

# مدل سازی پیوسته شکستگی در مخازن کربناته با تلفیق داده‌های لرزه‌ای، زمین‌شناسی و پتروفیزیکی

علی اکبر بیات<sup>۱\*</sup>، امید اصغری<sup>۱</sup>، عباس بحرودی<sup>۱</sup> و میثم توکلی<sup>۲</sup>

۱- دانشکده معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- مدیریت اکتشاف، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۲۸

## چکیده

شکستگی یکی از مهم‌ترین پدیده‌های زمین‌شناسی است که تولید از مخازن کربناته شکسته را تحت تاثیر قرار می‌دهد. توزیع شکستگی در مخازن شکسته به عوامل ساختاری، سنگ‌شناسی، ضخامت مخزن، گسل‌ها و عوامل کنترل‌کننده دیگر بستگی دارد. برای مدل‌سازی دقیق شکستگی‌ها باید عوامل کنترل‌کننده شکستگی را با داده‌های چاه تلفیق کرد. در این مقاله از تراکم شکستگی حاصل از تحلیل شکستگی‌های مغزه‌های سه چاه از میدان مارون استفاده شده است. نشان‌گرهای لرزه‌ای مرتبط با شکستگی از جمله فرکانس لحظه‌ای، انحنا و شیب از داده‌های لرزه‌ای استخراج شده است. عوامل زمین‌شناسی و پتروفیزیکی که تراکم شکستگی را کنترل می‌کند با تلفیق داده‌های لرزه‌ای و چاه‌ها به صورت سه بعدی مدل شده است. با تلفیق عوامل کنترل‌کننده شکستگی و تراکم شکستگی در چاه‌ها، تراکم شکستگی به صورت سه بعدی با استفاده از روش شبکه عصبی مدل شد و ضریب همبستگی آن با داده‌های چاه ۰/۸۲ به دست آمد. مدل پیوسته شکستگی حاصل از شبکه عصبی، با نقشه انتقال‌پذیری هم‌خوانی داشته و نقشه انتقال‌پذیری، بالا بودن تراکم شکستگی در یال جنوبی را تایید می‌کند. بیشترین تراکم شکستگی در یال جنوبی تاقدیس قرار دارد که مکان مناسبی برای توسعه میدان می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** تراکم شکستگی، عوامل کنترل‌کننده شکستگی، نشان‌گرهای لرزه‌ای، نمودارهای پتروفیزیکی

## مقدمه

بزرگ صنعت نفت می‌باشد. به همین منظور برای مدل‌سازی دقیق شکستگی‌ها باید عوامل کنترل‌کننده شکستگی مانند عوامل ساختاری، سنگ‌شناسی، ضخامت مخزن و گسل‌ها را با داده‌های چاه تلفیق نمود [۱-۶].

با توجه به اهمیت شکستگی در تولید از مخازن شکسته، مدل‌سازی دقیق آن یکی از چالش‌های

در این مقاله از شکستگی مغزه‌ها، داده‌های پتروفیزیکی و لرزه‌ای میدان مارون استفاده شده است. مدل‌سازی خواص مخزن از جمله شکستگی، وابسته به مدل‌سازی ساختمان مخزن<sup>۱</sup> می‌باشد. در واقع مدل ساختمانی مخزن، شبکه بندی ناحیه مورد مطالعه در میدان می‌باشد. برای همین منظور ابتدا مدل ساختمانی مخزن ساخته شد. برای استفاده از داده‌های چاه و لرزه‌ای در مدل‌سازی شکستگی لازم است، این داده‌ها در مدل ساختمانی مخزن قرار گیرند. داده‌های چاه از جمله تحلیل مغزه و نمودارهای پتروفیزیکی با استفاده از درشت‌نمایی در مدل ساختمان مخزن قرار گرفت. همچنین نشان‌گرهای لرزه‌ای مرتبط با شکستگی از داده‌های لرزه‌ای استخراج و در مدل ساختمان مخزن نمونه‌گیری شد. از نشانگرهای لرزه‌ای مختلفی از جمله مدل سه بعدی امپدانس، انحنا، فرکانس لحظه‌ای، تضعیف و امپدانس صوتی نسبی برای مدل‌سازی زمین‌شناسی استفاده می‌شود [۵ و ۷]. از داده‌های مهندسی مخزن که مبنای تولید دارند، می‌توان به عنوان عامل کنترل کننده شکستگی استفاده کرد [۲ و ۸]. به همین دلیل نقشه انتقال‌پذیری به منظور مقایسه کیفی با مدل تراکم شکستگی، تهیه شد. عوامل زمین‌شناسی و پتروفیزیکی کنترل کننده تراکم شکستگی، با تلفیق داده‌های لرزه‌ای و چاه‌ها به صورت سه بعدی مدل شد. با تلفیق عوامل کنترل کننده شکستگی و تراکم شکستگی در چاه‌ها، تراکم شکستگی به صورت سه بعدی با استفاده از روش شبکه عصبی مدل شد. برای اعتبار سنجی تراکم شکستگی حاصل از روش شبکه عصبی، از نقشه انتقال‌پذیری برای مقایسه با مدل تراکم شکستگی استفاده می‌شود.

سنگ مخزن اصلی این میدان سازند آسماری می‌باشد. بیشتر خصوصیات مخزنی سازند آسماری مربوط به شکستگی‌های آن است. بر اساس مطالعات انجام شده، مخزن آسماری به پنج زون اصلی تقسیم می‌شود [۹]. زون یک در بخش بالایی سازند آسماری قرار دارد و از لحاظ سنگ‌شناسی قسمت عمده آن متشکل از دولومیت، آهک دولومیتی و گاهی لایه‌های نازک شیلی، مارن و ماسه می‌باشد. زون دو، بخش بالایی سازند آسماری میانی را تشکیل می‌دهد که شامل دولومیت و آهک‌های دولومیتی است. زون سه، قسمت‌های پایینی آسماری میانی را شامل می‌شود که عمدتاً از سنگ آهک، دولومیت در قسمت‌های تحتانی ماسه سنگی با میان لایه‌های آهک و دولومیت ماسه‌ای و گاهی لایه‌های نازک شیلی تشکیل شده است. زون چهار، قسمت عمده‌ای از آسماری زیرین را تشکیل می‌دهد که از آهک، آهک دولومیتی، ماسه سنگ، شیل و مارن تشکیل شده است. زون پنج عمدتاً از آهک‌های رسی و شیل تشکیل شده است که در بعضی از چاه‌ها لایه‌هایی از ماسه سنگ در آن دیده می‌شود [۱۰]. برای مدل‌سازی خواص مخزن نیاز به مدل‌سازی ساختمان مخزن می‌باشد. در واقع مدل ساختمانی مخزن، شبکه بندی ناحیه مورد مطالعه در میدان می‌باشد. برای همین منظور ابتدا یک مرز از ناحیه مورد مطالعه تهیه شد. برای ساخت مدل ساختمانی، یک شبکه بندی ستونی<sup>۲</sup> در محدوده مرز انجام شد و سپس افق‌ها<sup>۳</sup> و زون‌ها ساخته شدند. در مرحله آخر، تعداد لایه در هر زون وارد شد تا لایه بندی نیز انجام شود. این مدل ساختمانی دارای هفت زون اصلی و فرعی است که توسط زمین‌شناسان تعیین شده است [۹]. ضخامت این زون‌ها به ترتیب از شماره صفر تا شش، برابر ۴۸، ۱۶، ۶۵، ۱۲، ۵۵، ۴۰ و ۱۵۰ m می‌باشد. این

