

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه نفت و ژئوفیزیک

بهبود مدل سازی DFN در چارچوب چینه نگاری سکانسی

نگارنده: پیروز خسروی وند

اساتید راهنما:

دکتر بهزاد تخم چی

دکتر مهرداد سلیمانی منفرد

پایان نامه ارشد برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته اکتشاف نفت

خرداد ۱۳۹۵

شماره: ۶۲۱/۹۵/۱۷۴۹
تاریخ: ۹۵/۴/۲۵
ویرایش:

بسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۷: صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

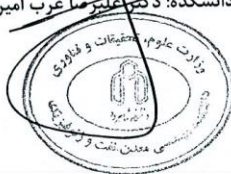
با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای پیروز خسروی‌وند به شماره دانشجویی ۹۳۰۷۰۸۴ رشته مهندسی نفت گرایش اکتشاف تحت عنوان بهبود مدل‌سازی *DFN* در چارچوب چینه‌نگاری سکانشی که در تاریخ ۱۳۹۵/۳/۳۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: بسیار خوب) امتیاز: ۱۸.۵ ☒ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

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

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاداراهنمای اول	دکتر بهزاد تخم‌چی	دانشیار	
۲- استاداراهنمای دوم	دکتر مهرداد سلیمانی منفرد	استادیار	
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر سوسن ابراهیمی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر مجید انصاری جمفری	استادیار	

رئیس دانشکده: دکتر علیرضا عرب امیری



تقدیم به

پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته‌ای که از خواسته‌های خویش گذشتند. سختی‌ها را به‌جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم.

و به:

خواهر و برادرانم

تقدیر و تشکر

سپاس بی‌پایان ایزد منان را که توفیق کسب علم را به بنده‌اش عنایت نمود. اینک به مدد الطاف بیکران او مقطعی از دوران تحصیلم به پایان می‌رسد. در اینجا لازم می‌دانم از زحمات اساتید ارجمند، آقایان دکتر بهزاد تخم‌چی و دکتر مهرداد سلیمانی منفرد که بدون همکاری ایشان این تحقیق میسر نبود، تشکر نمایم.

تعهد نامه

اینجانب **پیروز خسروی‌وند** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی نفت گرایش اکتشاف دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **بهبود مدل‌سازی DFN در چارچوب چینه‌نگاری سکانشی** تحت راهنمایی آقای دکتر بهزاد تخم‌چی و آقای دکتر مهرداد سلیمانی منفرد متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 می‌باشد 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 پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، 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: ۱۳۹۵/۰۴/۰۱

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

مدل سازی شبکه گسسته شکستگی ها (DFN)، نمایشی تصادفی از شبکه شکستگی های طبیعی است. تولید شبکه شکستگی ها توسط اطلاعات آماری حاصل از داده های اندازه گیری شده در یک میدان صورت می گیرد. در مدل DFN، مجموعه ای از شکستگی های منحصر به فرد بر اساس توصیفات تصادفی از خواص شکستگی ها مثل شدت شکستگی، جهت گیری و اندازه آن ها ساخته می شوند.

مطالعه حاضر بر روی هفت چاه مربوط به یکی از میادین هیدروکربوری کربناته جنوب غرب ایران و در دو مرحله کلی انجام شده است. در مرحله اول این مطالعه با استفاده از داده های شکستگی مربوط به چاه نمودارهای تصویری، شکستگی های میدان مورد مطالعه بررسی و مدل شبکه شکستگی های آن به روش DFN ساخته شده است؛ اما با توجه به کمبود داده های شکستگی مربوط به چاه نمودارهای تصویری و همچنین ماهیت پیچیده شکستگی ها، مدل های حاصل همواره با عدم قطعیت و هموارشدگی همراه هستند. در مرحله دوم این مطالعه، با استفاده از داده های چاه نمودارهای پرتو گاما سکانس ها و سیستم تراکت های میدان مورد مطالعه در چاه ها تعیین شده است. با آنالیز و بررسی داده های شکستگی چاه های مورد مطالعه و تخمین شدت شکستگی و نسبت زون شکسته شده به شکسته نشده ی سیستم تراکت های چاه ها به وسیله ی شبکه عصبی مصنوعی، نمودارهای شدت شکستگی جدیدی در محیط چاه ها ساخته شده است. سپس با استفاده از این نمودارها، مدل DFN جدیدی ساخته شده است. در واقع در این مرحله مدل DFN ساخته شده در مرحله ی قبل به سکانس های تعیین شده شرطی شده است.

از ضریب همبستگی به عنوان معیاری برای محاسبه بهبود مدل سازی به منظور کمی سازی نتایج و مقایسه دو مدل در هر چاه استفاده گردید. با محاسبه ضرایب همبستگی برای مدل های مرحله ی اول و دوم ملاحظه گردید که میزان ضریب همبستگی در مدل سازی مرحله ی دوم نسبت به مدل سازی

مرحله اول به ترتیب در چاه‌های B، C، D و E به مقدار ۰/۱۶، ۰/۴۷، ۰/۱۶ و ۰/۱۴ افزایش یافته و بنابراین مدل DFN مرحله اول بهبود یافته است.

کلمات کلیدی: شبکه گسسته شکستگی‌ها، چاه‌نمودارهای تصویری، شدت شکستگی، شبکه عصبی مصنوعی، شبکه شکستگی

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ اهمیت شناسایی شبکه شکستگی ها	۳
۱-۲-۱ اهمیت مدل های شبکه گسسته شکستگی ها	۳
۳-۱ مروری بر مدل سازی های شبکه شکستگی ها	۴
۱-۳-۱ مدل سازی شبکه گسسته شکستگی	۵
۴-۱ رویکرد این پایان نامه در مدل سازی شکستگی ها	۱۰
۶-۱ ساختار پایان نامه	۱۱

فصل دوم: شکستگی ها و چینه نگاری سکانسی

۱-۲ مقدمه	۱۴
۲-۲ شکستگی ها	۱۴
۱-۲-۲ تعریف شکستگی	۱۴
۲-۲-۲ دسته بندی شکستگی ها	۱۵
۱-۲-۲-۲ شکستگی های رسانا	۱۶
۲-۲-۲-۲ شکستگی های مقاوم	۱۷
۳-۲-۲-۲ شکستگی های القایی حفاری	۱۷
۴-۲-۲-۲ شکستگی های ریزش دیواره چاه	۱۸
۳-۲-۲ اهمیت شکستگی ها	۱۸
۳-۲ ارتباط بین چینه شناسی و شکستگی ها	۲۰
۴-۲ چینه نگاری سکانسی	۲۲
۱-۴-۲ سکانس و مفاهیم وابسته	۲۲
۵-۲ هم زمانی جهانی نوسان های سطح آب دریا	۲۵
۶-۲ رده بندی سکانس ها	۲۵

فصل سوم: روش شناسی تحقیق

۱-۳ مقدمه	۳۰
-----------	----

- ۳-۲ انواع روش‌های مدل‌سازی جریان در توده‌سنگ ۳۰
- ۳-۲-۱ مدل‌های تخلخل دوگانه ۳۱
- ۳-۲-۲ مدل‌های پیوسته ۳۱
- ۳-۲-۳ مدل‌های جریان در ناپیوستگی مجزا ۳۲
- ۳-۳ مفهوم شبکه گسسته شکستگی ۳۴
- ۳-۳-۱ موقعیت قرارگیری شکستگی‌ها ۳۵
- ۳-۳-۲ جهت‌گیری شکستگی‌ها ۳۵
- ۳-۳-۳ طول خط اثر شکستگی‌ها ۳۶
- ۳-۳-۴ بازشدگی شکستگی‌ها ۳۶
- ۳-۴ ساخت مدل‌های DFN ۳۷
- ۳-۴-۱ شبکه شکستگی اولیه ۳۸
- ۳-۴-۲ شبکه شکستگی شبکه شکستگی کانالی ۳۸
- ۳-۴-۳ مدل‌سازی شبکه گسسته شکستگی قطعی بر حسب تصادفی ۳۹
- ۳-۴-۴ مزایا و معایب استفاده از روش شبکه گسسته شکستگی ۴۰
- ۳-۵ روش‌شناسی مورد استفاده در مطالعه مخازن شکافدار ۴۱
- ۳-۶ نگار انحراف معیار گاما ابزاری جدید جهت جدایش واحدهای سکانشی در توالی‌های کربناته ۴۲
- ۳-۷ شبکه‌های عصبی مصنوعی ۴۴
- ۳-۷-۱ ساختار شبکه‌های عصبی ۴۵
- ۳-۷-۲ مدل ریاضی یک نرون در شبکه عصبی مصنوعی ۴۷
- ۳-۷-۲-۱ تابع ترکیب ۴۷
- ۳-۷-۲-۲ تابع تحریک ۴۷
- ۳-۷-۳ الگوریتم یادگیری ۴۸
- ۳-۷-۳-۱ الگوریتم یادگیری نظارتی ۴۸
- ۳-۷-۳-۲ الگوریتم یادگیری تقویت‌شده یا تشدید ۵۰
- ۳-۷-۴ انتخاب داده‌های آموزشی ۵۱
- ۳-۷-۵ معیارهای پایان آموزش شبکه ۵۲

فصل چهارم: مدل‌سازی شبکه گسسته شکستگی‌ها

- ۴-۱ مقدمه ۵۴
- ۴-۲ حوضه رسوبی زاگرس ۵۴
- ۴-۲-۱ سیستم‌های نفتی زاگرس ۵۵
- ۴-۲-۱-۱ سیستم نفتی فروافتادگی دزفول ۵۵
- ۴-۳ موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه ۵۶

۵۷.....	۱-۳-۴ سازند آسماری
۵۸.....	۲-۳-۴ سازند گچساران
۵۹.....	۳-۳-۴ زون بندی مخزن آسماری میدان مورد مطالعه
۶۰.....	۴-۴ داده های استفاده شده در مدل سازی شکستگی های میدان مورد مطالعه
۶۱.....	۱-۴-۴ چاه نمودارهای تصویری
۶۲.....	۲-۴-۴ چاه نمودارهای پرتو گاما
۶۲.....	۵-۴ ساخت مدل شبکه گسسته شکستگی
۶۳.....	۱-۵-۴ ساخت مدل زمین شناسی مخزن
۶۴.....	۲-۵-۴ توزیع شکستگی ها در میدان مورد مطالعه
۶۴.....	۱-۲-۵-۴ ایجاد دسته های شکستگی
۶۶.....	۲-۲-۵-۴ ساخت نمودار شدت شکستگی
۶۷.....	۳-۲-۵-۴ بزرگ مقیاس کردن نمودار شدت شکستگی
۷۰.....	۴-۲-۵-۴ آنالیز داده های بزرگ مقیاس شده
۷۰.....	۵-۲-۵-۴ ساخت نقشه چگالی شکستگی ها
۷۱.....	۳-۵-۴ آنالیز پارامترهای مورد نیاز برای ساخت DFN
۷۲.....	۱-۳-۵-۴ آنالیز توزیع شکستگی ها
۷۲.....	۲-۳-۵-۴ آنالیز هندسه شکستگی ها
۷۳.....	۳-۳-۵-۴ آنالیز بازشدگی شکستگی
۷۳.....	۴-۳-۵-۴ آنالیز جهت گیری شکستگی ها
۷۷.....	۶-۴ فرآیند شرطی سازی DFN به سکانس های تعیین شده در میدان مورد مطالعه
۷۷.....	۱-۶-۴ تعیین سکانس ها و سیستم تراکت ها در چاه های مورد مطالعه
	۲-۶-۴ آنالیز و تعیین شدت شکستگی و نسبت زون های شکسته شده به شکسته نشده در سیستم تراکت های چاه های
۸۳.....	مورد مطالعه
	۳-۶-۴ تخمین شدت شکستگی و نسبت زون شکسته شده به شکسته نشده در سیستم تراکت های چاه های مورد مطالعه
۸۵.....	
	۴-۶-۴ ارائه الگوی مناسب جهت ساخت نمودار شدت شکستگی جدید و تعمیم این نمودارها به کل مخزن و ساخت
۸۸.....	مدل DFN اصلاح شده
۹۳.....	۷-۴ اعتبارسنجی مدل های ساخته شده

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۰۰.....	۱-۵ نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۳.....	منابع

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ الف) مدل دیسکی بیچر ب) مدل ونزیانو ج) مدل درشوویتز [۷].....	۷
شکل ۲-۱ نمایش انواع شکستگی‌ها در چاه‌نمودارهای تصویری [۱۰].....	۱۶
شکل ۲-۲ نمایش ارتباط رده‌های مختلف سکانس بر اساس زمان گسترش سکانس‌ها [۱۶].....	۲۸
شکل ۳-۱ انواع روش‌های مدل‌سازی جریان سیال در توده سنگ شکسته‌شده. الف) مدل پیوسته ب) مدل تخلخل دوگانه ج) مدل ناپیوستگی مجزا [۶].....	۳۲
شکل ۳-۲ نمایش فرآیند یادگیری نظارتی [۳۴].....	۴۸
شکل ۴-۱ نمایش موقعیت چاه‌ها بر روی نقشه خطوط تراز زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه (سازند آسماری).....	۶۰
شکل ۴-۲ نمایش پاسخ چاه‌نمودار <i>FMI</i> در مقابل شکستگی‌ها [۳۸].....	۶۲
شکل ۴-۳ نمایش پراکندگی شکستگی‌ها در چاه‌های میدان مورد مطالعه.....	۶۵
شکل ۴-۴ نمایش دسته‌های شکستگی مربوط به منطقه مورد مطالعه.....	۶۵
شکل ۴-۵ نمودار شدت شکستگی چاه‌های مورد مطالعه.....	۶۷
شکل ۴-۶ نمایش نمودار شدت شکستگی و نمودار شدت شکستگی بزرگ‌مقیاس شده چاه <i>B</i>	۶۹
شکل ۴-۷ نمایش نقشه پراکندگی شکستگی‌ها در بین چاه‌های مورد مطالعه.....	۷۱
شکل ۴-۸ نمایش مدل شبکه گسسته شکستگی میدان مورد مطالعه.....	۷۴
شکل ۴-۹ نمایش نمودارهای شدت شکستگی مدل‌سازی شده در مقایسه با نمودارهای شدت شکستگی واقعی چاه‌های <i>C</i> و <i>D</i>	۷۶
شکل ۴-۱۰ نمایش سکانس‌های تعیین شده در چاه‌های <i>A</i> و <i>B</i>	۷۹
شکل ۴-۱۱ نمایش سکانس‌های تعیین شده در چاه‌های <i>C</i> و <i>D</i>	۸۰
شکل ۴-۱۲ نمایش سکانس‌های تعیین شده در چاه‌های <i>E</i> و <i>F</i>	۸۱
شکل ۴-۱۳ نمایش سکانس‌های تعیین شده در چاه <i>G</i>	۸۲
شکل ۴-۱۴ نمایش میانگین مقادیر شدت شکستگی در سیستم‌تراکت‌های چاه‌های مورد مطالعه.....	۸۳
شکل ۴-۱۵ نمایش میانگین نسبت زون شکسته‌شده به زون شکسته‌نشده در سیستم‌تراکت‌های چاه‌های مورد مطالعه.....	۸۴
شکل ۴-۱۶ نمایش ضرایب همبستگی محاسبه شده طی آموزش شبکه عصبی برای تخمین مقادیر شدت شکستگی در چاه <i>C</i>	۸۵
شکل ۴-۱۷ نمایش نمودار عملکرد شبکه آموزش داده شده برای تخمین شدت شکستگی در چاه <i>C</i>	۸۶
شکل ۴-۱۸ نمایش نمودارهای شدت شکستگی‌های واقعی چاه، شدت شکستگی مدل <i>DFN</i> اولیه و مدل <i>DFN</i> اصلاح شده (چاه‌های <i>B</i> و <i>C</i>).....	۹۱
شکل ۴-۱۹ نمایش نمودارهای شدت شکستگی‌های واقعی چاه، شدت شکستگی مدل <i>DFN</i> اولیه و مدل <i>DFN</i> اصلاح شده (چاه‌های <i>D</i> و <i>E</i>).....	۹۲
شکل ۴-۲۰ نمایش میزان بهبود مدل ۲ نسبت به مدل ۱ بر اساس ضریب همبستگی (چاه <i>B</i>).....	۹۴
شکل ۴-۲۱ نمایش میزان بهبود مدل ۲ نسبت به مدل ۱ بر اساس ضریب همبستگی (چاه <i>C</i>).....	۹۵
شکل ۴-۲۲ نمایش میزان بهبود مدل ۲ نسبت به مدل ۱ بر اساس ضریب همبستگی (چاه <i>E</i>).....	۹۶
شکل ۴-۲۳ نمایش میزان بهبود مدل ۲ نسبت به مدل ۱ بر اساس ضریب همبستگی (چاه <i>D</i>).....	۹۶

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲ رده‌بندی‌های متعدد ارائه شده برای سکانس‌ها بر اساس مدت زمان گسترش آن‌ها [۱۶].....	۲۷
جدول ۱-۴ پارامترهای واریوگرام برازش شده به داده‌ها.....	۷۰
جدول ۲-۴ آنالیز جهت‌گیری شکستگی‌های میدان مورد مطالعه.....	۷۴
جدول ۳-۴ نتایج تخمین میانگین شدت شکستگی در سیستم‌تراکت‌های چاه‌های مورد مطالعه به‌وسیله‌ی شبکه عصبی.....	۸۷
جدول ۴-۴ نتایج تخمین میانگین نسبت زون شکسته‌شده به زون شکسته‌نشده سیستم‌تراکت‌های چاه‌های مورد مطالعه به‌وسیله شبکه عصبی.....	۸۷
جدول ۵-۴ متراژ زون شکسته‌شده‌ی سیستم‌تراکت‌های چاه‌های مورد مطالعه.....	۸۸
جدول ۶-۴ محاسبه بیشترین تعداد شکستگی در ۱/۳ بالایی، میانی و پایینی سیستم‌تراکت‌های چاه‌های مورد مطالعه.....	۸۹

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

در اکتشاف نفت، شکستگی‌ها بر روی جریان سیال تأثیر بسیار زیادی دارند، لذا یکی از مهم‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی هستند؛ بنابراین شناسایی و توصیف شکستگی‌ها یک گام مؤثر در توصیف مخازن شکسته‌شده خواهد بود و همچنین مدل‌سازی آن‌ها بسیار با اهمیت است. به‌طور کلی تعیین تراکم شکستگی‌ها، امتداد و جهت شیب آن‌ها، میزان بازشدگی، فاصله شکستگی‌ها از یکدیگر، باز و بسته بودن آن‌ها و درنهایت ارائه الگویی مناسب از شکستگی‌های مخازن، کمک فراوانی به برنامه‌ریزی‌های توسعه و تولید میادین هیدروکربوری و بهینه‌سازی عملیات حفاری می‌کند. از طرفی شناخت بخش‌های مخزنی و غیرمخزنی سازندهای حفاری‌شده و تفکیک و شناسایی بخش‌های دارای تراکم شکستگی بالا، یکی از مراحل کلیدی در حفاری و بهره‌برداری از میادین نفتی شمرده می‌شود.

امروزه نمودارهای تصویری یکی از بهترین ابزار برای شناسایی شکستگی‌ها در مخازن هیدروکربوری می‌باشند. اگر نمودارهای تصویری در دسترس نباشد از روش‌های دیگر مانند چاه‌آزمایی، تاریخچه هرزروی گل حفاری، توصیف مغزه‌ها و نمودارهای پتروفیزیکی برای شناسایی شکستگی‌ها استفاده می‌شود. هدف از انجام این پایان‌نامه، مدل‌سازی شکستگی‌های مخازن کربناته با استفاده از روش مدل‌سازی^۱ DFN در یک بلوک سنگی و همچنین مدل‌سازی شکستگی‌ها با استفاده از روش مدل‌سازی DFN در چارچوب چینه‌نگاری سکansı در همان بلوک، به‌منظور بهبود مدل‌سازی (در مقیاس‌های کوچک‌تر همانند مدل‌سازی شکستگی‌ها در واحدهای چینه‌ای) می‌باشد.

^۱ Discrete Fracture Network

۱-۲ 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 زمینه پایین بوده لذا شکستگی‌ها اصلی‌ترین محیط انتقال سیال به حساب می‌آیند. به‌طور کلی، هیدروکربورها عمدتاً در تخلخل زمینه 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 [۱].

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 [۲]. برای مثال، هرزروی گل یکی از مشکلات هزینه‌آور در حفاری مناطق شکسته‌شده 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 [۳].

به‌طور 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 [۱].

۱-۲-۱ اهمیت مدل‌های شبکه گسسته شکستگی‌ها

مدل‌های تصادفی شبکه گسسته شکستگی^۲ به عنوان جزئی از توصیف و شبیه‌سازی مخزن، برای انواع کاربردهای مخزنی ضروری می‌باشند.

^۲ Stochastic Discrete Fracture Network Modeling

یکی از اهداف مدل‌سازی 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. شکستگی‌های با خصوصیات مختلف (اندازه، جهت و درجه اتصال) تأثیر متفاوتی بر جریان سیال مخزن دارند. به‌طوری 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 [۱]. به‌عنوان مثال، شکستگی‌های تقریباً موازی به یکدیگر متصل نبوده و لذا یک شبکه به‌هم‌پیوسته برای جریان سیال را تشکیل نمی‌دهند. در چنین مواردی، جهت افزایش بازده تولید گمانه‌های حفاری برای قطع کردن شکستگی‌ها به‌صورت جهت‌دار باید حفر گردند [۲].

۳-۱ مروری بر مدل‌سازی‌های شبکه شکستگی‌ها

یکی از خصوصیات بارز شکستگی‌ها متفاوت بودن شیب و جهت شیب و بازشدگی آن‌ها در هر قسمت از زمین است. علاوه بر این، منابع شکستگی باید تفکیک شده و دامنه مطالعه و بررسی آن‌ها مورد نظر قرار گرفته است؛ زیرا به‌تنهایی قادر به فراهم کردن همه اطلاعات مورد نیاز برای توصیف مخازن شکاف‌دار طبیعی نیستند. بنابراین برای به تصویر کشیدن ویژگی‌های چندجانبه شکستگی‌های طبیعی، روشی مورد نیاز است که قادر به ادغام کلیه منابع موجود مثل اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، پتروفیزیکی و حفاری باشد [۴].

با وجود ارائه مدل‌های متفاوت در زمینه مطالعه شکستگی‌ها در مخازن شکاف‌دار، هنوز هم بحث‌های چالش برانگیزی در پیش‌بینی جریان سیال از طریق شکستگی‌ها مطرح است. روش‌های متفاوتی برای تعیین خصوصیات مخازن شکسته‌شده طبیعی و شبیه‌سازی جریان سیال وجود دارند که به سه دسته مدل‌های پیوسته هم‌ارز، مدل گسسته و مدل‌های ادغامی تقسیم می‌گردند. در مدل‌های

پیوسته، منطقه مورد مطالعه به بلوک‌های مختلف شبکه‌بندی شده تقسیم می‌شود. شکستگی‌ها به صورت مستقل عمل نمی‌کنند و خصوصیات آن‌ها در هر بلوک به طور میانگین مشخص می‌شوند؛ اما در مدل‌های گسسته، شکستگی‌ها به صورت مستقل و باتوجه به خصوصیات‌شان شبیه‌سازی می‌شوند. از سوی دیگر مدل‌های ادغامی پیشرفته‌تری برای شبیه‌سازی مخازن ناهمگن شکاف‌دار وجود دارد. این روش‌ها، رویکردهای قطعی و تصادفی را باهم ترکیب می‌کنند و در هر دو مدل پیوسته و گسسته وجود دارند [۵].

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.

۱-۳-۱ مدل‌سازی شبکه گسسته شکستگی

مدل‌های شبکه گسسته شکستگی در اواخر دهه ۱۹۸۰ به دلیل نیاز به تحقیقات در زمینه جریان سیال در مخازن زباله‌های هسته‌ای گسترش یافتند؛ که منجر به ظهور مدل‌های شکستگی تصادفی^۳ گردید. این مدل‌ها همچنین کاربردهایی در مهندسی معدن داشته و مدل‌های اولیه از شبکه شکستگی به صورت قطعی^۴ به عنوان گروهی از شکستگی‌های از پیش تعریف شده خواهند بود. این مدل‌های شبکه شکستگی به دلیل ثابت بودن شکستگی‌ها که در بلوک‌های یکسان جدا شده بوده‌اند، مدل‌های ساده‌ای بوده‌اند. اما بعد از آزمایش و بررسی نمونه‌های رخنمون مشخص شد که شکستگی‌ها به این شیوه ظاهر نمی‌گردند و مدل‌های تصادفی پیشنهاد گردیدند.

³ Stochastic Fracture Models

⁴ 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 و مدل‌های مختلفی ارائه گردیده است [۶]:

الف) مدل دیسکی^۵

در این مدل شکستگی‌ها به صورت دیسکی بوده و جهت‌گیری آن‌ها توسط قطر مشخص شده و پراکندگی آن‌ها به صورت تصادفی و با توزیع پواسون^۶ در فضا می‌باشد شکل (۱-۱).

ب) مدل چندضلعی ونزیانو^۷

در این مدل، شکستگی‌های چندضلعی به وسیله فرآیندی تصادفی (پواسون) از خطوط بر صفحات تعریف می‌شوند. توزیع جهت‌گیری این صفحات به صورت دلخواه انجام می‌گیرد. چندضلعی‌های در هر صفحه مستقل از یکدیگر بوده و بنابراین هیچ امکانی برای تعیین محل خاتمه شکستگی‌ها^۸ در محل تقاطع وجود ندارد شکل (۱-۱).

ج) مدل درشوویتز^۹

در این مدل، شکستگی‌های چندوجهی بر روی صفحات شکستگی‌ها تعریف می‌شوند. این کار توسط فرآیندی از خطوط پواسون^{۱۰} که نتیجه تقاطع صفحات شکستگی است انجام می‌گیرد. این مدل قادر است محل خاتمه شکستگی در تقاطع شکستگی‌ها یا سنگ بکر را مدل نموده و اما لازمه‌ی آن تعریف اندازه و محل خاتمه آن به طور غیر مستقیم از شدت صفحات شکستگی است شکل (۱-۱).

^۵ The disk model

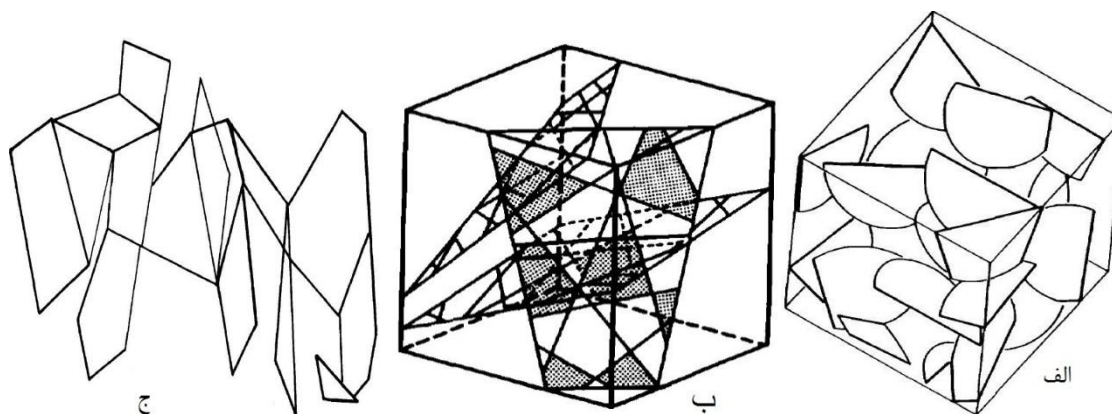
^۶ Poisson Distribution

^۷ The Veneziano polygon model

^۸ Fracture Termination

^۹ The Dershowitz Fracture Model

^{۱۰} Poisson lines



شکل ۱-۱ الف) مدل دیسکی بیچر ب) مدل ونزیانو ج) مدل درشوویتز [۷]

کوئنز^{۱۱} و همکاران (۲۰۰۰) روش جدیدی که در آن از ترکیب مدل‌سازی شبکه گسسته و پیوسته شکستگی استفاده شده است را توسعه داده‌اند. 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. از ابزارهای هوش مصنوعی برای انطباق بین خصوصیات زمین‌شناسی و شدت شکستگی استفاده شده است. مدل‌های گسسته شکستگی بازتاب‌دهنده شرایط زمین‌شناسی منعکس‌شده در مدل‌های پیوسته و همچنین نشان‌دهنده مشخصات شکستگی مشاهده‌شده می‌باشند [۱].

ترن^{۱۲} و همکاران (۲۰۰۴)، روش‌شناسی جدیدی را برای مدل‌سازی شبکه شکستگی ارائه داده‌اند. این روش ویژگی‌های زمین‌شناسی، روش‌های آماری و هوش مصنوعی در یک حلقه تودرتو^{۱۳} را یک‌پارچه نموده و برای توصیف شبکه‌های شکستگی و شبیه‌سازی آن‌ها به کار می‌رود. از شبکه عصبی برای به‌دست‌آوردن رابطه پارامترهای اولیه و ثانویه شکستگی از داده‌های لاگ تصویری و مغزه استفاده شده است [۱].

^{۱۱} Quenes

^{۱۲} Tran

^{۱۳} Nested Loop

ترن و همکاران (۲۰۰۳)، روش‌شناسی دیگری را نیز برای مدل‌سازی شبکه شکستگی با استفاده از مدل‌سازی شیء‌گرا^{۱۴} و بهینه‌سازی جهانی^{۱۵} را ارائه داده‌اند. در ابتدا، به عنوان مدل شیء‌گرا 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 جابه‌جایی، چرخش، رشد، کوتاه شدگی، تکرار یا حذف به‌عنوان رفتار در فضا دارند. مدل شبکه گسسته شکستگی (DFN)، به‌صورت مخلوطی از تعداد کل شکستگی‌ها، تک‌شکستگی و خواص آن‌ها تعریف می‌شود. از طرفی، مدل شبکه و هندسه آن و مدل رفتار نیز لحاظ می‌شود [۱].

درشویتز^{۱۶} (۲۰۰۷)، روش شبکه گسسته شکستگی را برای مخزن کربناته توسعه داده است. در این کار روش‌های شناسایی خصوصیات شکستگی‌های موجود در لایه و مرز لایه، تطابق بین شدت شکستگی و ضخامت لایه‌بندی توسعه داده شده است [۷].

گوایکوریان^{۱۷} و همکاران (۲۰۰۷)، از روش شبکه گسسته شکستگی برای مدل‌سازی شکستگی‌های میدان اوروکوآل^{۱۸} در سازند سن خووآن^{۱۹} واقع در ونزوئلا^{۲۰} 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 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 [۷].

^{۱۴} Object Base Modeling

^{۱۵} Global Optimization

^{۱۶} Dershowitz

^{۱۷} Guaiquirian

^{۱۸} Orocuall Field

^{۱۹} San Juan Formation

^{۲۰} Venezuela

لازم به ذکر است که توصیف شکستگی‌های طبیعی فرآیند پیچیده‌ای است که به شرایط زمین‌شناسی و توسعه مخزن بستگی دارد. محیط رسوبی نیز هم نقش مهمی در تولید شکستگی‌های 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^{۲۱} اولین اشخاصی بودند که یک مدل دو مرحله‌ای که شامل ارتباط دسته شکستگی‌های تولید شده بود را ارائه داده‌اند [۸]. در سال ۱۹۹۰ گروه مکانیک سنگ مؤسسه تکنولوژی ماساچوست^{۲۲} مدلی را ارائه دادند که در آن شکستگی‌ها با الگوی سلسله مراتبی^{۲۳} ساخته می‌شد. این مدل شکستگی‌های دو بعدی واقعی‌تری را تولید می‌کرد. بعدها این مدل در MIT در سال ۱۹۹۸ توسط ایوانووا^{۲۴} و در سال ۱۹۹۹ توسط میر^{۲۵} با ساخت مدل‌های سه‌بعدی که نسبتاً قوی و منعطف بودند، توسعه پیدا کرد.

