

## مطالعه نقش مدل سازی هرزروی گل حفاری و نمودار تصویرگر در تعیین شکستگی های مخزن آسماری در یکی از میادین نفتی جنوب غرب ایران

کیومرث طاهری<sup>۱\*</sup>، محمدرضا رسایی<sup>۲</sup>، عباس اشجعی<sup>۳</sup>

- ۱- کارشناس ارشد مهندسی نفت، معاونت زمین شناسی گسترشی، شرکت مناطق نفتخیز جنوب، اهواز، ایران
- ۲- استادیار انستیتو مهندسی نفت، دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۳- رئیس طراحی و برنامه ریزی، معاونت زمین شناسی گسترشی، شرکت مناطق نفتخیز جنوب، اهواز، ایران

kio.taheri@yahoo.com

دریافت آذر ۱۳۹۶، پذیرش فروردین ۱۳۹۷

### چکیده

شناخت هرچه بیشتر مخازن نفت و گاز، در برداشت حداکثری هیدروکربن از آنها کمک شایانی می کند. در بررسی ویژگی های ساختمان های نفتی، مطالعه شکستگی های سنگ مخزن در مراحل تولید و توسعه میدان بسیار ضروری است. امروزه بکارگیری مدل سازی هرزروی و نمودارهای تصویرگر در تحقق این مسئله به زمین شناسان نفتی کمک شایانی می نماید. از آنجایی که اکثر مخازن ایران از نوع کربناته هستند، بررسی و شناسایی هرچه بیشتر شکستگی ها، میزان باز شدگی شکاف ها و توزیع تخلخل در مخزن آسماری میدان مورد مطالعه، جزء موثرترین عوامل در تولید هیدروکربن از این میدان محسوب می شود. یکی از بهترین راه های شناسایی و تفسیر زمین شناسی درون چاه، استفاده از دستگاه تصویرگر FMI است، که می تواند تصاویری با کیفیت بالا از چاه ایجاد کند. به کمک تصاویر تهیه شده، می توان انواع شکستگی ها، تخلخل، توزیع فضاهای خالی دیاژنتیکی و تخمین روند تراوایی را مشخص کرد. در این مقاله ابتدا، ساختار و نحوه عملکرد دستگاه تصویرگر FMI و سپس مشکلات حفاری و تولید در مخزن آسماری مورد ارزیابی قرار گرفت و در ادامه نقش کاربردی نمودار در تفسیر و تعیین میزان باز شدگی شکاف ها، توزیع تخلخل و میزان نفوذپذیری در ۸ حلقه چاه در مخزن آسماری، مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مطالعه، شناسایی شکستگی های مخزن آسماری و نحوه گسترش این شکستگی ها در مخزن با استفاده از مدل سازی هرزروی، تفسیر دستگاه تصویرگر FMI و تاثیر این شکستگی ها بر تخلخل و تراوایی مخزن انجام شد.

کلیدواژه: شکستگی ها، مخزن آسماری، دستگاه تصویرگر FMI، توزیع تخلخل، نقشه هرزروی

## ۱- مقدمه و هدف

بررسی شکستگی‌ها در صیانت از مخازن و توانمند سازی تولید ضروری است. شناسایی لایه‌بندی، شکستگی‌ها، گسل‌ها، تراوایی و توزیع تخلخل، نقش مطلوب و مهمی در توصیف مخازن دارد. متأسفانه به دلیل نبود تکنولوژی لازم و تجهیزات کافی، و هزینه های بالا در بکارگیری تکنولوژی و روش‌های نوین، آنطور که باید موفق نشده‌ایم از خصوصیات مخازن خود شناسایی جامعی پیدا کنیم. یکی از روش‌های مورد استفاده در زمین شناسی، آنالیز مغزه‌ها<sup>۱</sup> است. برای زمین شناسی درون چاه، عدم تطابق اندازه مغزه‌ها با اندازه واقعی ساختارهای زمین شناسی، درصد بازیافت پایین در زون‌های شکافدار و جهت دار نبودن، مهمترین محدودیت مغزه در مطالعه شکستگی‌ها می باشد. روش دیگری که کاربرد فراوانی داشته و دارد، لرزه نگاری است، که دارای قابلیت تفکیک عمودی و افقی خاص است و اطلاعات کلی در مورد زمین شناسی منطقه به ما می دهد و در توضیح و تفسیر جزئیات ساختارهای زمین شناسی محدودیت دارد. پس از مطالعات فراوان، زمین شناسان به این نتیجه رسیدند که بهترین راه حل، گرفتن تصویر از دیواره چاه با اندازه واقعی است. بررسی و مطالعه شکستگی‌ها اساساً از این نظر حائز اهمیت است که شکستگی‌ها تأثیر مهمی در میزان تخلخل و تراوایی سنگ‌ها داشته و حرکت سیالات را تسهیل می‌کنند [۱۴]. شکستگی‌ها نقش مهمی در تولید از مخازن با شکستگی طبیعی ایفا می‌کنند [۱۳]. یکی از مهمترین روش‌های شناسایی و توصیف هرچه بهتر مخازن، استفاده از نمودارهای تصویرگر می‌باشد. این روش بدلیل محدودیت‌های تجهیزاتی و تعمیراتی و ارائه خدمات انحصاری آن توسط چند شرکت خارجی و هزینه بالای راندن آن در چاه، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