### میدان مورد مطالعه و مدل‌سازی ساختمان مخزن

میدان نفتی مارون یکی از بزرگ‌ترین میدانی نفتی حوضه دزفول شمالی است که در فاصله ۶۰ km جنوب شرقی شهرستان اهواز واقع شده است.

1. Reservoir Structural Modeling

2. Pillar Gridding

3. Horizontes

هندسی استفاده می‌شود.

#### داده‌ها

برای بررسی شکستگی‌ها در مقیاس‌های مختلف می‌توان از داده‌های مختلفی استفاده نمود. در مقیاس چاه، روش‌های تحلیل مغزه و نمودار تصویرگر چاه و در مقیاس مخزن، داده‌های لرزه‌ای به کار می‌رود. انواع نشان‌گرهای لرزه‌ای می‌تواند به صورت غیر مستقیم دلیلی بر حضور شکستگی باشد.

#### داده‌های چاه

شکستگی‌ها را می‌توان در چاه با روش‌های مستقیم و غیرمستقیم بررسی کرد. یکی از بهترین روش‌های مستقیم، تحلیل شکستگی مغزه‌ها می‌باشد. همچنین روش‌های غیرمستقیم نمودارهای پتروفیزیکی، می‌تواند شواهدی بر وجود شکستگی باشد.

#### تحلیل مغزه‌ها

در این مقاله، مغزه‌های سه چاه با متوسط فاصله ۵ km، مورد مطالعه قرار گرفته و انواع شکستگی‌های طبیعی و القایی بررسی شده است (شکل ۱). شکستگی‌های طبیعی این چاه‌ها به صورت خواص نقطه‌ای در نرم‌افزار بارگذاری شده و نمودار شکستگی و نمودار تراکم شکستگی (تعداد شکستگی بر واحد متر) تهیه شده است. نمودار تراکم شکستگی در مدل ساختمان مخزن درشت نمایی می‌شود تا برای مدل‌سازی تراکم شکستگی مورد استفاده قرار گیرد. تصویری از تراکم شکستگی درشت نمایی شده در مدل ساختمان مخزن، در شکل ۲ نشان داده شده است.

مدل ساختمانی دارای یک شبکه با تعداد سلول‌های  $10317780$  بوده که تعداد سلول‌ها در راستای  $x$ ،  $y$  و  $z$  به ترتیب  $165$ ،  $162$  و  $386$  می‌باشد. در این مدل مخزنی  $386$  لایه وجود دارد که ضخامت هر یک از لایه‌ها تقریباً  $1$  m می‌باشد.

مقدار عرض و طول این سلول‌ها  $50$  m و ارتفاع آن برابر ضخامت لایه‌ها (تقریباً  $1$  m) در نظر گرفته شده است. ساختمان مخزن مدل شده در حوزه مکان بوده و داده‌های لرزه‌ای در حوزه زمان می‌باشد. بنابراین، لازم است داده‌های لرزه‌ای انتقال داده می‌شود. برای تبدیل داده‌ها از حوزه زمان به مکان (و برعکس)، مدل سرعتی<sup>۱</sup> دقیق مورد نیاز است. برای ساخت مدل سرعت از داده سرسازندها<sup>۲</sup> در عمق‌ها و زمان‌های مختلف و افق‌های لرزه‌ای تفسیر شده در حوزه زمان استفاده شد. با ساخت مدل سرعت، این مدل باید علاوه بر انتقال افق‌های لرزه‌ای تفسیر شده از حوزه زمان به حوزه مکان، با عمق سرسازندها نیز مطابقت داشته باشد. در غیر این صورت باید مدل سرعتی را تغییر داد تا افق‌های لرزه‌ای در حوزه مکان با عمق سرسازندها منطبق شود. پس از ساخت مدل سرعت دقیق، داده‌های لرزه‌ای به حوزه مکان برده می‌شود. سپس نشانگرهای لرزه‌ای از جمله فرکانس لحظه‌ای<sup>۳</sup>، فاز لحظه‌ای<sup>۴</sup>، یکنواختی<sup>۵</sup>، دامنه اصلی<sup>۶</sup>، به هم ریختگی<sup>۷</sup>، امپدانس صوتی نسبی<sup>۸</sup>، تضعیف<sup>۹</sup>، فرکانس غالب<sup>۱۰</sup> و انحنا از داده‌های لرزه‌ای استخراج می‌شود. به منظور استفاده از داده‌های چاه و لرزه‌ای در مدل‌سازی، این داده‌ها در مدل ساختمانی مخزن قرار می‌گیرد. داده نشان‌گرهای لرزه‌ای در مدل ساختمانی مخزن نمونه‌گیری می‌شود. برای قرار دادن داده‌های چاه در مدل ساختمانی از روش درشت نمایی<sup>۱۱</sup> استفاده می‌شود. برای درشت نمایی متغیرهای گسسته از جمله نوع سنگ از روش حداکثری به منظور انتخاب سنگ با بیشترین فراوانی استفاده می‌شود. برای متغیرهای پیوسته نیز از روش‌های میانگین‌گیری حسابی و

