک سری از پارامترهای محاسبه شده در این فصل نیاز می‌باشد. این مدل‌های تصادفی براساس توزیع جهت‌گیری (مقدار میانگین و پراکندگی شیب و آزیموت)، مقادیر چگالی شکستگی محاسبه شده، دهانه شکستگی‌ها و طول آنها ساخته می‌شوند. بعضی از دیگر پارامترهای مورد نیاز نیز مربوط به رخساره‌های سنگی می‌باشند مثل حداقل طول رخساره‌ها، چگالی شکستگی‌ها در هر رخساره. برای هر یک از پارامترهای فوق، مدل *DFN* نیازمند مقدار میانگین و بازه تغییراتی متغیرها برای محاسبه اطلاعات آماری و استفاده از آن در ساخت مدل سه‌بعدی می‌باشد. این مدل‌ها دارای شکل ظاهری متفاوت می‌باشند اما اطلاعات آماری تمامی مدل‌ها یکسان است.

در نرم‌افزار *fracflow* و به طور کلی در مدل‌سازی تصادفی شبکه گسسته شکستگی، تمامی روش‌ها برای مدل‌سازی گسسته بر مبنای روش‌های تصادفی^{۱۲۶} هستند. که تابعی برای تولید یک سری اعداد تصادفی هستند که "تولیدکننده تصادفی"^{۱۲۷} نامیده می‌شوند. این مفاهیم بدین معنی است که الگوی شکستگی تولیدشده، تنها یک مدل از میان اعداد نامتناهی از مدل‌های هم‌ارز^{۱۲۸} است که دقیقاً پارامترهای ورودی و محدودیت‌های یکسانی دارند. مدل‌های هم‌ارز از طریق اجرای روش تولید با پارامترهای یکسان ولی با یک جستجوی مختلف از تولید کننده تصادفی، به دست می‌آیند.

¹²⁶ Random Procedure

¹²⁷ Random Generator

¹²⁸ Equivalent Models

۴-۵-۱ فرآیند تصادفی

یک نقطه (یک سبد) به صورت تصادفی در فضای سه بعدی از سلول های شبکه زمین شناسی انتخاب می گردد. از احتمال شروع^{۱۲۹} برای شمارش چگالی سلول های مجاور یکدیگر استفاده می شود. این کار جهت اجتناب از انتخاب مقادیر با اختلاف زیاد بین سلول های با چگالی مختلف انجام می گیرد. از فرآیند پواسون جهت تعیین چگالی در هر سلول استفاده می شود.

(۲) شیب، آزمون، موقعیت قرارگیری و اندازه شکستگی ها در توزیع های آماری تصادفی که توسط کاربر تعیین می شوند، انجام می گیرد.

(۳) همچنین رخساره ها، واحدها و محدوده مخزن را نیز می توان تعیین نمود.

۴-۵-۲ شرطی سازی فرآیندهای تصادفی

شبیه سازی را می توان بوسیله شکستگی های مشاهده شده در چاه ها شرطی سازی نمود. این کار از طریق زیر انجام می گیرد:

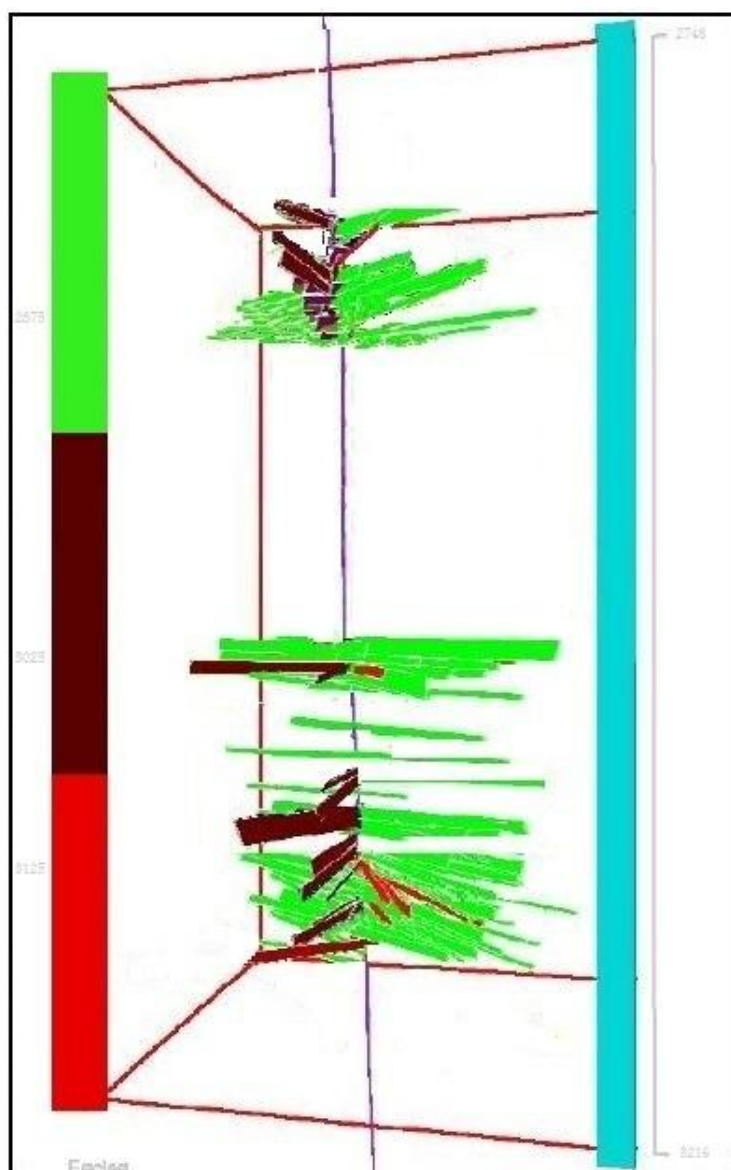
(الف) حذف کردن تمام شکستگی های شبیه سازی غیرشرطی که چاه را قطع می کنند.

(ب) تمام شکستگی هایی مشاهده شده در طول چاه تنها بوسیله جهت گیری و موقعیت تقاطع آنها با چاه شناخته می شوند. ارتفاع و طول آنها به صورت تصادفی از فرآیندهای ذکر شده تعیین می شوند.