عدم شناخت مناطق با شکستگی بالا در حین عملیات حفاری و تکمیل چاه می‌تواند مشکلات بسیاری نظیر هرزروی کامل سیال حفاری، گیر کردن رشته حفاری در چاه، فوران و آتش سوزی را بوجود آورد. به همین جهت مطالعه شکستگی‌ها و استفاده از ابزار نمودارهای تصویرگر در شناسایی مناطق دارای شکستگی، کمک شایانی به مهندسان حفار و بهره بردار می‌کند تا تصمیمات بهتری را برای حفاری و تولید نفت از آن مخزن اتخاذ نمایند. در این مطالعه ابتدا نمودارهای خروجی ریز تصویرگر سازند-دیواره کامل چاه<sup>۲</sup> مورد تفسیر قرار گرفته است. با تفسیر نمودارهای تصویری و بدست آوردن اندازه و قطر شکستگی‌ها در هر بخش از مخزن، شناسایی کاملی از شکستگی‌ها در هر چاه صورت پذیرفت. سپس ارتباط مدل‌سازی های هرزروی با شکستگی های سازند در هر چاه مورد بررسی قرار گرفت. سپس نقش نمودارهای تصویری و نقشه‌های هرزروی در شناسایی مناطق دارای شکستگی در مخزن آسماری یکی از میادین جنوب غرب مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف از این پژوهش، شناسایی مناطق با شکستگی بالا در مخزن آسماری میدان مورد مطالعه است که با شناسایی آنها می‌توان یک عملیات حفاری ایمن در آن مناطق داشت. همچنین با شناسایی شکستگی های باز در بخش های مختلف میدان می‌توان به یک عملیات تکمیل چاه با نرخ تولید بالا دست یافت که در دراز مدت موجب افزایش بهره وری از مخزن آسماری میدان مورد بررسی خواهد شد.

<sup>۱</sup> Core

<sup>۲</sup> Full-bore Formation Micro Imager (FMI)