1. Velocity Model

2. Well Tops

3. Instantaneous Frequency

4. Instantaneous Phase

5. Flatness

6. Original Amplitude

7. Chaos

8. Relative Acoustic Impedance

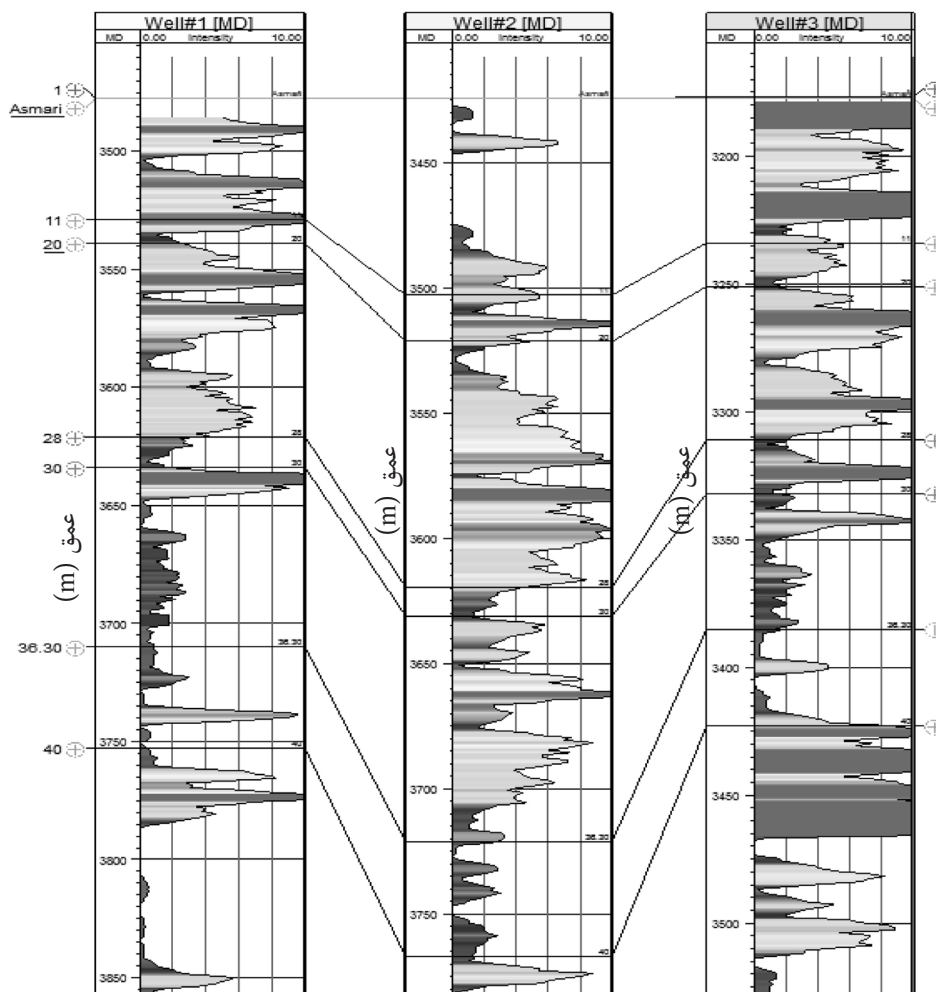
9. Attenuation

10. Dominant Frequency

11. Upscaling



شکل ۱- نمونه‌ای از شکستگی باز (سمت چپ) و شکستگی پر شده از انیدریت و کلسیت (سمت راست) در مغزه‌های میدان مارون



شکل ۲- تصویری از تراکم شکستگی در سه چاه از میدان مارون

پرتوی گاما می‌باشد. نمودار کالیپر اندازه و شکل دیواره چاه را نشان می‌دهد. زون‌های شکسته به دو صورت در نمودار کالیپر نمایان می‌شوند. در زون شکسته نمودار کالیپر ممکن است به علت فیلتر شدن گل حفاری در دیواره چاه، قطر چاه کمتر نشان داده شود.

#### نمودارهای پتروفیزیکی

با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی، می‌توان حضور و چگونگی گسترش شکستگی‌ها، جهت، تراکم و باز یا پر بودن توسط کانی‌ها را تعیین نمود. تشخیص شکستگی با نمودارهای پتروفیزیکی نیازمند تلفیق شکستگی‌های حاصل از چندین نمودار صوتی، شیب سنج، مقاومت، فتوالکتریک، پتانسیل خودزا و

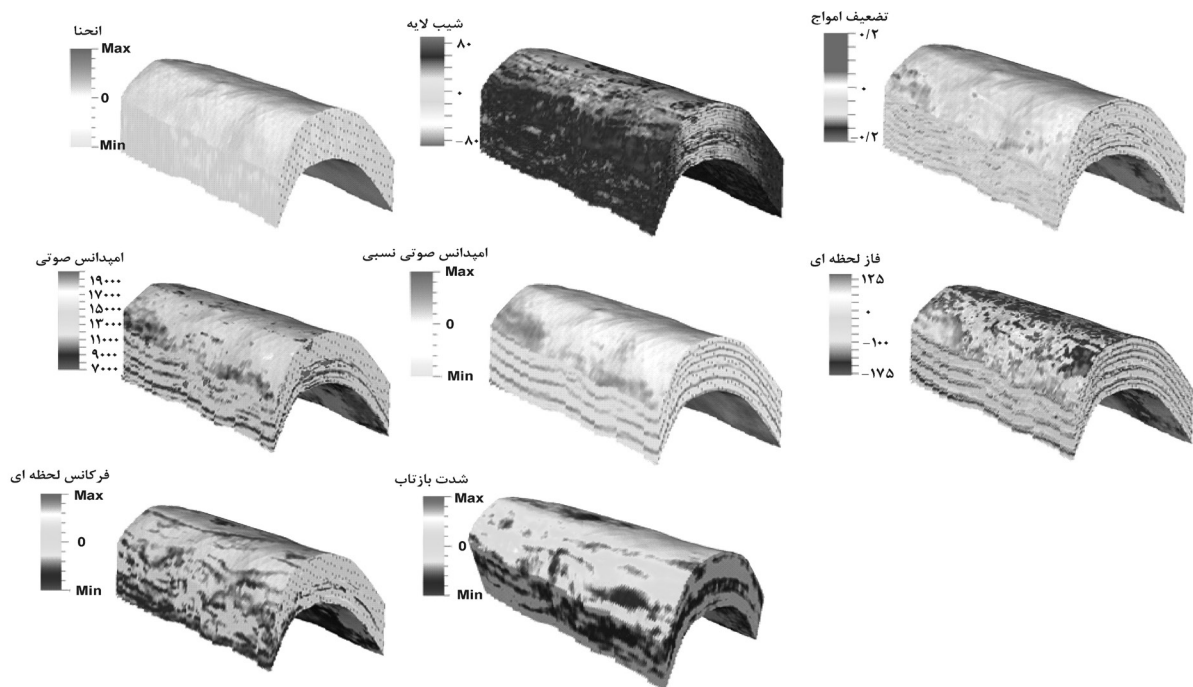
است. منفی بودن ضریب همبستگی نشان از رابطه عکس بین تراکم شکستگی و تخلخل دارد. نمودار گاما میزان پرتوزایی سازند را اندازه‌گیری می‌کند. از این نمودار برای اندازه‌گیری حجم شیل استفاده می‌شود [۱۱]. افزایش حجم شیل باعث افزایش انعطاف، کاهش شکنندگی و کاهش تراکم می‌شود. در این مطالعه نمودار گاما با تراکم شکستگی رابطه معکوس دارد و همبستگی بین آن‌ها  $0/3-$  می‌باشد.