صحراگرد و همکاران (۱۳۹۲) روشی جدید برای بهبود مدل‌سازی DFN ارائه کردند. در این روش با استفاده از چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی، زون‌های شکسته‌شده شده را در چاه‌های فاقد چاه‌نمودار تصویری تعیین کرده و سپس با ساخت نمودار شدت شکستگی حاصل از تفسیر زون‌های شکسته‌شده، مدل DFN را بهبود بخشیدند [۹].

^{۲۱} Conrad and Jacquin

^{۲۲} Massachusetts Institute of Technology (MIT)

^{۲۳} Hierarchical pattern

^{۲۴} Ivanova

^{۲۵} Meyer

۴-۱ رویکرد این پایان نامه در مدل سازی شکستگی ها

در مخازن کربناته پارامترهای پتروفیزیکی تابع رخساره‌ی اولیه و دیاژنز است. طبق قواعد پذیرفته شده چینه‌نگاری سکansı، مجموعه رسوبات تشکیل شده در یک سکانس و سیستم تراکت‌های آن دارای ارتباط زایشی بوده و از طرفی دیاژنز اولیه رسوبات که وابسته به وضعیت آب دریا است بر رسوبات هر سیستم تراکت تا حدودی مشابه اثر می‌گذارد. بنابراین با تشخیص و تفکیک سکانس‌ها و سیستم تراکت‌ها؛ مخزن کربناته ناهمگن به واحدهایی نسبتاً همگن‌تر تقسیم می‌شود.

بهترین ابزار برای تشخیص سکانس و واحدهای وابسته، داده‌های لرزه‌ای است. اما مطالعه مغزه و برخی از نمودارهای چاه نیز می‌تواند باعث تفکیک این واحدها شود. ابتدا با استفاده از روش‌های بازشناخت الگو و دسته‌بندی نمودارهای چاه‌پیمایی، سکانس‌ها^{۲۶} و سیستم‌تراکت‌ها^{۲۷} در چاه‌ها را تعیین می‌کنیم. با توجه به تغییرات زیاد رسوبات هر سیستم‌تراکت نسبت به سیستم‌تراکت مجاور روش‌های دسته‌بندی برای تعیین این واحدها می‌تواند مؤثرتر و توانمندتر از تعیین رخساره‌های الکتریکی و ارتباط دادن آن‌ها به رخساره‌های زمین‌شناسی باشد. در مطالعات پیشین از نمودار گاما برای این منظور استفاده شده است. با در دست داشتن داده‌های چاه نمودارهای تصویری از چند چاه، ابتدا با استفاده از روش مدل‌سازی DFN شکستگی‌ها را در منطقه‌ی مورد مطالعه مدل می‌کنیم؛ سپس نتایج حاصل از مدل‌سازی را در سکانس‌ها و واحدهای سکانسی بررسی می‌کنیم. پس از آن به تحلیل نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده بر روی مدل‌سازی، در حالت کلی (بدون در نظر گرفتن سکانس‌ها و سیستم‌تراکت‌ها) و در حالتی که سکانس‌ها و سیستم‌تراکت‌ها را تعیین کرده‌ایم می‌پردازیم.

^{۲۶} Sequences

^{۲۷} Systemtracts

۱-۶ ساختار پایان نامه

مطالب ارائه شده در این پایان نامه به شرح زیر است:

در فصل اول، انواع روش‌های مدل‌سازی مخازن شکافدار معرفی شده است. در فصل دوم، به تعاریف کلیاتی در مورد شکستگی و چینه‌نگاری سکانسی پرداخته می‌شود. در فصل سوم، روش تحقیق و ابزارهای به کار گرفته شده در این مطالعه معرفی می‌شوند. در فصل چهارم، به تفسیر ساخت مدل شبکه گسسته شکستگی و توصیف روش به کار گرفته شده در هر مرحله و با استفاده از داده‌های چاه‌نمودارهای تصویری پرداخته می‌شود؛ در ادامه با شرطی‌سازی مدل DFN ساخته شده به سکانس‌های تعیین شده در چاه‌ها مدل جدیدی ساخته می‌شود و به مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی‌ها پرداخته می‌شود و در فصل پنجم پیشنهادات و نتیجه‌گیری‌های حاصل از این مطالعه بیان خواهد شد.

فصل دوم

شکستگی‌ها و چین‌نگاری سکانسی

۲-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا به کلیاتی درمورد شکستگی‌ها (تعریف شکستگی، دسته‌بندی شکستگی‌ها، اهمیت شناخت شکستگی‌ها از نظر علوم مختلف و به‌خصوص زمین‌شناسی و مهندسی نفت) اشاره می‌شود، سپس به صورت خلاصه ارتباط بین چینه‌شناسی و شکستگی‌ها بیان می‌شود و در نهایت هم به تعاریف کلی درمورد چینه‌نگاری سکانسی اشاره می‌شود.

۲-۲ شکستگی‌ها

در این بخش مباحثی کلی درمورد شکستگی‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲-۲-۱ تعریف شکستگی

واژه شکستگی^{۲۸} در زمین‌شناسی به‌صورت‌های مختلفی تعریف می‌گردد. به‌طورکلی شکستگی‌ها، ترک‌هایی هستند که در امتداد آن‌ها چسبندگی ذرات سنگ وجود ندارد و ممکن است به‌عنوان سطوح جدایش به‌شمار آیند. بنابر تعریف نلسون^{۲۹} (۲۰۰۱)، شکستگی‌ها عبارتند از بریدگی‌های صفحه‌ای در ابعاد بزرگ که در اثر تغییر شکل یا دیاژنز فیزیکی در سنگ‌ها به‌وجود می‌آیند. شکستگی‌ها در ابتدا باز بوده ولی در ادامه ممکن است در اثر عوامل مختلف توسط کانی‌ها پر شوند و به‌همین علت در جریان سیالات تعدیل به‌وجود می‌آورند [۱۰].

^{۲۸} Fracture

^{۲۹} Nelson

۲-۲-۲ دسته‌بندی شکستگی‌ها

طبقه‌بندی‌های متفاوتی برای شکستگی‌ها وجود دارد. مانند طبقه‌بندی آزمایشگاهی^{۳۰} (برشی^{۳۱}، توسعه‌ای^{۳۲} و کششی^{۳۳}) و طبقه‌بندی تکتونیکی^{۳۴} (شکستگی‌های وابسته به گسل^{۳۵} و وابسته به چین‌خوردگی^{۳۶}) [۱۰]. به دلیل این که در این تحقیق از شکستگی‌های به دست آمده از چاه‌نمودارهای تصویری استفاده شده در نتیجه از طبقه‌بندی شکستگی بر مبنای مورفولوژی^{۳۷} و منشأ شکستگی استفاده شده است.

شکستگی‌های چاه‌نمودارهای تصویری به گروه‌های زیر طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۲-۱):

الف. شکستگی طبیعی

- شکستگی باز (شکستگی باز پیوسته، شکستگی محتمل باز و شکستگی باز

متفرقه)

- شکستگی بسته

ب. شکستگی القایی حفاری

ج. شکستگی ریزش دیواره

^{۳۰} Laboratory Classification

^{۳۱} Shear

^{۳۲} Extension

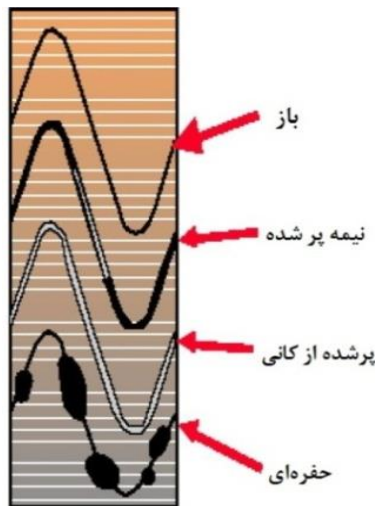
^{۳۳} Tension

^{۳۴} Tectonic Classification

^{۳۵} Fault Related

^{۳۶} Fold Related

^{۳۷} Morphology



شکل ۲-۱ نمایش انواع شکستگی‌ها در چاه‌نمودارهای تصویری [۱۰]

۲-۲-۲-۱ شکستگی‌های رسانا^{۳۸}

زمانی که شکستگی‌ها به وسیله گل رسانا (در سازند عاری از رس) پر شده باشند، به راحتی در چاه‌نمودارهای تصویری به عنوان ساختارهای رسانا قطع کننده لایه‌بندی شناسایی می‌شوند. اگرچه ممکن است به ندرت موازی با لایه‌بندی نیز باشند. به دلیل اینکه مقاومت این گونه شکستگی‌ها تفاوت زیادی با سنگ میزبان دارد، در چاه‌نمودارهای تصویری نمایان می‌شوند. در موارد شکستگی‌های باز، سیال حفاری در آن‌ها نفوذ کرده و باعث ایجاد یک سطح نازک رسانا می‌گردد. در مقابل، شکستگی کاملاً سیمانی شده یک سطح نازک مقاوم را شکل می‌دهد. در هر دو مورد، خطوط جریان در مقایسه با محیط یکنواخت کاملاً متمایز می‌باشد. این نوع از شکستگی‌های طبیعی بر پایه مورفولوژی و پیوستگی آنها در اطراف چاه تقسیم می‌شوند و به صورت شکستگی‌های باز پیوسته، محتمل باز^{۳۹} و باز متفرقه^{۴۰} (باز ناپیوسته) تقسیم می‌گردند [۱۰].

^{۳۸} Conductive fractures

^{۳۹} Possible Open Fracture

^{۴۰} Miscellaneous Open Fracture

۲-۲-۲-۲ شکستگی‌های مقاوم^{۴۱}

شکستگی‌های مقاوم دارای ظاهر مقاوم به واسطه پرشدن دهانه آن‌ها با مواد متراکم می‌باشند. شکستگی‌هایی که در ابتدا به صورت باز بوده‌اند اما بعدها توسط مواد پرکننده (انیدریت، رس و پیریت) پر شده‌اند به عنوان شکستگی‌های مقاوم طبقه‌بندی می‌شوند. به عنوان نمونه، مواد مقاوم پرکننده این شکستگی‌ها در سازندهای کنگان و دالان، کلسیت و انیدریت می‌باشند. شکستگی‌هایی که دارای رس یا پیریت هستند دارای پاسخ‌های رسانا می‌باشند. البته شکستگی‌هایی که دارای رس یا پیریت هستند، دارای پاسخ‌های رسانا می‌باشند. عرض دهانه این شکستگی‌ها ممکن است در طول گمانه تغییر کند. به منظور تمایز بین شکستگی‌های پرشده از گل حفاری و شکستگی‌های پرشده از رس و پیریت، داشتن دانش رسوب‌شناسی و چینه‌شناسی سکansı منطقه مورد مطالعه ضروری است. در بعضی موارد، چاه‌نمودارهای متداول پتروفیزیکی نیز برای تمایز بسیار مفید هستند [۱۰].

۲-۲-۲-۳ شکستگی‌های القایی حفاری^{۴۲}

در هنگام حفر گمانه، رژیم تنش به واسطه برداشته شدن سنگ کاملاً تغییر می‌کند. دلایل تشکیل شکستگی‌های القایی مشابه با شکستگی‌های طبیعی می‌باشد. میدان تنش محیط باید از گرادیان شکستگی^{۴۳} سنگ بیشتر شود. منشأ شکستگی‌ها تابعی از تنش، فشار منفذی و سنگ (لیتولوژی) می‌باشد. بخش منحصربه‌فرد شکستگی‌های القایی این است که منشأ تنش‌های محلی شامل فرآیندهای حفاری می‌باشد [۱۰].

^{۴۱} Resistive fracture

^{۴۲} Drilling Induced Fracture

^{۴۳} Fracture Gradient

۴-۲-۲-۲ شکستگی‌های ریزش دیواره چاه^{۴۴}

در هنگام حفر گمانه، 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 خواهد شد. این ریزش‌ها بیان‌گر جهت‌گیری تنش افقی کمینه (σ_{Hmin}) در گمانه هستند [۱۰].

۳-۲-۲ اهمیت شکستگی‌ها

از نظر آب‌شناسی، معدن‌کاری، مهندسی و زمین‌شناسی نفت، شکستگی‌ها یکی از مهم‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی محسوب می‌شوند. البته به علت فرآیندهای پیچیده‌ای که در تشکیل آن‌ها دخالت دارد، تحلیل و بررسی آن‌ها به‌ویژه از دیدگاه ساختاری، به‌ویژه در مورد شکستگی‌های زیرزمینی مشکل بوده و به‌همین دلیل با وجود اهمیت زیاد، کمتر مورد توجه زمین‌شناسان قرار گرفته‌اند [۱۱ و ۱۲].

شکستگی‌ها یکی از مهم‌ترین مسیرهای جریان سیال در مخازن کربناته هستند. در این مخازن، غالباً تولید متناسب با تراوایی مرتبط با تخلخل اولیه سنگ نیست و به‌مراتب بیشتر از آن است. لذا نقش شکستگی‌ها در تخلیه طبیعی، بازیافت ثانویه و بازیافت نهایی بسیار پراهمیت می‌باشد. به‌همین دلیل، مطالعه و بررسی شکستگی‌ها و شناخت موقعیت و چگونگی گسترش آن‌ها در سرتاسر مخزن، می‌تواند به طرح توسعه میدان، تعیین مکان‌های مناسب برای حفر چاه‌های جدید، افزایش طول عمر و تولید مناسب مخزن، کاهش هزینه‌ها و درک کلی ما از سیستم شکستگی در میداین نفتی، کمک شایانی نماید [۱۳].

^{۴۴} Borehole breakouts

شکستگی‌ها از مشخصات بیشتر میادین عظیم نفتی در سازندهای کربناته هستند که در سنگ‌ها به دلیل تغییرات کوچک یا بزرگ مقیاس در میدان‌های تنش در سنگ‌ها ایجاد می‌شود. در سنگ‌های کربناته، فشارهای تکتونیکی، انحلال در سازند و تبلور مجدد هر یک می‌تواند شکستگی‌هایی را در این سنگ‌ها به وجود آورد. شکستگی‌های سنگ‌ها می‌توانند در زمان رسوب‌گذاری به وجود بیایند اما تأثیر این نوع شکستگی‌ها بر خواص مخزنی سنگ‌ها کم است. معمولاً شکستگی‌ها در برابر تخلخل اولیه، حجم بسیار کمی دارند و بیشترین حجم تخلخل ناشی از شکستگی‌ها حدوداً دو درصد حجم کل سنگ مخزن می‌باشد [۱۳]. تأثیر شکستگی‌ها بر نفوذپذیری سنگ مخزن بسیار زیاد است، به عنوان مثال، قابلیت هدایت بعضی از این شکستگی‌ها به حدود ۱۷ کیلومتر در میدان نفتی گچساران می‌رسد [۱۲].

شکستگی‌های طبیعی را به عنوان یک عامل بسیار مهم در اکتشاف و تولید هیدروکربن‌ها می‌شناسند و بسیاری از میدان‌های مهم نفت و گاز براساس میزان تولید از مخازن شکسته شده طبقه‌بندی می‌شوند. شکستگی‌ها تخلخل را افزایش می‌دهند و مهم‌تر از آن، در مخازن تنگ^{۴۵} با ارتباط بین واحدهای مخزنی درون میدان، نفوذپذیری را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهند. نزدیک به نیم قرن است که متخصصین صنعت نفت ایران درباره سیستم‌های شکستگی پژوهش‌هایی را انجام داده‌اند. با توجه به اینکه کشور ما دارای منابع بزرگی از مواد نفتی بوده و بسیاری از این مواد نیز در مخازن کربناته ذخیره شده‌اند و شکستگی در این نوع مخازن نقش بسیار زیادی در تولید و دستیابی به نفت و گاز دارد، مطالعه و بررسی در زمینه شکستگی از وظایف مهم زمین‌شناسان و مهندسان مخازن می‌باشد. اطلاعات و دانش به دست آمده در مورد شکستگی نه تنها در بررسی‌های اولیه جهت هیدروکربن از مخازن مهم است، بلکه می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آینده، جهت بازیافت ثانوی و نهایی نیز مفید باشد [۱۴ و ۱۲].

وجود شکستگی و شکاف‌ها در میزان تولید و مقدار قابل برداشت نهایی از مخازن نفتی به ویژه در سازندهای کربنات نقش اساسی را دارا است. به منظور درک اهمیت این شکستگی‌ها و تأثیر آن در مقدار

^{۴۵} Tight Reservoir

بهره‌دهی کافی است، یادآوری نماییم که در یکی از چاه‌های میدان گچساران تنها بعد از ۶ اینچ حفاری در سازند آسماری تولیدی برابر ۸۰۰۰۰ بشکه در روز به دست آمد، در حالی که در چاه‌های نه چندان دور از این چاه با وجود حفاری تمامی طول سازند آسماری به دلیل عدم شکاف و شکستگی مؤثر، تولید خیلی پایینی به دست می‌آید. در نتیجه با توجه به اهمیت اقتصادی موضوع از سالیان گذشته، مهندسان با بهره‌گیری از تجربه‌های قبلی و ابزار دقیقی که برای این منظور ساخته شده است؛ در جهت آشکارسازی و یا دست کم درک قوانین فیزیکی-ریاضی که بتوان دلیل به وجود آمدن شکستگی و همچنین چگونگی تغییرات آن را در قالبی گنجاند، در این زمینه بسیار تلاش نموده‌اند. امروزه تنها شکاف و شکستگی‌هایی را می‌توان تشخیص داد که در هنگام حفاری باعث هرزروی گل به درون سازند شوند. چه بسا شکستگی‌های با ابعاد کوچک‌تری که ایجاد هرزروی ننموده‌اند و به دلیل وجود گل حفاری موقعیت تظاهر نیافته و برای همیشه ناشناخته می‌مانند. در نتیجه این فرایند، ممکن است چاه‌ها در جاهایی مشبک تکمیل می‌گردند که دارای بهترین شرایط از نظر بهره‌برداری نمی‌باشند [۱۲].

۲-۳ ارتباط بین چینه‌شناسی و شکستگی‌ها

برای محاسبه و پیش‌بینی تراکم شکستگی در مخازن کربناته و در نتیجه‌ی آن محاسبه تراوایی در قسمت‌های مختلف مخزن و همچنین برای درک بهتر تأثیر شکستگی‌ها بر جریان سیال در مخزن نیاز به ساخت یک مدل از شکستگی‌های مخازن است. برای بررسی و مطالعه شکستگی‌ها ابتدا باید پارامترهای مؤثر بر توسعه شکستگی مورد بررسی قرار گیرد. اولین فاکتور کنترل‌کننده توسعه شکستگی‌ها، توزیع و تنوع رخساره‌های رسوبی می‌باشد که نوع، تراکم و محل شکستگی‌ها را کنترل می‌کند. اعتقاد بر این است که شالوده ساخت مدل‌های شکستگی‌های موجود در زیر زمین، چینه‌شناسی می‌باشد؛ همچنین تغییر شکل ساختاری مانند گسلش نیز تأثیر زیادی بر روی توسعه شکستگی‌ها و

در نهایت رفتار جریان زیرسطحی دارد؛ در مواردی که پیش‌بینی توزیع شکستگی بسیار سخت باشد، شکستگی‌ها، در هر دو چارچوب چینه‌شناسی و تغییر شکل ساختاری بررسی می‌شوند [۱۵].

ارتباط بین شکستگی و چینه‌نگاری تحت عنوان چینه‌نگاری مکانیکی نام‌گذاری شده است که ارتباط بین تراکم شکستگی‌ها و ضخامت یک چینه را نشان می‌دهد. دیگر محققان ارتباط شکستگی‌های طبقات مختلف زمین و زون‌های گسلی را بررسی کردند. در این مطالعات اعتقاد بر این است که بررسی تراکم شکستگی‌ها در چارچوب چینه‌نگاری سکansı نتایج بررسی‌های تراکم شکستگی‌ها را بهبود می‌بخشد؛ همچنین مطالعه تراکم شکستگی‌ها در زون‌های حاوی گسلش بر مبنای تغییرات ساختاری، گاهی با نتایج و پیش‌بینی‌هایی دور از واقعیت همراه است [۱۵].

پیش‌بینی تراکم و توسعه شکستگی‌ها در سنگ‌های ذاتاً ناهمسانگرد مثل سنگ‌های کربناته بسیار مشکل می‌باشد. به همین دلیل مطالعاتی حول پیش‌بینی تراکم شکستگی‌ها در چارچوب چینه‌نگاری سکansı انجام شده است که نتایج منطقی و معقول‌تری از دیگر روش‌های انجام‌شده دربر داشته است. همچنین در این مطالعات که بر روی سنگ‌های کربناته در چارچوب چینه‌نگاری سکansı صورت گرفته است؛ نشان داده که انیزوتروپی و مقاومت این سنگ‌ها در توالی‌های نهشته شده در جهت عمودی در هر واحد چینه‌نگاری سکansı مثل سکانس یا حتی سیستم تراکت کاملاً متفاوت است. در این مطالعات نشان داده شده است که در سیستم تراکت ^{۴۶}HST: رخساره‌ها ضخیم و دانه‌درشت هستند و در سیستم تراکت ^{۴۷}TST: رخساره‌ها نازک و دانه‌ریز هستند و به همین دلیل، تراکم و توسعه شکستگی‌ها در سیستم تراکت TST بیشتر از HST است [۱۵].

^{۴۶} Highstand Systems Tract

^{۴۷} Transgressive Systems Tract

۲-۴ چینه‌نگاری سکانسی

چینه‌نگاری سکانسی در اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی و با تلاش محققین شرکت اکسون پایه‌گذاری شد. در این علم به‌جای واحد رسوبی تکیه بر مجموعه واحدهای رسوبی دارای ارتباط زایشی است. این نوع نگرش امکان بررسی شرایط محیطی را در گستره زمان و مکان بهتر از سایر شاخه‌های چینه‌شناسی فراهم نموده و تحلیل دینامیک شرایط محیطی یک حوضه رسوبی را امکان پذیر می‌کند، از طرفی در این علم امکان مطالعه مناطقی که از آن‌ها صرفاً داده‌ی لرزه‌ای در دسترس است فراهم می‌شود درحالی‌که سایر شاخه‌های چینه‌نگاری فاقد این توانایی هستند [۱۶].

پیدایش این علم دریچه‌ای جدید در نگرش به حوضه‌های رسوبی و بازسازی شرایط محیطی در آن‌ها گشوده است. با توجه به این‌که گسترش واحدهای رسوبی در زمان و مکان و در ارتباط با تغییرات نسبی سطح آب دریا (ائوستازی^{۴۸}، تغییرات کف حوضه و تأمین رسوب) صورت می‌گیرد، امکان شناسایی افق‌های مستعد مخزن، منشأ و پوش سنگ بهتر فراهم می‌شود. مطالعه خواص مخزنی در چارچوب چینه‌نگاری سکانسی دو مزیت نسبت به رویکردهای پیشین دارد، نخست این‌که با کاهش ناهمگنی مخزن امکان پیش‌بینی و مدل‌سازی بهتر پارامترها را فراهم می‌کند و از طرفی امکان رهگیری تغییرات در فضای مخزن و روی داده‌های لرزه‌ای فراهم می‌شود [۱۶].

۲-۴-۱ سکانس و مفاهیم وابسته

سکانس به مجموعه واحدهای رسوبی پیوسته و مرتبط از نظر زایشی گفته می‌شود که در بالا و پایین به‌وسیله‌ی ناپیوستگی یا پیوستگی‌های معادل ناپیوستگی محصور شده‌اند. به‌منظور تمایز مرزهای ناپیوستگی با ماهیت متفاوت، از ناپیوستگی‌ها یا مرزهای سکانسی نوع اول و دوم و به تبع آن سکانس‌های نوع اول و دوم صحبت می‌شود. آن بخش از ناپیوستگی‌ها که در حاشیه حوضه‌های رسوبی گسترش

^{۴۸} Eostasy

می‌یابند و به‌طور معمول، معلول فرسایش یا رخنمون هستند به‌عنوان ناپیوستگی یا مرز سکansı نوع اول و آن بخش از ناپیوستگی‌ها که در بخش عمیق حوضه و به‌دلیل توقف در رسوب‌گذاری یا پایین آمدن سرعت رسوب‌گذاری در توالی‌های رسوبی ثبت می‌شوند به‌عنوان ناپیوستگی معادل یا مرز سکansı نوع دوم از یکدیگر تفکیک می‌شوند. بر این اساس سکانس‌های محصور در بین این ناپیوستگی‌ها هم به سکانس‌های نوع اول و نوع دوم تقسیم می‌شوند [۱۷].

سکانس واحد بنیانی در بررسی‌های چینه‌نگاری سکansı است و دارای اجزای کوچک‌تر شامل سیستم‌تراکت، سری پاراسکانس و پاراسکانس است. پاراسکانس کوچک‌ترین جزء سازنده سکانس است و به مجموعه واحدهای رسوبی پیوسته و مرتبط از نظر زایشی گفته می‌شود که در بالا و پایین به وسیله یک سطح غرقابی دریایی یا معادل آن محصور شده‌اند. سطح غرقابی دریایی^{۴۹} (FS) سطحی است که افزایش ناگهانی عمق آب را نشان می‌دهد. پاراسکانس‌ها معمولاً دارای طرح برانبارش پیش‌رونده بوده و در توالی‌های کربناته رخساره‌ها کم‌عمق‌شوندگی به‌سمت بالا را نشان داده و در روی نمودار گاما کاهش در مقدار API^{۵۰} مشاهده می‌شود. مجموعه پاراسکانس‌های دارای طرح برانبارش یکسان سری پاراسکانس نامیده می‌شود که همانند پاراسکانس توسط سطوح غرقابی دریایی محصور شده‌اند. سه نوع سری پاراسکانس پیش‌رونده، پس‌رونده و تجمعی روی داده‌های لرزه‌ای قابل تشخیص است. در مقیاس بزرگتر پاراسکانس‌ها سیستم‌تراکت‌ها را تشکیل می‌دهند [۱۷ و ۱۵]. سیستم‌تراکت به مجموعه واحدهای رسوبی مرتبط از نظر زایشی گفته می‌شود که در یک سیستم پراکنش رسوبی هم‌زمان نهشته شده‌اند [۱۸]. سیستم پراکنش رسوبی دربرگیرنده شرایط و روش‌هایی است که بر اساس آن رسوبات در حوضه توزیع می‌شوند، این شرایط در طول رسوب‌گذاری سیستم‌تراکت تا حدی ثابت است. بر اساس مدل اولیه اکسون هر سکانس از سه سیستم‌تراکت تشکیل شده است، تحقیقات سایر محققین تشکیل سیستم‌تراکت دیگری در نواحی دور از ساحل را نیز نشان می‌دهد [۱۹]. این سیستم‌تراکت‌ها شامل تراز

^{۴۹} Flooding Surface

^{۵۰} The American Petroleum Institute Gravity

پایین، تراز پیش‌رونده، تراز بالا و پس‌رونده سریع می‌باشند. سیستم‌تراکت تراز پایین^{۵۱} (LST) شامل مجموعه رسوبات مرتبط از نظر زایشی است که در ابتدای بالا آمدن آهسته تغییرات سطح نسبی آب دریا گسترش می‌یابند. مرز پایین این سیستم‌تراکت مرز سکansı^{۵۲} (SB) و مرز بالایی آن سطح چین‌های پیش‌رونده^{۵۳} (TS) است. سطح چین‌های پیش‌رونده سطحی است که شروع بالا آمدگی سریع سطح آب دریا را اعلام می‌کند. پاراسکانس‌های سازنده این سیستم‌تراکت طرح برانبارش پیش‌رونده، معرف غلبه مقدار رسوب بر فضای رسوب‌گذاری را نشان داده و فرم هندسی گوه‌ای تا عدسی شکل دارند. توزیع رخساره‌ها کم‌عمق‌شوندگی به سمت بالا را نشان داده و روی نمودار گاما کاهش در مقدار API را می‌توان مشاهده کرد [۲۰].

سیستم‌تراکت تراز پیش‌رونده (TST) شامل مجموعه واحدهای رسوبی مرتبط از نظر زایشی است که در زمان بالا آمدن سریع سطح آب دریا گسترش می‌یابند، یعنی در بازه زمانی‌ای که فضا از رسوب بیشتر است. مرز پایین این سیستم‌تراکت منطبق بر سطح چین‌های پیش‌رونده (TS) و مرز بالایی آن سطح حداکثر غرقابی^{۵۴} (MFS) است این سطح حداکثر پیش‌روی خط ساحلی در خشکی را نشان می‌دهد. پاراسکانس‌های تشکیل‌دهنده این سیستم‌تراکت طرح برانبارش پس‌رونده را نشان می‌دهند. رخساره‌های سازنده نیز عمیق‌شوندگی به سمت بالا را نشان می‌دهند. بر روی نمودار گاما شروع این سیستم‌تراکت با یک پیک مشخص می‌شود که این افزایش در طول سیستم‌تراکت ادامه یافته و در MFS به بیشترین مقدار خود می‌رسد [۲۰ و ۱۸].

سیستم‌تراکت تراز بالا (HST) شامل مجموعه واحدهای گسترش‌یافته در مراحل انتهایی بالاآمدگی نسبی سطح آب دریاست که در پایین با MFS و در بالا با سطح چین‌های پس‌رونده^{۵۵} (RS) محدود شده‌اند. RS سطحی است که آغاز پس‌روی سطح نسبی آب دریا را اعلام می‌کند. پاراسکانس‌های

^{۵۱} Lowstand Systems Tract

^{۵۲} Sequence Boundary

^{۵۳} Transgressive Surface

^{۵۴} Maximum Flooding Surface

^{۵۵} Regressive Surface

سازنده طرح برانبارش پیش‌رونده را نشان داده و فرم هندسی گوه‌ای تا لنزی شکل دارند. رخساره‌ها به سمت بالا کم‌عمق شوندگی و کاهش در مقدار قرائت نمودار گاما را نشان می‌دهند. رسوبات این واحد معمولاً دچار فرسایش شدیدی هستند. سیستم‌تراکت پس‌رونده سریع^{۵۶} (FRST) در زمان پایین‌افتادگی سطح آب دریا شکل می‌گیرد. مرز پایین آن RS و مرز بالای آن مرز سکansı است [۲۰ و ۱۸].

۲-۵ هم‌زمانی جهانی نوسان‌های سطح آب دریا

گروه اکسون، منحنی‌های سطح آب خود را جهانی قلمداد کردند. آن‌ها ادعا کردند که آثار افت سطح آب آن‌گونه که در مرزهای سکansı دیده می‌شوند در توالی‌های بخش‌های مختلف جهان در یک‌زمان وجود دارد. سن مرزهای سکansı تعیین شده است و آن‌ها به‌عنوان نشانه‌هایی از دوره‌های افت سطح آب دریا در مقیاس جهانی درنظر گرفته شده‌اند. دقت تاریخ‌ها در حد چند صد هزار سال است [۲۱].