## ۲- مروری بر مطالعات انجام شده

می توان ابزار بررسی کننده تمام دیواره چاه<sup>۳</sup> را به عنوان اولین ابزار تصویرگر مورد استفاده در صنعت نفت در سال ۱۹۶۰ نام برد. انواع پیشرفته تر دستگاه های تصویری در سال ۱۹۸۶ به وجود آمدند که ریز تصویرگر سازند<sup>۴</sup> و ریز تصویرگر سازند- دیواره کامل چاه از بهترین و کامل ترین آنها هستند. تکنولوژی ابزار ریز تصویرگر سازند ابداع شد و بعد از آن در سال ۱۹۹۱ تکنولوژی کامل تری با همان اساس ولی با دقت و تفکیک بالاتر با نام ریز تصویرگر سازند برای دیواره کامل چاه ابداع شد. در سال ۲۰۱۴ عزتی و همکاران، تنش های افقی و شکستگی های سازند دالان را با استفاده از دستگاه تصویرگر FMI در چاه های نفتی جنوب غرب بررسی کردند. در این مطالعه خواص شکستگی ها و بیشترین تنش افقی، با استفاده از تفسیر نمودار تصویری، مشخص شد که دو مجموعه شکستگی با روند شمال غربی، جنوب شرقی در سازند دالان وجود دارد که عامل اصلی تولید هیدروکربن در آن می باشد [۸]. در سال ۲۰۰۷ تینگای و همکاران و در سال ۲۰۱۵ علیزاده و همکاران مطالعاتی را بر روی شکستگی های القایی<sup>۵</sup> ناشی از حفاری و جهات این شکستگی های در دهانه چاه انجام دادند. در این مطالعه ساختمان های زمین شناسی و شکستگی های دهانه چاه، جهات مختلف این شکستگی ها و تنش های وارده بر آنها با استفاده از نمودارهای تصویری شناسایی شد [۵] و [۱۷]. در سال ۲۰۰۹ شکستگی های سازند آسماری، پابده و گورپی با استفاده از نمودار تصویری توسط خوشبخت و همکاران مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که الگوی شکستگی ها در سازندهای آسماری و پابده مشابه است و سازند گورپی کاملاً متفاوت است و حداکثر تراکم شکستگی ها در دو سازند آسماری و پابده است [۱۱]. داورپناه و همکاران در سال ۲۰۱۶ به بررسی ساختار مخزن با استفاده از تفسیر نمودارهای دستگاه ریز تصویرگر کامل سازند و پروفایل لرزه ای عمودی<sup>۶</sup> پرداختند و نتایج نشان داد که داده های مقیاس کوچک، مانند لرزه نگاری عمیق، قدرت جدا شدن ساختارها در حد متر را دارد و دستگاه تصویرگر FMI دارای محدودیت جداسازی در حد سانتیمتر است و توزیع شکستگی در اطراف چاه را به خوبی نشان می دهد [۷]. در سال ۲۰۱۶ وانگ و همکاران تحقیقات مدل سازی نرخ تولید گاز در کانال های تنگ در سازند ماسه سنگی و بهینه سازی شکستگی های مصنوعی را انجام دادند و نتایج نشان داد که جهت مطلوب شکستگی باید انحراف کمتر از ۸/ از حداکثر جهت نفوذپذیری داشته باشد و این مطالعه یک مبنای نظری مناسب برای کانال های تنگ ماسه ای در مخازن گازی فراهم کرد [۱۸]. در سال ۲۰۱۷ مطالعه ای توسط وطن دوست و فرضی پور برای پیش بینی شکستگی های باز سازند آسماری با استفاده از تجزیه و تحلیل هندسی در تاقدیس میدان نفتی آغا جاری انجام شد. این مطالعه نشان داد که در مناطق با انحنای بالا، تراکم شکستگی ها زیاد است و بیشترین پتانسیل ایجاد شکستگی های باز را دارند و داده های شکستگی و هرزروی در ۴ چاه انطباق بسیار خوبی را نشان می دهند [۱۹]. در سال ۲۰۱۷ هارتاوی و همکاران، شکستگی های مخزن را در یکی از میدان های جنوب سوماترا با استفاده از تجزیه و تحلیل داده های مغزه و دستگاه تصویرگر FMI تفسیر کردند. نتایج این مطالعه نشان داد خواص سنگ اثر کمی بر تعداد شکستگی ها دارد و تخلخل شکستگی ها نسبتاً کم است [۱۰].

<sup>3</sup> Bore Hole TeleViewer

<sup>4</sup> Formation Micro Scanner (FMS)