#### داده‌های لرزه‌ای

نشان‌گرهای لرزه‌ای از قبیل ردیابی مورچه، انحنای سه بعدی و شیب ساختمان، فرکانس لحظه‌ای، امپدانس صوتی نسبی، پیوستگی، تضعیف و دامنه می‌تواند به حضور شکستگی‌ها اشاره کند [۱، ۲، ۵ و ۶]. نشان‌گرهای لرزه‌ای مرتبط با شکستگی از داده لرزه‌ای استخراج شده و در مدل ساختمان مخزن نمونه‌گیری شد (شکل ۳).

هر شکستگی می‌تواند چندین نشان‌گر لرزه‌ای داشته باشد و انتخاب بهینه نشان‌گرها در نواحی مختلف تاکدیس، متفاوت است. گسل یکی از اصلی‌ترین عوامل کنترل کننده شکستگی می‌باشد. بهترین نشان‌گرهای لرزه‌ای برای تشخیص گسل‌ها، ردیابی مورچه و انحنای سه بعدی می‌باشد. نشان‌گر انحنای حجمی، اطلاعات با ارزشی درباره جهت و تراکم شکستگی در زون‌هایی که افق‌های لرزه‌ای قابل ردیابی نیست، در اختیار ما قرار می‌دهد. انحنای یک خاصیت دو بعدی از یک منحنی است که میزان خمیدگی منحنی را در یک نقطه نشان می‌دهد. محاسبه میزان تراکم شکستگی‌ها بر اساس تغییرات میزان انحنای تاکدیس یکی از بهترین روش‌ها در مطالعه و محاسبه میزان تراکم شکستگی‌ها در قسمت‌های مختلف تاکدیس و تغییرات شیب سطح لایه‌بندی می‌باشد [۵]. فرکانس لحظه‌ای مشتق فاز لحظه‌ای نسبت به زمان می‌باشد، به عبارت دیگر نرخ تغییرات فاز لحظه‌ای را نشان می‌دهد. فرکانس لحظه‌ای از دامنه و فاز مستقل بوده و می‌تواند در تشخیص خواص سنگ مخزن مثل هیدروکربن، زون‌های شکسته و تغییر ضخامت عمودی و افقی انواع سنگ بسیار مفید باشد.

همچنین احتمال دارد در زون شکسته کالیپر، قطر چاه را زیاد نشان دهد که علت آن خرد شدن زون شکسته در هنگام حفاری است. همچنین ممکن است در سازندهای نامتراکم افزایش قطر چاه مشاهده شود و به‌علاوه در سازندهای با تراوایی بالا و نامتراکم به علت فیلتر شدن گل حفاری، قطر چاه کاهش یابد [۱۱]. با آگاهی داشتن از مقاطع چینه‌ای، نمودار کالیپر ابزار بسیار مفیدی برای یافتن زون‌های شکستگی در یک چاه محسوب می‌شود. به طور کلی فرض بر این است که در زون‌های شکسته، دیواره چاه ریزش کرده و قطر چاه زیاد می‌شود. به دلیل اینکه افزایش طبیعی قطر چاه می‌تواند ناشی از تغییرات ترکیب باشد، کالیپر در تشخیص اختلاف تراکم شکستگی در سنگ‌های پیوسته مثل کربناته بهترین عملکرد را دارد [۷]. در این مطالعه انطباق نسبتاً خوبی بین نمودار کالیپر و تراکم شکستگی برقرار است و همبستگی بین آن‌ها  $0/3+$  می‌باشد. امپدانس صوتی از حاصل ضرب سرعت و چگالی حاصل می‌شود که می‌توان آن را از دو نمودار صوتی و چگالی به‌دست آورد. امپدانس صوتی مقاومت سنگ را نشان می‌دهد. هر چقدر امپدانس صوتی سنگ زیاد باشد نشان دهنده مقاومت بالای سنگ بوده و در نتیجه شکنندگی و احتمال افزایش تراکم شکستگی بالا می‌رود. در این مطالعه رابطه نسبتاً خوبی بین تراکم شکستگی و امپدانس صوتی برقرار است، به طوری که ضریب همبستگی آن‌ها  $0/45+$  می‌باشد. با افزایش تخلخل، مقاومت سنگ کاهش می‌یابد [۱۲]. به طور کلی سنگ‌های با تخلخل پایین (با ترکیب و فابریک سنگ یکسان) تراکم شکستگی بالایی نسبت به سنگ‌های با تخلخل بالا دارند. با افزایش تخلخل، پیوند بین صفحات در سنگ دست نخورده کاهش یافته و در نتیجه مقاومت برشی و کششی سنگ کاهش می‌یابد. با کاهش مقاومت سنگ، تراکم شکستگی نیز کاهش می‌یابد. در این مطالعه بین تراکم شکستگی و تخلخل رابطه معکوسی وجود دارد و همبستگی بین آن‌ها  $0/35-$



شکل ۳- تصویر نشان گرهای لرزه‌ای که در مدل ساختمان مخزن نمونه‌گیری شده است

را نشان دهد [۲]. برای همین منظور نقشه‌های انتقال پذیری تهیه می‌شود تا به صورت کیفی با مدل تراکم شکستگی مقایسه شود. چاه آزمایشی در مهندسی نفت برای بررسی نوع مخزن و انواع پارامترهای مخزن از جمله تراوایی استفاده می‌شود. با توجه به اینکه شکستگی باعث افزایش تولید و انتقال‌پذیری در اطراف چاه می‌شود، می‌تواند دلیلی بر حضور شکستگی باشد [۸]. از حاصل ضرب تراوایی حاصل از چاه آزمایشی و ضخامت زون مخزنی، می‌توان انتقال‌پذیری را حساب کرد. در این مطالعه از انتقال‌پذیری (نرمال شده بین صفر و یک) ۲۵ چاه که در ناحیه مورد مطالعه قرار دارد، استفاده می‌شود. داده انتقال‌پذیری به صورت نمودار پیوسته در نرم افزار بارگذاری می‌شود. اندازه‌گیری مستقیم پارامترهای شکستگی به علت محدودیت اطلاعات از سیستم شکستگی و ماتریکس، منطقی نمی‌باشد. نتایج آزمایش چاه تنها به عنوان اطلاعات کیفی در سرشت نمایی شکستگی استفاده می‌شود (شکل ۴).