۲-۶ رده‌بندی سکانس‌ها

سکانس به‌عنوان واحد بنیانی در پژوهش‌های چینه‌نگاری سکansı از جنبه‌های مختلف قابل رده‌بندی است. در صورتی که سکانس به‌طور کامل گسترش یافته باشد، می‌توان آن را مجموعه رسوباتی درنظر گرفت که در بین دو پایین‌افتادگی حداکثر (مرز سکansı) و متوالی سطح نسبی آب دریا تشکیل شده‌اند. بر اساس این دیدگاه مجموعه واحدهای رسوبی یک سکانس معرف چرخه کامل تغییرات سطح نسبی آب دریا هم هستند و می‌توان آن‌ها را معادل چرخه رسوبی در نظر گرفت [۱۶].

استفاده از واژه‌های سکانس و چرخه به‌صورت مترادف در برخی منابع رسوب‌شناسی و چینه‌نگاری هم بر اساس همین دیدگاه است. در بسیاری از سکانس‌های مورد نظر در توالی‌های رسوبی چنین

^{۵۶} Fast Rergressive Systems Tract

وضعیتی دیده نمی‌شود و مجموعه رسوبات مربوط به بخشی از منحنی تغییرات سطح نسبی آب دریا در آن‌ها دیده می‌شود. برای مثال زیرمحیط‌های مختلف یک شلف آواری^{۵۷} (حد واسط) شامل پهنه شلف، شیب قاره و بخش عمیق رفتارهای متفاوت در مقابل تغییرات سطح نسبی آبی دریا نشان می‌دهند. در بخش عمیق چنین حوضه رسوبی‌ای در طی چرخه‌ای کامل از تغییرات سطح آب دریا مجموعه آن دسته از واحدهای رسوبی گسترش می‌یابند که تفکیک چهار سیستم تراکت اصلی به شرحی که گذشت در آن‌ها امکان‌پذیر باشد. به عبارت دیگر در واحدهای رسوبی گسترش‌یافته در این بخش از حوضه آثار مربوط به پایین‌افتادگی سطح آب (FRST) آغاز بالآمدگی (LST)، بالآمدگی سریع (TST) و انتهای بالآمدگی (HST) قابل شناسایی است. در بخش‌های ساحلی این محیط، مجموعه واحدهای رسوبی شناسایی شده به عنوان سکانس، شامل سه سیستم تراکت اصلی (LST، TST، HST) است. در این توالی رسوبی اگرچه مجموعه رسوبات مذکور در قالب یک سکانس مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، واحدهای رسوبی مربوط به بخشی از منحنی تغییرات سطح نسبی آب دریا (مرحله افت) در آن‌ها دیده نمی‌شود [۱۶ و ۱۷].

این مجموعه رسوبات مرتبط از نظر زایشی به دلیل این که بین دو مرز سکانشی (آن هم از نوع اول) با ماهیت فرسایشی (ناپیوستگی فرسایشی) قرار دارند، در پژوهش‌های چینه‌نگاری سکانشی به عنوان سکانس شناسایی و معرفی می‌شوند، در حالی که معرف بخش کمی از منحنی تغییرات سطح نسبی آب دریا (بالآمدگی سریع) هستند. در چنین مواردی نمی‌توان از چرخه رسوبی صحبت کرد، چون بخش‌های اصلی (پایین‌افتادگی، آغاز بالآمدگی و انتهای بالآمدگی) در این جا مشاهده نمی‌شوند. با توجه به توضیحات مذکور، برخی از سکانس‌ها ممکن است معرف چرخه کامل از تغییرات سطح نسبی آب دریا، برخی معرف ۳/۴، برخی معرف ۲/۴ و برخی تنها معرف ۱/۴ از چرخه کامل تغییرات سطح آب دریا باشند.

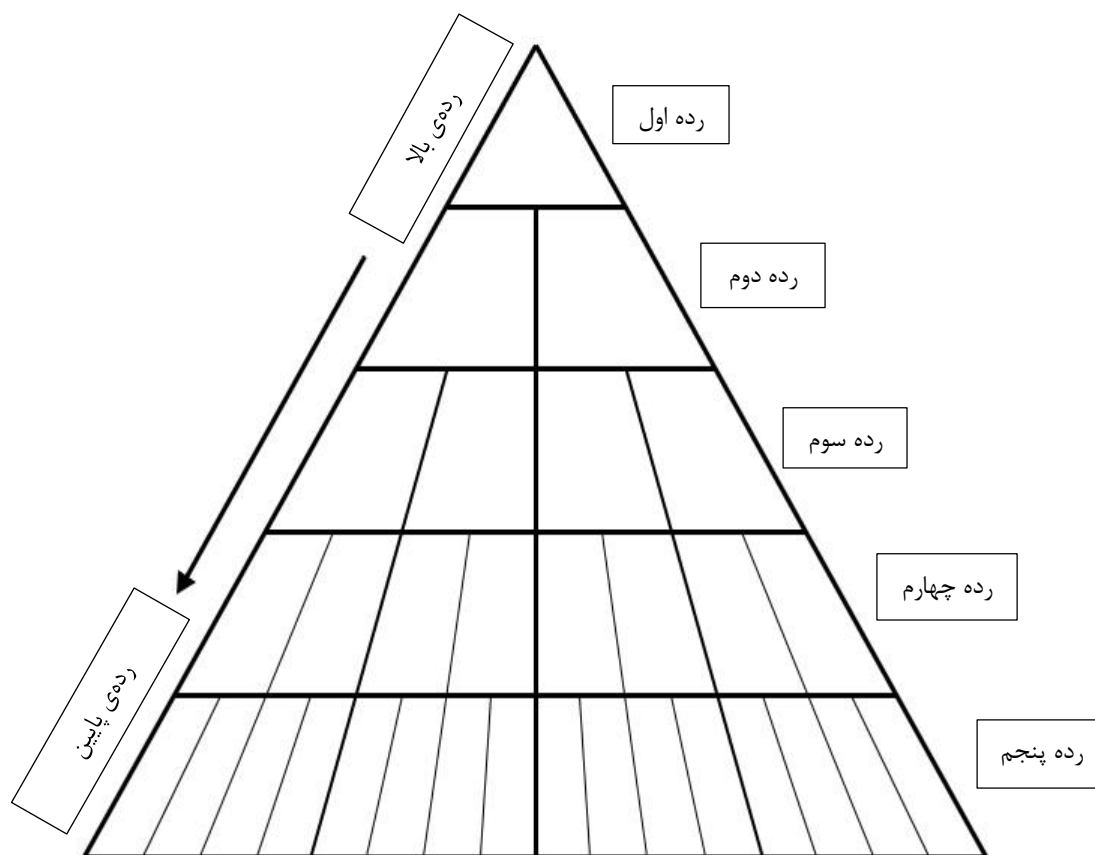
⁵⁷ Clastic Shelf

در رده‌بندی سکانس‌ها بر اساس زمان گسترش، تغییرات جهانی سطح آب دریا، عامل اصلی در گسترش آن‌ها است. در این باره سکانس‌ها به ۵ الی ۶ رده اصلی تقسیم می‌شوند که سکانس رده اول، بالاترین رده (مقیاس زمانی بزرگ) و سکانس رده ششم، پایین‌ترین رده (مقیاس زمانی کوچک) را دارد (جدول ۱-۲).

جدول ۱-۲ رده‌بندی‌های متعدد ارائه شده برای سکانس‌ها بر اساس مدت زمان گسترش آن‌ها [۱۶]

رده سکانس	مدت زمان گسترش (Vail et al., 1991)	مدت زمان گسترش (Vail et al., 1997; Miall, 2000)	مدت زمان گسترش (Krapez, 1996; Krapez, 1997)
رده اول	بیش از ۵۰ میلیون سال	۲۰۰-۴۰۰ میلیون سال	۳۶۵ میلیون سال
رده دوم	۳-۵۰ میلیون سال	۱۰-۱۰۰ میلیون سال	۲۲-۴۵ میلیون سال
رده سوم	۰/۵-۳ میلیون سال	۱-۱۰ میلیون سال	۱-۱۱ میلیون سال
رده چهارم	۰/۵-۰/۸ میلیون سال	۱-۰/۱ میلیون سال	۰/۴-۰/۹ میلیون سال
رده پنجم	۰/۸-۰/۳ میلیون سال	۱-۰/۱ میلیون سال	
رده ششم	۰/۳-۰/۱ میلیون سال		

این ارتباط بین رده‌های سکانسی را می‌توان به صورت یک هرم نمایش داده که سکانس‌ها در رده بالا در قله هرم و سکانس‌های رده پایین در قاعده هرم قرار می‌گیرند. سکانس‌های رده بالا دارای بسامد پایین و سکانس‌های رده پایین دارای بسامد بالا هستند. رابطه سکانس‌ها در این رده‌بندی به گونه‌ای است که هر سکانس رده بالا از چند سکانس رده پایین‌تر تشکیل شده است (شکل ۲-۲). در این حالت به دلیل تفاوت در عوامل مؤثر در ایجاد این سکانس‌ها نباید انتظار داشت که سیستم تراکت‌ها و سطوح چین‌های سکانس‌های رده بالا به طور کامل بر معادل‌های آن‌ها در سکانس‌های رده پایین منطبق باشد [۱۶].



شکل ۲-۲ نمایش ارتباط رده‌های مختلف سکانس بر اساس زمان گسترش سکانس‌ها [۱۶]

فصل سوم

روش‌شناسی تحقیق

۳-۱ مقدمه

در این فصل، ابتدا به معرفی انواع روش‌های مدل‌سازی جریان در توده سنگ پرداخته می‌شود. سپس مفهوم شبکه گسسته شکستگی را بیان کرده و به‌طور مختصر به نحوه‌ی ساخت مدل DFN، مزایا و معایب استفاده از روش شبکه گسسته شکستگی و روش‌شناسی مورد استفاده در مطالعه مخازن شکاف‌دار اشاره می‌شود.

در ادامه با توجه به این که در این مطالعه از نگار انحراف معیار گاما برای تعیین مرزهای سکانسی میدان مورد مطالعه استفاده شده است؛ به‌طور مختصر به نحوه‌ی محاسبه این نگار پرداخته می‌شود و در پایان هم با توجه به این که از شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت تخمین شدت شکستگی و نسبت زون شکسته‌شده به زون شکسته‌نشده، در میدان مورد مطالعه استفاده شده است؛ به‌صورت خلاصه به معرفی و توصیف و شیوه‌ی عملکرد این شبکه‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۲ انواع روش‌های مدل‌سازی جریان در توده‌سنگ

تاکنون مدل‌های عددی که از روش تفاضل محدود و اجزاء محدود و اجزاء مرزی استفاده می‌کنند، برای شبیه‌سازی جریان سیال از طریق ناپیوستگی‌های موجود در سنگ استفاده شده‌اند. این مدل‌ها برای تعیین رفتار هیدرولیکی سنگ استراتژی‌های مختلفی اتخاذ می‌کنند.

مدل‌هایی که اکنون برای جریان استفاده می‌شود، به سه دسته تقسیم می‌شوند [۲۲]:

۳-۲-۱ مدل‌های تخلخل دوگانه^{۵۸}

این گونه از مدل‌ها، زمانی استفاده می‌شود که جریان قابل توجه هم از ماتریس سنگ و هم از ناپیوستگی به‌طور هم‌زمان انجام شود. نسبت جریان در ماتریس سنگ و ناپیوستگی با حل کردن دودسته معادله با استفاده از زوج پارامترها می‌تواند تعیین شود و جریان بین ناپیوستگی و ماتریس سنگ نشان داده شود. تنها در مدل محیط متخلخل دوگانه است که شکستگی‌ها، گسل‌ها، ناپیوستگی‌ها، درزه‌ها و متن سنگ به دو سطح شبکه ناپیوستگی و شبکه تخلخل تقسیم می‌شوند در نتیجه رفتار توده سنگ ناپیوسته مقداری گسترده‌تر انعکاس داده می‌شود. اندازه‌ها، بازشدگی‌ها و نفوذپذیری برای شکستگی‌ها، گسل‌ها، درزه‌ها و متن سنگ باهم فرق دارند و قوانین توزیع برای هر کلاس ناپیوستگی‌ها نیز تفاوت می‌کند [۲۲].

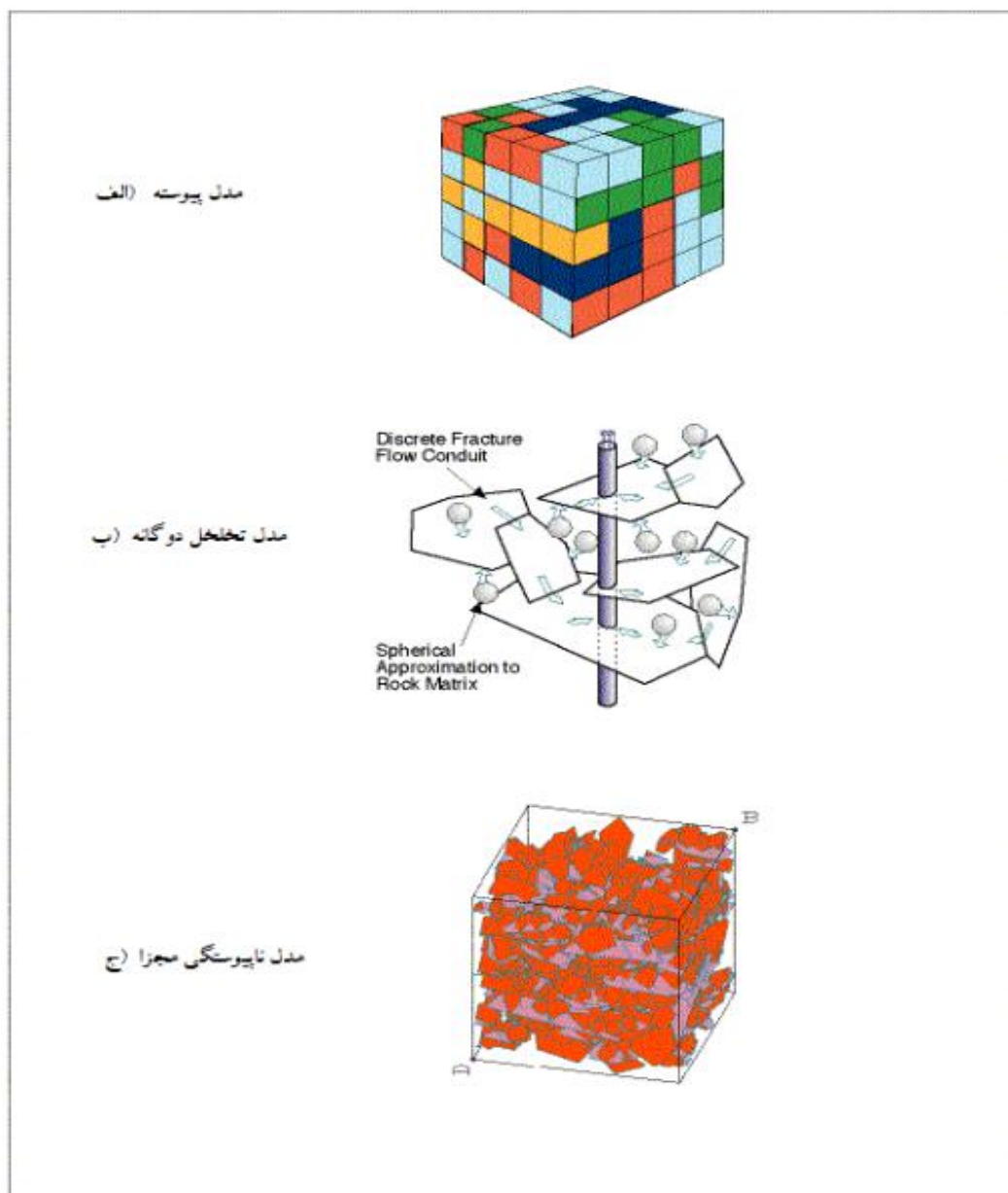
۳-۲-۲ مدل‌های پیوسته^{۵۹}

مدل‌های پیوسته سنتی به‌طور وسیعی در تعیین جریان در سنگ‌هایی با نفوذپذیری کم استفاده شده است. در این مدل‌ها فرض بر این است که جریان در توده سنگ شبیه به جریان در محیط متخلخل است. سپس فرمول‌بندی یک محیط متخلخل معادل^{۶۰} (EPM) با پارامترهای ماکروسکوپیک میانگین طراحی می‌شود. در این مدل‌سازی فرض بر این است که یک ماده متخلخل یک‌دست شامل تعداد زیادی از مسیرهای جریان قابل‌رؤیت است. مقیاس توده سنگ باید بزرگ باشد تا محیط مانند محیط پیوسته همگن در نظر گرفته شود. مقیاس اندازه‌گیری نیز باید مقداری انتخاب شود که تعداد و اندازه‌ی ناپیوستگی به تعداد کافی به‌دست آید [۲۳].

^{۵۸} Dual Porosity Model

^{۵۹} Continuum Model

^{۶۰} Equivalent Porous Medium



شکل ۳-۱ انواع روش‌های مدل‌سازی جریان سیال در توده سنگ شکسته‌شده. (الف) مدل پیوسته (ب) مدل تخلخل دوگانه (ج) مدل ناپیوستگی مجزا [۶]

۳-۲-۳ مدل‌های جریان در ناپیوستگی مجزا

مدل‌های جریان در ناپیوستگی مجزا در دوبعد و سه‌بعد ایجاد می‌شوند. لانگ^{۶۱} و همکاران، (۱۹۸۵) مدل ناپیوستگی مجزای دوبعدی را به سه‌بعدی توسعه دادند. آن‌ها این کار را با استفاده از محاسبات

^{۶۱} Long

تحلیلی با شرایط مرزی و ناپیوستگی‌های دایروی دارای بازشدگی یکنواخت انجام دادند. تابه‌حال روش‌های زیادی برای مدل‌سازی ارائه شده‌است. هوانگ و ایوانس^{۶۲} (۱۹۸۵) روشی را برای شبیه‌سازی بازه وسیعی از شرایط منطقه مورد شبیه‌سازی را با استفاده از فرمول‌بندی سه‌بعدی شبکه ناپیوستگی و با استفاده از فرمول‌بندی لوله جریان یک‌بعدی در صفحه ناپیوستگی ارائه کردند. مدل آن‌ها در تعیین هدایت هیدرولیکی منطقه جریان بین تمام تقاطع‌های ناپیوستگی‌هاست. فشار به مرز خارجی نمونه شبیه‌سازی وارد شده و ناپیوستگی‌ها به شکل صفحات صاف و موازی در نظر گرفته می‌شود و جریان در آن آرام است و از قانون پوازی تبعیت می‌کند. یکی از ایرادات این روش در این است که چاه‌ها و منابع متعدد موجود در یک ناپیوستگی و اثر راستا در مدل شرکت داده نشده‌اند [۲۳].

به‌طور کلی اندازه و فراوانی ناپیوستگی فاکتورهای مهمی در مدل‌سازی هستند؛ بنابراین تخمین رفتار جریان در توده‌سنگ‌ها نیاز به توصیف هندسه ناپیوستگی دارد. چون اندازه‌گیری ناپیوستگی‌ها مشکل است، برای این کار روش آماری استفاده می‌شود؛ بنابراین پارامترهای هندسی می‌تواند با مدل‌های احتمالی تحلیل شود. این فرآیندها نیاز به شبکه ناپیوستگی توده‌سنگ دارد تا پس از ایجاد به‌عنوان ورودی مسئله جریان قرار گیرد. از طریق استفاده از توزیع‌های آماری بازشدگی ناپیوستگی‌ها و چگالی، خط اثر، طول و راستای آن‌ها، روشهای عددی را می‌توان برای ساختن توده‌سنگ نماینده که به شکل یک‌سری از دیسک‌های پواسون توصیف می‌شود، استفاده کرد [۲۳].

اندرسون^{۶۳} (۱۹۸۷) نشان داد که وقتی تغییرات آماری سرعت جریان کوچک باشد، نتایج استفاده از مدل ناپیوستگی مجزا مطلوب است. آن‌ها همچنین نشان دادند که اگر ناپیوستگی‌ها طویل و چگالی زیاد باشد، عدم قطعیت در پیش‌بینی جریان با استفاده از شبیه‌سازی شرطی، کم می‌شود. بر اساس اتصال ناپیوستگی‌ها در دوبعد، لانگ^{۶۴} (۱۹۸۵) نشان دادند که هرچه چگالی زیاد و طول ناپیوستگی زیاد باشد، رفتار آن به محیط متخلخل نزدیک‌تر می‌شود [۲۳].

^{۶۲} Huang And Ivans

^{۶۳} Anderson

^{۶۴} Long

با مدل ناپیوستگی سه بعدی، سیستم ناپیوستگی شبیه سازی می شود. ورودی مدل شامل توزیع آماری امکان پذیر پارامترهای ناپیوستگی است که ویژگی های آماری دسته ناپیوستگی را نشان می دهند. ابتدا الگوی ناپیوستگی در حجم کلی ایجاد می شود و سپس حجم نمونه ای از آن انتخاب شده و تحت آنالیز عددی قرار می گیرد، این حجم می تواند مساوی کل حجم اولیه باشد [۲۳].

۳-۳ مفهوم شبکه گسسته شکستگی

این روش بر این فرض استوار است که خواص توده سنگ های شکسته شده به وسیله رفتار شکستگی های منفرد تعیین می شوند و توده سنگ محیطی پیوسته است. در نتیجه، توده سنگ به عنوان شبکه ای از عناصر گسسته که معرف شکستگی ها هستند مشخص می گردند [۲۴].

در تعریف ساده این مفهوم می توان گفت که در این نوع مدل سازی فضای شکستگی ها به صورت مجموعه ای از اشکال هندسی مانند خط در فضای دو بعدی و صفحات دایره ای یا چند ضلعی در فضای سه بعدی متناظر شده و تحلیل برهم کنش این اشکال بیانگر رفتار شکستگی ها محسوب می شود. در ایجاد شبکه گسسته شکستگی سیستم پیچیده ای از شکستگی ها بر مبنای تغییرات موقعیت فضایی، شکستگی های متقاطع با هم با طول های متفاوت و شبکه نامنظم به وجود می آید [۲۵].

برای ساخت مدل های عددی نحوه حرکت سیال از درون شکستگی ها، ابتدا به ساخت مدل شبکه گسسته شکستگی ها نیاز است. مدل های شبکه گسسته شکستگی با کاربرد شبیه سازی مونت کارلو^{۶۵} و طبق توابع توزیع آماری طول، جهت و موقعیت فضایی سیستم های شکستگی ایجاد می شوند. هر کدام از پارامترهای شکستگی ها مانند فاصله داری، مکان فضایی، جهت گیری و اندازه می توانند با توابع توزیع آماری مانند توزیع های نرمال، لاگ نرمال، یکنواخت، گوسی و یا توابع توزیع دیگر بیان شوند. در ساخت

⁶⁵ Monte Carlo Simulation (MCS)

شبکه گسسته شکستگی‌ها باید توزیع آماری هر یک از پارامترهای مکان قرارگیری، امتداد، طول خط اثر و میزان دهانه بازشدگی شکستگی‌ها مشخص گردد. چنانچه مدل‌سازی دوبعدی برای شبکه درزه‌های مجزا در نظر گرفته شود با داشتن تعداد شکستگی‌ها در واحد سطح می‌توان مدل هندسی فضایی شکستگی‌ها را ایجاد نمود [۲۵]. در ادامه هریک از پارامترهای هندسی فوق توضیح داده می‌شوند.

۳-۳-۱ موقعیت قرارگیری شکستگی‌ها

در محیط‌های همگن فرض می‌شود شکستگی‌ها به‌طور کاملاً تصادفی پخش شده‌اند. موقعیت مکانی شکستگی‌ها با فرآیند آماری پواسون، که کاربرد گسترده‌ای در مدل‌سازی شبکه گسسته شکستگی‌ها دارند، تعیین می‌شوند. فرآیند پواسون به‌طور خاص بیانگر تابع توزیع آماری محل قرارگیری شکستگی‌ها است و چگالی متوسط شکستگی‌ها به‌عنوان کنترل‌کننده این فرآیند تصادفی است. با وجود این که تراکم شکستگی‌ها می‌تواند متغیر باشد، استفاده از نقاط ناهمگن در فرآیند پواسون بر صحت بیشتر شبیه‌سازی موقعیت شکستگی‌ها می‌افزاید [۲۶].

۳-۳-۲ 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^{۶۶} می‌باشند، کنترل‌کننده روند غالب شکستگی‌های به‌وجود آمده هستند [۲۶].

^{۶۶} Stress Tensor

۳-۳-۳ طول خط اثر شکستگی^{۶۷}

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 به‌طور تصادفی با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو تولید می‌شوند [۲۶].

۳-۳-۴ بازشدگی شکستگی‌ها

این پارامتر که متوسط فاصله عمودی میان صفحات شکستگی است، مهمترین نقش را در عبور جریان دارد. شکستگی‌های باز به‌صورت منفرد و یا در ارتباط با شبکه شکستگی‌ها و با ایجاد کانال‌های جریان هدایت سیالات را بر عهده دارند، در صورتی که شکستگی‌های بسته به‌عنوان سدهای جریان محسوب می‌شوند. وجود شکستگی‌های بسته خود می‌تواند در هدایت سیال به نقاط دیگر مؤثر واقع شود و به‌صورت غیرمستقیم در هدایت جهت جریان شرکت نمایند. بازشدگی شکستگی‌ها معمولاً به‌صورت توابع توزیع احتمال نرمال، لاگ نرمال یا توانی بیان می‌شود [۱۴].

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

^{۶۷} Fracture Trace Length

گام اول: این مرحله شامل جمع‌آوری داده‌های ناپیوسته برای انجام آنالیزهای آماری^{۶۸} است. این داده‌ها در مقیاس چاه (لاگ‌های متداول، مغزه) و یا در مقیاس میدانی (لرزه، سرعت لرزه‌ای، ساختار مخزن) هستند.

گام دوم: این مرحله نیز شامل تقسیم شکستگی‌ها به زیر دسته‌ها باتوجه به جهت‌داری شکستگی‌ها است. شکستگی‌هایی که هم‌زمان 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 [۲۷].

گام سوم: در این مرحله، تحلیل فضایی شکستگی‌ها و آنالیز الگوی آن‌ها انجام می‌شود. آنالیزهای فضایی شامل تحلیل خصوصیات شکستگی مثل، موقعیت، جهت‌داری، شدت، طول اثر، بازشدگی و یا دیگر خواص هیدرولیکی است.

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

۳-۴ ساخت مدل های DFN

به‌طور کلی مدل‌سازی DFN در دو مرحله انجام می‌شود. ابتدا شبکه اولیه و سپس شبکه هدایت‌پذیر یا هادی تولید می‌شود. شبکه اولیه با داده‌های برداشت‌شده میدانی کالیبره می‌شود. سپس شبکه

^{۶۸} Statistical Analysis

هدایت‌پذیر یا هادی از طریق تعیین فراوانی شکستگی‌های دارای قابلیت هدایت (شکستگی‌های متصل بهم) ساخته می‌شود [۲۸].

برداشت صحیح و دقیق شکستگی‌ها و شبکه شکستگی در توده سنگ‌ها در مقیاس مهندسی عملی نمی‌باشد، زیرا برداشت تمام ناپیوستگی‌ها غیر ممکن است. از طرفی نکته مهم و کلیدی در مدل‌سازی شبکه شکستگی توده سنگ، برآورد مناسب پارامترهای هندسی شکستگی‌ها می‌باشد. از طرفی خواص شکستگی‌های موجود در توده سنگ تصادفی می‌باشد و از نقطه‌ای به نقطه دیگر تغییر می‌کنند. بنابراین در کاربردهای عملی تنها رویکرد واقع‌بینانه استفاده از یک مدل تصادفی است که با استفاده از داده‌های پراکنده در دسترس ساخته می‌شود [۲۸].

۳-۴-۱ شبکه شکستگی اولیه

شبیه‌سازی محل شکستگی‌ها اولین گام در شبیه‌سازی شکستگی‌ها است. مرحله بعد شبیه‌سازی هندسی شکستگی‌های مجزا است. به‌طور کلی اندازه و جهت‌داری شکستگی به‌صورت تابع توزیع احتمالاتی مدل‌سازی می‌شوند. بعد از شبیه‌سازی هندسی شکستگی‌ها، می‌توان خصوصیات دیگر شکستگی (مثل هیدرولیکی) را نیز شبیه‌سازی کرد و به شکستگی‌های تولید شده اختصاص داد [۲۹].

۳-۴-۲ شبکه شکستگی شبکه شکستگی کانالی

یکی از اهداف مدل‌سازی شبکه شکستگی مجزا، تعیین شکستگی‌هایی است که به یکدیگر متصل هستند. شبکه شکستگی مجزای اولیه شبیه‌سازی شده، دارای تعداد زیادی شکستگی کوچک است که با یکدیگر اتصالی ندارند (ایزوله هستند) و هیچ سهمی در جریان سیال نداشته و از نظر محاسباتی ناکارآمد هستند. در واقع شکستگی‌های بدون اتصال موجب ذخیره سیال می‌شوند. بعد از ساخت شبکه شکستگی، می‌توان با استفاده از یک الگوریتم اضافه شده به برنامه، شبکه کانالی را ایجاد کرد. کانال‌ها محل تقاطع شکستگی‌ها هستند و در فضای سه‌بعدی، فصل مشترک شکستگی‌ها یک خط می‌باشد.

معمولاً مرکز این خط (فصل مشترک شکستگی‌ها) محاسبه می‌شود و به مرکز شکستگی‌هایی که این فصل مشترک را ایجاد کرده‌اند وصل می‌شود. با این روش شبکه کانالی رسانا تولید می‌شود [۲۸].

۳-۴-۳ مدل‌سازی شبکه گسسته شکستگی قطعی برحسب تصادفی

مدل‌سازی DFN با استفاده از هر دو الگوریتم تصادفی و قطعی انجام‌پذیر است و دانستن این که این الگوریتم‌ها چگونه کار می‌کنند لازم و ضروری است. الگوریتم‌های قطعی معمولاً نتیجه یکسانی با ورودی‌های یکسان می‌دهند. از طرف دیگر الگوریتم‌های تصادفی علاوه بر داده‌های ورودی از جستجوی تصادفی نیز استفاده می‌کنند. بنابراین در خلال اجراهای متوالی، نتایج مختلفی با ورودی یکسان براساس تعداد جستجوی تعریف شده می‌دهند. الگوریتم‌های قطعی عموماً سریع‌تر اجرا شده و بسیار ناپایدار هستند. عیب آن‌ها این است که مدل‌های ایجادشده با ورودی‌های کم به‌صورت اتوماتیکی هموار بوده درحالی که براساس شواهد و تجربیات این چنین نیست [۲۹ و ۲۸].

گرفتن ایده مطلوبی از عدم قطعیت‌های مدل به دور از نقاط داده‌های ورودی، در این مدل غالباً مشکل است. الگوریتم‌های تصادفی پیچیده‌ترند و بنابراین زمان زیادتری برای اجرا می‌گیرند ولی جنبه‌های بیشتری از ورودی‌ها را انجام می‌دهند به‌خصوص زمانی که داده‌های ورودی خیلی متغیر باشند. یکی از معایب روش‌های تصادفی این است که بعضی از جنبه‌های مهم مدل ممکن است به صورت تصادفی باشند و بنابراین انجام آنالیزهای عدم قطعیت مناسب با چندین مفهوم از مدل خواص یکسان با جستجوهای تصادفی مختلف، مهم می‌باشد. نتایج روش‌های تصادفی به‌راحتی، حتی در ناحیه‌ای به دور از داده‌های ورودی قابل باور هستند.