<sup>5</sup> Induced Fracture

<sup>6</sup> vertical seismic profile

### ۳- زمین شناسی و موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه

ناحیه فرو افتادگی دزفول<sup>۷</sup> با وجود مساحت نسبتاً کم خود (۴۰۰۰۰ کیلومتر مربع) بخش عمده‌ای از نفت تولیدی ایران را در بر می‌گیرد [۲]. میدان مورد بررسی یکی از میادین عظیم در فرو افتادگی دزفول است. میانگین تخلخل مخازن این میدان حدود ۳۰ درصد بوده که با افزایش عمق کاهش می‌یابد. این میدان دارای سه مخزن آسماری، بنگستان و خامی است، که عمده نفت تولیدی آن از مخزن آسماری می‌باشد. لیتولوژی این سازند عمدتاً از سنگ‌های کربناته تشکیل شده است که سنگ‌های آهکی در قسمت‌های زیرین و دولومیت‌ها در بخش‌های فوقانی مخزن مشاهده می‌شوند [۱]. مخزن آسماری این میدان بر پایه تغییرات جنس سنگ‌ها، تغییرات تخلخل و با استفاده از ابزارهای چاه پیمایی به ۱۱ زون و زیر زون تقسیم شده است. این مخزن دارای ۴ زون اصلی A, B, C, D می‌باشد. که زون A خود به دو لایه A1, A2 بود و زون B به پنج لایه B1, B2, B3, B4, B5 و زون C به دو لایه C1, C2 و D به دو لایه D1, D2 تقسیم شده است. برآوردهای اولیه نشان می‌دهد که زون B2 بیشترین سهم (حدود ۲۰٪) نفت درجا و پس از آن زون‌های A1, C2, B4 به میزان ۱۶٪، ۱۵٪ و ۱۳٪ از حجم نفت درجا<sup>۸</sup> را به خود اختصاص داده‌اند. سایر زون‌ها شامل C1, B5, B3, A2, B1 هر یک با سهم بین ۹٪ تا ۳/۶٪ در رده بعدی قرار دارند. زون‌های قاعده‌ای D1, D2 مجموعاً حدود ۳٪ هیدروکربور را ذخیره کرده اند [۳]. در این میدان مقدار شیب بر روی یال جنوبی آسماری عمدتاً زیاد (بیش از ۵۰ درجه و حداکثر ۸۰ درجه در جنوب شرقی میدان) است، که نسبت به مقدار شیب در یال شمالی (متوسط ۴۰ درجه) بیشتر می‌باشد [۲]. ویژگی‌های ساختاری از قبیل تنوع شیب، بروز گسلش متعدد، ایجاد و توزیع شکستگی‌ها، تأثیر بالا آمدگی قدیمی در دماغه شرقی، این میدان را به ساختمانی ویژه مبدل ساخته است. ضخامت متوسط حفاری شده سازند آسماری ۵۲۰ متر است که از طرف شمال غرب به سمت جنوب شرق روند کاهشی دارد و حداقل به ۲۸۰ متر می‌رسد.

### ۴- روش مطالعه

با مطالعه و بررسی شکستگی‌ها و چگونگی انتشار آن در هر نقطه از مخزن به وسیله دستگاه تصویرگر FMI و مدل گسل-ها، می‌توان بهره‌برداری حداکثری از مخزن داشت و برنامه‌ریزی‌های توسعه میادین در بخش‌های عملیات حفاری، مهندسی مخزن و ازدیاد برداشت از مخازن را کنترل کرد. از ابزارهای تصویری دو نوع داده می‌توان بدست آورد، یک تصویر که از دیواره چاه به دست می‌آید و دیگری اطلاعاتی است که به کمک آنها می‌توان شیب و تغییرات شیب بر حسب عمق را بررسی کرد. دستگاه تصویرگر FMI با داشتن تعداد زیادی حسگر<sup>۹</sup> الکتریکی و قدرت تفکیک قائم و افقی بالا (در حد ۱ میلی‌متر) پوشش ۸۰ درصدی از دیواره چاه را ارائه می‌دهد. تشخیص گسیختگی‌های دیواره چاه نظیر ریزش دیواره چاه، شکاف‌های کششی دیواره و سطوح برشی ریزش دیواره چاه که به علت الگوی ناحیه‌ای تنش می‌باشد، توسط تصویرگر دیواره چاه قابل تعیین است [۱۵]. نمودار تصویری برای زمین شناسان مخزن و مهندسی نفت این امکان را فراهم می‌کند تا پدیده‌های کوچک مقیاس در محدوده دیواره چاه را شناسایی کنند. این اطلاعات در تکمیل چاه و برنامه توسعه میدان نظیر مشبک‌کاری و انتخاب مسیر چاه‌های انحرافی نقش کلیدی دارند [۱۶]. تصاویر نمودارها، تصاویر الکتریکی هستند که با