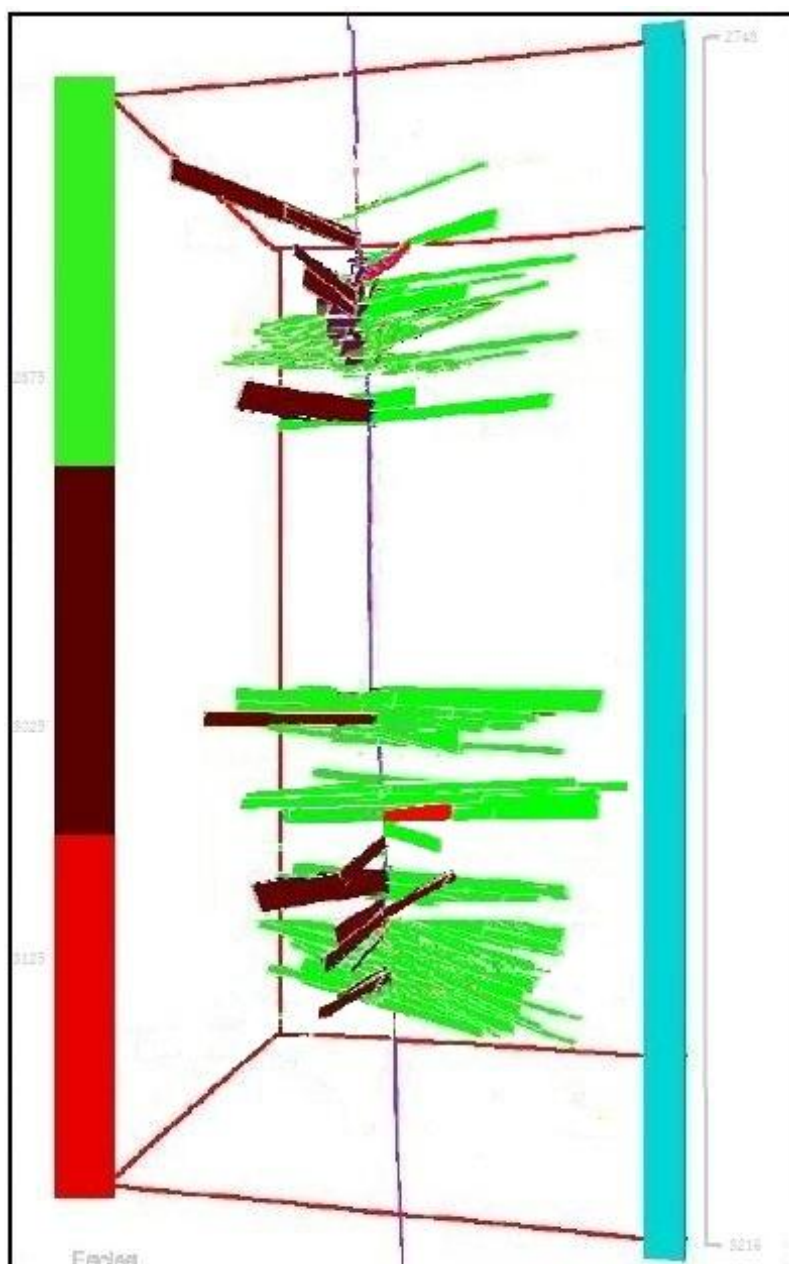
در شکل های (۴-۲۴، ۴-۲۵ و ۴-۲۶) مدل های تصادفی شبکه گسسته شکستگی ساخته شده در چاه B نشان داده شده است. گرچه شکل ظاهری این مدل ها متفاوت می باشد ولی دارای اطلاعات آماری کاملاً یکسان می باشند. برای سهولت در مشاهده شکستگی ها فقط شکستگی های قطع کننده چاه نمایش داده

¹²⁹ Probability of Initiation

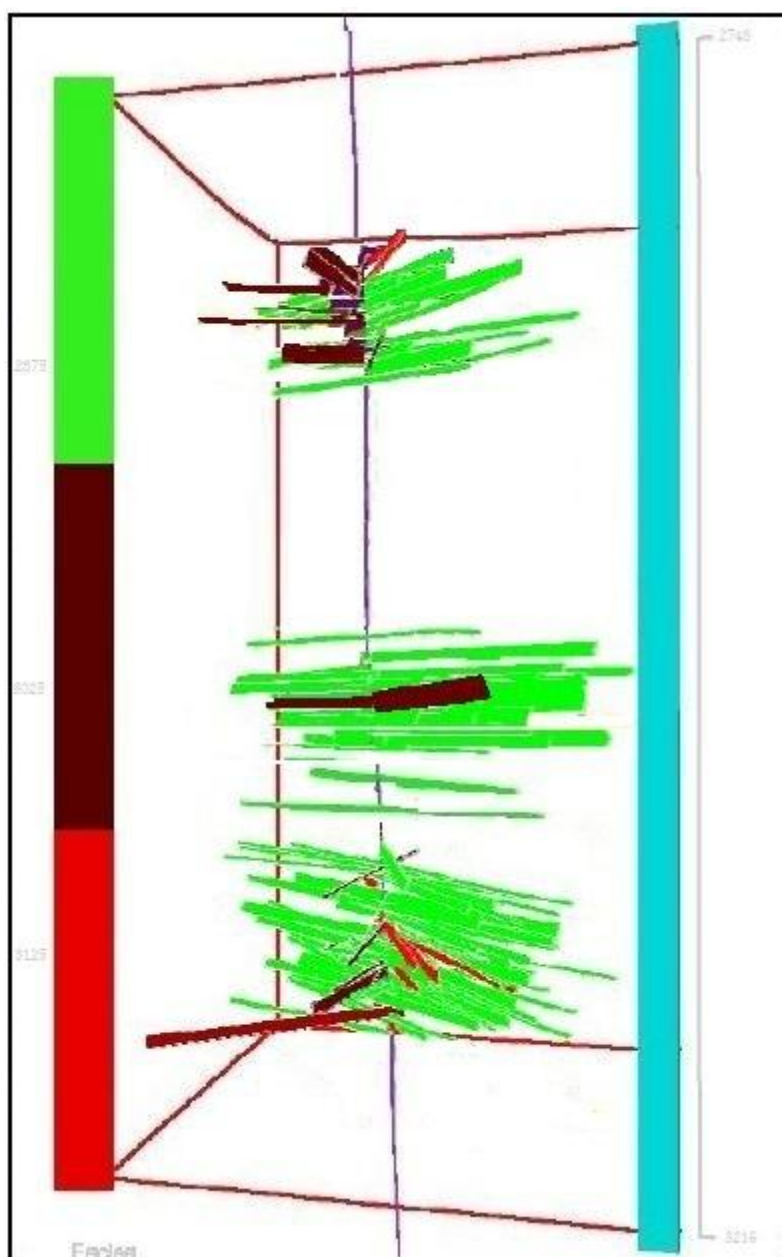
شده است. در این شکل رنگ سبز معرف شکستگی‌های محتمل باز، رنگ قرمز معرف شکستگی‌های باز پیوسته و شکستگی‌های باز متفرقه (باز ناپیوسته) به رنگ قهوه‌ای می‌باشند. این مدل‌ها معرفی ساده و کیفی از توزیع شکستگی‌ها در چاه براساس اطلاعات آماری استخراج شده با استفاده از آنالیزهای انجام شده است.