در روش قطعی، گسل‌های قابل رویت در مقطع لرزه‌ای (گسل‌های تفسیر شده) و شکستگی‌های در مقیاس بزرگ برای مدل‌سازی شبکه گسسته شکستگی استفاده می‌شوند. براساس مفهوم قطعی، گسل‌ها و شکستگی‌های بزرگ به‌عنوان ورودی و شبکه گسسته شکستگی به‌عنوان خروجی هستند [۲۹ و ۲۸].

۳-۴-۴ مزایا و معایب استفاده از روش شبکه گسسته شکستگی

این روش دارای یک سری محدودیت‌هایی است که موجب می‌شود مدل‌های ساخته شده واقعی به‌نظر نرسند. یکی از دلایل این است که این مدل بر توصیف ساده از هندسه شکستگی‌ها به‌عنوان یک صفحه مسطح از اشکال از پیش تعریف شده، استناد دارد. جهت‌داری شکستگی‌ها بسته به استرس‌های رانشی محلی درون مخزن تغییر می‌نماید. برهم‌کنش مکانیکی بین شکستگی‌های مجاور، خواص مواد سنگ‌ها و ناهمگنی محلی ممکن است مسیر شکستگی‌ها را تحت تأثیر قرار دهند. در یک روش پیچیده، اثر متقابل تمامی این فاکتورها است که مشخص کننده برآیند الگوی شکستگی‌ها است [۲۴].

مدل کردن اثرات تغییر شکل مکانیکی و انتقال حرارت در توده‌سنگ بر جریان سیال و انتقال آن در روش DFN مشکل است و معمولاً نادیده گرفته می‌شوند؛ بنابراین این روش برای مطالعه جریان سیال و انتقال جرم در سنگ‌های شکسته‌شده زمانی که ساختن مدل پیوسته معادل آن مشکل است و یا نیازی به ساخت آن نمی‌باشد، مفید می‌باشد [۶].

مدل DFN برای بررسی و بیان دو فاکتور به کار می‌رود: هندسه سیستم شکستگی و بازشدگی. قابلیت انتقال شکستگی‌های منفرد، اولین فاکتور بر پایه شبیه‌سازی تصادفی سیستم‌های شکستگی است؛ که از توابع چگالی آماری پارامترهای هندسی شکستگی (چگالی، جهت‌داری، اندازه، بازشدگی و قابلیت انتقال) استفاده می‌کنند. این توابع براساس نتایج نقشه‌برداری میدان و همچنین شکل شکستگی (دایره‌ای شکل، بیضوی یا به‌طور کلی چندوجهی) فرمول‌بندی می‌شوند. نقشه‌برداری مستقیم فقط از طریق رخنمون سطحی با اندازه محدود، گمانه‌ها با قطر، طول و عمق محدود و بر روی دیواره حفرات زیرزمینی (تونل، غار) با فضای اندازه‌گیری محدود، انجام می‌گردد. قابلیت اطمینان اطلاعات شبکه گسستگی به کیفیت نقشه‌برداری و نمونه‌گیری بستگی دارد. همچنین مشکلاتی نیز در تعیین باز شدگی

یا قابلیت انتقال پذیری اجتماع شکستگی ها وجود دارد. آزمایش های برجا و نابرجا، فقط با تعداد محدودی از نمونه های شکستگی قابل انجام بوده و اثرات اندازه نمونه نیز باید تعیین گردد [۶].

یکی از مزایای روش DFN این است که این مدل ها از طیف گسترده ای از داده ها از قبیل زمین شناسی، ژئوفیزیک و داده های تولید استفاده می کنند. در صورتی که مدل های تخلخل دوگانه متعارف قادر به ترکیب این داده ها نیستند. داده های مورد استفاده در مدل های DFN از نقشه های خطوارگی، رخنمون، لرزه نگاری دوبعدی و سه بعدی، انواع نگارهای چاه پیمایی، مغزه، آزمایشات تولید یک چاه و چندین چاه، لاگ های جریان، پروفایل تزریق، و مدل های مفهومی رسوبی و ساختمانی به دست می آیند. همچنین پارامترهای جریان در مدل DFN با استفاده از داده های بهره برداری، کالیبره می شوند [۳۰].

۳-۵ روش شناسی مورد استفاده در مطالعه مخازن شکافدار

به دلیل پیچیدگی رفتار مخازن شکافدار و نیز کمبود داده های مورد استفاده در آنالیز شبکه شکستگی ها لازم است در مطالعه شکستگی ها از همه اطلاعات موجود که می تواند به ما در تحلیل بهتر شکستگی ها کمک کند، استفاده گردد. این اطلاعات گستره وسیعی از اطلاعات حاصل از مراحل اولیه اکتشاف و تولید مخزن مانند اطلاعات زمین شناسی و تکتونیک ناحیه ای، ژئوفیزیک، مدل ها و اطلاعات ژئومکانیک، حفاری، نمودارهای مختلف چاه پیمایی، چاه آزمایی تا اطلاعات حاصل در حین بهره برداری و تولید از مخزن مانند تاریخچه تولید چاه ها و مخزن را شامل می شود [۴].

۳-۶ نگار انحراف معیار گاما ابزاری جدید جهت جدایش واحدهای سکansı در

توالی‌های کربناته

استفاده از نگار گاما در تعیین سکانس‌های رسوبی در مخازن کربناته به سبب دامنه تغییرات کم این نگار در این مخازن کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه از نگار گامای مربوط به هفت چاه برای تعیین مرزهای سکansı یکی از میادین هیدروکربوری جنوب غربی ایران استفاده شده است. هر داده نگار گاما از متوسط داده‌ها در کل چاه کسر گردید و سپس مقادیر به دست آمده را با یکدیگر جمع کرده و مقدار تجمعی انحراف از معیار به دست آمد. با توجه به اینکه رسوبات مربوط به هر سکانس یک واحد زایشی را تشکیل می‌دهند، تغییرات نگار گاما که تاثیر بسیار کمی از فرآیندهای دیاژنزی می‌پذیرد، باید همواره در یک سکانس نسبت به یک مبدأ مشخص افزایش یا کاهش داشته باشد [۳۱].

با پیشرفت روش‌های متفاوت و مدل‌های مختلف، به تدریج علم چینه‌نگاری سکansı کامل‌تر می‌گردد. جهت تعیین مرزهای مختلف در این نوع مطالعات از ابزارهای گوناگونی استفاده می‌گردد که در این میان، مغزه‌ها اصلی‌ترین نوع آن‌ها محسوب می‌گردند اما متأسفانه تهیه مغزه‌ها به دلایلی مانند هزینه بالا، آماس دیواره چاه و سست بودن جداره و سنگ‌های دیواره چاه در اغلب موارد امکان‌پذیر نیست. در مقابل داده‌های چاه‌نگاری از اغلب مخازن و در بازه عمقی وسیع‌تری از چاه حفاری شده وجود دارند و بنابراین یکی از اصلی‌ترین منابع برای مطالعات مخزنی و از آن جمله چینه‌نگاری سکansı محسوب می‌شوند. متأسفانه با وجود اهمیت این داده‌ها در تعیین مرزهای سکansı تاکنون استفاده از آن‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این امر در مخازن کربناته مشخص‌تر بوده و در این مخازن داده‌های نگار در خصوص تعیین واحدهای سکansı کمتر مورد استفاده قرار گرفته شده است. با توجه به ماهیت سنگ‌های کربناته و مقادیر کمتر عناصر توریم، پتاسیم و اورانیوم در آن‌ها، مطالعات بسیار اندکی جهت تعیین ارتباط بین تغییرات نگار گاما و شناسایی مرزهای سکansı در این نوع مخازن وجود دارد [۳۱].

حساسیت کم این نگار به شرایط محیطی چاه سبب گردیده تا از آن به فراوانی در مطالعات مخزنی مختلف مانند تعیین حجم شیل، تطابق عمقی بین چاه‌های مختلف میدان و نیز تطابق عمقی مغزه و نگار استفاده گردد. بر همین اساس روشی که بتواند مرزهای سکansı را بر اساس تغییرات این نگار مشخص سازد، کاربرد فراوانی در مطالعات مخزنی خواهد داشت. هرچند در حال حاضر روش (تحلیل فیلتر تجمعی پیش‌بینی خطا) جهت تعیین مرزهای واحدهای سکansı بر اساس داده‌های نگارهای مختلف استفاده می‌گردد، اما این روش از فرمول‌های پیشرفته ریاضی استفاده نموده و در انحصار نرم افزاری خاص (سایکولوگ)^{۶۹} می‌باشد [۳۱]. این مطالعه با روشی نوین سعی در برطرف نمودن این نقص می‌نماید. در روش معرفی شده در این پایان نامه، داده‌ها بر اساس انحراف از مقادیر میانگین محاسبه گردیده و درصد تجمعی آن‌ها نشان‌دهنده تغییرات سطح آب دریا خواهد بود. کاربرد ساده روش و عدم نیاز به نرم افزاری خاص، این روش را نسبت به روش تحلیل فیلتر تجمعی پیش‌بینی خطا برتر می‌سازد. سادگی این روش و قابلیت استفاده از آن با نرم‌افزارهای ساده و اولیه ریاضیاتی، سبب می‌گردد تا بتوان از این روش به سادگی و با قابلیت انعطاف بیشتر استفاده نمود چراکه کاربر می‌تواند تغییرات مورد نظر خود را در آنالیزها و فرمول‌ها در هر مرحله اعمال نموده و این فرمول‌ها را با سایر روش‌های مورد نظر خود ترکیب نماید. مبنای این روش بر این فرض استوار شده است که در زمان تغییر سطح آب دریا، نگار پیوسته از مقدار متوسط، انحراف پیدا می‌کنند که در نگار اولیه به سبب وجود نوفه‌های زیاد و نوسانات بسیار خود نگار، قابل تشخیص نیست. نگاه مرحله‌ای و پیوسته این روش سبب می‌گردد تا تعیین سکانس‌ها در مرتبه‌های مختلف توسط این روش امکان‌پذیر گردد. نتایج این روش می‌تواند به سرعت و با دقت قابل قبول تغییرات سطح آب دریا را در حوضه مورد بررسی نشان دهد. با توجه به رابطه بین تغییرات کیفیت مخزنی و واحدهای سکansı، می‌توان از این نتایج جهت زون بندی مخزن استفاده نمود [۳۱].

^{۶۹} Cylolog

۳-۷ شبکه‌های عصبی مصنوعی

امروزه مدیریت و تولید از منابع نفت و گاز به شدت نیازمند استفاده از ابزار پیشرفته برای شناخت محیط مخزن می‌باشد، این اطلاعات با استفاده از روش‌های گران اکتشافی قابل دسترسی است. استفاده از رایانه باعث به کارگیری مدل‌های پیچیده شبیه‌سازی در پروسه‌های تصمیم‌گیری و کنترل الکترونیک که امروزه فرآیندی عادی محسوب می‌گردد [۳۲].

در سال‌های اخیر شبکه‌های عصبی هوشمند، تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آنها به عنوان ابزاری پیشرفته در صنعت نفت و گاز جای خود را باز نموده‌اند، این ابزار پتانسیل بالایی در زمینه اکتشاف، تولید و مدیریت منابع و مخازن هیدروکربنی دارا هستند. به عقیده بسیاری از متخصصان هوش مصنوعی رشد شبکه‌های عصبی با عمر کوتاه تولد آنها در برابر پیشرفت سیستم‌های تخصصی با قدمت بالاتر بسیار سریع‌تر انجام گرفته است. دلایل به کارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد [۳۳].

- می‌توانند اطلاعات نامناسب و همراه با اغتشاش (نوفه) را پردازش کنند.
- می‌توانند با سعی و خطا شرایط پیش‌بینی نشده را از دیگر حدود بشناسند و در این شرایط جدید استنتاج‌هایی قابل قبول ارائه کنند.
- می‌توانند تعدادی زیاد داده‌های ورودی را پردازش کنند و به سرعت ارتباط آنها را به دست آورند.
- انعطاف‌پذیر هستند؛ یعنی، همانند مغز انسان، می‌توانند با شرایط جدید سازگار شوند.

۳-۷-۱ ساختار شبکه های عصبی

ساختار شبکه عصبی متغیرهایی را مانند تعداد لایه در یک شبکه، تابع تبدیل هر لایه، تعداد نرون ها در هر لایه و اتصالات بین نرون ها تعریف می کند. اجزای یک شبکه عصبی عبارتند از:

الف) نرون مصنوعی: مهم ترین عنصر یک شبکه عصبی مصنوعی است که به عنوان عنصر پردازش گر نیز شناخته می شود و اجزایی شبیه به نرون های طبیعی دارد. یک نرون مصنوعی (که در ساختار یک شبکه مصنوعی گاهی با نام گره نیز شناخته می شود) از یک عمل گر مجموع تشکیل شده است که ورودی های وزن دار شده را با هم جمع می کند. به علاوه، عنصر پردازش گر شامل یک عمل گر غیر خطی نیز هست که تابع تحریک نامیده می شود.

ب) لایه ها: نرون ها در قالب لایه ها سازمان دهی می شوند. یک شبکه عصبی مصنوعی از سه نوع لایه تشکیل شده است و هر لایه مسئول یک کار خاص است:

- لایه ورودی: این لایه اطلاعات را از محیط دریافت و آن ها را به لایه میانی منتقل می کند. هر نرون موجود در لایه ورودی با همه نرون های لایه میانی و لایه میانی نیز با لایه خروجی مرتبط است.
- لایه میانی یا پنهان: این لایه اطلاعات وارد شده از محیط به شبکه عصبی را پردازش و تجزیه و تحلیل می کند. گاهی نیز ممکن است ساختار شبکه بیش از یک لایه میانی داشته باشد.
- لایه خروجی: نتیجه تجزیه و تحلیل اطلاعات لایه میانی را دریافت و به شکلی معنی دار تبدیل می کند و دوباره به محیط بر می گرداند.

تعداد نرون های لایه ورودی برابر با تعداد متغیرهایی است که به عنوان ورودی به شبکه، تعریف می شوند. نرون های لایه میانی مهم ترین پردازش گرهای شبکه های عصبی هستند و در واقع ورودی های به شبکه را به خروجی معین تبدیل می کنند. تعداد نرون های لایه خروجی نیز از همان قانون تعیین نرون های لایه ورودی تبعیت می کند و برابر با تعداد متغیرهای خروجی است. شبکه های عصبی ممکن است یک

یا چند خروجی مجزا داشته باشند؛ به عبارتی آن‌ها می‌توانند با خروجی‌های چندگانه، بسته به تعداد خروجی‌های شبکه، مدل‌سازی شوند [۳۲].

تعیین تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نرون‌های هر لایه پنهان و همچنین توابع انتقال یا ترکیب، یکی از مهم‌ترین مراحل طراحی شبکه است که به پیچیدگی شبکه و کاربرد آن بستگی دارد. برای تعیین بهینه تعداد لایه‌ها، نرون‌ها و نوع توابع انتقال، از روش حدس و خطا استفاده می‌شود. بدین ترتیب که ساختارهای مختلف در نظر گرفته می‌شوند و بهترین مدل براساس مبانی آماری مانند ضریب همبستگی^{۷۰} و میانگین مربعات خطا^{۷۱} برای داده‌های آموزش و آزمون، انتخاب می‌گردد. ضریب همبستگی: نسبت انحراف داده‌ها از مدل را بیان می‌کند و هرچه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد، انطباق داده‌ها با مدل مورد نظر بیشتر خواهد بود. این نوع همبستگی به رگرسیون نیز معروف است.

$$R^2 = (1 - \frac{\sum_{i=1}^N (obs - cal)^2}{\sum_{i=1}^N (obs - cal_{cve})^2} - 3) \quad (۱-۳)$$

که در آن N تعداد داده‌ها، obs مقدار خروجی واقعی مشاهده شده، cal مقدار خروجی محاسبه شده با مدل و calave میانگین مقادیر خروجی محاسبه شده با مدل می‌باشد. میانگین مربعات خطا هرچه مقدار آن به سمت صفر میل کند، نشانه موفقیت بیشتر مدل در پیش‌بینی نتایج می‌باشد [۳۳].

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (obs - cal)^2 \quad (۲-۳)$$

^{۷۰} Correlation Coefficient

^{۷۱} Mean Squared Errors (MSE)

همبستگی و وابستگی بین متغیرها: ضریب همبستگی یکی از معیارهای مورد استفاده در تعیین همبستگی دو متغیر است. ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. این ضریب بین ۱- و ۱ متغیر است و در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر، برابر صفر می‌باشد.

۳-۷-۲ مدل ریاضی یک نرون در شبکه عصبی مصنوعی

مدل ریاضی نرون (سلول عصبی) از دو بخش اساسی تابع ترکیب و تابع تحریک تشکیل شده است.

۳-۷-۲-۱ تابع ترکیب

ورودی‌های یک نرون از نرون‌های مجاور و یا منابع خارجی سرچشمه می‌گیرند. ابتدا، هر یک از ورودی‌ها در وزن مخصوص به خود، ضرب می‌شوند و آنگاه، به کمک یک عملگر مجموع، مجموع وزن‌دار شده ورودی‌ها به دست می‌آیند. وزن‌ها ابتدا به دلخواه (اغلب تصادفی) مقداردهی و بعد در مرحله آموزش شبکه اصلاح و بهینه می‌شوند [۳۴].

۳-۷-۲-۲ تابع تحریک

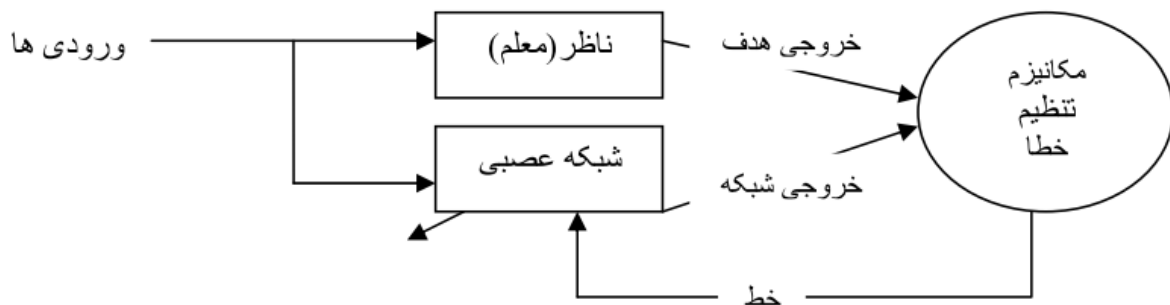
تابع تحریک (تابع انتقال یا فعال‌سازی) فرایند تحریک در یک نرون را کنترل و مشخص می‌کند که خروجی یک نرون، فعال باشد یا نباشد. بیشتر وقت‌ها، فعال بودن خروجی یک نرون به مثبت یا منفی بودن ورودی تابع تحریک وابسته است. ورودی تابع تحریک همان خروجی تابع ترکیب است [۳۲].

۳-۷-۳ الگوریتم یادگیری

قانون یا الگوریتم یادگیری به معنی روش اصلاح مقادیر وزن‌های شبکه است. هدف قانون یادگیری، آموزش شبکه برای انجام یک کار خاص است. انواع گوناگونی از الگوریتم‌های یادگیری وجود دارند که در یکی از سه گروه زیر قرار می‌گیرند [۳۴].

۳-۷-۳-۱ الگوریتم یادگیری نظارتی

در یادگیری به کمک مثال یا یادگیری نظارتی، مثال‌هایی از رفتار ایده‌آل شبکه که مجموعه آموزشی نامیده می‌شود، به قانون یادگیری اعمال می‌شود. در این الگوریتم با اعمال ورودی‌ها به شبکه، خروجی‌های شبکه با خروجی‌های مطلوب مقایسه می‌شوند. سپس، قانون یادگیری برای تنظیم متغیرهای شبکه به کار می‌رود؛ به گونه‌ای که خروجی‌های شبکه را هر چه بیشتر به اهداف مطلوب نزدیک کند (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲ نمایش فرآیند یادگیری نظارتی [۳۴]

۳-۷-۱-۱-۱ الگوریتم پس انتشار خطا^{۷۲}

الگوریتم پس انتشار خطا یک روش یادگیری نظارت شده است که از آن برای آموزش شبکه‌های عصبی رو به جلو، مانند شبکه‌های پرسپترون چندلایه^{۷۳} استفاده می‌شود. این الگوریتم از دو مسیر مختلف موسوم به مسیرهای رفت و برگشت، تشکیل شده است. در مسیر رفت، ابتدا بردار ورودی به شبکه اعمال و با در نظر گرفتن مقادیر کاملاً تصادفی برای اوزان و بایاس‌های شبکه، تأثیرات آن از لایه‌های میانی به لایه‌های خروجی منتشر می‌شود. بردار تشکیل شده در لایه خروجی، پاسخ شبکه را بیان می‌کند. در مسیر برگشت، ابتدا خطای بین جواب‌های متناظر شبکه با جواب‌های آموزشی با استفاده از رابطه مورد نظر کاربر که به تابع عملکرد نیز مشهور است، محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از روش‌های موجود، مشخصه‌های شبکه برای کاهش خطای محاسبه شده اصلاح می‌شوند [۳۲].

روش‌های مختلفی برای الگوریتم پس انتشار خطا مطرح هستند. در تمام این روش‌ها از گرادیان تابع عملکرد برای کاهش خطای شبکه مورد نظر و در نتیجه مشخصه‌های شبکه استفاده می‌شود. برخی از روش‌های مطرح در این زمینه، در ادامه بیان می‌گردد.

- روش گرادیان نزولی^{۷۴}
- روش گرادیان نزولی یا مومنتم^{۷۵}
- روش گرادیان مزدوج^{۷۶}
- روش شبه نیوتن^{۷۷}
- روش لوبنبرگ-مارکوات^{۷۸}

^{۷۲} Back Propagation

^{۷۳} Multi Layer Perceptron (MLP)

^{۷۴} Gradient Descent

^{۷۵} Gradient Descent With Momentum

^{۷۶} Conjugate Gradient

^{۷۷} Quasi-Newton

^{۷۸} Levenberg-Marquardt

سرعت عملکرد دو روش اول کم است، درحالی که دیگر روش‌ها از دو روش اول کارا تر هستند. از آن‌جا که روش لونبرگ-مارکوات سریع‌ترین روش در بین این روش‌هاست، لذا معمولاً از آن برای تنظیم مشخصه‌های مدل استفاده می‌شود [۳۳].

۳-۷-۳-۲ الگوریتم یادگیری تقویت‌شده یا تشدید

یادگیری تقویت‌شده مشابه یادگیری نظارتی است، با این تفاوت که به جای دادن خروجی واقعی مربوط به هر ورودی به قانون یادگیری، تنها یک عدد یا درجه که معرف مقدار عملکرد شبکه روی مجموعه‌ای از ورودی‌ها است، به شبکه داده می‌شود. قانون یادگیری متغیرهای شبکه را برای بیشینه کردن این عدد تنظیم می‌کند. این نوع یادگیری در مواقع خاص و بیشتر در کنترل سیستم به کار می‌رود.

۳-۷-۳-۳ الگوریتم یادگیری غیرنظارتی

در بسیاری از کاربردها، باید از شبکه خواست که داده‌های آموزشی را به تنهایی طبقه‌بندی کند. برای این کار دو شرط اساسی باید در نظر گرفته شوند: عضویت در یک طبقه به‌طور کلی به معنای داشتن ویژگی‌های مشترک است و شبکه می‌تواند این ویژگی‌های مشترک را در گستره داده‌های ورودی تمیز دهد. شبکه‌های خودسازمان‌ده از این نوع شبکه‌ها هستند و از آموزش بدون نظارت بهره می‌گیرند. در این یادگیری خروجی‌های مطلوب در دسترس نیستند و متغیرهای شبکه به کمک پاسخ خود شبکه اصلاح می‌شوند. با استفاده از این نوع الگوریتم‌ها، شبکه ویژگی‌هایی از ورودی‌ها را که باعث طبقه‌بندی می‌شوند حدس می‌زند و نوعی عملیات خوشه‌بندی را انجام می‌دهند. باید توجه داشت که در این حالت، طراح هدف و مقصد نهایی را مشخص می‌کند. از این نوع شبکه‌ها در صنعت نفت و گاز برای تفسیر نمودارهای چاه‌پیمایی و تشخیص لیتولوژی استفاده می‌شود [۳۲].

۳-۷-۴ انتخاب داده‌های آموزشی

داده‌های آموزشی به دودسته تقسیم می‌شوند. یکی داده‌هایی که برای تعیین وزن‌ها و تابع انتقال به‌کاربرده می‌شوند و دیگری داده‌های کنترلی است که جهت اندازه‌گیری خطای تخمین کل استفاده می‌شود. انتخاب این مجموعه داده‌ها از مهم‌ترین مراحل کار با شبکه‌های عصبی مصنوعی تخمین‌گر می‌باشد و عدم انتخاب الگوهای مناسب باعث می‌شود عمل آموزش به‌خوبی انجام نگرفته و در هنگام استفاده از داده‌های اعتبارسنجی، همبستگی ضعیفی بین داده‌های به‌دست‌آمده از نگار و داده‌های مغزه دیده شود. داده‌های آموزشی باید به‌گونه‌ای باشند که در هنگام آموزش شبکه، آن را گمراه نسازند، یعنی به ازای دو ورودی مشابه برای شبکه دو جواب متفاوت وجود نداشته باشد. البته عکس این قضیه در امر آموزش اختلالی ایجاد نمی‌کند. پس از انتخاب مجموعه داده‌ها در حدود ۷۰٪ آن در مرحله آموزش مورد استفاده قرار گرفته و در حدود ۳۰٪ باقیمانده برای مرحله اعتبارسنجی شبکه کنار گذاشته می‌شوند.

هرچه تعداد متغیرهای ورودی شبکه بیشتر شود، به یک مجموعه آموزشی بزرگ‌تر نیاز است تا شبکه بتواند الگوهای موجود را در فضای داده‌ها بهتر بشناسد. متأسفانه در این باره قانونی ساده و مشخص وجود ندارد و بر اساس نوع شبکه، تعداد متغیرهای شبکه، نوع مسئله و پیچیدگی الگوهای موجود در فضای داده‌ها، باید تعداد نمونه‌های موجود در مجموعه آموزشی را انتخاب کرد. زمان لازم برای آموزش شبکه با تعداد متغیرهای ورودی و نیز تعداد وزن‌های موجود در ساختار شبکه رابطه مستقیم دارد. هر چه تعداد متغیرهای ورودی شبکه بیشتر باشد، زمان لازم برای هم‌گرایی شبکه برای به دست آوردن جواب بیشتر خواهد بود. زیاد بودن تعداد متغیرها علاوه بر صرف وقت مشکلی بزرگ‌تر را ایجاد می‌کند؛ با افزایش تعداد متغیرها احتمال این که شبکه به جوابی نامناسب همگرا شود زیادتر می‌شود. در چنین مواقعی، حذف متغیرهایی که اثر مثبت و معنی‌دار بر افزایش قدرت پیش‌بینی و تخمین ندارند (با روش‌های آماری) موجب افزایش قدرت شبکه می‌شود.

۳-۷-۵ معیارهای پایان آموزش شبکه

چند روش برای پایان دادن به روند آموزش شبکه وجود دارند که انتخاب هر یک به مسئله و هدف از طراحی شبکه بستگی دارد. مهم‌ترین آن‌ها در زیر آورده شده‌اند [۳۲]:

- هنگامی که میانگین مربعات خطا در هر دوره (برای تمام الگوهای یادگیری) کمتر از مقداری مشخص شود، آموزش شبکه متوقف می‌شود. باید توجه کرد که هر دوره شامل یک‌بار خوراندن همه نمونه‌های یادگیری به شبکه است.
- تغییرات تابع خطا در دوره‌های متوالی از یک مقدار از پیش تعیین‌شده کوچک‌تر می‌شود. نمودار (رویه) خطا دارای حداقل‌های محلی و کلی است و نشانه حداقل شدن تابع خطا این است که این تابع در نقطه تقریباً ثابت شود. به عبارتی، هنگامی که تغییرات در میانگین مربعات خطا (هر نوع تابع خطای دیگر) در دوره‌های متوالی به اندازه کافی کوچک (معمولاً کمتر از 0.1 تا 0.01 درصد) باشند، آموزش شبکه متوقف می‌شود و تنظیم و اصلاح اوزان پایان می‌یابد.
- روش اعتبارسنجی متقاطع: در این روش درصدی از داده‌های آموزش با نام داده‌های اعتبارسنجی جدا می‌شود (درواقع مجموعه داده‌های اولیه به سه دسته آموزش، آزمون و اعتبارسنجی تقسیم‌بندی می‌شوند). آزمایش شبکه با داده‌های اعتبارسنجی هم‌زمان با آموزش در هر دور انجام می‌شود و درست وقتی که خطا در داده‌های اعتبارسنجی شروع به بالا رفتن می‌کند، آموزش شبکه قطع می‌شود. در حقیقت این روش از بیش‌برازش شدن شبکه جلوگیری می‌کند.

گاهی هم می‌توان هم‌زمان از دو یا چند معیار بهره گرفت و هر یک که زودتر ارضا شد، آموزش شبکه را پایان داد.

فصل چهارم

مدل سازی شبکه گسسته شکستگی ها

۴-۱ مقدمه

در این فصل، ابتدا به اختصار منطقه‌ی مورد مطالعه و داده‌های استفاده‌شده در پایان‌نامه شرح داده می‌شود. داده‌های مورد استفاده، شامل چاه‌نمودارای پتروفیزیکی و چاه‌نمودارای تصویری هفت چاه از میدان مورد مطالعه می‌باشند. سپس به‌طور مختصر فرآیند مدل‌سازی شکستگی‌ها به‌روش DFN و در نرم‌افزار پترل شرح داده می‌شود. در پایان، به تفصیل روش استفاده شده جهت بهبود مدل‌سازی را بیان کرده و نتایج حاصل از روش اعمال شده (شرطی‌سازی مدل DFN به سکانس‌های تعیین‌شده در چاه‌های میدان مورد مطالعه) را با نتایج DFN ساخته شده به‌روش معمول مقایسه کرده و به تحلیل نتایج پرداخته می‌شود.

۴-۲ حوضه رسوبی زاگرس

زاگرس حوضه‌ای رسوبی است که از شمال و شمال خاور به راندگی اصلی زاگرس و از جنوب خاور به کوه‌های عمان و از باختر و جنوب باختر به سپر عربستان محدود می‌شود. زاگرس مهم‌ترین منطقه نفتی-گازی ایران است. این ایالت نفتی، بین سپر عربستان و زون سنندج-سیرجان قرار دارد. در این ایالت، تقریباً رسوبات کامبرین زیرین تا پلیوسن را می‌توان به‌صورت متوالی مشاهده کرد. این حوضه از کامبرین پیشین تا تریاس میانی، همانند نقاط دیگر ایران، محیط رسوبی سکویی داشته که گاهی تحت تأثیر حرکات خشکی‌زایی بوده است. از اواخر تریاس تا میوسن، رسوباتی به سبب برای بیش از ۱۰۰۰۰ متر در حوضه، در حال فرونشینی مداوم، تشکیل شده است. این رسوبات بیشتر کربناته و در مواردی ماسه‌سنگ، شیل و مارن است [۳۵].

وجود رسوبات تبخیری و بعضی از نبوده‌های چینه‌شناسی کوتاه‌مدت، حاکی از خشکی‌زایی در این حوضه است. از اواخر میوسن-پلیوسن، رسوبات تشکیل‌شده قبلی در اثر کوه‌زایی شدید از آب خارج‌شده

و چین خورده‌اند و در محدوده‌ای از آن، روراندگی پیچیده ساختاری ایجاد شده است، به طوری که رسوبات جوان تر (سازند بختیاری) با رسوبات زیرین خود حالت دگرشیبی زاویه دار پیدا کرده‌اند [۳۵].