<sup>7</sup> Embayment Dezful

<sup>8</sup> Oil in Place

<sup>9</sup> Button

اندازه‌گیری اختلاف مقاومت سنگ‌ها و سیالات بدست می‌آیند. اختلاف مقاومت الکتریکی در تصاویر با رنگ‌های متفاوت نمایش داده می‌شود، بگونه‌ای که رنگ تیره، مقاومت کم و رنگ روشن مقاومت بالا را نمایش می‌دهد. تکنیک بدست آوردن تصاویر بر اساس تکنولوژی شیب‌سنج‌ها می‌باشد که هدف اصلی شیب‌سنج‌ها بدست آوردن شیب و آزیموت ساختارهاست [۱۱]. در این مطالعه ابتدا تصحیح اختلاف بین عمق تخمین زده شده و عمق حاصل از حفاری چاه صورت گرفته است، سپس داده‌ها یکسان سازی<sup>۱۰</sup> شده است. در مرحله یکسان سازی، داده‌های خام ابزار اغلب پاسخ‌های متفاوتی را نسبت به مقاومتی خاص و معین نشان می‌دهند. با افزایش سیگنال دکمه‌های ضعیف و کاهش خروجی آنهایی که بسیار حساس هستند یکسان سازی بصورت دکمه به دکمه بر روی داده‌ها اعمال می‌شود. در مرحله بعد، به دلیل وجود نیروهای شناوری<sup>۱۱</sup> حاصل از گل حفاری و افزایش یا کاهش سرعت بالا آمدن ابزار به هر دلیل، سرعت بالا آمدن ابزار یکنواخت نبوده و تصحیح شده است. در هر کار پردازشی، با در نظر گرفتن تصحیحات مراحل قبل، یک نرمال سازی بر روی کل نمودار انجام می‌شود و در پایان این تصحیحات بر روی کل نمودار انجام می‌شود [۹].

برای شناسایی هرچه بهتر شکستگی‌ها از دستگاه تصویرگر FMI و نقشه‌های سه بعدی هرزروی استفاده شده است. ارتباط آنها با مدل خطوط گسلی در تاق‌دیس مخزن آسماری در چاه‌هایی مورد مطالعه، بررسی شده است. علاوه بر مشخص کردن بخش‌های با شکستگی بالا، فاکتورهای توزیع تخلخل و قطر درزه‌ها و شکاف‌ها که نقش مهمی در افزایش تولید میدان دارند نیز، معلوم شده است. همچنین با مشخص نمودن این فاکتورها، می‌توان نقاط بهینه را در عملیات تکمیل چاه برای برداشت حداکثری از مخزن مشخص نمود. با تهیه مدل گسل‌ها و هرزروی سیال حفاری در مخزن آسماری این میدان و تفسیر نمودارهای تصویری رانده شده در چاه‌ها و استناد به آنها، ارتباط منطقی بین شکستگی‌های هر چاه با خط اثر گسل‌ها و مناطق با هرزروی بالا که بر روی آنها یا در شعاع نزدیک به آنها قرار گرفته‌اند، وجود دارد، که این مسئله اهمیت روز افزون در بکارگیری نمودارهای تصویرگر و مدلسازی‌های هرزروی و گسلی در بخش‌های مختلف عملیاتی را بیش از پیش مورد توجه قرار می‌دهد. این نمودارگیری در گل رسانای آب پایه انجام شده است و در صورتی که در گل-های پایه روغنی<sup>۱۲</sup> انجام می‌شد، مقدار آب موجود در آن می‌بایست حداقل بین ۳۰ تا ۴۰ درصد باشد.

#### ۴-۱- ساختار و نحوه عملکرد دستگاه تصویرگر FMI

دستگاه تصویرگر FMI، مشاهده مداوم و جزء به جزء تغییرات عمودی و جانبی سازند را طوری می‌سازد که مشاهده کننده واقعاً بتواند سازند را ببیند. جریان‌های الکتریکی ثبت شده توسط میکرو الکترودها، بعد از بازخوانی، نگاره‌هایی را ارائه می‌دهند که شبیه به تصاویر برداشته شده از مغزه است. دستگاه FMI، نسل دوم از ابزارهای تصویربرداری الکتریکی می‌باشد که نسبت به ریز تصویرگر سازند دارای پوشش دیواره‌ای ۴ برابر است. پوشش خارجی ایجاد شده در اثر اضافه نمودن زبانه‌ها<sup>۱۳</sup> در زیر بالشتک‌ها و انحراف آنها از هر بالشتک بصورت منظم بوجود می‌آید. این ابزار محبوب ترین ابزار تصویرگر در بین زمین‌شناسان و مهندسين نفت است که قطعاً دلیل آن کیفیت بالا و پوشش خوب این ابزار می‌باشد. این