شکل ۴-۲۶ مدل تصادفی DFN ساخته شده در چاه B



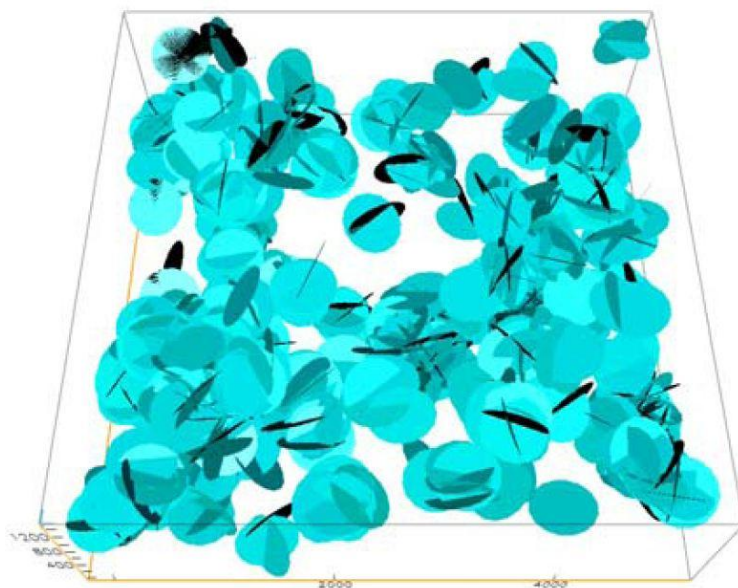
شکل ۴-۲۷ مدل تصادفی DFN ساخته شده در چاه B



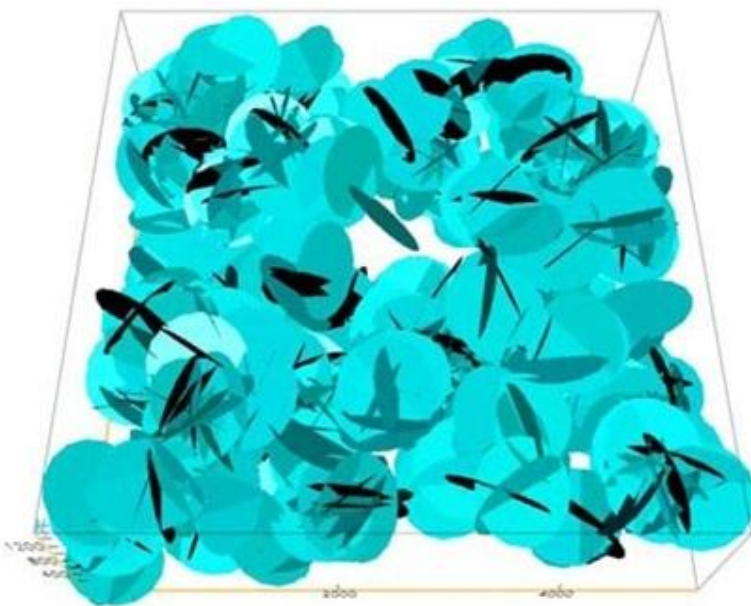
شکل ۴-۲۸ مدل تصادفی DFN ساخته شده در چاه B

همانطور که قبلاً ذکر گردید (بخش ۴-۳-۶) شکستگی‌ها به صورت مستطیلی شکل یا بیضوی شکل در نظر گرفته می‌شوند. در شکل‌های (۴-۲۹، ۴-۳۰ و ۴-۳۱) مدل‌های تصادفی شبکه گسسته ساخته

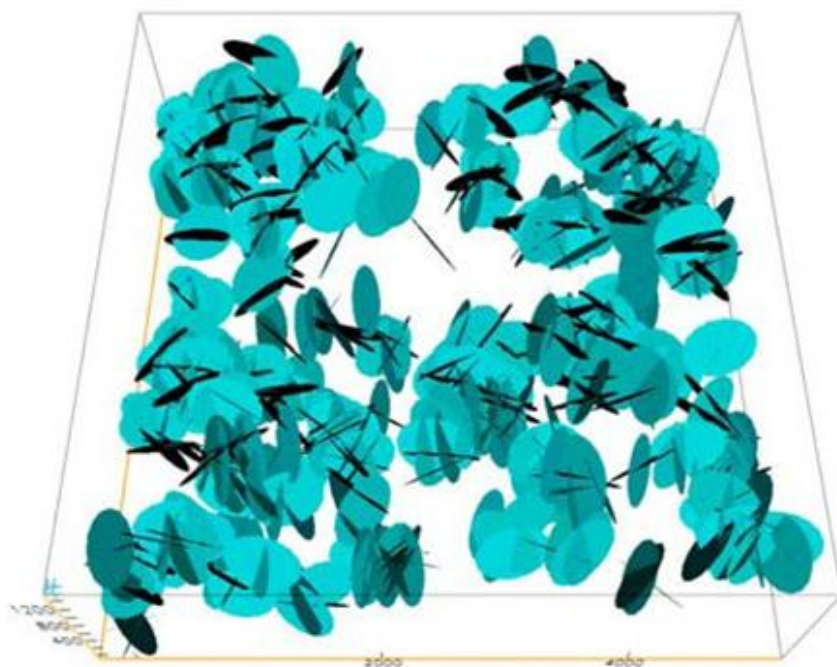
شده در ناحیه بین چاه‌ها نمایش داده شده است. در بلوک بین چاه‌ها، شکستگی‌ها بصورت بیضوی شکل در نظر گرفته شده‌اند.



شکل ۴-۲۹ مدل *DFN* ساخته شده در ناحیه بین چاه‌های مورد مطالعه



شکل ۴-۳۰ مدل *DFN* ساخته شده در ناحیه بین چاه‌های مورد مطالعه



شکل ۴-۳ مدل DFN ساخته شده در ناحیه بین چاه‌های مورد مطالعه

۴-۶ آنالیز دینامیکی شکستگی‌ها

برای کالیبره کردن مدل شکستگی‌ها و همچنین جهت تطابق با آنالیز شکستگی‌ها، از آنالیزهای دینامیکی باید کمک گرفت. در این بخش، هدف از انجام این آنالیزها و همچنین نتیجه آنالیز بر روی داده‌های موجود آورده شده است. در نهایت نتایج تطابق بین آنالیز دینامیکی و نتایج آنالیز شکستگی‌ها آورده شده است.

۴-۶-۱ هدف از آنالیزهای دینامیکی

تأثیر شکستگی‌ها بر رفتار دینامیکی میدان را می‌توان از طریق آنالیزهای متفاوتی ارزیابی کرد. درواقع، با آنالیز اندازه‌گیری‌های تولید، داده‌های هرزروی گل و غیره می‌توان اطلاعاتی از مکان شکستگی‌ها و تأثیر

آنها بر عملکرد چاه به دست آورد. هدف از آنالیزهای دینامیکی، با استفاده از داده‌های دینامیکی، خواه مخزن شکسته باشد یا شکسته نباشد، تخمین اثر شکستگی‌ها بر روی رفتار دینامیکی مخزن، ارزیابی اثر همسایگی گسل‌ها و همچنین گرفتن ایده‌ای از بیشترین رخساره‌های شکسته‌شده و سهم آنها در جریان سیال است. به طور کلی هدف اصلی از آنالیز شکستگی‌ها پاسخ به سوالات زیر است؟

آیا میدان شکسته است؟ یا خیر؟ اگر شکسته است، آیا شکستگی‌ها بر روی جریان سیال تأثیر دارند یا خیر؟

۴-۶-۲ آنالیزهای دینامیکی انجام شده بر روی چاه‌های مورد مطالعه

بر اساس در دسترس بودن اطلاعات دینامیکی می‌توان آنالیزهای زیر را بر داده‌های ورودی انجام داد:

❖ آنالیزهای جریان سنج^{۱۳۰}

❖ آنالیزهای هرزروی گل^{۱۳۱}

❖ آنالیزهای شاخص تولیدپذیری^{۱۳۲}

❖ آنالیزهای تولید^{۱۳۳}

❖ آنالیزهای چاه آزمایشی^{۱۳۴}

¹³⁰ Flowmeter analysis

¹³¹ Mud loss analysis

¹³² PI analysis

¹³³ Production analysis

¹³⁴ Well test analysis

در پنل داده‌های چاه^{۱۳۵}، خلاصه‌ای از داده‌های موجود در هر چاه برای آنالیز را به طور کلی می‌توان دید (شکل ۴-۳۲). همانطور که این شکل نشان می‌دهد، داده‌های جریان‌سنج و تاریخچه تکمیل چاه (بازه‌های مشبک‌کاری) و همچنین رخساره‌های سنگی برای انجام آنالیزها موجود می‌باشند. داده‌های جریان‌سنج از آزمایش‌های تولید^{۱۳۶} به دست آمده است.