روند زاگرس، شمال باختر-جنوب خاور است. از شمال باختری کشور آغاز شده و تا تنگه هرمز ادامه می‌یابد و اساساً بخشی از کمربند کوه‌زایی آلپ-همالیا به‌شمار می‌رود. دگرشکلی‌های حاصل در این منطقه را به برخورد صفحه‌های عربستان و ایران مرکزی و یا بالآمدگی در مراحل آخر توالی رسوبات زمین‌ناودیدی به شکل قدیمی آن نسبت داده‌اند [۳۵].

۴-۲-۱ سیستم‌های نفتی زاگرس

سیستم‌های نفتی زاگرس عبارتند از سیستم نفتی فروافتادگی دزفول و سیستم نفتی فارس، در ادامه به توضیحاتی در مورد سیستم نفتی فروافتادگی دزفول پرداخته می‌شود.

۴-۲-۱-۱ سیستم نفتی فروافتادگی دزفول

فروافتادگی دزفول در مجاورت ناحیه فارس قرار دارد. در فروافتادگی دزفول پختگی سنگ منشأ و زایش نفت و تشکیل تله‌های نفتی و دیگر حوادث تعیین‌کننده سیستم نفتی فرآیندهای نسبتاً جوانی هستند که در ۱۵ میلیون سال اخیر روی داده‌اند. تجمع سریع ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر مکعب نمک و انیدریت سازند گچساران در اوایل میوسن رخ داده و طی آن سنگ منشأ کژدمی در اکثر مناطق فروافتادگی دزفول، به‌جز در مناطق شمال غرب، به سطح پختگی لازم برای زایش نفت رسیده است. هم‌زمان با آن تشکیل چین‌های بزرگ زاگرس و شکل‌گیری نفت‌گیرها موجب انباشته شدن نفت در فروافتادگی دزفول شده است. در ناحیه فارس سازندهای گچساران، آغاچاری و بختیاری، برخلاف فروافتادگی دزفول، دارای گسترش و ضخامت کمتری هستند.

در قسمت‌های کوهستانی فروافتادگی دزفول، بالاآمدگی موجب شده است که سازند کژدمی به پختگی کامل نرسد، مانند کوه بنگستان، درحالی‌که در فاصله نسبتاً کم (۱۵ کیلومتری جنوب غربی همین محل) به علت فرونشست کافی، این سازند به پختگی رسیده است مانند میدان آغاچاری در قسمت‌های ساحلی فروافتادگی دزفول فرونشست کمتر دیده می‌شود و سازند کژدمی در ابتدای پختگی حرارتی می‌باشد [۳۵ و ۱۲].

حرکات کوه‌زایی در میوسن پیشین و بالاآمدگی‌های حاصل از آن موجب ایجاد شرایطی شدند که دائماً نفت تولید و انباشته شود. نفت‌ها پس از تولید در گروه بنگستان قرار می‌گرفتند و پس از آن‌که سنگ پوش‌های پابده و گورپی در اثر گسلش بریده شدند نفت به سازند آسماری مهاجرت نموده است. سنگ‌های مخازن شناخته‌شده دنیا بیشتر ماسه‌سنگی و کربناته و مخازن نفتی ایران اکثر کربناته هستند. مخازنی با سنگ‌شناسی مختلط شامل ماسه‌سنگ‌ها و کربنات‌ها دیده می‌شوند، مانند سازند آسماری در میدان‌های اهواز و مارون و هم‌چنین در شمال بندرعباس در میدان گازی سرخون، کنگولومرای قاعده سازند رازک گازخیز است. تمام نفت‌های کشف‌شده در زاگرس در نفت‌گیرهای تاکدیدی تجمع یافته‌اند و اگر سخنی از نفت‌گیرهای گسلی به میان آید، بازهم نقش گسل‌های مرتبط با تاکدیس‌ها پررنگ است. هرچه از زاگرس به طرف جنوب پیش برویم چین‌ها جوان‌تر می‌گردند [۳۵ و ۱۲].

۳-۴ موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه

این میدان از لحاظ زمین‌شناسی در فروافتادگی دزفول و در فاصله ۲۲۰ کیلومتری جنوب شرقی اهواز قرار گرفته است و شامل سازندهای شکاف‌دار آسماری و گروه بنگستان بوده که در جهت عمومی شمال غربی، جنوب شرقی تاکدیس‌های میادین نفتی جنوب ایران واقع شده است. این میدان، تاکدیدی به طول ۷۰ کیلومتر و عرض ۶ تا ۱۵ کیلومتر است. بیشترین تولید نفت از سازند آسماری این میدان صورت می‌گیرد که عمدتاً از سنگ‌های کربناته تشکیل شده است.

۴-۳-۱ سازند آسماری

ذخایر اصلی جنوب غربی ایران در سنگ‌های شکافدار کربناته ترشیری سازند آسماری که همراه با دیگر مجموعه‌های قدیمی‌تر در گروه بنگستان نهشته شده‌اند. سازند آسماری با سن اولیگومیوسن دارای ضخامت ۳۰۰ تا ۳۷۰ متر و شامل دولومیت‌های محلی، سنگ‌های آهکی ساحلی است (دارای بخش‌هایی از ماسه‌سنگ) که در جنوب غربی حوضه رسوبی با ساختار سنگی کاملاً یکنواخت و وسیع گسترده شده‌اند. دگرشیبی‌هایی نیز از مارل و سنگ‌های آهک مارلی سازند پابده که توسط انیدریت‌ها و سنگ آهک‌های سازند گچساران پوشانده شده قابل مشاهده می‌باشد. در یک نگاه اجمالی به‌نظر می‌رسد که سازند آسماری یک دست می‌باشد ولی این سازند به‌حدی شکسته شده است که در بعضی از موارد تراوایی آن بیش از ۵ داریسی^{۷۹} خواهد بود [۳۵].

مک‌کولین^{۸۰} (۱۹۷۳) این شکاف‌ها را با جزئیات بیشتری در چندین چاه در مناطقی واقع در محدوده کمربندی گسله‌های جلو کوه‌های زاگرس مورد آزمایش قرار داد. ایشان دوسری شکاف‌های کوچک و بزرگ را مشخص کرد که کم و بیش دارای تراکم ثابت بوده و بدون توجه به ساختار آن‌ها در هر کجا که بسترها از لحاظ ضخامت و سنگ‌شناسی دارای ویژگی‌های مشابه بودند. همچنین او دریافت که تراکم با معکوس لگاریتم ضخامت بستر تغییر می‌کند. جهت شکاف‌ها به‌صورت گسترده‌ای متغیر می‌باشد درحالی‌که فقط تعداد کمی از آن‌ها مربوط به گسل‌های اواخر ترشیری و بالآآمدگی کوه‌های زاگرس است. در نهایت ایشان نظریه تکتونیک را مورد تردید قرار داده و معتقدند که شکاف‌ها بلافاصله پس از ته‌نشینی ذرات و احتمالاً در نتیجه شوک امواج تولید شده‌اند. جهت‌گیری شکاف‌ها بدین ترتیب به‌وسیله ریخت‌شناسی و خواص فیزیکی لایه‌ها در اواخر ترشیری تثبیت شده‌اند [۳۵ و ۱۲].

^{۷۹} Darcy

^{۸۰} MacCollin

۴-۳-۲ سازند گچساران

نام این سازند از میدان نفتی گچساران که در آن به خوبی گسترش دارد، برگرفته شده است. سازند مزبور در خوزستان به ۷ بخش تقسیم شده است. بخش های هفت گانه عبارتند از [۳۵ و ۱۲]:

بخش ۱: ضخامت آن ۳۹/۶ متر است و نقش پوش سنگ مخزن آسماری را دارد. این بخش شامل تناوبی از لایه های ضخیم انیدریت با لایه های نازک آهکی و گاهی با شیل های قیری است. بخش مزبور به طور هم شیب بر روی سازند آسماری قرار گرفته است. در حفاری های نفتی این بخش اهمیت زیادی دارد، زیرا در سطح زیرین آن فشار بالای سازند گچساران ناگهان به فشار پایین سازند آسماری تبدیل می شود. بخش ۲: ضخامت آن ۱۳/۵ متر است. لیتولوژی غالب در آن نمک است که در آن لایه هایی از انیدریت و آهک نازک لایه نیز دیده می شود.

بخش ۳: دارای ضخامت ۲۲۵ متر و شامل انیدریت با میان لایه هایی از آهک و مارن است.

بخش ۴: ضخامت آن ۸۳۴/۵ متر و شامل لایه های ضخیم نمک است که همراه با مارن و آهک خاکستری با انیدریت، قسمت عمده ای از این بخش را تشکیل می دهد.

بخش ۵: ضخامت آن ۳۰۸ متر است و در آن تناوبی از انیدریت با مارل های قرمز تا خاکستری دیده می شود.

بخش ۶: دارای ضخامت ۲۷۸ متر و شامل تناوبی از انیدریت با مارن قرمز و آهک است.

بخش ۷: این بخش به طور هم شیب به وسیله سازند میشان پوشیده می شود و دارای تناوبی از انیدریت، مارن خاکستری و آهک ماسه ای با ضخامت ۱۳۷ متر است.

۳-۳-۴ زون بندی مخزن آسماری میدان مورد مطالعه

مخزن آسماری میدان گچساران بر مبنای ویژگی‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیکی مانند ترکیب سنگ‌شناسی، وجود یا عدم وجود تخلخل یا هیدروکربور به چهار زون A, B, C, D تقسیم می‌شوند که در ادامه به تشریح این زون‌ها پرداخته شده است.

زون A: این واحد کربناتی قسمت فوقانی آسماری را تشکیل می‌دهد و به دو زیرلایه A_1 و A_2 با ضخامت مساوی تقسیم می‌شود.

زون B: کربنات‌های این واحد نسبت به زون A تمیزتر هستند. این زون شامل چهار زیرلایه است.

- زیرلایه B_1 توسط لایه شیلی که زیرلایه A_2 قرار دارد، مشخص شده است و ضخامت آن حدود ۱۰-۲۰ متر می‌باشد.
- زیرلایه B_2 قسمت ضخیم زون B است و پدیده دولومیتی شدن شدید در میان این لایه رخ داده است.
- زیرلایه B_3 لایه‌ای ۱۰ الی ۲۰ متری است که عموماً مشخصه این لایه پایین بودن تخلخل آن است.
- زیرلایه B_4 شامل کربنات‌های نسبتاً تمیز بوده و مقدار دولومیت آن بیش از ۷۰٪ است. این لایه تخلخل خوبی دارد.

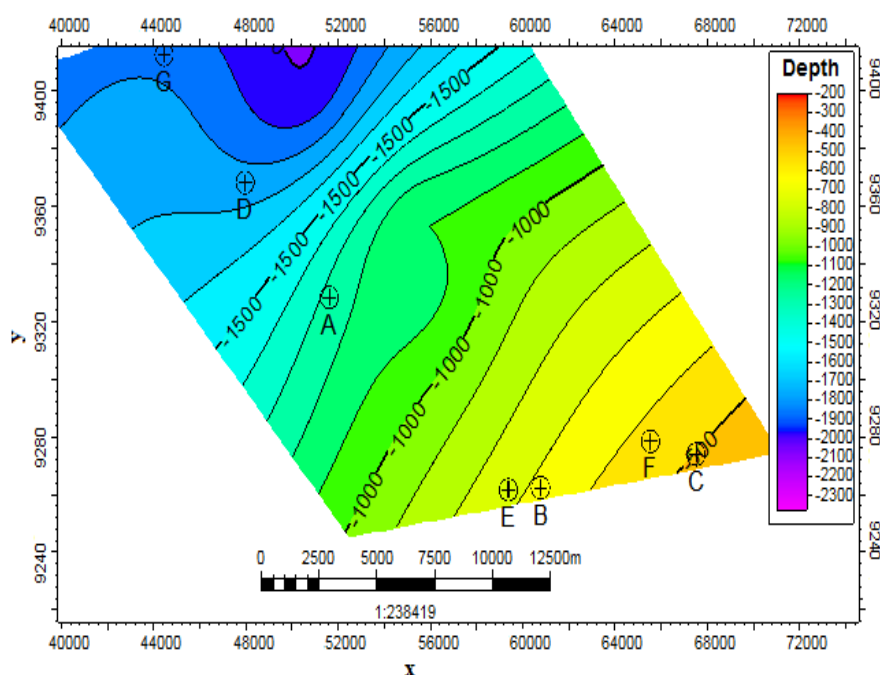
زون C: شامل لایه‌های C_1 و C_2 و ترکیبی از دولومیت و آهک می‌باشد؛ اما هرچه به سمت زون D نزدیک‌تر می‌شود مقدار آهک آن افزایش می‌یابد.

زون D: این زون به دو زیرلایه D_1 و D_2 تقسیم می‌شود. لایه D_1 از سنگ آهک تمیز تشکیل شده است و در انتهای این لایه شیل نیز دیده می‌شود، اما لیتولوژی غالب در لایه D_2 شیل است.

منشأ این شکاف‌ها هرچه باشد، تولید بالای مخزن حاکی از ذخایر فراوان، تناوب شکاف‌ها و ابعاد سازند آسماری می‌باشد. شبکه‌های شکستگی بر اساس اندازه بلوک‌ها و تخلخل اولیه به هیدروکربن‌های دارای جریان آزاد از درون شکاف‌ها در راستای عمق و جوانب تقسیم می‌شود. هر دو نوع نفت مهاجرت یافته اولیه و نفت فعلی که جابه‌جا می‌گردند، از منشأ شکاف‌های سازند آهکی آسماری می‌باشند [۳۶ و ۳۵].

۴-۴ داده‌های استفاده شده در مدل‌سازی شکستگی‌های میدان مورد مطالعه

در این مطالعه از داده‌های چاه‌نمودارهای تصویری و پتروفیزیکی هفت چاه استفاده شده است که در زیر به اختصار در مورد آن‌ها شرح داده شده است. در شکل ۴-۱ موقعیت چاه‌ها بر روی نقشه خطوط تراز زیرزمینی^{۴۱} منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۴-۱ نمایش موقعیت چاه‌ها بر روی نقشه خطوط تراز زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه (سازند آسماری)

^{۴۱} Under Ground Contour Map

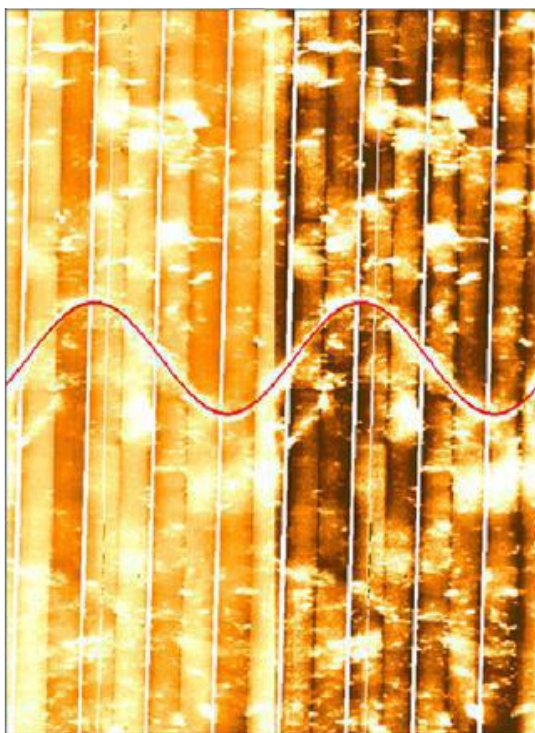
۴-۴-۱ چاه‌نمودارهای تصویری

چاه‌نمودارهای تصویری از مهم‌ترین منابع اطلاعاتی برای مطالعه مخازن شکافدار و سرشت‌نمایی شکستگی‌ها هستند. دو نوع اصلی چاه‌نمودارهای تصویری، الکتریکی و چاه‌نمودارهای صوتی می‌باشند؛ که نوع اول به دلیل داشتن وضوح عمودی بالاتر برای شناسایی شکستگی‌ها دارای کاربرد بیشتری است. چاه‌نمودارهای تصویری، تصویری استوانه‌ای شکل و مجازی از دیواره چاه با قدرت تفکیک بالا هستند که قادرند پدیده‌های ظریف دیواره را نشان دهند [۳۷].

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 چاه‌نمودار تصویری نمایش داده می‌شود، شکستگی یا لایه‌بندی به صورت یک موج سینوسی ظاهر می‌شود [۳۸].

چاه‌نمودارهای تفسیر شده، جهت محاسبه اطلاعات مهم از قبیل جهت‌گیری، عمق و دهانه شکستگی‌ها و صفحات لایه‌بندی استفاده گردیده است. هر شکستگی شناسایی شده از چاه‌نمودارهای FMI^{۴۲} 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. چاه‌نمودار FMI تصویری ۳۶۰ درجه از چاه را در حالت ۲ بعدی فراهم کرده در نتیجه شکستگی‌ها به صورت امواج سینوسی ظاهر می‌گردند (شکل ۴-۲).

^{۴۲}Formation Micro Imager



شکل ۴-۲ نمایش پاسخ چاه‌نمودار FMI در مقابل شکستگی‌ها [۳۸]

۴-۴-۲ چاه‌نمودارهای پرتو گاما

چاه‌نمودار پرتو گاما میزان رادیو اکتیویته حاصل از اورانیوم، توریم و پتاسیم سازند را اندازه‌گیری می‌کند. این چاه‌نمودار برای محاسبه حجم شیل نیز به کار می‌رود. در این مطالعه برای تعیین سکانس‌های چاه‌ها از این چاه‌نمودار استفاده شده است.

۴-۵ ساخت مدل شبکه گسسته شکستگی

برای ساخت مدل شبکه گسسته شکستگی‌ها، ابتدا باید مدل استاتیک مخزن ساخته شود. برای ایجاد مدل استاتیک از روش‌های قطعی (مثل کریجینگ^{۸۳}) و هم‌احتمال (مثل گوسی متوالی^{۸۴}) استفاده می‌شود که هر یک از این روش‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارند. مهم‌ترین مسأله در رابطه با

^{۸۳} Kriging

^{۸۴} Sequential Gaussian

مدل‌سازی، امکان تلفیق داده‌ها از منابع مختلف و استفاده از نتایج هر یک از آن‌ها برای یک مدل‌سازی مطلوب است. با یک مدل دقیق و واقع‌گرایانه می‌توان تخمین نسبتاً کاملی از کل مخزن، حتی مکان‌هایی که اطلاعات قابل دسترس (چاه حفاری) وجود ندارد، به‌دست آورد. نکته‌ای که وجود دارد این است که پیچیدگی‌های زمین، ناهمگنی و اطلاعات غیرمستقیم و غیر کامل به‌دست‌آمده از ابزارهای اندازه‌گیری به‌ندرت می‌تواند یک درک و فهم کامل و واقع‌گرایانه از ناهمگنی زیرسطحی را ارائه دهند؛ بنابراین در مدل‌سازی، دستیابی به یک مدل کامل و بدون نقص، امکان‌پذیر نیست.

نرم‌افزارهای پیچیده کنونی، مدل‌سازی ساختمان‌های پیچیده و نامنظم زمین‌شناسی را در سه بعد ممکن می‌سازند. این عمل با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و اطلاعات ساختمانی به‌منظور دسترسی به یک مدل صحیح صورت می‌گیرد. مدل‌های سه‌بعدی، بهترین امکان را برای لحاظ کردن تمامی داده‌های در دسترس فراهم می‌کنند.

۴-۵-۱ ساخت مدل زمین‌شناسی مخزن

بارگذاری داده‌ها نخستین گام در ایجاد یک مدل سه‌بعدی از مخزن است. این داده‌ها شامل سربرگ چاه‌ها، داده‌های مسیر و انحراف چاه، چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی، نقشه دیجیتالی مخزن، داده‌های مربوط به سر سازندها و گسل‌های موجود در منطقه هستند. در این مرحله از مدل‌سازی، داده‌های مربوط به هفت چاه از میدان مورد مطالعه در فرمت مناسب بارگذاری می‌شوند. در ادامه مخزن به یک شبکه سلول‌بندی شده تقسیم می‌شود که تمامی خواص هر سلول مانند خواص پتروفیزیکی و لیتولوژیکی در تمام حجم آن یکسان است. با توجه به فاصله شبکه‌ها از یکدیگر و میزان داده‌ها، می‌توان خواص مشابه موجود در سلول‌های فاقد اطلاعات را تخمین زد. بدیهی است هر چه میزان این اطلاعات بیشتر باشد، تخمین‌ها به واقعیت نزدیک‌تر خواهند بود. همچنین انتخاب تعداد سلول‌های شبکه هم باید به‌گونه‌ای باشد که تخمین‌ها تا حد ممکن دقیق‌تر محاسبه شوند. بدیهی است که اگر تعداد سلول‌ها کم باشد، باعث هموارشدگی در نتایج می‌شود؛ بنابراین با افزایش تعداد سلول‌ها می‌توان از هموارشدگی نتایج

مدل‌سازی جلوگیری نمود. هر چند از یک مرحله به بعد، افزایش تعداد سلول‌ها فقط زمان انجام محاسبات را افزایش می‌دهد درحالی‌که در نتایج تغییری حاصل نخواهد شد.

۴-۵-۲ توزیع شکستگی‌ها در میدان مورد مطالعه

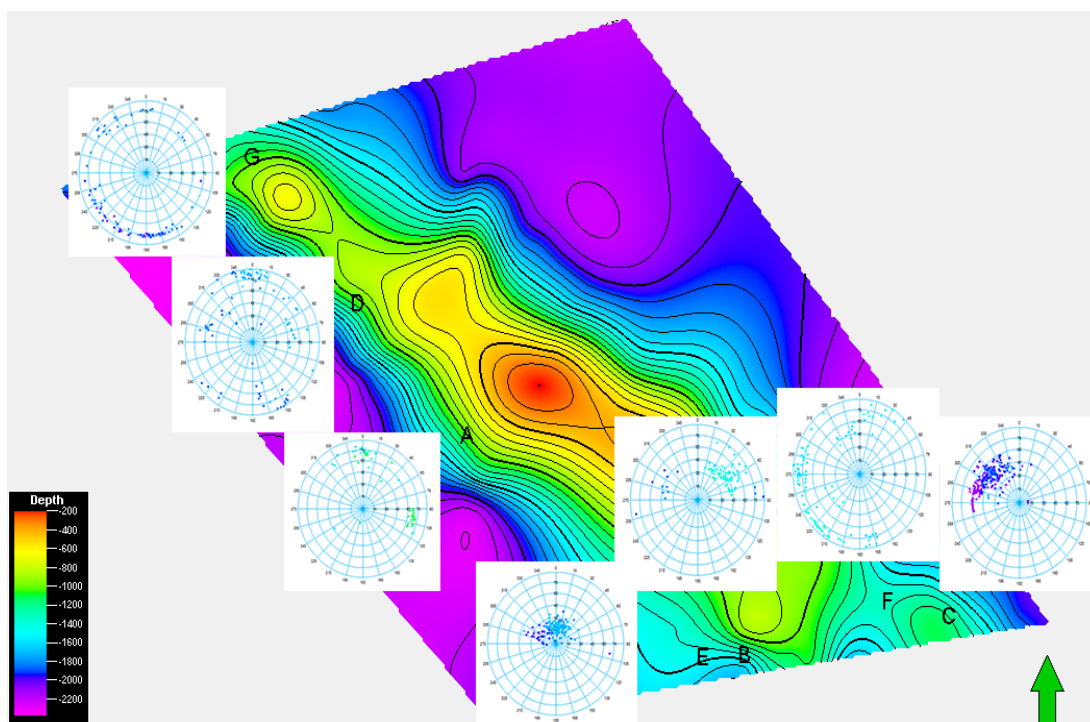
پس از ساخت مدل سه‌بعدی زمین‌شناسی مخزن، داده‌های شکستگی در دسترس میدان مورد مطالعه قرار می‌گیرند و پس از دسته‌بندی، ساخت نمودار شدت شکستگی و نقشه چگالی شکستگی‌ها به فضای بین‌چاهی و محل‌هایی که فاقد اطلاعات شکستگی هستند، تعمیم داده می‌شوند. در ادامه مراحل مدل‌سازی شکستگی‌ها شرح داده شده است.

۴-۵-۲-۱ ایجاد دسته‌های شکستگی

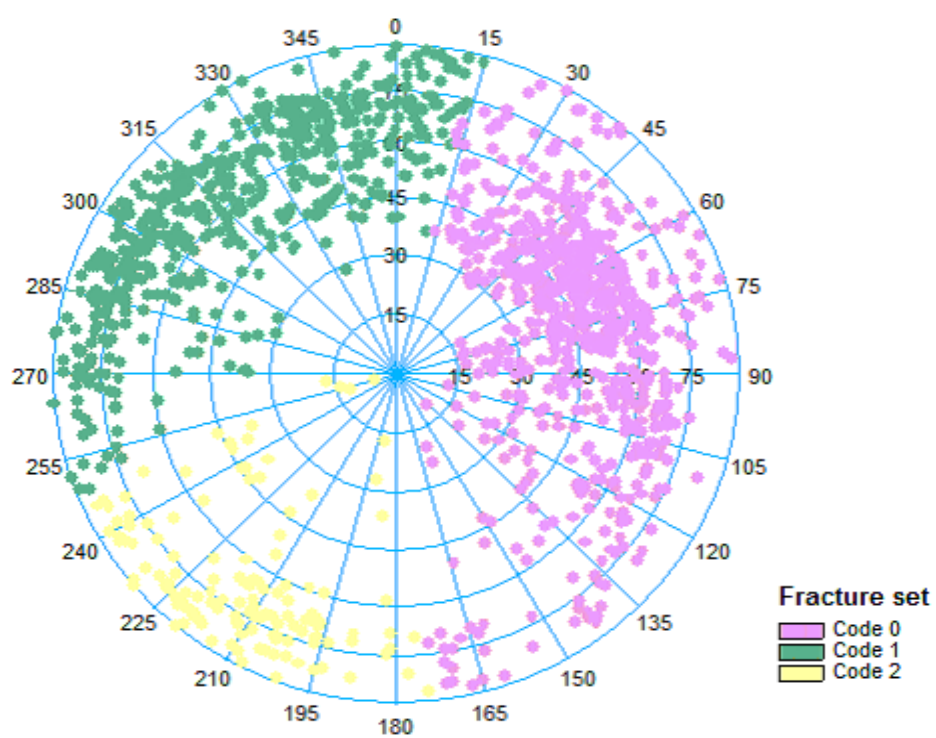
اولین مرحله از ساخت مدل DFN، تقسیم داده‌های شکستگی با استفاده از خصوصیات مشترکشان، تحت عنوان دسته شکستگی است. دسته شکستگی به مجموعه‌ای از شکستگی‌ها اطلاق می‌شود که دارای توزیع و خواص مشترک هستند. با توجه به این‌که داده‌های موجود در این مطالعه حاصل از تفسیر نمودارهای تصویری هستند، دسته‌بندی آن‌ها براساس شیب و آزیموت خواهد بود.

اساس بسیاری از روش‌های تعیین دسته‌های شکستگی مانند بچر^{۸۵} (۱۹۷۸)، بر ارزیابی اولیه از تعداد دسته‌های قطب، شناسایی در استریونت و تعیین جهت تقریبی میانگین هر دسته، استوار است. در شکل ۴-۳ نمایش داده‌های شکستگی هفت چاه مورد مطالعه بر روی استریونت نشان داده شده است. برای تعیین دسته‌های شکستگی باید پراکندگی کل شکستگی‌ها را مورد ارزیابی قرار داد. همان‌طور که در شکل ۴-۴ نشان داده شده است، سه دسته شکستگی شناسایی شد.

^{۸۵} Baecher



شکل ۴-۲ نمایش پراکنندگی شکستگی ها در چاه های میدان مورد مطالعه



شکل ۴-۳ نمایش دسته های شکستگی مربوط به منطقه مورد مطالعه

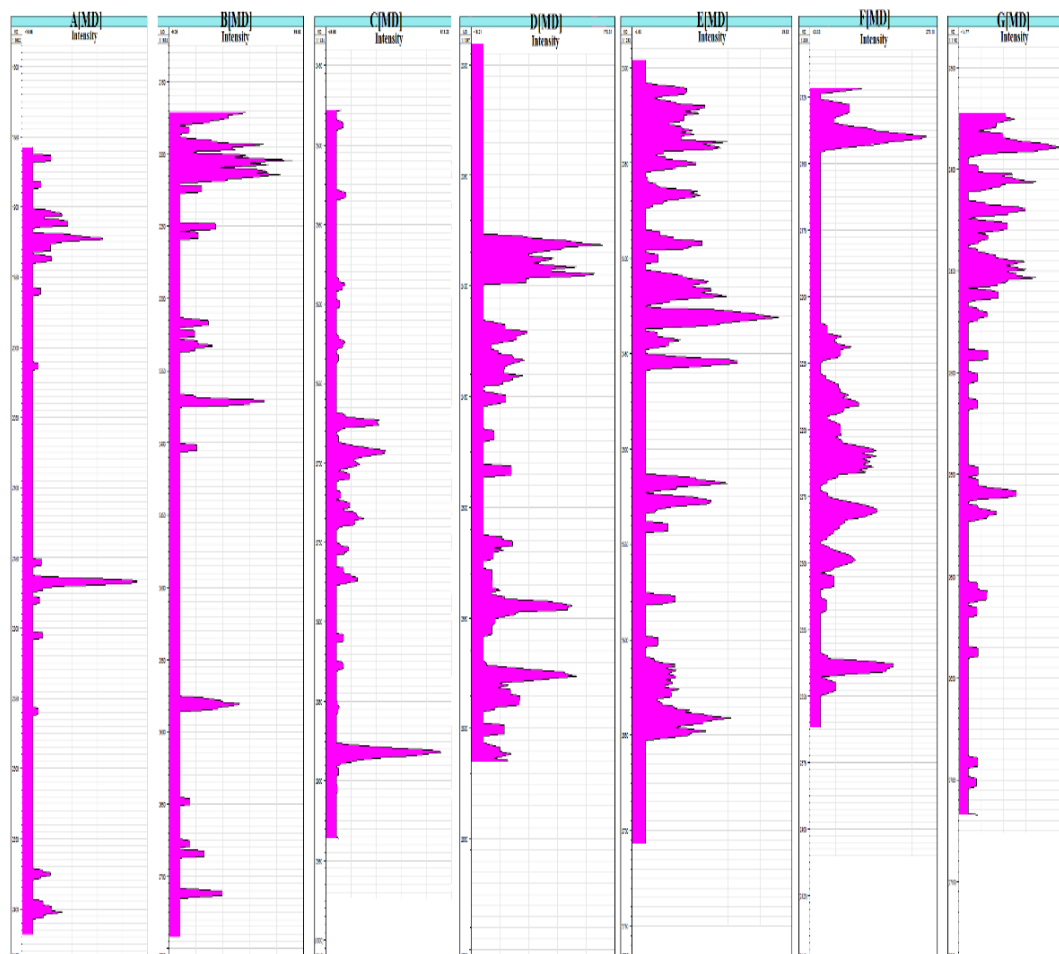
۴-۵-۲-۲ ساخت نمودار شدت شکستگی

گام بعدی در بررسی داده‌های شکستگی تبدیل داده‌های گسسته شکستگی به نمودار شدت شکستگی است. برای تفسیر و درک صحیح‌تری از شکستگی‌ها در اعماق مورد بررسی، آن‌ها را توسط این نمودار به صورت پیوسته مطالعه می‌کنیم. از فرمول ۴-۱ برای ساخت نمودار شدت شکستگی استفاده می‌شود [۳۹].

$$\text{Intensity (md)} = \text{Cumulative (md+w/2)} - (\text{Cumulative (md-w/2)})/w \quad (۴-۱)$$

در این فرمول، Intensity شدت شکستگی، w طول پنجره (متر)، md عمق مورد بررسی (متر) و cumulative نمودار تجمعی داده‌های شکستگی است.