<sup>10</sup> Equalization

<sup>11</sup> Buoyancy

<sup>12</sup> Oil-Based Mud

<sup>13</sup> Flaper

نمودار توانایی آنالیز لایه‌های بسیار نازک، تشخیص نوع ساختار بسیار ریز نظیر لایه متقاطع<sup>۱۴</sup>، استیلولیت<sup>۱۵</sup> و شکستگی های بسیار ریز، توزیع تخلخل و آنالیز مخازن پیچیده را دارد [۲]. این نمودار در چاه‌های باز با گل آب پایه استفاده می‌شود، که هر کدام از بازوها شامل یک پد و یک فلپ می‌باشد. ساختار این دستگاه ریز تصویرگر، به همراه سنسورهای آن به گونه‌ای است، که پدها و فلپ‌ها هرکدام از صفحات مسی است و ۲۴ الکتروود در ۲ ردیف بر روی آنها قرار گرفته‌اند. چیدمان الکتروودها و فاصله بین ردیف‌ها نمایانگر رزولوشن افقی و مشابه رزولوشن قائم است [۱۲]. پس از ارسال دستگاه تصویرگر به درون چاه و قرار گرفتن در عمق مورد نظر، بالشتک‌ها کاملاً بر روی دیواره چاه منطبق می‌شوند و فرکانس-هایی را جهت اندازه‌گیری مقاومت، مستقیماً به داخل سازند می‌فرستند. بدلیل عایق بودن بین قسمت بالایی و پایینی سوند، سیگنال‌ها مجبورند یک مسیر منحنی شکل را گذرانده و از الکتروودهای پایینی به الکتروودهای بالایی برسند. جریان به کار گرفته شده از نوع جریان متناوب با فرکانس پایین می‌باشد. دستگاه تصویرگر FMI، توانایی رانده شدن در چاه‌هایی با قطر ۱۵/۸۸ سانتی متر تا ۵۳/۳۴ سانتی متر با حداکثر سرعت ۵۴۹ متر بر ساعت را دارا می‌باشد.

همانطور که در ساختار این دستگاه تصویرگر توضیح داده شد، دستگاه، شامل ۱۹۲ الکتروود یا سنسور می‌باشد، که هر کدام از آنها دارای قطر موثری به اندازه ۲ اینچ می‌باشد (هر عارضه‌ای کوچکتر از ۲ اینچ توسط ابزار FMI قابل رویت نیست). بنابراین نمونه‌برداری از سازند به دو برابر یعنی ۸۰ درصد افزایش یافته است، که این مشخصات فنی دستگاه تصویرگر در جدول ۱ ارائه شده است. از ابزار FMI در زمان‌های بحرانی که نیاز به افزایش تصویری پوشش تمام بدنه چاه<sup>۱۶</sup> است، استفاده می‌شود و می‌توان برای کاهش زمان نمودارگیری فقط از بالشتک‌ها استفاده نمود. این دستگاه را می‌توان با بهره‌گیری از سیستم TLC<sup>۱۷</sup> در چاه‌های افقی نیز مورد استفاده قرار داد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی ابزار FMI (ریز تصویرگر سازند)

طول ابزار (اینچ)	عمق نفوذ (اینچ)	پوشش دیواره چاه (درصد)	بیشترین سرعت نمودارگیری (اینچ در ساعت)	وزن (پوند)	قطر در حالت بسته (اینچ)	تعداد سنسورها	حالت نمودارگیری
۳۱۶	۰/۶-۲	۸۰	۲۱۶۰۰	۴۵۶	۱۲۷	۱۹۲	تمام دیواره چاه