#	Well	Wellbore	Flowmeter data	Kcore data	Ktest	Completion history	Facies	Unit	Fracture sine curve	Fracture density log
0	D	D-WB1	✓			✓	Lithofacies			
1	E	E-WB1	✓			✓	Lithofacies			
2	F	F-WB1	✓			✓	Lithofacies			
3	G	G-WB1	✓			✓	Lithofacies			

شکل ۴-۳۲ داده‌های دینامیکی موجود در هر چاه جهت انجام آنالیزهای دینامیکی.

برای تفسیر کیفی تأثیر شکستگی‌ها بر جریان سیال، باید نمودارهای تولید تفسیر گردند و مقدار سهم مشارکتی هر یک از لایه‌ها در تولید مشخص گردد. در پنل *Log View* می‌توان نتایج آزمایش‌های جریان-

¹³⁵ Well data

¹³⁶ Production Logging Tools (PLT)

سنگ و مکان هرزروی گل، اگر در دسترس باشد، را به طور جزئی تر نگاه کرد (شکل ۴-۲۶). در این شکل می‌توان بر موارد زیر نگاه اجمالی داشت:

❖ عمق لایه‌های تولیدی

❖ بازه‌های پیک شده (پیک‌های تولیدی)^{۱۳۷}

❖ رخساره‌ها

❖ تکمیل (فواصل مشبک‌کاری)^{۱۳۸}

❖ ترک نرخ تجمعی فواصل^{۱۳۹}

❖ ترک نرخ جریان^{۱۴۰}

از لاگ جریان سنگ برای تعیین کمترین حد آستانه مقدار Qf (نرخ جریان در طول چاه) استفاده می‌شود. اگر نرخ جریان از مقدار Qf بیشتر باشد، یک پیک بازه بر روی لاگ ظاهر می‌شود.

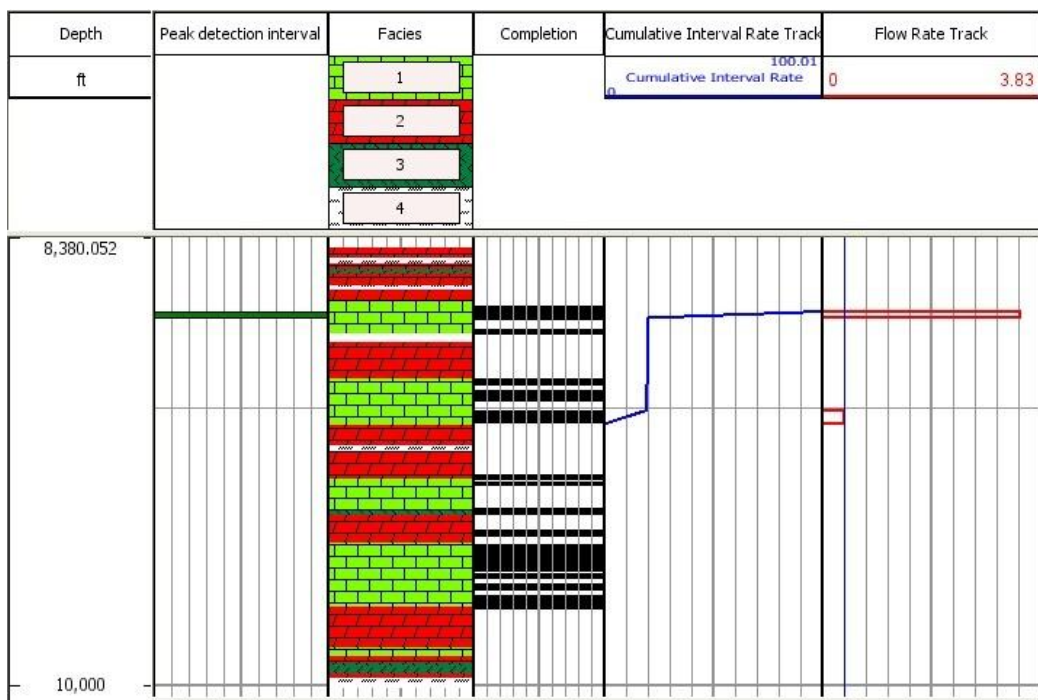
تمامی لایه‌های مخزنی چاه D مشبک‌کاری شده‌اند. در این چاه فقط از لایه‌های $K1$ ، $K2$ و $K3$ نمودارگیری انجام شده است. در این چاه براساس آزمایش انجام‌شده در سه لایه، بیشترین سهم تولید متعلق به لایه $K1$ بوده و دارای بیشترین درصد مشارکت در تولید می‌باشد (شکل ۴-۳۳).