انتخاب اندازه پنجره به عواملی مانند طول چاه، شرایط محلی زمین‌شناسی و هدف تحلیل بستگی دارد. طول پنجره با توجه به پراکندگی داده‌های این میدان ۵ متر در نظر گرفته شده است. شکل ۴-۵ نمودار شدت شکستگی را برای چاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴ نمودار شدت شکستگی چاه‌های مورد مطالعه

۴-۵-۲-۳ بزرگ‌مقیاس کردن نمودار شدت شکستگی

مرحله بعدی، بزرگ‌نمایی نمودار شدت شکستگی ساخته شده در مرحله قبل است. معمولاً نمودارها به ازای هر چند سانتی‌متر، یک مقدار عددی دارند ولی ضخامت سلول‌های شبکه چندین متر است، لذا ابتدا باید در محل چاه، مقیاس چاه‌نمودارها را بزرگ کرد؛ یعنی میانگین مقادیر چاه‌نمودارها در محدود ضخامت سلولی که با آن در تماس است را به دست آمده آورده و یک مقدار به آن پارامتر در آن سلول اختصاص داد. این عدد میانگین را به چند روش می‌توان حساب کرد. میانگین ریاضی، میانگین هندسی، میانگین هارمونیک و میانگین RMS و البته می‌تواند مقادیر مینیمم، ماکزیمم، میانه و یا عدد نقطه

وسط و یا یک عدد تصادفی را نیز قرار داد. انجام این کار از طریق فرآیند بزرگ‌مقیاس کردن^{۸۶} صورت می‌گیرد. این کار برای هر کدام از نمودارهای مورد نیاز مثل اشباع آب و تخلخل مؤثر و غیره به‌طور جداگانه انجام می‌گیرد.

برای این کار، سه روش درون‌سلولی، سلول همسایه و روش ساده برای انتخاب سلول‌های شبکه مورد نظر وجود دارد [۳۹].

- روش درون‌سلولی: برای این که یک سلول در بزرگ‌مقیاس شدن مورد استفاده قرار گیرد، باید چاه از دو ضلع مخالف سلول مثلاً بالا و پایین آن عبور کرده باشد.
- روش سلول همسایه: در این روش از مقادیر نمودار شدت شکستگی در تمام سلول‌های شبکه که مسیر چاه از آن‌ها عبور کرده و متعلق به یک‌لایه هستند، میانگین‌گیری می‌کند و مقدار میانگین را به تمام سلول‌های آن لایه نسبت می‌دهد.
- روش ساده: این روش به همه سلول‌های شبکه که مسیر چاه آن‌ها را قطع کرده است، مقادیر شدت شکستگی نسبت داده می‌شود.

در این مطالعه به دلیل این که روش سلول همسایه مقادیر دقیق‌تری را به سلول‌های شبکه نسبت می‌دهد؛ برای بزرگ‌مقیاس کردن نمودار شدت شکستگی از روش سلول همسایه استفاده شده است. شکل ۴-۶ نمودار شدت شکستگی و نمودار شدت شکستگی بزرگ‌مقیاس شده چاه B را نشان می‌دهد.

⁸⁶Scale up Well Logs



شکل ۴-۵ نمایش نمودار شدت شکستگی و نمودار شدت شکستگی بزرگ مقیاس شده چاه B

۴-۵-۲-۴ آنالیز داده‌های بزرگ مقیاس شده

در مرحله بعد، اطلاعات بزرگ مقیاس شده مورد واریوگرافی قرار می‌گیرند. روش‌های تخمین زمین‌آماري، همبستگی فضایی داده‌ها را در نظر می‌گیرند. از این‌رو اساس چنین روش‌ها، بر وجود ساختار فضایی داده‌ها است. واریوگرام‌ها از مهم‌ترین ابزارهای بروز همبستگی فضایی داده‌ها هستند. درواقع واریوگرام، میانگین مربعات تفاضل دو مقدار را به‌عنوان تابعی از نمو بین آن‌ها نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر، واریوگرام به‌عنوان روشی برای تحلیل و توصیف تغییرات فضایی بر مبنای این اصل که نمونه‌های نزدیک به هم تشابه بیشتری نسبت به نمونه‌های دورتر دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در جدول ۴-۱ دامنه تأثیر، اثر قطعه‌ای و سقف واریوگرام در جهت اصلی و فرعی آورده شده است.

جدول ۴-۱ پارامترهای واریوگرام برازش شده به داده‌ها

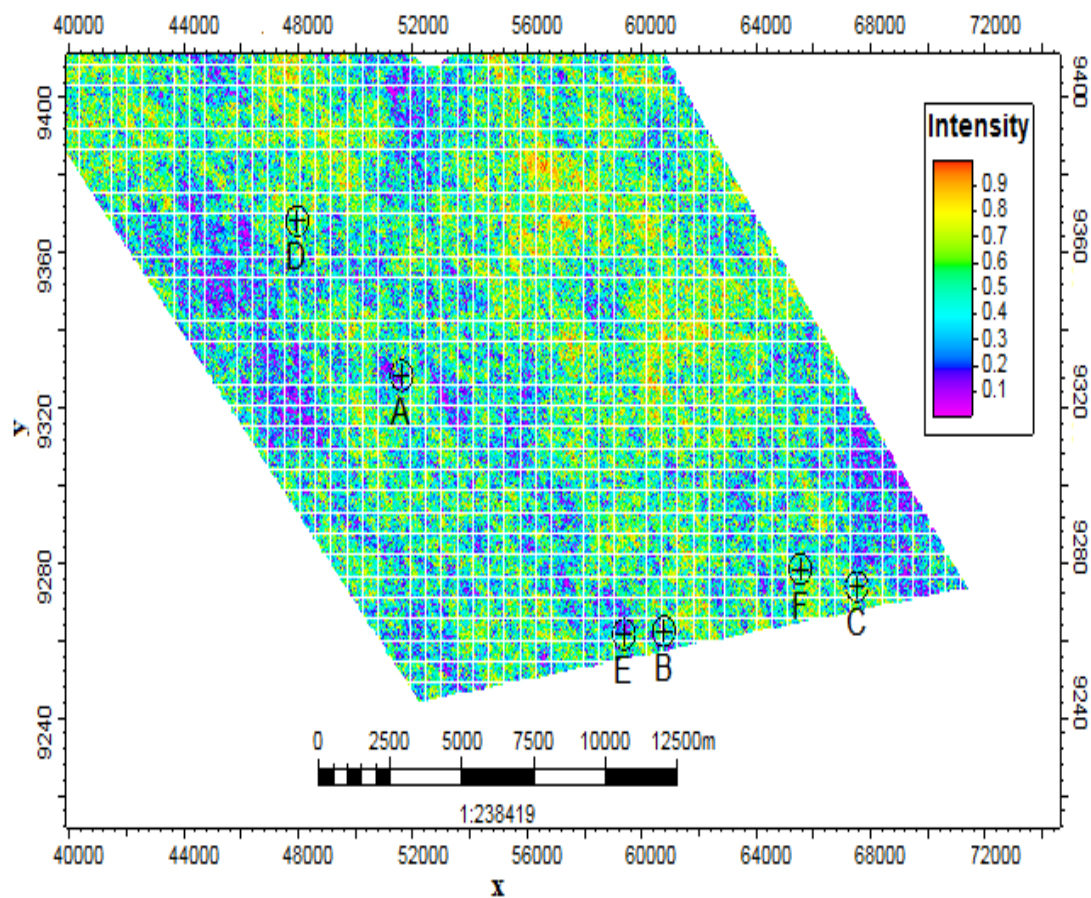
پارامترها	مقدار در جهت اصلی	مقدار در جهت فرعی
مدل	کروی	کروی
اثر قطعه‌ای	۰/۲۰	۰/۲۰
سقف	۰/۹۰	۰/۹۵
دامنه تأثیر	۵۷۰۰	۳۰۰۰

۴-۵-۲-۵ ساخت نقشه چگالی شکستگی‌ها

پس از مشخص کردن همبستگی داده‌ها، نمودار شدت شکستگی به فضای بین‌چاهی تعمیم داده شده و نقشه چگالی شکستگی حاصل می‌شود. نقشه چگالی شکستگی، یک نقشه پیکسلی است که نماینده کل ناحیه شکستگی در حجم مخزن است. در شکل ۴-۷ نقشه پراکندگی شکستگی‌های بین‌چاهی مخزن مورد مطالعه نشان داده شده است.

۳-۵-۴ آنالیز پارامترهای مورد نیاز برای ساخت DFN

در ادامه، پارامترهای توزیع، هندسه، جهت‌یافتگی و بازشدگی شکستگی‌ها که برای ساخت مدل DFN به روش هم‌احتمال^{۷۷} مورد نیاز می‌باشند، تعریف می‌شوند.



شکل ۴-۶ نمایش نقشه پراکندگی شکستگی‌ها در بین چاه‌های مورد مطالعه

^{۷۷} Stochastic

۴-۵-۳-۱ آنالیز توزیع شکستگی‌ها

اولین گام در ساخت شبکه شکستگی‌ها، تعیین موقعیت مکانی ناپیوستگی‌ها است؛ که یکی از مهم‌ترین پارامترهای تشکیل‌دهنده شبکه گسستگی‌ها می‌باشد. این پارامتر توزیع فضایی ناپیوستگی‌ها را در داخل توده سنگ بیان می‌کند که معمولاً به صورت جداگانه از دیگر پارامترها مدل‌سازی می‌شود. داده‌های مربوط به موقعیت مکانی ناپیوستگی‌ها از دو طریق قابل بازتولید می‌باشند، یکی استفاده از روش‌های زمین‌آماري و دیگری به کارگیری فرآیندهای نقطه‌ای. در هر دوی این روش‌ها، چگالی ناپیوستگی‌ها پارامتر اصلی در مدل‌سازی توزیع فضایی شبکه شکستگی‌ها می‌باشد که به صورت تعداد ناپیوستگی‌ها در واحد سطح و یا تعداد ناپیوستگی‌ها در واحد حجم بیان می‌شود. در زمین‌آمار، با استفاده از ایجاد شبکه‌های مخصوصی، چگالی ناپیوستگی‌ها با توجه به مدل‌های زمین‌آماري در هر یک از سلول‌های این شبکه شبیه‌سازی می‌شوند و پس از آن طبق قاعده پواسون، ناپیوستگی‌ها توزیع می‌شوند. فرآیندهای پواسون همگن، پواسون ناهمگن و خوشه‌ای از مهم‌ترین فرآیندهای نقطه‌ای هستند که می‌توان برای تولید داده‌های مربوط به موقعیت ناپیوستگی‌ها به کار برد.

بنابراین چگالی داده‌های شکستگی برای ساخت مدل تعریف می‌شود. چگالی شکستگی می‌تواند به صورت یکی از موارد تعداد شکستگی‌ها، طول شکستگی‌ها یا مساحت شکستگی‌ها به حجم سنگ تعریف شود. در این مطالعه نقشه چگالی حاصل از شکستگی‌ها که در حقیقت مساحت شکستگی‌ها در واحد حجم است، به عنوان ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴-۵-۳-۲ آنالیز هندسه شکستگی‌ها

اندازه شکستگی پارامتری است که نمی‌توان آن را مستقیماً با ابزار درون‌چاهی اندازه گرفت. برآورد اندازه شکستگی از چاه‌نمودارهای تصویری مشکل است، چرا که تقاطع چاه تنها بخشی از شکستگی

است. منبع دیگر کسب اطلاعات از اندازه شکستگی، بررسی آنالوگ‌های رخنمون است. داده‌های دینامیک هم می‌توانند یک ایده کلی از طول شکستگی‌ها حاصل کنند.

رایج‌ترین توزیع‌های طول اثر شکستگی روش‌های نرمال، لاگ‌نرمال، قانون توانی و توزیع نمایی می‌باشند؛ که برای هر یک از آن‌ها مباحث بسیار قوی تجربی و تئوری به‌عنوان معرف مناسب اندازه شکستگی‌ها وجود دارد. با توجه به این‌که داده‌های مربوط به اندازه شکستگی در دسترس نیست، از روش قانون توانی استفاده خواهد شد.

۴-۵-۳-۳ آنالیز بازشدگی شکستگی

همان‌طور که گفته شد این پارامتر فاصله عمودی دیواره‌های شکستگی است و مستقیماً توسط چاه‌نمودارهای FMI اندازه‌گیری می‌شود. تحقیقات قبلی مثل مطالعات گیل^{۸۸} (۱۹۸۷) نشان می‌دهد که توزیع بازشدگی از توزیع لاگ‌نرمال پیروی می‌کند [۴۰].

۴-۵-۳-۴ آنالیز جهت‌گیری شکستگی‌ها

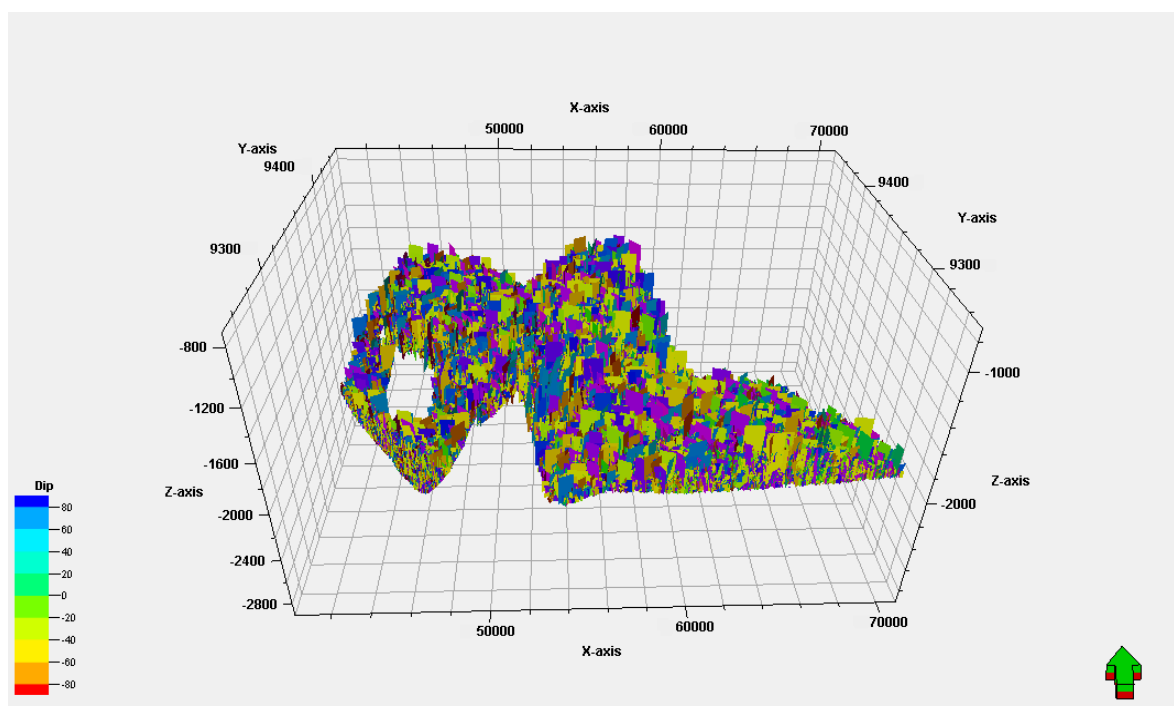
جهت‌گیری شکستگی‌ها دارای دو مؤلفه جهت شیب و زاویه شیب است. این دو مؤلفه به‌صورت مستقل و با توجه به توزیع آماری خود تولید می‌شوند. تحقیقات نشان داده است که جهت شیب از توزیع یکنواخت و زاویه شیب از توزیع فشر پیروی می‌کنند [۴۰]. میانگین شیب و جهت شیب و همچنین ثابت فشر برای هر دسته شکستگی با استفاده از نرم‌افزار Dips به‌دست آمده و در جدول ۴-۲ نشان داده شده است.

⁸⁸ Gill

جدول ۴-۲ آنالیز جهت‌گیری شکستگی‌های میدان مورد مطالعه

دسته شکستگی	میانگین شیب	میانگین جهت شیب	ثابت فیشر
۰	۵۰ درجه	۸۰ درجه	۲۴
۱	۴۶ درجه	۳۱۲ درجه	۱۲
۲	۶۸ درجه	۲۰۲ درجه	۸

در ادامه مدل DFN برای دسته‌های شکستگی مورد مطالعه بدین‌گونه ساخته شده است: در هر مرحله‌ای از مدل‌سازی، یکی از چاه‌ها را به‌عنوان فضای مشاهده نشده در نظر گرفته و با شش‌چاه باقی‌مانده مدل DFN ساخته شده است. در شکل ۴-۸، مدل شبکه گسسته شکستگی‌های میدان مورد مطالعه نشان داده شده است.

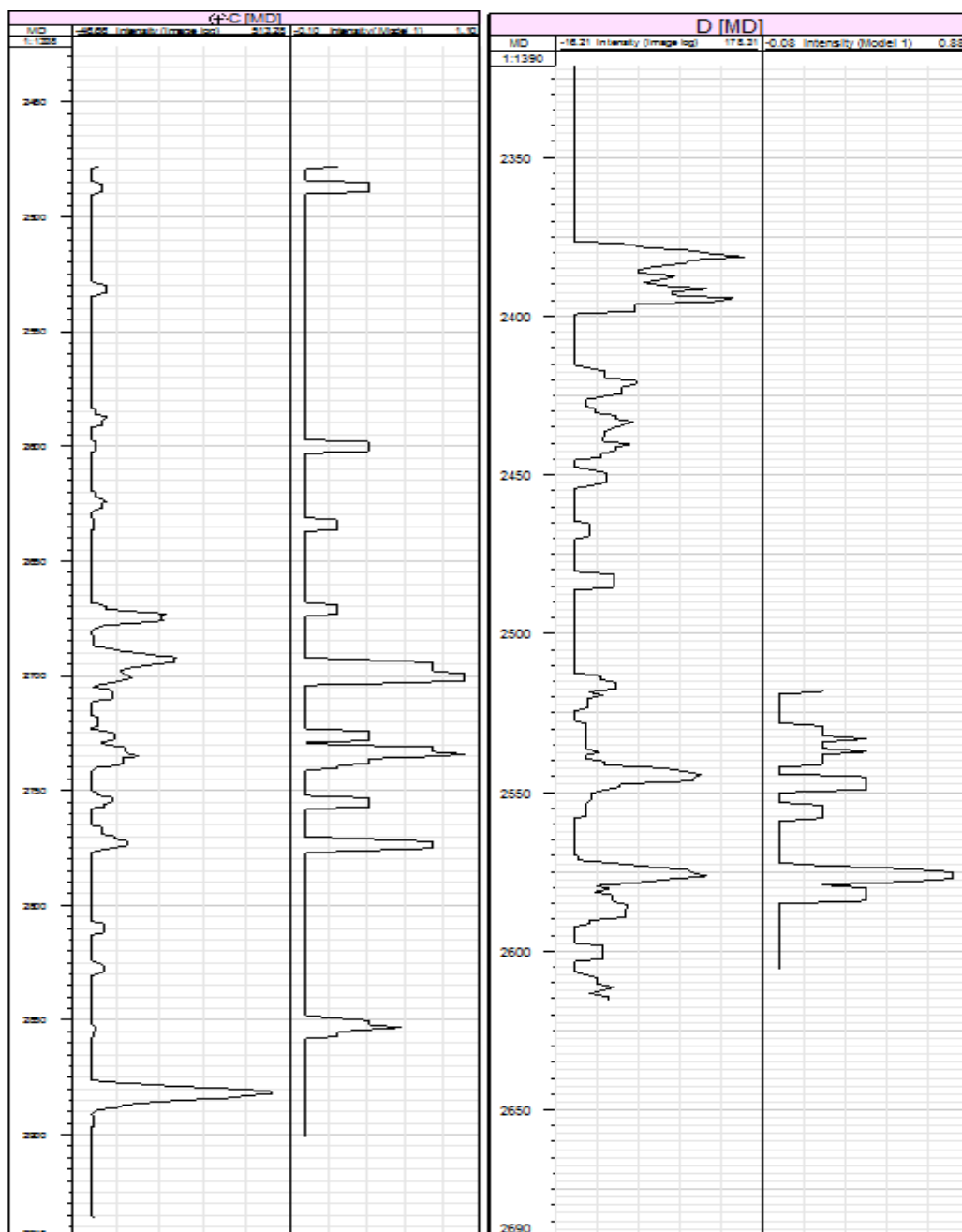


شکل ۴-۷ نمایش مدل شبکه گسسته شکستگی میدان مورد مطالعه

فرآیند مدل سازی شکاف ها به دلیل ماهیت پیچیده آن همواره با خطا و عدم قطعیت بالایی همراه است. به همین دلیل لازم است تا سازگاری مدل شکستگی ها با استفاده از آنالیزهای دینامیکی بررسی شود. از آنجایی که در این مطالعه، داده های چاه آزمایی، داده های هرزروی گل حفاری و داده های تولید در اختیار نیستند، برای سنجش میزان صحت مدل DFN، از اطلاعات چاه نمودار تصویری استفاده می شود.

در شکل ۹-۴ نمودار شدت شکستگی مدل سازی شده در مقایسه با نمودار شدت شکستگی واقعی چاه که حاصل از چاه نمودارهای تصویری آن است، برای چاه های C و D نشان داده شده است. در این شکل، نمودار شدت شکستگی واقعی چاه در سمت چپ و نمودار شدت شکستگی مدل سازی شده در سمت راست شکل واقع شده اند.

همان طور که در شکل ۹-۴ نشان داده شده است، اگرچه شدت شکستگی حاصل از مدل DFN، در تعیین درصدی از زون های شکسته شده نسبتاً موفق عمل نموده است، اما مانند سایر روش های مدل سازی با عدم قطعیت و هموارشدگی و خطای مدل سازی همراه است.



شکل ۴-۸ نمایش نمودارهای شدت شکستگی مدل سازی شده در مقایسه با نمودارهای شدت شکستگی واقعی چاه های C و D

در ادامه با استفاده از فرآیند شرطی سازی DFN به سکانس های تعیین شده در چاه ها، به بررسی نحوه کاهش خطای مدل ساخته شده پرداخته و مدل DFN بهبود بخشیده می شود.

۴-۶ فرآیند شرطی سازی DFN به سکانس های تعیین شده در میدان مورد مطالعه

در این مرحله از مطالعه، فرآیند شرطی سازی DFN به سکانس را در چهار مرحله بیان می کنیم:

- مرحله ی اول: تعیین سکانس ها و سیستم تراکت ها در چاه های مورد مطالعه.
- مرحله ی دوم: آنالیز و تعیین شدت شکستگی و نسبت زون های شکسته شده به شکسته نشده در سیستم تراکت های چاه های مورد مطالعه.
- مرحله ی سوم: تخمین شدت شکستگی و نسبت زون شکسته شده به شکسته نشده در سیستم تراکت های چاه های مورد مطالعه.
- مرحله ی چهارم: ارائه ی الگویی مناسب جهت ساخت نمودار شدت شکستگی جدید و تعمیم این نمودارها به کل مخزن و ساخت مدل DFN اصلاح شده.

۴-۶-۱ تعیین سکانس ها و سیستم تراکت ها در چاه های مورد مطالعه

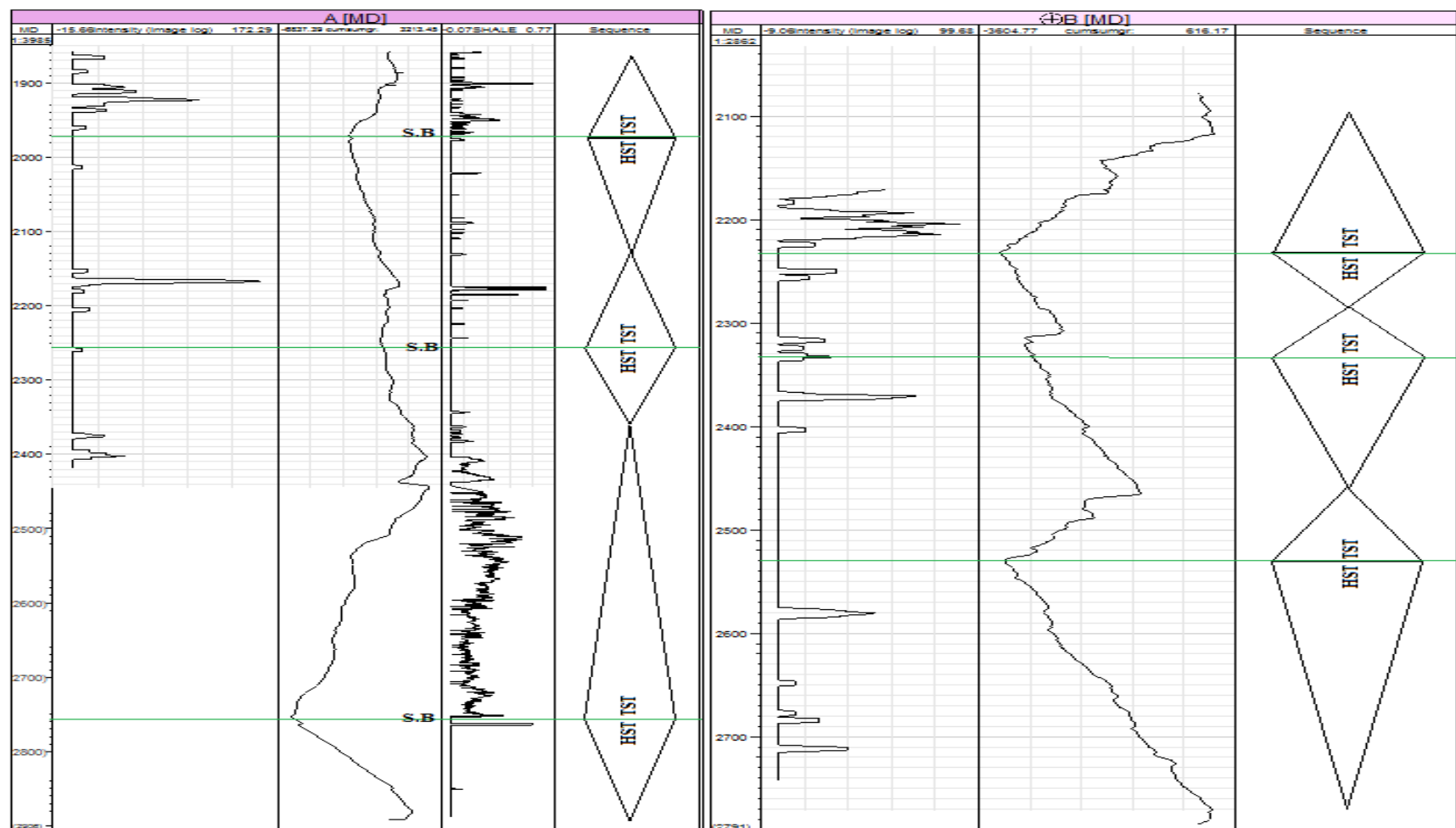
همان طور که در فصل قبل بیان گردید، چاه نمودار انحراف معیار گاما ابزاری جدید جهت جدایش واحدهای سکانشی در توالی های کربناته می باشد. روش کار به این صورت می باشد که هر داده چاه نمودار گاما از متوسط داده ها در کل چاه کسر گردید و سپس مقادیر به دست آمده با یکدیگر جمع شده تا مقدار تجمعی انحراف از معیار به دست آید. با نوشتن کدی در محیط نرم افزار متلب این محاسبات را انجام داده و خروجی این کد که برای هر چاه محاسبه شده است؛ یک نمودار انحراف معیار گاما است که به راحتی و در صورت در اختیار داشتن نمودار شیل چاه می توان مرزهای سکانشی موجود در چاه را بر روی آن تعیین کرد. در حقیقت با تعیین سکانس ها در چاه ها و بررسی میزان شدت شکستگی در هر سکانس و سیستم تراکت فضای هتروژن (ناهمگن) مخزن را به زیر فضاهای (زون های) هموژن (همگن) تقسیم کرده و دید را نسبت به مدل سازی شکستگی ها در مخزن از هتروژن به هموژن تغییر داده و

به صورت جزئی تر نسبت به حل مشکلات مدل سازی شکستگی ها که اکثراً با عدم قطعیت و هموارشدگی همراه است، اقدام می شود.

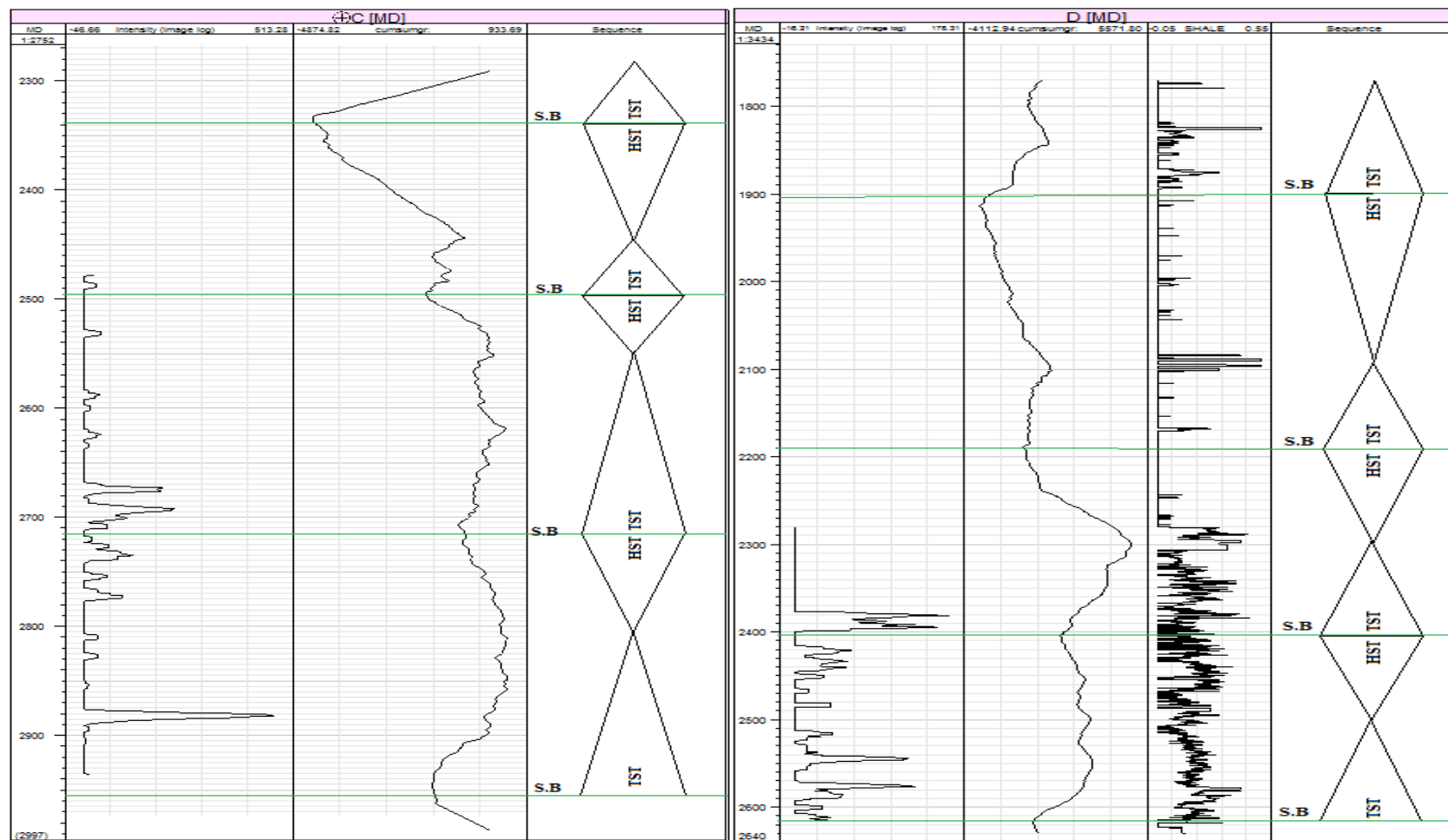
با توجه به این که در پیشروی دریا مقدار شیل و همچنین چاه نمودار گاما نیز به صورت میانگین زیاد می شود، قسمتی از چاه نمودار انحراف معیار که دارای سیر صعودی (تا رسیدن به بیشترین مقدار) می باشد، سیستم تراکت TST و قسمتی که دارای سیر نزولی (تا رسیدن به کمترین مقدار) سیستم تراکت HST در نظر گرفته می شود. با توجه به این که اطلاعات زمین شناسی منطقه و همچنین مقاطع نازک مربوط به چاه های مورد مطالعه در اختیار نبود، رده ی سکانس ها تعیین نشده است.