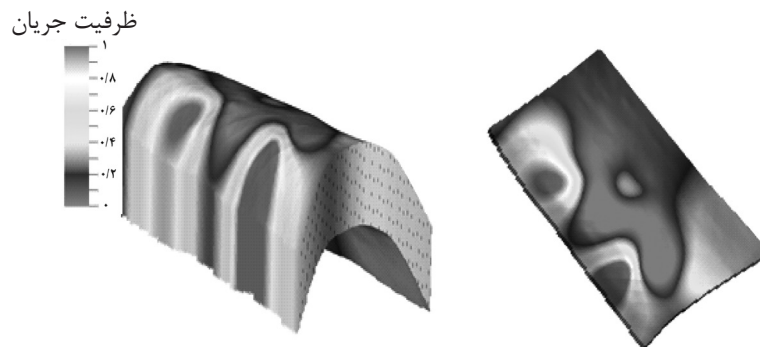
سختی سنگ نقش مهمی در شکستگی ایفا می‌کند. امپدانس حاصل از داده‌های لرزه‌ای، سختی سنگ را به خوبی مشخص کرده و یک عامل کلیدی در کنترل شکستگی می‌باشد. امپدانس صوتی نسبی، مجموع مقادیر دامنه‌هایی است که به صورت منظم نمونه‌گیری شده‌اند. این نشان‌گر، اختلاف امپدانس ظاهری را نشان می‌دهد که به مرزهای متوالی، سطوح دگر شیبی و ناپیوستگی اشاره دارد. تضعیف، اختلاف اتلاف فرکانس‌های بالا نسبت به فرکانس‌های پایین می‌باشد. نشان‌گر لرزه‌ای تضعیف، شاخص شکستگی‌های باز در حجم لرزه بر اساس تضعیف فرکانس می‌باشد. این تضعیف می‌تواند به تراکم شکستگی و ضخامت قائم زون شکسته مرتبط باشد. شکستگی‌ها سنگ را از نظر الاستیکی نرم‌تر می‌کند، مقاومت الاستیکی را تغییر می‌دهد و بازتاب پذیری را کاهش می‌دهد. بنابراین از نشان‌گر لرزه‌ای شدت بازتاب‌پذیری می‌توان به عنوان شاخص شکستگی استفاده کرد [۱۳].

#### داده‌های مهندسی مخزن

در داده‌های مهندسی مخزن از شاخص‌هایی که مبنای تولید دارند، می‌توان به عنوان عامل کنترل کننده شکستگی استفاده نمود. شاخص تولید<sup>۱</sup> و انتقال‌پذیری<sup>۲</sup> می‌تواند تراکم شکستگی

1. Productivity Index (PI)

2. Transmissibility (KH)



شکل ۴- نقشه انتقال پذیری نرمال شده (بین صفر و یک) حاصل از ۲۵ چاه

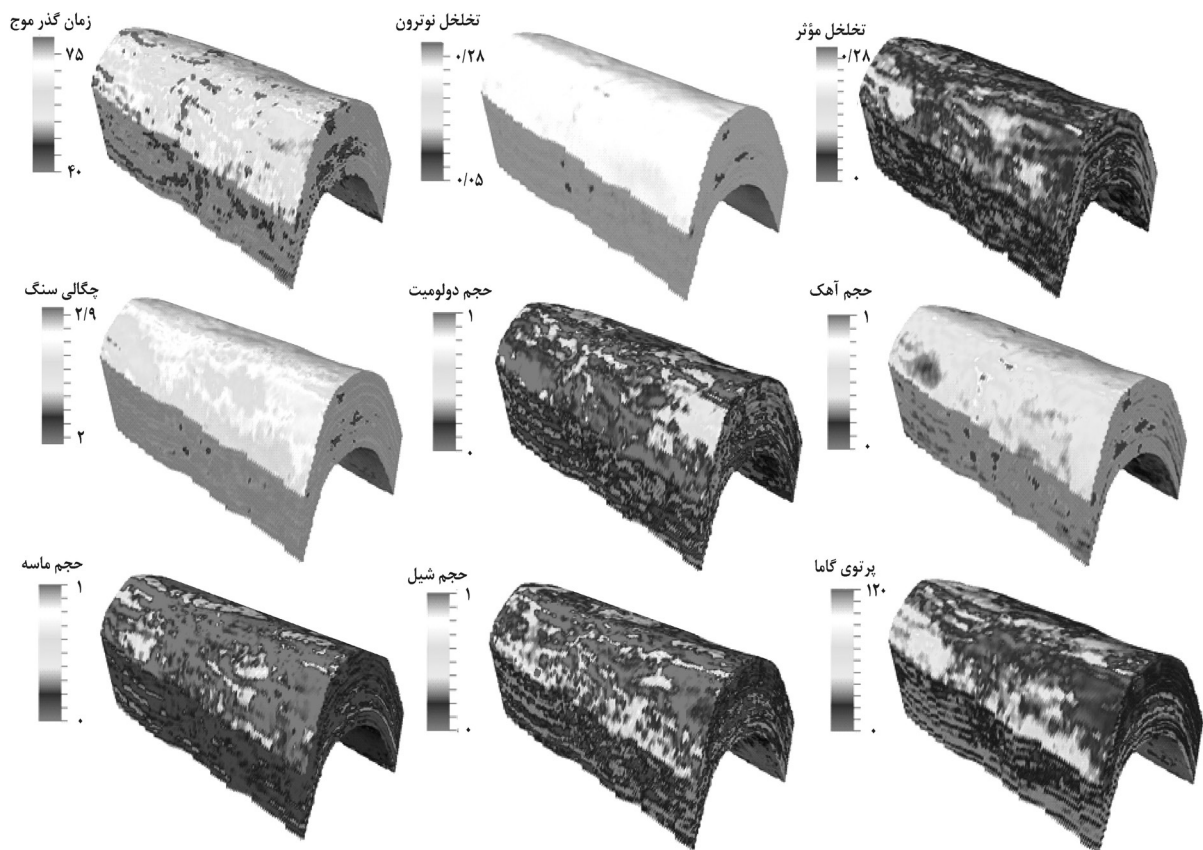
می‌شود (شکل ۵).