¹³⁷ Peak Detection Interval

¹³⁸ Completion

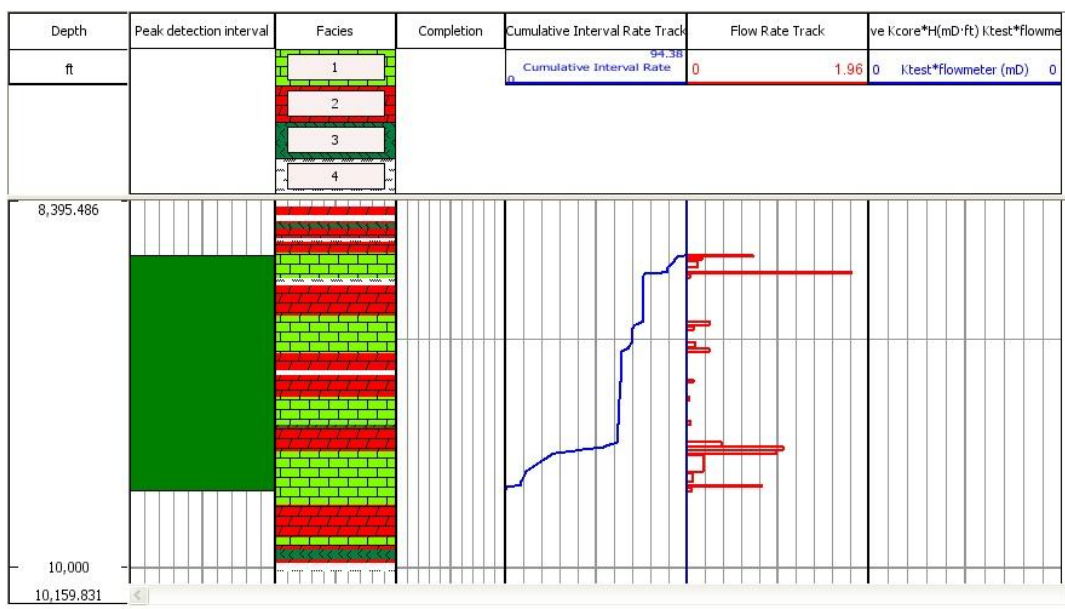
¹³⁹ Cumulative Interval Rate Track

¹⁴⁰ Flow Rate Track



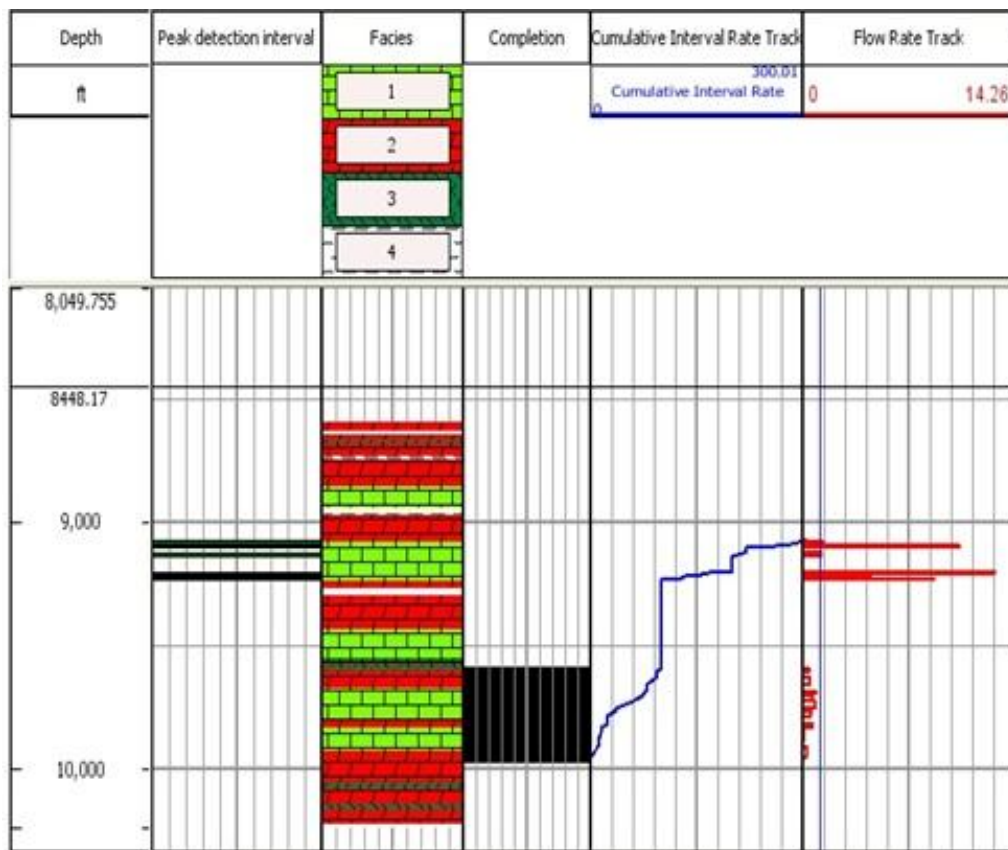
شکل ۳۳-۴ نمودارهای دینامیکی در چاه D.

نمودارهای تولید در چاه E از تمامی لایه‌های مخزنی می‌باشد. در این چاه بیشترین سهم تولیدی مربوط به لایه K4 و بعد از آن لایه K1 دومین سهم تولیدی را داراست. فقط قسمت‌های بالایی K3 نیز دارای سهم قابل توجه در تولید بوده و بقیه قسمت‌ها سهم خیلی کمی در تولید دارند (شکل ۳۴-۴).



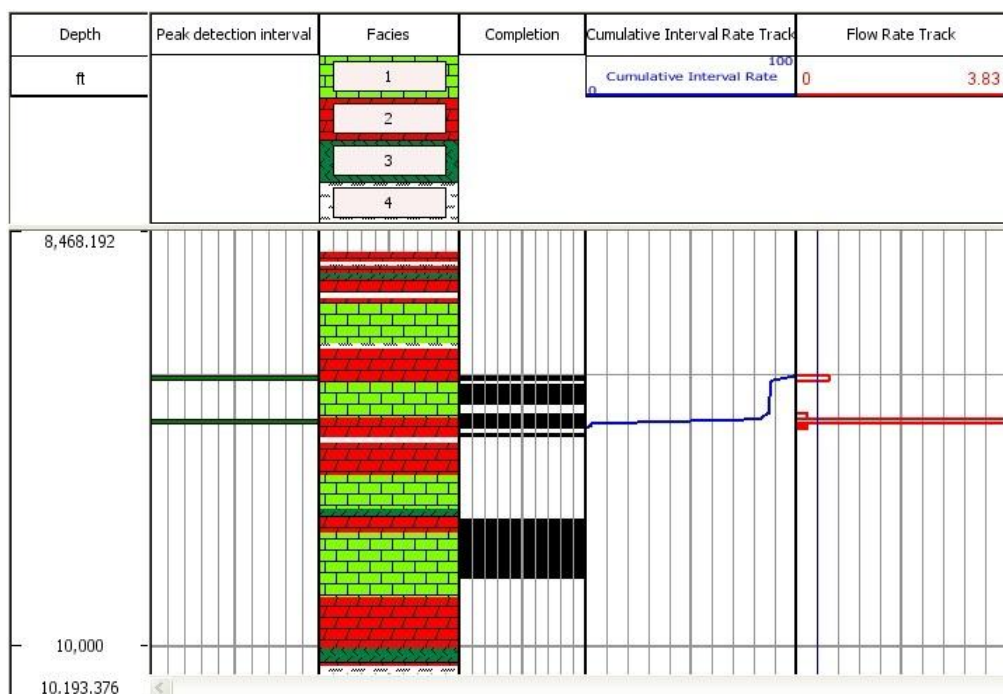
شکل ۴-۳۴ نمودارهای دینامیکی در چاه E.

در چاه F، لاگ‌های تولید فقط در لایه‌های K_2 ، K_3 و K_4 رانده شده‌اند (شکل ۴-۳۵). در این چاه لایه K_2 دارای بیشترین سهم تولید بوده و بسیاری از بازه‌های لایه دارای بیشترین سهم تولید بوده و بسیاری از بازه‌های لایه K_3 در تولید هیچ مشارکتی نداشته‌اند. لایه K_1 در این چاه مشبک‌کاری نشده است.



شکل ۴-۳۵ نمودارهای دینامیکی در چاه F.

نمودارهای تولید فقط در لایه‌های $K2$ و $K3$ در چاه G رانده شده‌اند و متأسفانه در لایه $K4$ که دارای خصوصیات مخزنی قابل توجه بود است، آزمایش‌های تولید انجام نگرفته است. لایه‌های $K2$ و $K3$ مشبک-کاری شده‌اند و لایه $K4$ به صورت حفره باز تکمیل گردیده است. همانطور که در شکل (۴-۳۶) مشخص است بر اساس آزمایش انجام شده، لایه $K2$ دارای سهم تولیدی بالاتری نسبت به لایه $K3$ بوده و قسمت-های بالایی $K3$ در تولید مشارکت می‌کنند.



شکل ۴-۳۶ نمودارهای دینامیکی در چاه G.