همان طور که در شکل های ۴-۱۰، ۴-۱۱، ۴-۱۲ و ۴-۱۳ مشاهده می شود نمودارهای شیل می توانند به عنوان یک شاخص برای اعتبارسنجی تعیین سکانس ها استفاده شوند. نمودار شیل فقط در چاه های A، D و F موجود می باشد و بقیه چاه های مورد مطالعه فاقد این نمودار می باشند. در این شکل ها $S. B^{89}$ بیان گر مرز سکansı است. نمودارهای هر چاه به ترتیب از سمت چپ به راست نمودار شدت شکستگی واقعی چاه، چاه نمودار انحراف معیار گاما، نمودار شیل (در چاه های A، D و F) و نمودارهای مربوط به سکانس های تعیین شده در هر چاه می باشد.

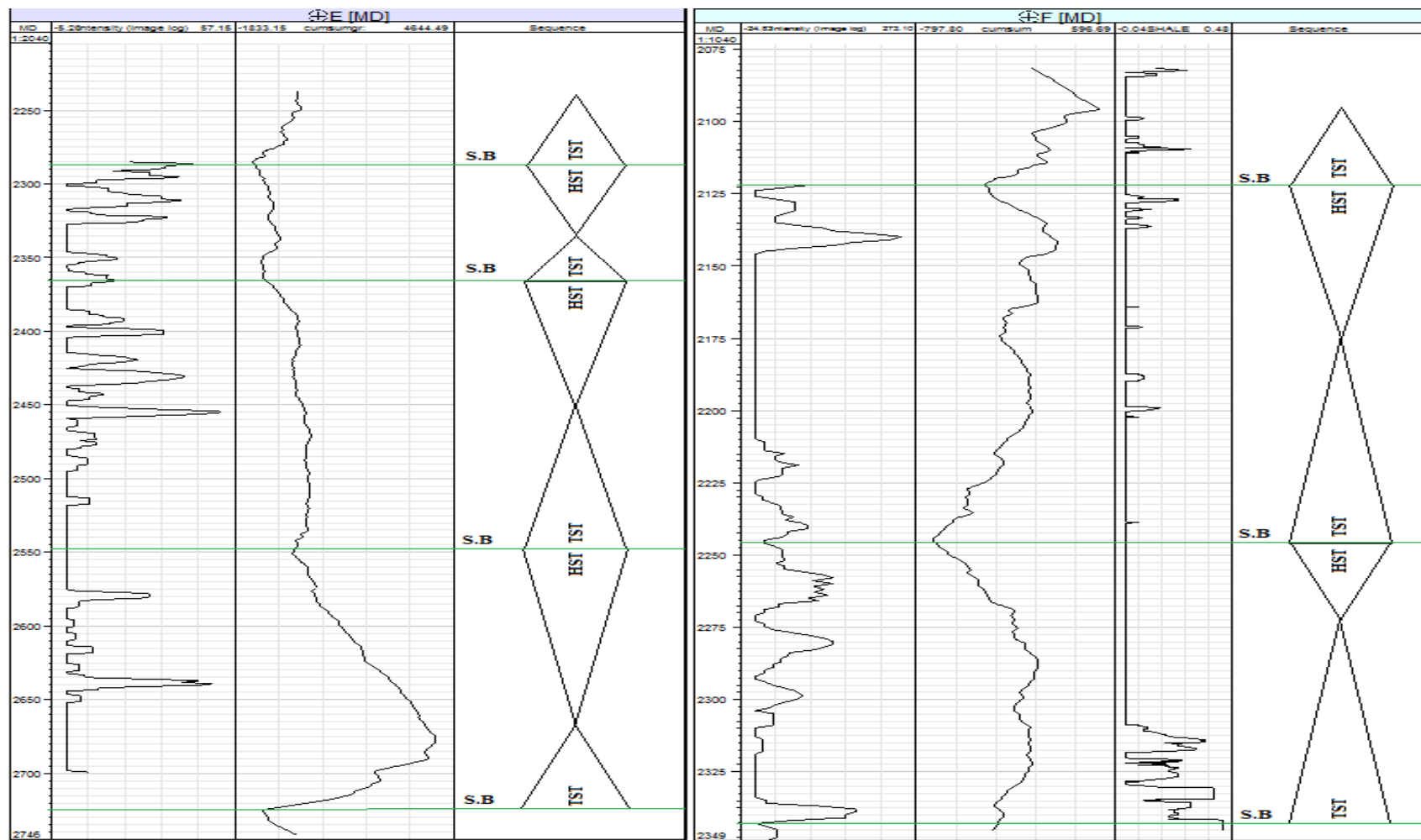
⁸⁹ Sequence Boundary



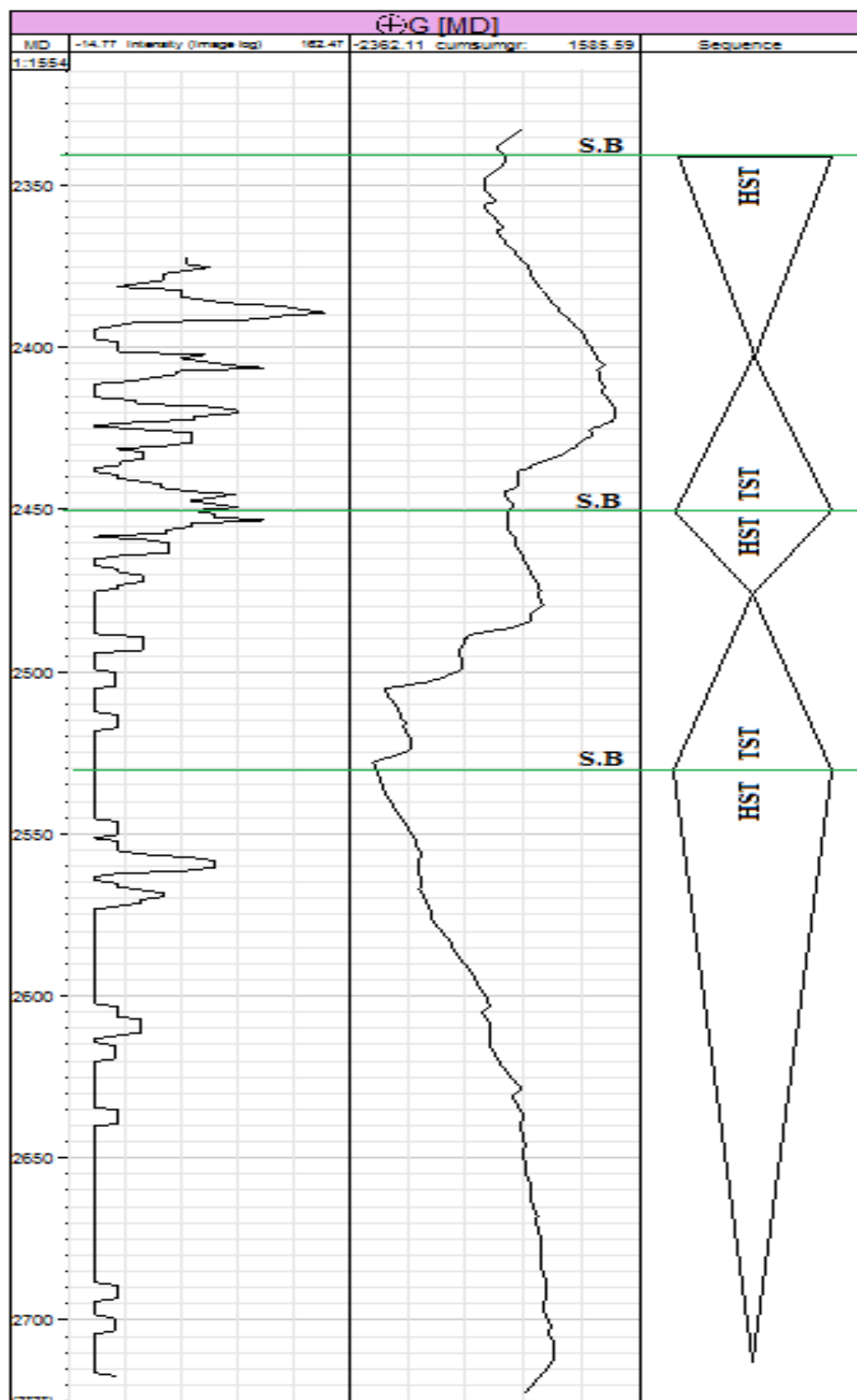
شکل ۴-۹ نمایش سکانس‌های تعیین شده در چاه‌های A و B



شکل ۴-۱۰ نمایش سکانس‌های تعیین‌شده در چاه‌های C و D



شکل ۴-۱۱ نمایش سکانس‌های تعیین‌شده در چاه‌های E و F

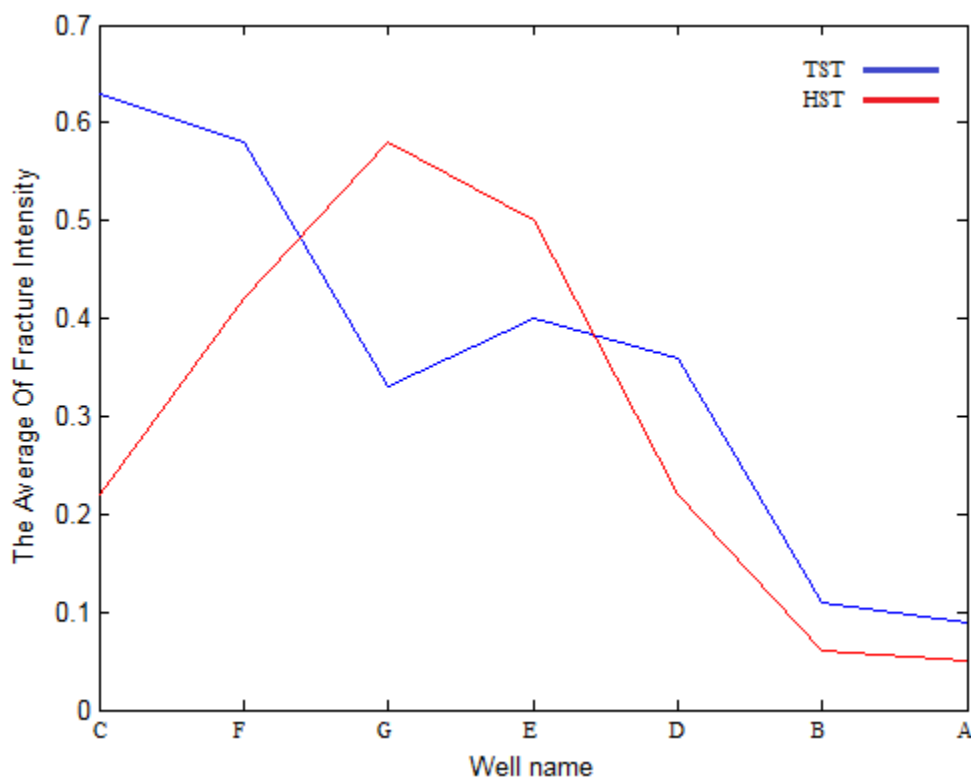


شکل ۴-۱۲ نمایش سکانس‌های تعیین‌شده در چاه G

۴-۶-۲ آنالیز و تعیین شدت شکستگی و نسبت زون‌های شکسته‌شده به شکسته‌نشده در

سیستم‌تراکت‌های چاه‌های مورد مطالعه

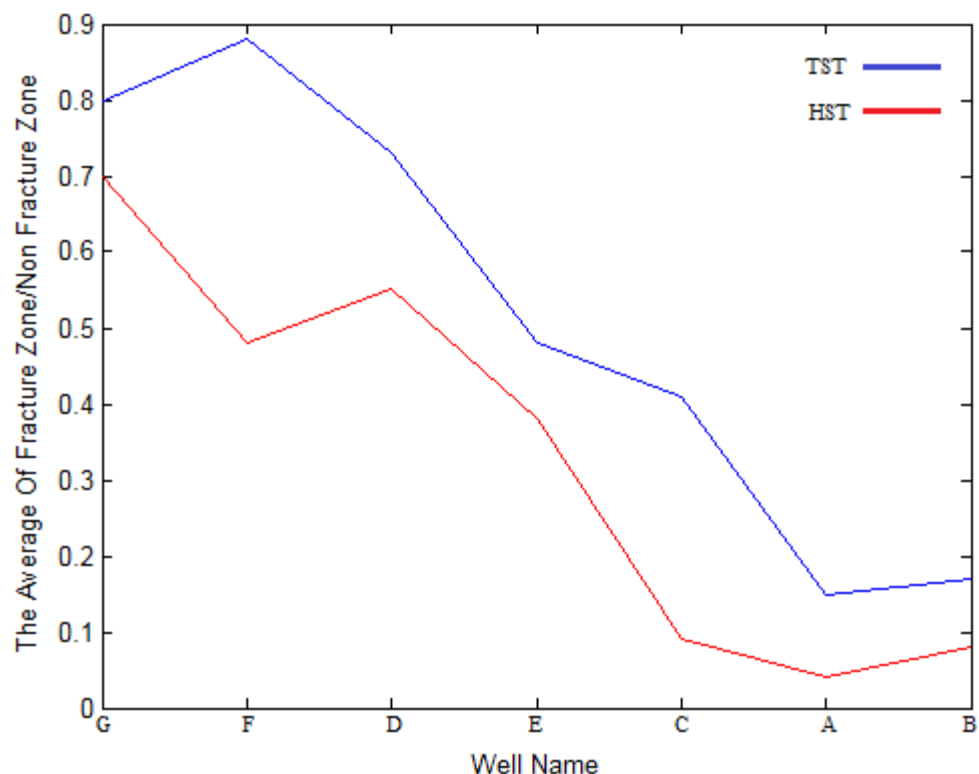
همان‌طور که در شکل‌های ۴-۱۰ تا ۴-۱۳ مشاهده می‌شود به‌طور میانگین در بیشتر چاه‌های مورد مطالعه میزان شدت شکستگی در سیستم‌تراکت TST بیشتر از سیستم‌تراکت HST است. به‌همین منظور در این قسمت شدت شکستگی میانگین و همچنین نسبت زون شکسته‌شده مخزن به زون شکسته‌نشده آن (نسبت متراژ زون شکسته‌شده به شکسته‌نشده) در سیستم‌تراکت‌های چاه‌های مورد مطالعه محاسبه شده و نتایج در شکل‌های ۴-۱۴ و ۴-۱۵ ارائه شده است.



شکل ۴-۱۳ نمایش میانگین مقادیر شدت شکستگی در سیستم‌تراکت‌های چاه‌های مورد مطالعه

از آن جایی که سیستم تراکت‌های TST در مرحله‌ی پیشروی دریا تشکیل می‌شوند جنس سنگ‌های این سیستم تراکت‌ها ریز دانه و سنگ‌ها شکننده بوده و معمولاً ضخامت کمتری نسبت به سیستم تراکت‌های HST دارند. از این رو در این سیستم تراکت‌ها شدت شکستگی بیشتر از سیستم تراکت‌های HST می‌باشد [۱۵].

همان‌طور که در شکل ۴-۱۴ مشاهده می‌شود، به جز دو چاه G و E در بقیه چاه‌های مورد مطالعه میانگین شدت شکستگی در سیستم تراکت‌های TST بیشتر از HST است. همچنین با محاسبه میانگین نسبت زون شکسته‌شده به زون شکسته‌نشده مخزن، مشاهده می‌شود که این نسبت در سیستم تراکت TST در تمامی چاه‌ها بیشتر از HST است (شکل ۴-۱۵).

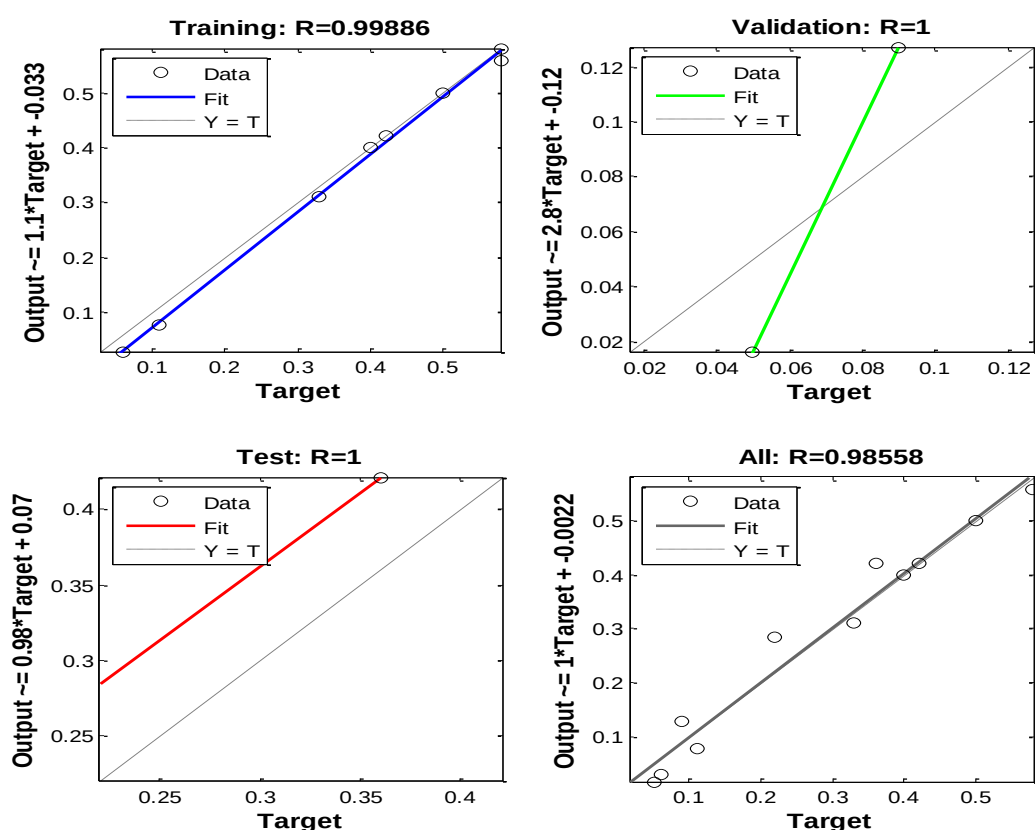


شکل ۴-۱۴ نمایش میانگین نسبت زون شکسته‌شده به زون شکسته‌نشده در سیستم تراکت‌های چاه‌های مورد مطالعه

۳-۶-۴ تخمین شدت شکستگی و نسبت زون شکسته شده به شکسته نشده در

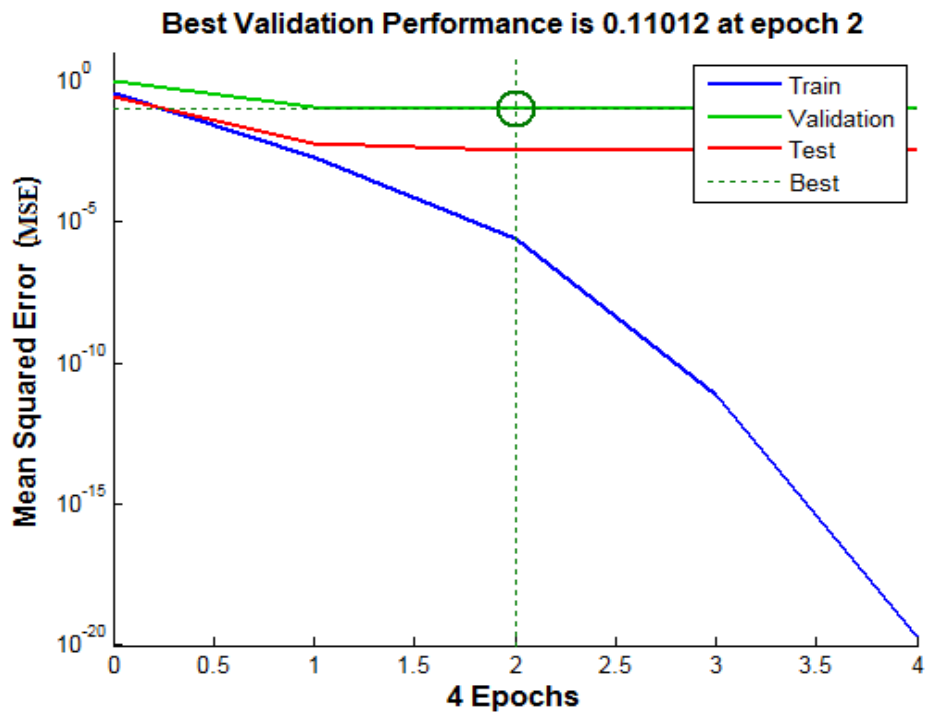
سیستم تراکتهای چاههای مورد مطالعه

در این مرحله با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مقادیر میانگین شدت شکستگی و نسبت زون شکسته شده به شکسته نشده در سیستم تراکتهای چاههای مورد مطالعه، تخمین زده شده است. برای تخمین این مقادیر، با استفاده از مقادیر شدت شکستگی و نسبت زون شکسته شده به شکسته نشده شش چاه، این مقادیر در سیستم تراکتهای چاه هفتم تخمین زده شده اند. این فرآیند برای تخمین مقادیر ذکر شده در بقیه چاهها هم تکرار شده است. نتایج در قالب شکل های ۴-۱۶ و ۴-۱۷ و جداول ۳-۴ و ۴-۴ ارائه شده است.



شکل ۴-۱۵ نمایش ضرایب همبستگی محاسبه شده طی آموزش شبکه عصبی برای تخمین مقادیر شدت شکستگی در چاه C

همان‌طور که در نمودارهای نمایش داده شده در شکل ۴-۱۶ مشاهده می‌شود خروجی مجموعه‌های آموزشی، ارزیابی و آزمایشی به‌خوبی بر روی بردارهای هدف منطبق شده‌اند و ضرایب همبستگی مطلوبی محاسبه شده است.



شکل ۴-۱۶ نمایش نمودار عملکرد شبکه آموزش داده شده برای تخمین شدت شکستگی در چاه C

با بررسی شکل ۴-۱۷، نتایج حاصل به دلایل زیر مطلوب می‌باشند:

- مقدار خطای میانگین مربعات نهایی کوچک است.
- خطای مجموعه آزمایشی با خطای مجموعه ارزیابی دارای رفتار و خصوصیات مشابهی است.
- تا تکرار ۲ (که بهترین عملکرد درمورد مجموعه ارزیابی به وقوع می‌پیوندد) هیچ بیش‌برازشی رخ نداده است.

در جداول ۳-۴ و ۴-۴ به ترتیب، نتایج تخمین میانگین شدت شکستگی و نسبت زون شکسته شده به شکسته نشده در سیستم تراکت های چاه های مورد مطالعه به وسیله ی شبکه عصبی آورده شده است. سپس با توجه به مقادیر تخمین زده شده زون شکسته شده به زون شکسته نشده، متراژ شکستگی زون های شکسته شده محاسبه شده است و نتایج در جدول ۴-۵ ارائه شده است.

جدول ۴-۳ نتایج تخمین میانگین شدت شکستگی در سیستم تراکت های چاه های مورد مطالعه به وسیله ی شبکه

عصبی

چاه	TST پایینی	HST پایینی	TST بالایی	HST بالایی
A	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۲۱	۰/۱۲
B	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۱۱
C	۰/۶۶	۰/۴۰	۰/۲۵	۰/۱۵
D	۰/۴۰	۰/۲۵	-	-
E	۰/۱۹	۰/۵۲	۰/۵۸	۰/۵۷
F	۰/۶۲	۰/۷۸	۰/۴۲	۰/۲۲
G	۰/۰۸	۰/۶۳	۰/۴۹	۰/۳۹

جدول ۴-۴ نتایج تخمین میانگین نسبت زون شکسته شده به زون شکسته نشده سیستم تراکت های چاه های مورد

مطالعه به وسیله شبکه عصبی

چاه	TST پایینی	HST پایینی	TST بالایی	HST بالایی
A	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۳۰	۰/۱۱
B	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۱۰
C	۰/۶۱	۰/۲۰	۰/۶۰	۰/۰۵
D	۰/۶۸	۰/۶۰	-	-

ادامه جدول ۴-۴ نتایج تخمین میانگین نسبت زون شکسته شده به زون شکسته نشده سیستم تراکتهای چاههای

مورد مطالعه به وسیله شبکه عصبی

۰/۴۳	۰/۳۸	۰/۱	۰/۲۴	E
۰/۵۳	۰/۴۰	۰/۸۸	۰/۸۴	F
۰/۷۸	۱/۱۶	۰/۷۸	۰/۱۶	G

جدول ۴-۵ مترائ زون شکسته شده سیستم تراکتهای چاههای مورد مطالعه

چاه	TST پایینی	HST پایینی	TST بالایی	HST بالایی
A	۳۹/۶۳	۳/۸۴	۲۳/۰۷	۲۵/۷۶
B	۷۴/۳	۱۴/۹۵	۳/۸۷	۹/۰۹
C	۲۶/۵۲	۲۶/۶۶	۶۳/۷۵	۱/۹
D	۴۷/۷۶	۳۳/۷۵	-	-
E	۱۹/۳۵	۷/۲۷	۵/۵۰	۲۱/۰۴
F	۱۸/۲۶	۱۱/۷	۲۱/۴۲	۱۷/۳۲
G	۸/۹۵	۱۰/۹۵	۲۶/۸۵	۲۱/۹۱

۴-۶-۴ ارائه الگویی مناسب جهت ساخت نمودار شدت شکستگی جدید و تعمیم این

نمودارها به کل مخزن و ساخت مدل DFN اصلاح شده

اگرچه با استفاده از شبکه عصبی، میانگین شدت شکستگی و نسبت زون شکسته شده به شکسته نشده در سیستم تراکتهای محاسبه شده است ولی برای ساخت نمودار شدت شکستگی باید محل دقیق شکستگیها، محاسبه شود، با توجه به این که تعیین محل دقیق شکستگیها بسیار زمان بر است و از طرفی به دادههای زیادی نیازمند است، در این مطالعه به دلیل در اختیار نداشتن دادههای مورد نظر یک الگویی ارائه شده است که در این الگو محل های تقریبی و محتمل شکستگیها تعیین شده است.

با استفاده از نتایج تخمین زده شده‌ی شدت شکستگی و نسبت زون شکسته شده به شکسته نشده، هر سیستم تراکت را به سه قسمت تقسیم کرده و تعداد شکستگی‌ها در $1/3$ بالایی، $1/3$ میانی و $1/3$ پایینی هر سیستم تراکت محاسبه شده است و نتایج در قالب جدول ۴-۶ ارائه شده است.