### مدل‌سازی پیوسته شکستگی‌ها با استفاده از روش شبکه عصبی

با استفاده از روش شبکه عصبی، مقادیر متغیرهای خروجی بر اساس داده‌های ورودی مدل تعیین می‌شود. این ورودی‌ها ممکن است مقادیر نمودارهای پتروفیزیکی، نشان‌گرهای لرزه‌ای و یا خواص مخزن باشد. هر ورودی در یک وزن ضرب شده و با هم جمع می‌شوند. سپس نتیجه حاصل در یک تابع غیر خطی قرار داده می‌شود تا خروجی حاصل شود. در اینجا از روش نظارت شده برای مدل‌سازی استفاده می‌شود. در روش نظارت شده از جفت‌های ورودی و خروجی برای آموزش استفاده می‌شود. وقتی داده خروجی وجود داشته باشد، از این داده‌ها همراه با داده‌های ورودی برای بهینه کردن وزن‌ها استفاده می‌شود. با استفاده از داده‌های ورودی آموزشی و محاسبه نتایج خروجی آن، خطای شبکه محاسبه می‌شود. با محاسبه ریشه میانگین مربعات خطا می‌توان بهترین برازش را برای همه داده‌ها به دست آورد [۱۴]. تراکم شکستگی با استفاده از روش شبکه عصبی و داده‌های تراکم شکستگی سه چاه، نشان‌گرهای لرزه‌ای و مدل‌های زمین‌شناسی مدل‌سازی می‌شود (شکل ۶) [۲ و ۵].

### ساخت مدل‌های سه بعدی زمین‌شناسی با تلفیق داده‌های لرزه‌ای و پتروفیزیکی

از نشان‌گرهای لرزه‌ای مختلفی از جمله مدل سه بعدی امپدانس، انحنا، فرکانس لحظه‌ای، تضعیف و امپدانس صوتی نسبی برای مدل‌سازی زمین‌شناسی استفاده می‌شود [۵]. عوامل زمین‌شناسی از جمله ترکیب سنگ، اندازه دانه‌ها، ضخامت لایه، تخلخل، تراوایی و موقعیت ساختاری بر تراکم شکستگی مؤثر می‌باشد [۷]. از شبکه عصبی برای یافتن رابطه بین داده‌های چاه و تعداد زیادی از نشان‌گرهای لرزه‌ای و مدل زمین‌شناسی موجود استفاده می‌شود [۵]. سنگ‌شناسی یک از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده شکستگی‌ها می‌باشد. با بررسی حجم انواع سنگ تراکم شکستگی، می‌توان نتیجه گرفت با افزایش حجم دولومیت و آهک، تراکم شکستگی افزایش و با افزایش حجم ماسه و شیل، تراکم شکستگی کاهش می‌یابد. بیشترین تراکم شکستگی به ترتیب در دولومیت، آهک، ماسه و شیل می‌باشد. علاوه بر سنگ‌شناسی، تخلخل تأثیر زیادی بر تراکم شکستگی دارد. لایه‌های با تخلخل کمتر تمایل به شکستگی بیشتری نسبت به لایه‌های با تخلخل بالا دارد. زون‌های با چگالی کمتر در اطراف گسل‌ها و مناطقی با کلسیت بالا مشاهده می‌شود. مدل سه بعدی انواع پارامترهای زمین‌شناسی از جمله تخلخل، پرتوی گاما و چگالی با نگارهای تخلخل، گاما، چگالی چاه و نشان‌گرهای لرزه‌ای حاصل



شکل ۵- تصویر مدل های سه بعدی زمین شناسی حاصل از تلفیق داده های پتروفیزیکی چاه ها و نشانگرهای لرزه ای



شکل ۶- مدل تراکم شکستگی با استفاده از روش شبکه عصبی و داده نشانگرهای لرزه ای، مدل های زمین شناسی و تراکم شکستگی سه چاه

از ۵۰۰ مرتبه تکرار استفاده شد تا مدل به خوبی آموزش دیده شود. حد خطا برای متوقف کردن الگوریتم ۵٪ انتخاب شد. لازم به ذکر است که با چندین بار آزمایش کردن مقادیر مختلف حد خطا و تعداد تکرار، حد خطای ۵٪ و تکرار ۵۰۰ مرتبه نتایج قابل قبولی ارائه کرده است. بر همین اساس از این مقادیر برای آموزش مدل استفاده شد.

برای مدل سازی پیوسته شکستگی از روش نظارت شده استفاده شد. همچنین همه عوامل کنترل کننده شکستگی به صورت نظارت شده با داده های تراکم شکستگی موجود در چاه آموزش داده شد. داده های آموزشی، تراکم شکستگی سه چاه می باشد که ۷۰٪ برای آموزش و ۳۰٪ آن برای اعتبارسنجی به کار گرفته شد. برای آموزش مدل

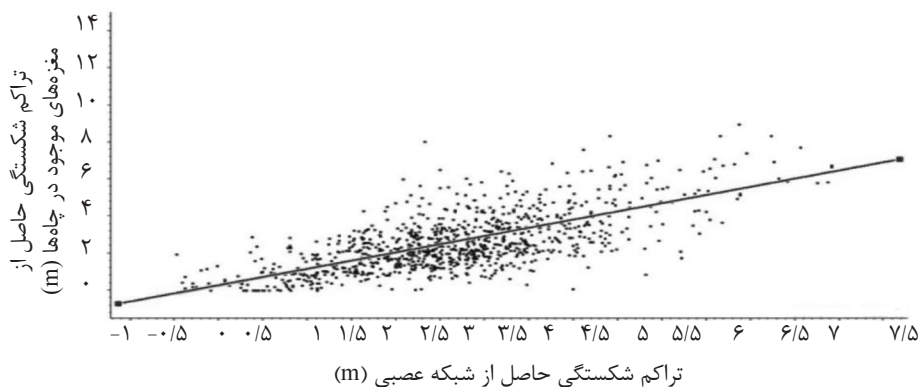


میزان شیل، تراکم شکستگی پایین می‌باشد.