از آنالیزهای دینامیکی انجام شده به دلیل محدود بودن اطلاعات دینامیکی موجود نمی‌توان درباره شکسته بودن یا نبودن میدان نتیجه‌ای گرفت. اما به طور کلی همانطور که در تفسیر هر چاه ذکر گردید، می‌توان نتیجه گرفت که لایه K4 دارای بالاترین سهم تولید می‌باشد. همچنین با تطبیق عمقی بین چاه-های دارای اطلاعات شکستگی و چاه‌هایی که دارای نتایج آزمایش‌های تولید می‌باشند، می‌توان نتیجه گرفت که لایه K4 دارای بیشترین تعداد شکستگی‌ها و همچنین بیشترین سهم تولیدی در نمودارهای تولید نیز می‌باشد. لایه K1 نیز دارای بیشترین تعداد شکستگی‌های طبیعی بعد از لایه K4 بوده و همچنین در نمودارهای تولید نیز دارای سهم مشارکت قابل توجهی است. به طور کیفی می‌توان نتیجه گرفت که شکستگی‌ها در این دو لایه بر تولید تأثیرگذار بوده و بهتر است که در مطالعات مخزنی این نتایج حتماً گنجانده شوند.

۷-۴ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

ورودی‌های لازم جهت مدل کردن شکستگی‌های طبیعی به روش تصادفی شبکه گسسته شکستگی با استفاده از اطلاعات موجود باید استخراج گردند. در این فصل با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی و نتایج تفسیر نمودارهای تصویری، ورودی‌های لازم با استفاده از آنالیز شکستگی‌ها استخراج گردید. از جمله این آنالیزها محاسبه شدت شکستگی‌ها، محاسبه دهانه شکستگی‌ها، آنالیز جهت‌گیری شکستگی‌ها، دسته‌بندی شکستگی‌ها و در نهایت محاسبه چگالی شکستگی‌ها است. از آنجایی که شکستگی‌ها دارای چندین جهت آزمون مختلف در تمامی چاه‌ها هستند به‌صورت شکستگی‌های پراکنده تفسیر گردیده‌اند. بر اساس آنالیز جهت‌گیری شکستگی‌ها در سه چاه مورد مطالعه، شکستگی‌ها به سه دسته شکستگی $N45$ ، $N50$ و $N127$ دسته‌بندی گردیدند. از چگالی شکستگی محاسبه شده جهت شناسایی بازه‌های شکستگی در هر یک از چاه‌ها و انطباق بین چاه‌ها استفاده گردیده است. همچنین تأثیر هر یک از رخساره‌ها بر ایجاد شکستگی‌ها نیز بررسی گردید و به طور کلی نتیجه‌گیری شد که با افزایش شیلی شدن، شکستگی‌ها نیز کاهش می‌یابند. به دلیل اهمیت شکستگی‌ها در جریان سیال به سمت چاه در این مطالعه ناحیه مورد مطالعه در چاه B به صورت شعاعی به اندازه سه سلول انتخاب گردید. در نهایت مدل‌های سه‌بعدی شکستگی‌ها در نرم افزار $FRACAFLOW$ با استفاده از روش تصادفی شبکه گسسته شکستگی‌ها ساخته شده است. این مدل‌های تصادفی براساس توزیع جهت‌گیری (مقدار میانگین و پراکندگی شیب و آزمون)، مقادیر چگالی شکستگی محاسبه شده، دهانه شکستگی‌ها و طول آنها ساخته شده‌اند. در نهایت از آنالیزهای دینامیکی جهت بررسی صحت آنالیزهای انجام گرفته و مدل‌های ساخته‌شده و همچنین انطباق در چاه‌ها و کل مخزن انجام گرفته است. مطابق نتایج بدست آمده به طور کلی سهم مشارکتی لایه‌هایی که دارای شکستگی هستند در تولید بیشتر بوده و به صورت کیفی می‌توان نتیجه گرفت که شکستگی‌ها در این لایه‌ها تا حدودی در تولید نقش دارند.

۵ فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری

- مخازن شکافدار طبیعی، مخازنی پیچیده و با هتروژنی بسیار زیاد می‌باشند. برای تعیین خصوصیات شکستگی‌ها منابع کافی در دسترس نمی‌باشند و منابع موجود نیز دارای مقیاس-های مختلف با محدوده تغییرات متفاوت می‌باشند. از نتایج تفسیر نمودارهای تصویری (*FMI*) جهت آنالیز شکستگی‌ها و استخراج ورودی‌های لازم جهت مدل‌سازی شکستگی‌ها در یکی از میادین کربناته جنوب ایران استفاده گردید.
- شیب میانگین برای تمامی شکستگی‌ها ۶۰ درجه می‌باشد. اما شکستگی‌های مورد مطالعه شکستگی‌هایی با شیب زیاد بوده و دارای محدوده تغییرات بین ۶۰ تا ۸۰ درجه هستند.
- در چاه A، شکستگی‌های باز دارای روند غالب *N35E* بوده و محدوده تغییرات شیب شکستگی‌ها بین ۴۰ تا ۸۰ درجه با شیب میانگین ۶۱ درجه می‌باشند.
- اطلاعات شکستگی‌های باز در چاه B، دارای جهت‌گیری غالب در امتداد *N34E* هستند. همچنین دو روند دیگر نیز مشاهده گردیده که در امتداد *N45E* و *N35E* می‌باشند. محدوده تغییرات شیب شکستگی‌ها بین ۴۵ تا ۷۵ درجه می‌باشد. و شیب غالب برابر با ۶۲ درجه می‌باشد.
- شکستگی‌های باز در چاه C دارای پراکندگی زیاد هستند. اما دو روند غالب در این چاه *N35E* و *N35W* می‌باشند. شیب شکستگی‌ها متغیر بین ۴۰ تا ۸۰ درجه بوده و شیب میانگین برابر

با ۶۵ درجه می باشد.

- در مطالعه انجام شده فقط یک گسل در چاه A در بازه ۳۱۷۹/۵-۳۱۷۹ متری شناسایی شده است که بر حسب نشانگرهایش به عنوان گسل محتمل می باشد.
- شدت شکستگی ها در هر سه چاه محاسبه گردیده است جدول (۵-۱). به طور کلی شدت شکستگی ها بسیار پایین می باشد.

جدول ۵-۱ شدت شکستگی محاسبه شده در چاه های مورد مطالعه

چاه مورد مطالعه	شدت شکستگی ($1/m$)
چاه A	۰/۲۲
چاه B	۰/۲۹
چاه C	۰/۰۶۴

- چگالی شکستگی محاسبه شده در تمامی چاه ها مقدار کمی است. بیشتر شکستگی های باز دارای اثر ناپیوستگی کمی بر روی تصاویر بوده و در نتیجه احتمال تأثیر شکستگی ها بر جریان سیال پایین می باشد. میانگین چگالی محاسبه شده در هر یک از چاه ها در جدول (۵-۲) آمده است. همچنین براساس انطباق چگالی محاسبه شده در چاه ها، لایه K4 دارای بیشترین تعداد شکستگی می باشد و عمده شکستگی ها در این لایه تمرکز یافته اند.

جدول ۲-۵ اطلاعات آماری چگالی شکستگی در چاه‌های مورد مطالعه

چاه	متوسط چگالی ($1/m$)	انحراف معیار چگالی ($1/m$)
A	۰/۵۱۴	۰/۴۱۷
B	۰/۶۱۴	۰/۵۱۹
C	۰/۴۴۵	۰/۳۴۷

- تأثیر رخساره‌ها بر تشکیل شکستگی‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس، چگالی شکستگی‌ها در هر یک از رخساره‌ها محاسبه شده است و رخساره‌های کربناته دارای بیشترین تأثیر بر ایجاد شکستگی‌ها هستند (جدول (۳-۵)).