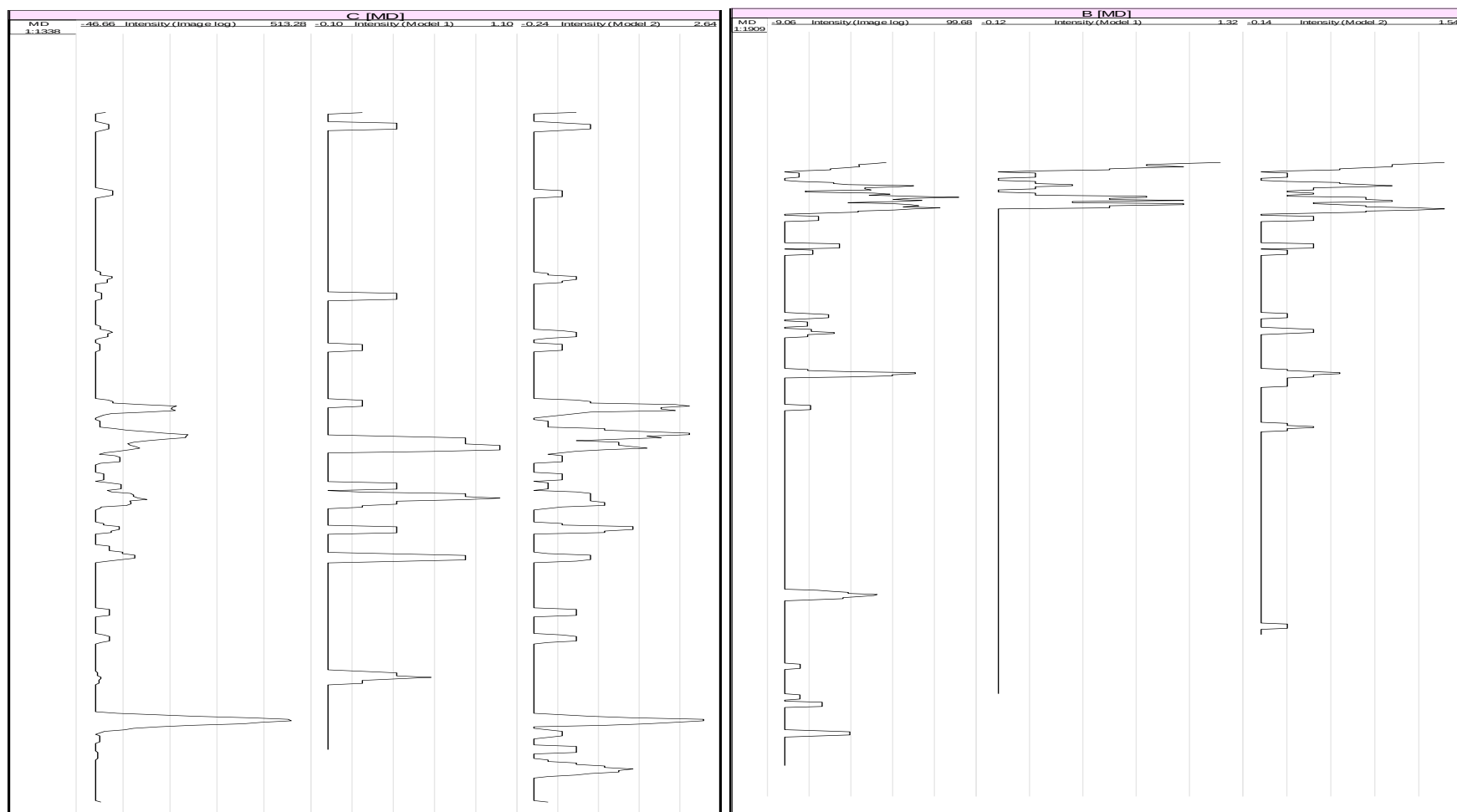
جدول ۴-۶ محاسبه بیشترین تعداد شکستگی در $1/3$ بالایی، میانی و پایینی سیستم تراکت‌های چاه‌های مورد

مطالعه

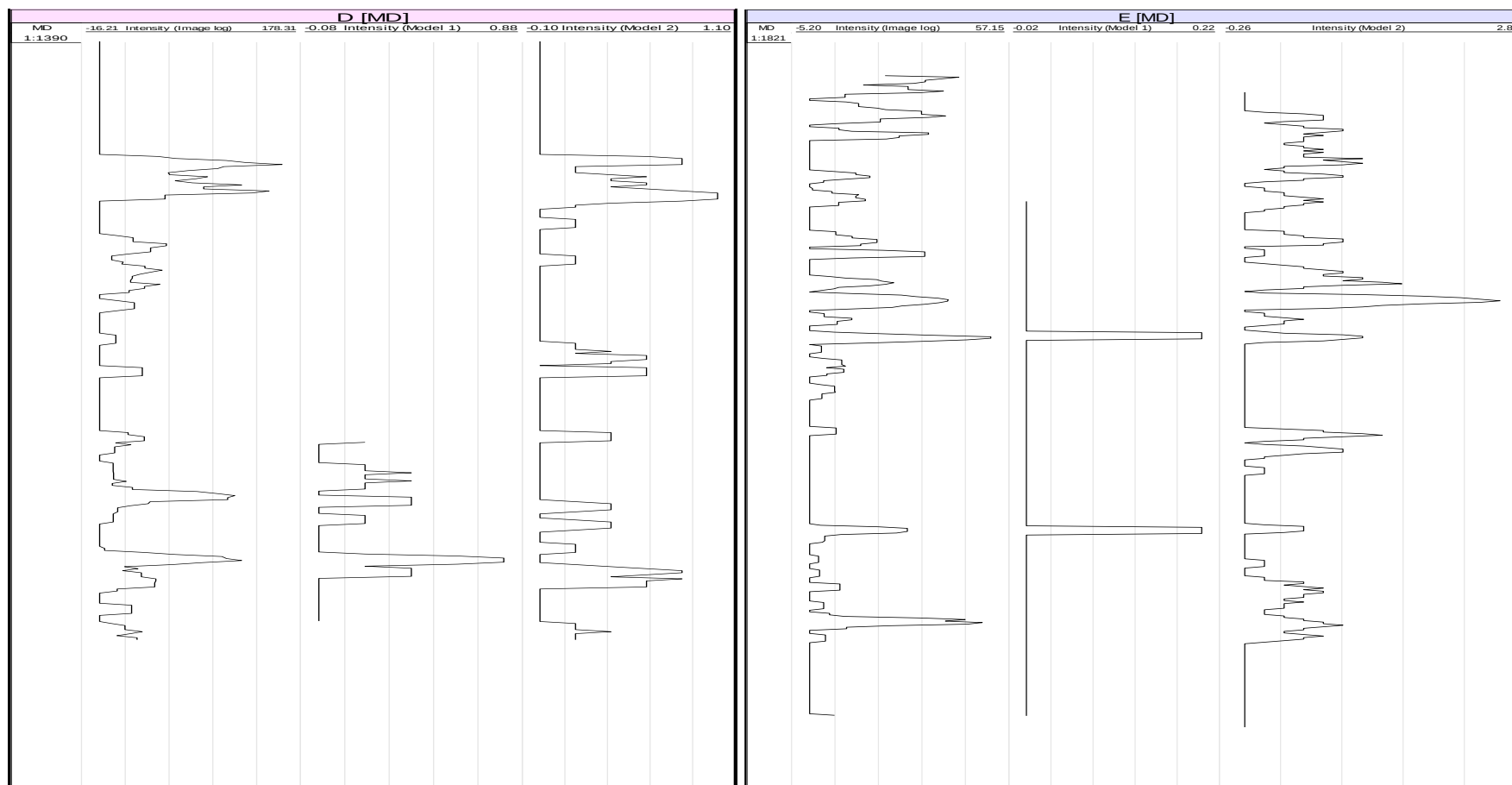
چاه	TST	HST
A	$1/3$ بالایی	$1/3$ بالایی
B	$1/3$ پایینی	$1/3$ پایینی
C	$1/3$ پایینی	$1/3$ پایینی
D	$1/3$ پایینی	$1/3$ پایینی
E	$1/3$ پایینی	$1/3$ پایینی
F	$1/3$ پایینی	$1/3$ میانی
G	$1/3$ میانی	$1/3$ بالایی

باتوجه به این نتایج، الگویی با محتوی این که چاه‌هایی که دارای رفتار مشابه می‌باشند در یک گروه قرار می‌گیرند ارائه شده است. طبق این الگو چاه‌های B، C، D و E را یک گروه فرض کرده و با استفاده از نتایج تخمین (نتایج شبکه عصبی) برای این چاه‌ها نمودار شدت شکستگی و مدل DFN جدید ساخته شده است. نتایج در شکل‌های ۴-۱۸ و ۴-۱۹ آورده شده است.

این شکل‌ها از سمت چپ به راست به ترتیب شامل نمودارهای شدت شکستگی واقعی چاه، شدت شکستگی مدل DFN و شدت شکستگی مدل DFN اصلاح شده می‌باشند. با توجه به این شکل‌ها به صورت کلی می‌توان بهبود را در مدل‌های اصلاح شده نسبت به مدل‌های اولیه مشاهده کرد.



شکل ۴-۱۷ نمایش نمودارهای شدت شکستگی‌های واقعی چاه، شدت شکستگی مدل DFN اولیه و مدل DFN اصلاح شده (چاه‌های B و C)



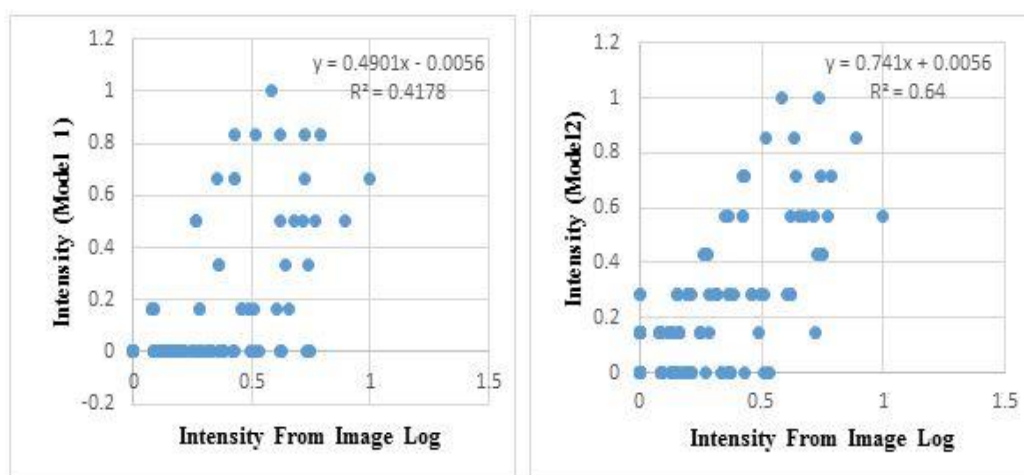
شکل ۴- ۱۸ نمایش نمودارهای شدت شکستگی‌های واقعی چاه، شدت شکستگی مدل DFN اولیه و مدل DFN اصلاح شده (چاه‌های D و E)

۴-۷ اعتبارسنجی مدل‌های ساخته‌شده

برای مقایسه دو مدل، از داده‌های شکستگی چاه‌های مورد مطالعه استفاده شده‌است. هر دو مدل ساخته شده، نمودار شدت شکستگی را برای این چاه‌ها تخمین زده‌اند. داده‌های شکستگی حاصل از چاه‌نمودار تصویری این چاه‌ها نیز در اختیار است؛ بنابراین می‌توان نمودار شدت شکستگی واقعی آن را ساخت و با نمودارهای ساخته شده دو مدل مقایسه نمود.

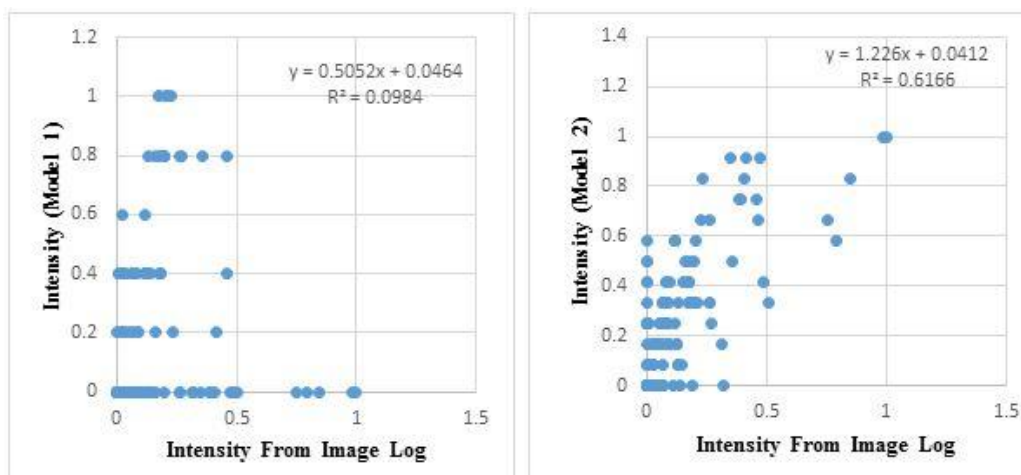
همان‌طور که در شکل‌های ۴-۱۸ و ۴-۱۹ نشان داده شد، نتایج مدل DFN شرطی‌شده، نسبت به مدل DFN ساخته شده در مرحله اول، سازگاری بیشتری با واقعیت دارد؛ اما برای آن که بتوان این بهبود را به‌صورت کمی محاسبه کرد، ابتدا داده‌های شدت شکستگی‌های مربوط به چاه‌ها (اعم از شدت شکستگی واقعی چاه و شدت شکستگی مدل‌های ساخته‌شده) به بازه [۰ و ۱] نرمال‌سازی شده است. سپس ضریب همبستگی شدت شکستگی هر دو مدل نسبت به نمودار شدت شکستگی حاصل از چاه‌نمودار تصویری چاه‌ها محاسبه و نتایج به‌صورت نمودارهایی ارائه شده است (شکل‌های ۴-۲۰ تا ۴-۲۳).

همان‌طور که در فصل سوم نیز بیان گردید؛ ضریب همبستگی، نسبت انحراف داده‌ها از مدل را بیان می‌کند و هرچه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد، انطباق داده‌ها با مدل مورد نظر بیشتر خواهد بود.



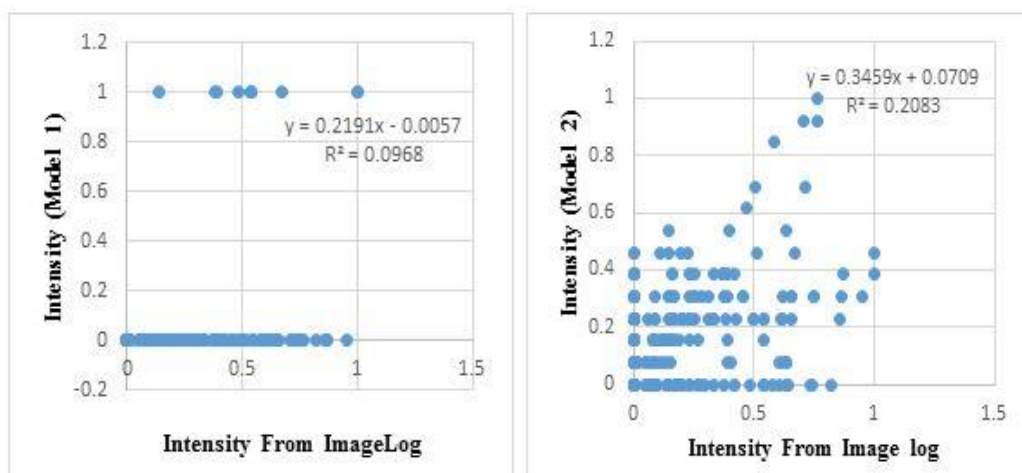
شکل ۴-۱۹ نمایش میزان بهبود مدل ۲ نسبت به مدل ۱ بر اساس ضریب همبستگی (چاه B)

همان‌طور که در شکل ۴-۲۰ ملاحظه می‌شود در مدل ساخته‌شده‌ی اولیه برای چاه B (نمودار سمت چپ)، ضریب همبستگی برابر با ۰/۶۴ و در مدل ساخته‌شده‌ی دوم یا اصلاح شده (نمودار سمت راست) در همین چاه ضریب همبستگی برابر با ۰/۸ می‌باشد. پس ضریب همبستگی ۰/۱۶ بهبود یافته است؛ بنابراین روش مورد نظر در این مطالعه برای چاه B به‌درستی عمل کرده و بهبود مدل دوم نسبت به مدل اول کاملاً مشهود است. به‌عبارتی در این جا ضریب همبستگی به‌عنوان معیاری از محاسبه خطا نیز به‌حساب می‌آید. از نتایج چنین استنتاج می‌شود که در مدل‌سازی شکستگی‌ها در چاه B خطای مدل اصلاح شده از خطای مدل اولیه کمتر شده است و بهبود ضریب همبستگی نیز این ادعا را تأیید می‌کند.



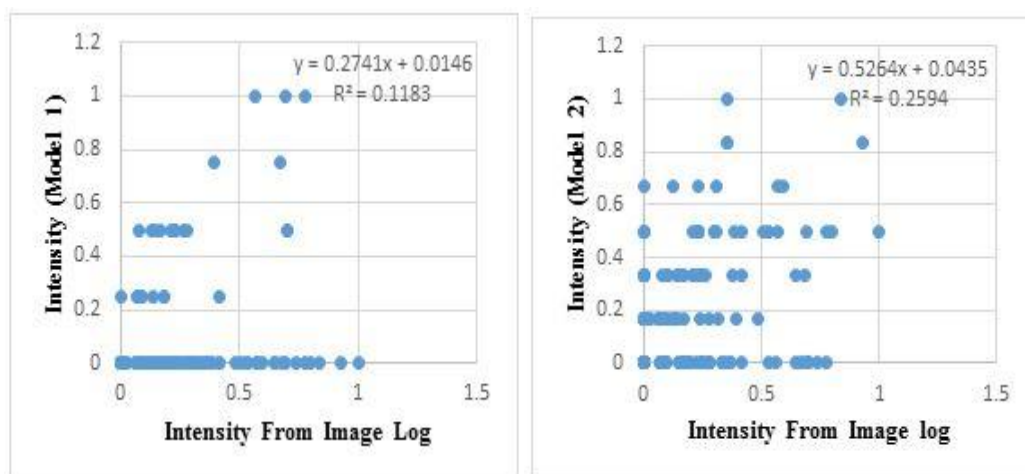
شکل ۴-۲۰ نمایش میزان بهبود مدل ۲ نسبت به مدل ۱ بر اساس ضریب همبستگی (چاه C)

باتوجه به شکل ۴-۲۱ نیز ملاحظه می‌شود که در چاه C، ضریب همبستگی مدل اصلاح شده (نمودار سمت راست) از ضریب همبستگی مدل اولیه (نمودار سمت چپ) بیشتر شده است. ضریب همبستگی مربوط به مدل اصلاح شده برابر با ۰/۷۸ و در مدل اولیه برابر با ۰/۳۱ می‌باشد؛ بنابراین ضریب همبستگی ۰/۴۷ بهبود یافته است. پس می‌توان نتیجه گرفت که در این چاه نیز مدل اصلاح شده نسبت به مدل اولیه بهبود یافته است و خطای مدل‌سازی کمتری دارد.



شکل ۴-۲۲ نمایش میزان بهبود مدل ۲ نسبت به مدل ۱ بر اساس ضریب همبستگی (چاه E)

باتوجه به شکل ۴-۲۲ ملاحظه می‌شود که در چاه E، ضریب همبستگی مدل اصلاح شده (سمت راست) از ضریب همبستگی مدل اولیه (نمودار سمت چپ) بیشتر شده است. ضریب همبستگی مربوط به مدل اصلاح شده برابر با ۰/۴۵ و در مدل اولیه برابر با ۰/۳۱ می‌باشد؛ بنابراین ضریب همبستگی ۰/۱۴ بهبود یافته است. می‌توان نتیجه گرفت که در این چاه نیز مدل اصلاح شده نسبت به مدل اولیه بهبود یافته است و خطای مدل‌سازی کمتری دارد.



شکل ۴-۲۳ نمایش میزان بهبود مدل ۲ نسبت به مدل ۱ بر اساس ضریب همبستگی (چاه D)

باتوجه به شکل ۴-۲۳ ملاحظه می‌شود که در چاه D، ضریب همبستگی مدل اصلاح شده (سمت راست) از ضریب همبستگی مدل اولیه (نمودار سمت چپ) بیشتر شده است. ضریب همبستگی مربوط به مدل اصلاح شده برابر با ۰/۵۰ و در مدل اولیه برابر با ۰/۳۴ می‌باشد؛ بنابراین ضریب همبستگی ۰/۱۶ بهبود یافته است. می‌توان نتیجه گرفت که در چاه D نیز مدل اصلاح شده نسبت به مدل اولیه بهبود یافته است و خطای مدل‌سازی کمتر شده است.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج و پیشنهادات حاصل از این پایان‌نامه به شرح زیر می‌باشد:

- تقسیم فضای ناهمگن مخزن به زیرفضاهای همگن به مدل‌سازی شکستگی‌های مخزن جهت کاهش هموارشدگی نتایج و عدم قطعیت کمک شایانی می‌کند. در این پایان‌نامه با تعیین سکانس‌های چاه‌های مورد مطالعه، مخزن ناهمگن به زیر فضاهای همگن تقسیم شده است و نتایج حاصل از مدل‌سازی به‌خوبی بهبود یافته‌اند.
- شاخص اعتبار سنجی مدل‌های ساخته شده در این پایان‌نامه داده‌های چاه‌نمودارهای تصویری بوده است؛ که با محاسبه‌ی میزان همبستگی داده‌های حاصل از مدل‌های اولیه و اصلاح شده با داده‌های شکستگی واقعی چاه‌ها بهبود مدل‌های اصلاح شده نسبت به مدل‌های اولیه مطلوب است.
- با توجه به ناکافی بودن داده‌های استفاده شده در این پایان‌نامه از جمله داده‌های تولید، داده‌های هرزروی گل حفاری و داده‌های چاه‌آزمایی، از داده‌های چاه‌نمودارهای تصویری جهت اعتبارسنجی مدل‌های ساخته شده استفاده شده است. در صورت در اختیار داشتن این داده‌ها می‌توان اعتبارسنجی بهتری انجام داد.
- به دلیل ناکافی بودن داده‌های چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی و همچنین زمان‌بر بودن تعیین محل دقیق شکستگی‌ها، در این پایان‌نامه از الگویی مبنی بر شناسایی مناطق دارای تعداد شکستگی بیشتر در تعیین محل‌های تقریبی شکستگی‌ها استفاده شده است. پیشنهاد می‌شود برای تعیین محل دقیق شکستگی‌ها از چاه‌نمودارها و داده‌های مناسب برای این کار استفاده شود.
- در تخمین میانگین شدت شکستگی‌ها و نسبت زون شکسته‌شده شده به زون شکسته‌نشده مخزن به‌وسیله شبکه عصبی مصنوعی از داده‌های شکستگی مربوط به هفت چاه استفاده شده است و نتایج

نسبتاً مطلوبی حاصل شد؛ اما جهت حصول اطمینان بیشتر از تخمین مطلوب تر پیشنهاد می گردد از داده های چاه های بیشتری استفاده گردد.

- استفاده از روش های زمین آماری جهت تخمین شدت شکستگی نتایج مطلوبی ارائه می دهد اما با توجه به ناکافی بودن داده های استفاده شده در این پایان نامه، واریوگرافی داده های شکستگی جهت تخمین شدت شکستگی، مشکل بوده و استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین، ترجیح داده شده است.

- در این پایان نامه از نگار انحراف معیار گاما جهت تعیین سکانس ها استفاده شده است. کاربرد ساده روش و عدم نیاز به نرم افزاری خاص (مانند سایکلولوگ)، این روش را نسبت به سایر روش های تعیین سکانس برتر می سازد. سادگی این روش و قابلیت استفاده از آن با نرم افزارهای ساده و اولیه ریاضیاتی، سبب می گردد تا بتوان از این روش به سادگی و با قابلیت انعطاف بیشتر استفاده نمود؛ چراکه کاربر می تواند تغییرات مورد نظر خود را در آنالیزها و فرمول ها در هر مرحله اعمال نموده و این فرمول ها را با سایر روش های مورد نظر خود ترکیب نماید.

- پیشنهاد می گردد جهت حصول اطمینان بیشتر در تعیین سکانس های چاه ها از داده های لرزه نگاری، اطلاعات مغزه و مقطع نازک استفاده شود.

- باتوجه به این که در این پایان نامه فقط از چاه نمودارهای تصویری هفت چاه استفاده شده است، پیشنهاد می گردد جهت بهبود بیشتر مدل از چاه نمودارهای تصویری چاه های بیشتری استفاده شود؛ چراکه الگوی ارائه شده در این پایان نامه توانسته فقط چهارچاه که دارای رفتار مشابه (دارای بیشترین تعداد شکستگی در $1/3$ پایینی هر سیستم تراکت) می باشند را در یک گروه دسته بندی کند و بهبود مدل سازی فقط توسط همین چهار چاه بررسی شود؛ چراکه سه چاه باقی مانده دارای الگوهای متفاوت بوده و در یک گروه با رفتار مشابه قرار نگرفته اند.

- مزیت الگوی ارائه شده در این پایان نامه برای دسته‌بندی چاه‌ها جهت بهبود مدل‌سازی، این است که برای ساخت یک مدل شکستگی مناسب از مخزن از اطلاعات چاه‌هایی که دارای رفتار مشابه می‌باشند استفاده شده است و چاه‌هایی که فاقد رفتار مشابه هستند، در نظر گرفته نشده‌اند.
- با توجه به این که توزیع شکستگی‌ها در خارج از محل چاه دارای عدم قطعیت است، مدل DFN فقط در نزدیکی چاه قابل اعتماد است.
- پیشنهاد می‌گردد جهت بهبود بیشتر مدل DFN، روش به کار گرفته شده در این پایان نامه با سایر روش‌هایی که باعث بهبود مدل DFN شده است تلفیق گردد. این امر سبب می‌شود که جانمایی حفاری در مخازن شکسته شده نیز بهبود یابد و با اطمینان بیشتری محل‌های حفاری انتخاب شود.

منابع

- [1] Tran N. H., (2004), PHD Thesis in Petroleum Engineering, "Characterization and Modeling Fractured Reservoir", School of Petroleum Engineering, The University of New South Wales, Sydney, Australia.
- [2] Nationl Research Council (US) Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow, (1996), "**Rock Fracture and Fluid Flow: Contemporary Understanding and Applications**". National Academies Press, Washington D.C., USA.
- [3] 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.
- [۴] محبی ع., شریفی م., شکیب م. ص. و قزوینی ا., (۱۳۹۰), " فناوری مطالعه و مدل سازی شکستگی ها در مخازن نفت و گاز (از زمین شناسی تا شبیه سازی مخزن)", **ماهنامه اکتشاف و تولید**, شماره ۸۳, ص ۲۰ تا ۲۶.
- [5] Kazemi H., and Gilman J. R., (1993), "Multiphase Flow in Fractured Petroleum Reservoirs". **Academic Press**, newYork, USA.
- [6] Dershowitz W. S., Einstein H. H., (1988), "Characterizing Rock Joint Geometry with Joint System Models", **Rock Mechanics and Rock Engineering**, vol. 21, pp. 21-51.
- [7] Dershowitz W. S. and Schrauf T. S., (1987), "Discrete Fracture Flow Modeling with the Jinx Package", The 28th US Symposium on Rock Mechanics (USRMS), American Rock Mechanics Association.
- [8] Einstein H. H. and Stephansson O., (2000), "Fracture System, Fracture Propagation and Coalescence", an International Conference on Geotechnical and Geological Engineering.
- [۹] صحراگرد ا., تخمچی ب., معماریان ح., کنشلو م., (۱۳۹۲), "ارزیابی نمودار شدت شکستگی در مدل سازی شکستگی ها با استفاده از نگارای پتروفیزیکی", اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی, دانشگاه صنعتی شاهرود, ایران.

[10] Nelson R. A., (2001), "**Geological analysis of naturally fractured reservoirs**". 2nd edition. Gulf Professional Publishing, U.S.A, pp. 332.

[11] Serra O., (1989), "**Formation MicroScanner Image Interpretation**", Schlumberger Educational Services.

[۱۲] رضایی، م.، (۱۳۸۰)، "زمین‌شناسی نفت". چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.

[13] Jambayev, A. S., (2002), M^oSC Thesis in Petroleum Engineering, "Discrete Fracture Network Modelling for a Carbonate Reservoir", Colorado School of Mines, pp. 102.

[14] Baghbanan A. and Jing, L., (2007), "Hydraulic Properties of Fractured Rock Masses with Correlated Fracture Length and Aperture", **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, Vol. 44, No. 5, pp. 704-719.

[15] Cooke, M., Simo, J. A., Underwood, C.A. and Rijken, P., (2006), "Mechanical Stratigraphic Control on Fracture Patterns within Carbonates and Implications for Groundwater Flow", **Journal of Sedimentary Geology**, 184, pp. 239.

[۱۶] امینی ع. ا. ح.، (۱۳۸۸)، "مبانی چین‌نگاری سکانسی". چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران، ص ۱۷۰-

۱۵۰.

[17] Catuneanu, O. (2006), "Principals of Sequence Stratigraphy", **Elsevier**, pp. 375.

[18] Galloway, W. E. (2004). "Accommodation and the Sequence Stratigraphic Paradigm. Reservoir", **Canadian Society of Petroleum Geologists**, Vol. 31, No. 5, pp. 9-10.

[19] Hunt, D., and Tucker, M. E. (1992). "Stranded Parasequences and the Forced Regressive Wedge Systems Tract: Deposition during Base Level Fall", **Sedimentary Geology**, Vol. 81, No. 1-2, pp. 1-9.

[20] Emery, D., and Myers, K. J. (1996). "**Sequence Stratigraphy**". Oxford, U. K., Blackwell, pp. 297.

[۲۱] وزیري مقدم ح.، طاهري ع. و کيمياگري م.، (۱۳۸۵)، "اصول چین‌نگاری". چاپ دوم، انتشارات دانشگاه اصفهان،

اصفهان، ص ۲۷۰-۲۵۰.

[22] Yanqing W., (2005), "Multi-Level Fracture Network Model and FE Solution for Ground Water Flow in Rock Mass", Journal of **Hydraulic Research**, 43, No. 2, pp. 202-207.

[23] Cheng-Haw L. and Ian F., (1993), "**Fluid Flow in Discontinuous Rocks**". 1nd edition, Chapman & Hall Ltd.

[24] Vincent H., Caumon G., (2009), "Stochastic Propagation of Discrete Fracture Networks", International Petroleum Technology Conference, pp.14-53.

[۲۵] ملایوسفی ا، باغبانان ع. و فتحیان پور ن، (۱۳۹۰)، " تعیین پارامترهای مدل سازی عددی شبکه درزه های مجزا با استفاده از داده های لاگ تصویری FMI"، **نشریه علمی-پژوهشی مهندسی معدن**، شماره ۱۱، دوره ۶، ص ۷۱-۷۷.

[26] Lapointe, P. R., Eiben, T. T., Dershowitz, W. and Wadleigh, E. E., (1998), "the Application of Discrete Fracture Network Models to Fractured Reservoir Engineering: Analytical Approach, Data Sets and Early Results in Yates Field, West Texas", Proceedings, RMAG, 98 Symposium, Fractured Reservoirs: Practical Exploration and Development Strategies, Denver, Jaunuary 19-20.

[27] 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, No.3, pp. 163-175.

[28] Priest, S.D, (1993), "**Discontinuity Analysis for rock engineering**". Ind Edition, Champan & Hall.

[29] Jing, I., stephansson, O., (2007), "**Fundamentals of Discrete Element Methods for Rock Engineering: Theory and Applications**". Elsevier, Vol. 85, pp. 365-398.

[30] Jing, L., (2003), "A Review of Techniques, Advances and Outstanding Issues in Numerical Modeling for Rock Mechanics and Rock Engineering", **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, Vol. 40, No. 3, pp. 283-353.

[۳۱] توکلی و.، (۱۳۹۳)، "نگار انحراف معیار گاما: ابزاری جدید جهت جدایش واحدهای سکانشی در توالی‌های کربناته با مثالی از سازندهای کنگان و دالان، میدان گازی پارس جنوبی"، فصل‌نامه علمی-پژوهشی پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، انتشارات دانشگاه تهران، شماره اول، صفحه ۹۷-۱۱۰.

[32] Duda, R. O., Hart, P. E., Stork, D. G., (2001), "**Pattern Classification**", 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York.

[33] Webb, A. R., (2003), "**Statistical Pattern Recognition**", 2nd edition, John Wiley & Sons, Ltd.

[34] Weston, J., (2007), "**Support Vector Machine and Statistical Learning Theory Tutorial**", Columbia University, New York.

[۳۵] درویش‌زاده ع.، (۱۳۸۹) "زمین‌شناسی ایران؛ چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسیم". مؤسسه انتشارات امیرکبیر. تهران.

[36] 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 Berlin Heidelberg**, pp. 205-228.

[37] Ahr, W. M., (2011), "**Geology of Carbonate Reservoirs: The Identification, Description and Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks**". John Wiley & Sons, pp. 176-200.

[38] Schlumberger M., (1992), "Fullbore Formation Microimager", Schlumberger education services.

[39] Petrel user manual, (2013).

[۴۰] نوروزی م.، جلالی س.م.ا. و کاکایی ر.، (۱۳۹۳)، "توسعه مدل تصادفی شبکه درزه‌ها با در نظر گرفتن ویژگی آماری اندازه درزه"، پنجمین کنفرانس مکانیک سنگ، تهران، ایران.

Abstract

Discrete Fracture Network (DFN) model is a random display of natural fractures network. Fracture network is produced by conducted statistical measured data. In DFN model, a unique collection of fractures based on random descriptions using fractures properties such as fracture intensity, orientation and size are produced. This study has been done in two stages on seven wells of a carbonate hydrocarbon reservoir located in Southwest of Iran. In the first step, the fractures of the area and its fracture network model built by DFN using image log fractures data. But the lack of data and image log fractures related to the complex nature of fractures causes, resulting models are always associated with uncertainty and smoothing. In the second step, using gamma-ray logs data, the systemtracts of sequences in wells is determined. the study analyzed data from wells with fracture and evaluate the severity of fractures and the ratio of fracture zone to not broken zone of systemtracts of wells by artificial neural network, new fracture intensity graphs of a wells were built. Then, using these graphs, the new DFN was made. In fact, for DFN models which had been made in the previous step, the sequence is determined by condition. Improved modelling to calculate the correlation coefficient was used as a measurement to quantify the results and compare two methods in each well. Comparing correlation coefficients for first and second steps models was illustrated that the correlation coefficient for second model in wells B, C, D and E improved respectively 0.16, 0.47, 0.16 and 0.14. So first step DFN is improved.

Keywords: Discrete Fracture Network, Image Logs, Severity of Fractures, Artificial Neural Network, the Network of Fractures



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

Master of Science in petroleum Exploration Engineering

DFN Modelling Improvements within Sequence Stratigraphy Framework

By:

Piروز khosravi vand

Supervisors:

Dr B. Tokhmechi

Dr M. Soleimani Monfared

June 2016