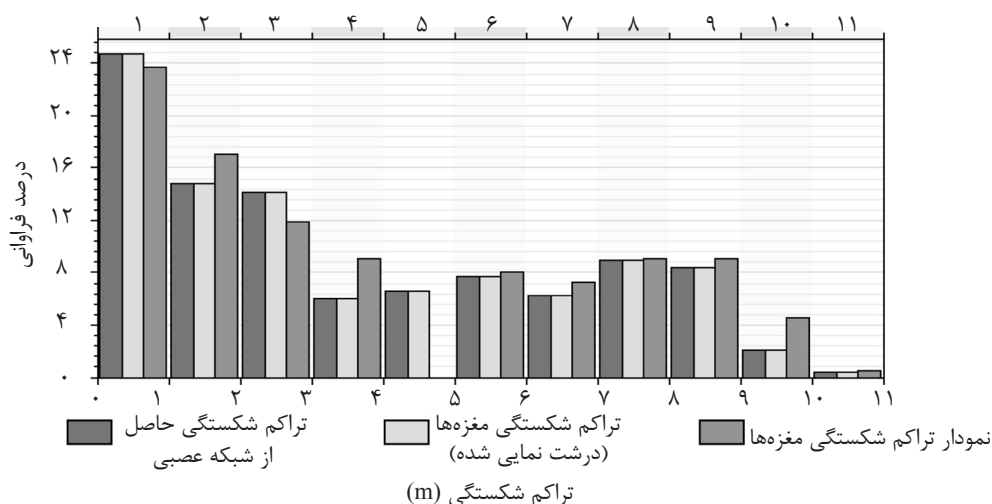
در شکل ۱۱ متوسط تراکم شکستگی در لایه‌های مخزن آسماری نشان داده شده است. همان گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، بیشترین تراکم شکستگی در یال جنوبی تاقدیس قرار دارد. در شکل ۱۲ برشی از تراکم شکستگی و شکستگی‌های حاصل از ردیابی مورچه نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، شکستگی‌های حاصل از ردیابی مورچه (صفحه‌های شکستگی)، افزایش تراکم شکستگی را در یال جنوبی تأیید می‌کند. نشان‌گر انحنا با توجه به انحنای شدید در ستیغ تاقدیس‌ها، بیشترین تراکم شکستگی را در ستیغ تاقدیس نشان می‌دهد. با این وجود، همان طوری در شکل ۱۲ دیده می‌شود، بیشترین تراکم شکستگی در یال جنوبی تاقدیس قرار دارد که ردیابی مورچه نیز این قضیه را تأیید می‌نماید. بنابراین در این تاقدیس نامتقارن ردیابی مورچه بهتر از روش انحنا، تراکم شکستگی را نشان می‌دهد.

برای اعتبارسنجی مدل حاصل، انطباق بین مدل تراکم شکستگی حاصل از شبکه عصبی با داده‌های چاه محاسبه گردید که مقدار آن  $0/82$  به دست آمد (شکل ۷). همچنین مدل حاصل هم‌خوانی خوبی با نقشه انتقال‌پذیری دارد (شکل ۴).

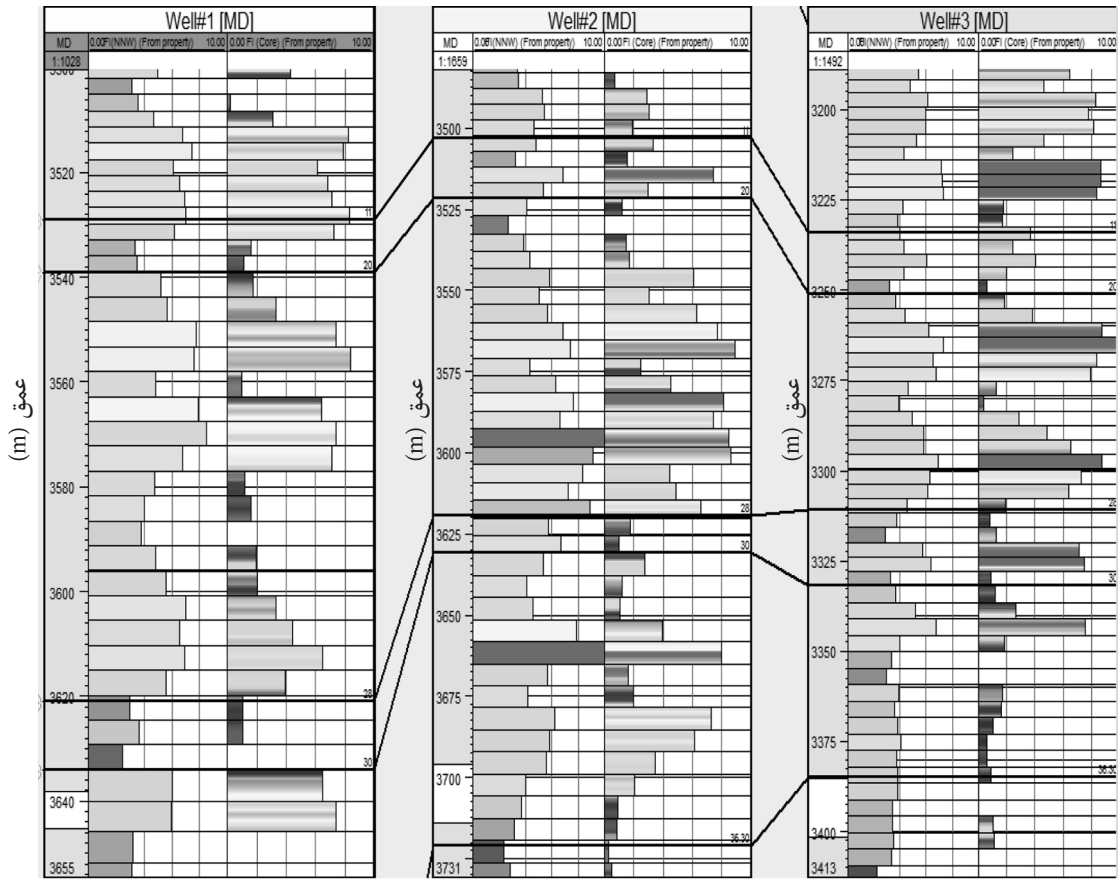
در شکل ۸ هیستوگرام مربوط به تراکم شکستگی مغزه‌های سه چاه و تراکم شکستگی حاصل از شبکه عصبی رسم شده است که نشان دهنده بازتولید مناسب هیستوگرام تراکم شکستگی مغزه‌ها می‌باشد. در شکل ۹ تصویری از مقایسه تراکم شکستگی حاصل از شبکه عصبی و مغزه‌ها در محل سه چاه آورده شده است که نشان می‌دهد تراکم شکستگی با روش شبکه عصبی به خوبی مدل شده است. در شکل ۱۰ یک برش طولی از مدل شکستگی حاصل از شبکه عصبی نشان داده شده است. با توجه به این شکل، در زون‌های بالایی به علت بالا بودن مقدار دولومیت، تراکم شکستگی بالا بوده و در زون‌های پایین به دلیل افزایش