جدول ۳-۵ اطلاعات آماری تأثیر رخساره‌ها در ایجاد شکستگی‌ها

رخساره	متوسط چگالی ($1/m$)	انحراف معیار چگالی ($1/m$)
سنگ آهک	۰/۶۲۹	۰/۵۱۶
دولومیت	۰/۴۵۷	۰/۳۶۴
انیدریت	۰/۱۲۴	۰
شیل	۰	۰

- براساس شباهت بین شیب و روند سیستم گسلش و شکستگی‌ها، احتمال دارد که در ناحیه مورد مطالعه شکستگی‌ها در ارتباط با سیستم گسلش باشند.

- براساس ارتباط بین شکستگی‌ها و روند لایه‌بندی، شکستگی‌های باز به دو نوع طولی و عرضی تقسیم شده‌اند. بخاطر اینکه شکستگی‌های عرضی دارای روند مایل نسبت به لایه‌بندی هستند در نتیجه ممکن است دارای نقش حیاتی در تولید گاز و آب باشند.
- از نتایج آزمایش‌های تولید جهت کالیبراسیون مدل و اعتبارسنجی آنالیزهای انجام‌شده استفاده گردیده است. بر اساس آنالیزهای دینامیکی انجام شده، لایه $k4$ دارای بالاترین سهم مشارکت در تولید بوده و لایه $k1$ در جایگاه بعدی مشارکت قرار دارد.
- با مقایسه نتایج آنالیز شکستگی‌ها و بدلیل حضور شکستگی‌ها عمدتاً در لایه‌های $k4$ و $k1$ با نتایج آنالیزهای دینامیکی که نشان‌دهنده سهم تولیدی بیشتر این لایه‌ها در تولید هستند، می‌توان نتیجه گرفت که شکستگی‌های طبیعی در این لایه‌ها مسیرهای تراوا برای جریان سیال به سمت چاه هستند.
- مدل‌های تصادفی شبکه گسسته شکستگی براساس توزیع جهت‌گیری (مقدار میانگین و پراکندگی شیب و آزمون‌ت)، مقادیر چگالی شکستگی محاسبه شده، دهانه شکستگی‌ها و طول آنها در چاه B ساخته شده است ($4-24$ ، $4-25$ و $4-26$). در این شکل‌ها جهت سهولت مشاهده شکستگی‌ها تنها شکستگی‌های قطع‌کننده چاه نمایش شده‌اند.
- همچنین مدل‌های تصادفی در ناحیه‌ی بین چاه‌ها نیز ساخته شده است ($4-29$ ، $4-30$ و $4-31$). در این شکل‌ها شکستگی‌ها بصورت بیضوی شکل در نظر گرفته شده‌اند.

۲-۵ پیشنهادات

- از آنجاییکه شکستگی‌های طبیعی دارای شیب با زاویه زیاد هستند از اینرو اگر حفاری چاه‌ها

به صورت انحرافی و افقی انجام گیرد، احتمالاً چگالی شکستگی افزایش یافته و چاه نیز بسیاری از شکستگی های عمودی و نزدیک به عمود را قطع نماید. از اینرو جهت ارزیابی تأثیر شکستگی ها بر پایداری چاه و تولید، پیشنهاد می شود که در چاه های انحرافی نمودارهای تصویری از جمله *FMI* رانده شوند.

- از آنجائیکه ادغام نتایج لاگ های تصویری و مغزه ها برای آنالیز شکستگی ها لازم و ضروری است، پیشنهاد می شود که مطالعات شکستگی بر روی مغزه ها انجام گیرد.
- بر این اساس که شکستگی ها در محدوده مورد مطالعه از نوع شیب زیاد می باشند، پیشنهاد می شود که مطالعات پایداری چاه برای چاه های افقی و چاه های با انحراف زیاد، انجام گیرد.
- از آنجائیکه چگالی شکستگی محاسبه شده در ناحیه مورد مطالعه، مقدار پایینی است، لذا برای ساختن مدل شبکه گسسته شکستگی توصیه می شود، از منابع بیشتری به طور همزمان استفاده شود.
- بدلیل اینکه، شکستگی ها بیشتر در لایه $K4$ تمرکز دارند، برای مطالعات گسترده تر و آنالیز شکستگی ها توصیه می گردد که مدل شبکه گسسته شکستگی منحصرأ در این لایه انجام پذیرد.
- برای کالیبره کردن و اعتبارسنجی مدل های ساخته شده، لازم است که این مدل ها به وسیله نتایج آنالیزهای دینامیکی کالیبره گردند. لذا پیشنهاد می شود برای ساخت مدل های قابل اعتماد و با دقت، از تمامی داده های دینامیکی استفاده گردد.

منابع

تمام منابعی که در متن این پایان نامه از آن نام برده شده است اگر سال انتشار میلادی داشته باشند در بخش منابع انگلیسی و اگر دارای سال انتشار هجری شمسی باشند در بخش منابع فارسی گردآوری شده- اند.

الف - منابع فارسی

- آذین ر، ۱۳۸۸، "آلودگی نفتی خلیج فارس"، انتشارات دانشگاه بوشهر، ۲۱۵ص.
- خان محمدی م، شرکتی ش، ۱۳۸۹، "تحلیل شکستگی‌ها در میدان گازی پارس جنوبی"،
ماهنامه "اکتشاف و تولید"، شماره ۷۷، صفحه ۴۳ تا ۴۹.
- محبی ع، شریفی م، شکیب م ص، قزوینی ا، (۱۳۹۰) "فناوری مطالعه و مدل‌سازی شکستگی‌ها در مخازن نفت و گاز (از زمین‌شناسی تا شبیه‌سازی مخزن)" **ماهنامه اکتشاف و تولید**، شماره ۸۳، صفحه ۲۰ تا ۲۶.
- ملایوسفی ا، باغبانان ع، فتحیان پور ن، (۱۳۹۰) "تعیین پارامترهای مدلسازی عددی شبکه درزه-های مجزا با استفاده از داده‌های لاگ تصویری *FMI*" **نشریه علمی-پژوهشی "مهندسی معدن"**، شماره ۱۱، دوره ۶، صفحه ۷۱ تا ۷۷.
- نجم آبادی س، ۱۳۷۲، "گزارش نهایی چاه شماره یک میدان X"، گزارش داخلی شرکت ملی نفت ایران.

- Aali J., Rahimpour-Bonab H., Kamali M.R., (2006). Geochemistry and origin of natural gas in world's largest non-associated gas field. **Journal of Petroleum Science and Engineering** 50, 163-175.
- Ahmadhadi F., Lacombe O. & Daniel J.M., (2007), Early Reactivation of Basement Faults in Central Zagros (SW Iran): Evidence from Pre-folding Fracture Patterns in Asmari Formation and Lower Tertiary Paleogeography, in Trust Belts and Foreland Basins, **Springer**, Chapter 11, Pages: 205-228.
- Adlet S. Jambayev, (2013), DISCRETE FRACTURE NETWORK MODELING FOR A CARBONATE RESERVOIR: Colorado School of Mines, MSc Thesis.
- Al-Husseini M.I., (2000), Origin of the Arabian Plate Structures; Amar Collision and najd Rift, **GeoArabia**, V.5, N.4, Pages: 527-541.
- Beda G., Carugo C., (2001), "Use of Mud Microloss Analysis While Drilling to Improve the Formation Evaluation in Fractured Reservoir", **SPE 71737**.
- Dershowitz W. S., (1984), "**Rock joint systems**": Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, Ph.D. Thesis.
- Dershowitz W. S., Einstein H.H., (1988), Characterizing Rock Joint Geometry with Joint System Models: **Rock Mechanics and Rock Engineering**, v. 21, p. 21-51.
- Dershowitz W.S., Schrauf T.S., (1987), "Discrete Fracture Flow Modeling With The Jinx Package", **American Rock Mechanics Association** 87-0433.
- Deutsch C.V. and Journel A.G. (1994) The Application of Simulated Annealing to Stochastic Reservoir Modeling. **SPE23565, Society of Petroleum Engineers Advanced Technology Series**, 2(2).

- Einstein H.H., Stephansson O., (2000), “*Fracture system, fracture propagation and coalescence*”: **An International Conference on Geotechnical and Geological Engineering.**
- Fracaflo user manual
- Glowka D.A., Schafer, Leoppke G.E., Scot, D.D., Wernig M.D. And Wright E.K. (1992) *Lost Circulation Technology Development Status. CONF/920378 Proceeding of Department of Energy Geothermal Program Review X, San Francisco, USA, pp.81-88.*
- Hoffman B. T., Narr W., Li L., (2009), *Using PLT data to estimate the size of natural fractures: Paper SPE 121293 presented at the SPE Western Regional Meeting, 24-26 March.*
- Konert G., Affifi A.M., Al-Hajiri S.A. & Droste H.J., (2001), *Paleozoic Stratigraphy and Hydrocarbon Habitat of the Arabian Plate, GeoArabia, V.6, N.3, Pages: 407-442.*
- Luthi S. and Souhaite P. (1990) *Fracture apertures from electrical borehole scans. SEG Technical Program Expanded Abstracts 1990: pp. 18-21.*
- Narr W., Schechter D. S., Thompson L. B., (2006), *Naturally fractured reservoir characterization: Society of Petroleum Engineers, p. 1.*
- Narr W., Tankersley T., King G., Camerlo R., Zhumagulova A., Skalinski M., Pan Y., (2010), *Reservoir modeling to characterize dual porosity, Tengiz field, Republic of Kazakhstan: Paper SPE 139836 presented at the SPE Caspian Carbonates Technology Conference, 8-10 November.*
- Nationl Research Council (1996), **Rock Fracture and Fluid Flow – Contemporary Understanding and Applications.** National Academy Press. Washington D.C., USA.
- Nelson R.A. (2001), “**Geological analysis of naturally fractured reservoirs**”, 2nd edition. Gulf Professional Publishing, U.S.A, 332 pages.
- Ogilvi, S.R., Wennberg O.P., Idling M., (2004), “**Geological evaluation of fractured hydrocarbon reservoirs: Guidelines**”, Statoil Internal Docs.

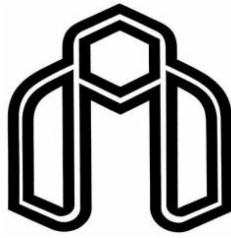
- Ozkaya S. I., (2003), *Fracture length estimation from borehole image logs: **Mathematical Geology***, v. 35, no. 6, p. 737-753.
- Schlumberger., (1998), “**Log Interpretation Principles/Applications**”, Seven Printing. March Sugar Land, Texas 77478.
- Schlumberger., (1992), “**Fullbore formation microimager**”, Schlumberger education services.
- Schlumberger., (2007), “**Carbonate Reservoirs**”, Schlumberger education services.
- Shamsnia E., Tamimi M., (2001), “**Analysis of Fullbore Formation Micro Imager (FMI)**” *Well A, Field X*.
- Serra O., (1989), “**Formation MicroScanner Image Interpretation**”, Schlumberger Education Services.
- Tavakkoli M., Mohammadsadeghi M., ShaheabadZ A., Khajoe S., Malakooti R., Safari Beidokhti M., (2009), “**Deterministic versus Stochastic Discrete Fracture Network (DFN) Modeling, Application in a Heterogeneous Naturally Fractured Reservoir**”, **SPE 127086**.
- Tran N.H., (2004), “**Characterization and Modeling Fractured Reservoir**”, *PhD Thesis in Petroleum Engineering, School of Petroleum Engineering, The University of New South Wales, Sydney, Australia*.
- Vincent H., Caumon G., (2009), “**Stochastic Propagation of Discrete Fracture Networks**”, **International Petroleum Technology Conference**, 14053.

Abstract

Natural fracture provides complex paths for fluid flow, and therefore affects reservoir characterization, reservoir performance and recovery factor. Studying and using fracture characteristics in reservoir is an important factor for optimizing reservoir performance. This study, addresses the issues of how to derive different information from various dynamic and static sources, analyzing these information and finally modeling natural fractures. Present study focused on one of the Iranian south carbonate reservoirs. This reservoir's petrology consists of limestone, dolomite, anhydrite, and shale facies in reservoir layers of Dalan and Kangan formations. In this thesis stochastic discrete fracture network simulation approach is used for deriving 3D fracture models. In order to extract inputs for DFN modeling using this method some necessary analyses of the fractures is required. These analyses include fracture intensity calculation in wells, fracture aperture calculation, fracture orientation analysis, classification of fractures in fracture sets and analysis of these sets orientation, calculating density log in each well, calculating fractures density in each rock facies and also studying the role of each facies on fracturing. The Fullbore formation microimager (FMI) interpretations of three wells A, B and C, have been used in this study. Wells A, B and C were logged over the intervals from 2812m to 3297m, 2731m to 3226m and 2836m to 3286m, respectively. Also, for dynamic analysis of natural fractures, the dynamic data of four wells, D, E, F and G, have been used. Computed fracture intensities in wells, A, B and C were 0.22 (1/m), 0.29 (1/m) and 0.064 (1/m), respectively. Fractures aperture in all wells is also computed and the mean aperture in wells A, B and C is equal to 0.02 (cm), 0.01 (cm) and 0.23 (cm), respectively. Generally, fractures in all wells show dispersion in their strike and dip. In well A, the open fractures dip at an average inclination of 60 degree. They exhibit a dominant strike trend of N35E. In well B, open fractures dip at an average inclination of 62 degree and they show dominant strike toward N20E. Open fractures in well C dip at an average inclination of 65 degree and the main strikes are N35E and N35W. In order to categorize fractures, the orientation of total fractures in three wells is analyzed simultaneously and fractures are categorized into three sets. Fracture density for each well was computed and equals to 0.417, 0.519 and 0.347 respectively to well A, B and C, and for each facies it was computed and its value for

limestone, dolomite, and anhydrite was 0.629, 0.457 and 0.127, respectively. And computed fracture density for shale was equal to zero. Dynamic analysis has been used for confirmation of fracture analyses. Based on dynamic analyses, the main contributor layers have more natural fractures. This result shows that fractures are distributed all over the reservoir especially in these layers. Finally, based on mean value of extracted information in each well and fracture set, 3D fracture models using discrete fracture network approach were built.

Key words: *naturally fractured reservoirs, discrete fracture network, fracture aperture, fracture density, fracture set*



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

Master of Science in petroleum Exploration Engineering

***Fracture modeling using discrete fracture network approach in
one of the Iranian south reservoirs***

Alamdar Faramarzi

Supervisors:

Dr B. Tokhmechi

Dr M. Ansari Jafari

September 2013