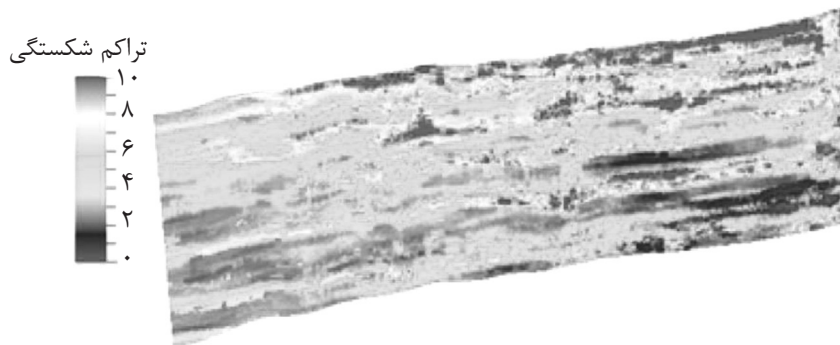
شکل ۷- انطباق بین تراکم شکستگی حاصل از شبکه عصبی و تراکم شکستگی حاصل از مغزه‌ها در سه چاه



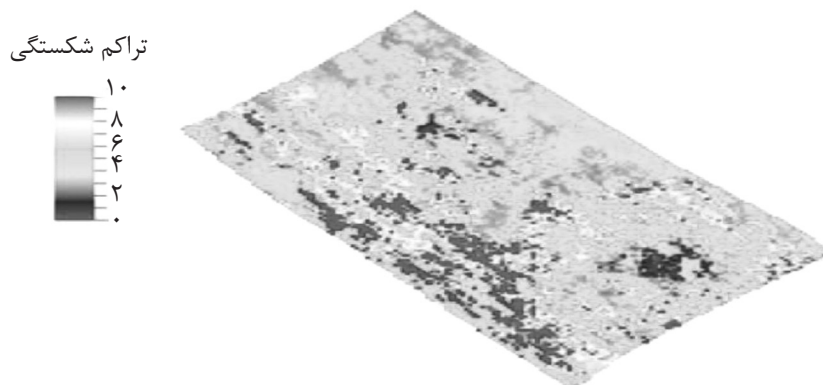
شکل ۸- هیستوگرام مربوط به تراکم شکستگی مغزه‌های سه چاه و تراکم شکستگی حاصل از شبکه عصبی



شکل ۹- مقایسه تراکم شکستگی حاصل از شبکه عصبی و مغزه‌ها در محل سه چاه



شکل ۱۰- برش طولی از مدل تراکم شکستگی حاصل از شبکه عصبی



شکل ۱۱- متوسط تراکم شکستگی در لایه‌های مختلف



شکل ۱۲- مقطع تراکم شکستگی و شکستگی‌های حاصل از ردیابی مورچه

### نتیجه‌گیری

تراکم شکستگی بالایی دارد. بنابراین بهترین مکان برای توسعه میدان مارون یال جنوبی تاقدیس می‌باشد.

۵- برش طولی مدل شکستگی نشان می‌دهد که در زون‌های بالایی به علت بالا بودن مقدار دولومیت، تراکم شکستگی بالا است و در زون پایین به علت افزایش میزان شیل، تراکم شکستگی پایین می‌باشد. همچنین در مجاورت دماغه تاقدیس، به دلیل کاهش شدت انحنا، تراکم شکستگی کم می‌باشد.

۶- با توجه به مدل تراکم شکستگی حاصل از شبکه عصبی و شکستگی‌های حاصل از ردیابی مورچه، می‌توان نتیجه گرفت که این مقادیر با یکدیگر هم‌خوانی داشته و در یال جنوبی گسل نقش مهمی در افزایش تراکم شکستگی دارد.

از مطالعه و مدل‌سازی شکستگی‌های مغزه نتایج زیر حاصل شد:

۱- نوع سنگ بر تراکم شکستگی مؤثر می‌باشد. برای همین منظور از مدل‌های زمین‌شناسی حجم دولومیت، آهک، ماسه و شیل برای مدل‌سازی پیوسته شکستگی استفاده شد.

۲- مدل پیوسته شکستگی حاصل از شبکه عصبی با داده‌های چاه ۸۲٪ انطباق دارد. همچنین نتایج شبکه عصبی، با نقشه انتقال‌پذیری هم‌خوانی قابل قبولی دارد.

۳- به علت نامتقارن بودن تاقدیس (کج‌شدگی یال جنوبی)، نشان‌گر ردیابی مورچه بهتر از روش انحنا تراکم شکستگی را نشان داد.

۴- با توجه به متوسط تراکم شکستگی، یال جنوبی

### مراجع

- [1]. Ouenes A., "Practical application of fuzzy logic and neural networks to fractured reservoir characterization," Computer and Geoscience, Vol. 26, pp. 953-962, 2000.
- [2]. Zellou A. M. and Ouenes A., "Integrated fractured reservoir characterization using neural networks and fuzzy logic: three case studies," Journal of Petroleum Geology, pp. 459-476, 2001.
- [3] Wong P. M., "Ranking geological drivers for mapping fracture intensity at the Pinedale anticline," EAGE, 65<sup>th</sup> Conference and Exhibition, Norway, 2003.
- [4]. Jenkins C., Ouenes A., Zellou A., and Wingard J., "Quantifying and predicting naturally fractured reservoir behavior with continuous fracture models," AAPG Bulletin, Vol. 93, No. 11, pp. 1597-1608, 2009.
- [5]. Ouenes "Mapping natural fractures using 3D seismic and well data: Application to a shale play," Prism Seismic, 2010.
- [6]. Mai H. T., "Seismic attribute analysis and its application to mapping folds and fractures," PhD Thesis, Univer-

sity of Oklahoma, Oklahoma, USA, 2010.

[7]. Nelson R. A., "Geologic analysis of naturally fractured reservoirs, gulf professional," Houston, USA, 2001.

[8]. Klepacki D., "Seismically driven characterization and simulation of the fractured ten sleep reservoir at teapot dome for CO<sub>2</sub> injection design," DGS 3D Symposium-Denver, 2010.

[9]. McCord D. R., & Associates, "Fracture study of reservoirs report," No. Ep- 47147, Prepared for Osco, 1974.

[10]. Stat Oil Marun Asmari Full Field Study, 2003.

[11]. Fertl W. H., "Evaluation of fractured reservoirs using geophysical well logs," SPE Symposium on Conventional Gas Recovery, Paper no. 8938, Pittsburgh, Pennsylvania, 1980.

[12]. Price N. J., "Fault and joint development in brittle and semi-brittle Rocks," Pergamon, Oxford, 1966.

[13]. Mavko C., "Rock physics constraints on seismic signatures of fractures," Rock Physics Laboratory Stanford University, Contract number: DE-AC26-99FT40692 DOE, 2007.

[14]. Schlumberger Company, Petrel Software Help, 2009.