#### ۴-۲- بررسی مشکلات حفاری و تولید در مخزن آسماری

اطلاعات تولیدی چاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که، با توجه به آسیب دیدگی شدید در حین حفاری، تخلیه مخزن بر اثر تولید هیدروکربن و کاهش فشار مخزن آسماری، چاه‌ها با کاهش تولید مواجه شده‌اند. در جدول ۲ این تغییرات مرزی و فشاری بوجود آمده در سطح آب، نفت و گاز نشان داده شده است. یکی از مهمترین مشکلات مخزن آسماری این است که بدلیل وجود شکستگی‌های شناسایی شده به وسیله دستگاه تصویرگر FMI، سریعاً در حال تخلیه می‌باشد. برخی از

<sup>14</sup> Cross Bed

<sup>15</sup> Stylolite

<sup>16</sup> Fullbore

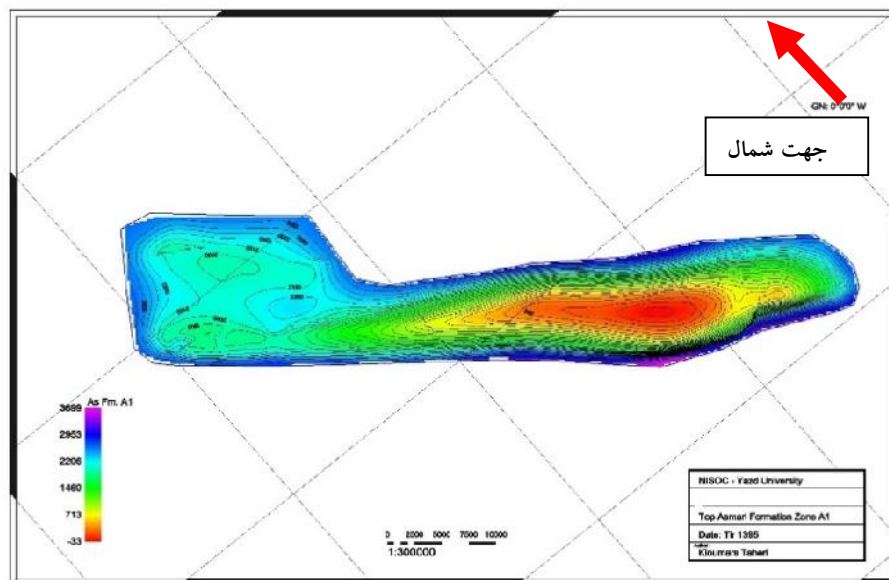
<sup>17</sup> Tough logging condition

خصوصیات فیزیکی در مخزن تغییر کرده است، بگونه‌ای که تغییرات فشار و سطح آب و نفت در مخزن این مسئله را تایید می‌کند. این تغییرات فیزیکی برای مدت یکسال در یک محدوده زمانی مشخص اندازه‌گیری شده است. اطلاعات بدست آمده در جدول ۲ ارائه شده است، که در این جدول تغییرات مرز نفت و گاز، تغییرات سطح آب و نفت و تغییرات فشار مخزن برای چاه‌های مورد مطالعه در مخزن آسماری نشان داده شده است.

جدول ۲. تغییرات خواص فیزیکی مخزن آسماری در اثر تولید در طول یک سال شمسی

نام چاه	مرز گاز-نفت (متر)	مرز آب-نفت (متر)	فشار (کیلو پاسکال)	تغییرات مرز گاز-نفت (متر)	تغییرات مرز آب-نفت (متر)	فشار تغییرات (کیلو پاسکال)
A	۱۹۰۰	۲۳۰۰	۱۸۰۰	۱۵	-۱۰	۵۰
B	۲۰۰۰	۲۳۰۰	۱۷۰۰	۱۰	-۴۰	۳۰
C	۱۹۰۰	۲۲۰۰	۱۸۰۰	-۵	-	۲۰
D	۱۸۰۰	۲۱۰۰	۱۸۰۰	-۱۰	-۱۰	۱۰
E	۱۵۰۰	۲۲۰۰	۲۱۰۰	-۱۰	-۵	-
F	۱۳۰۰	۲۲۰۰	۲۳۰۰	۵	-۱۰	۲۰
G	۱۴۰۰	۲۰۰۰	۳۱۰۰	-۵	۵	-
H	۱۳۰۰	۲۰۰۰	۲۲۰۰	-۱۵	۲۰	-

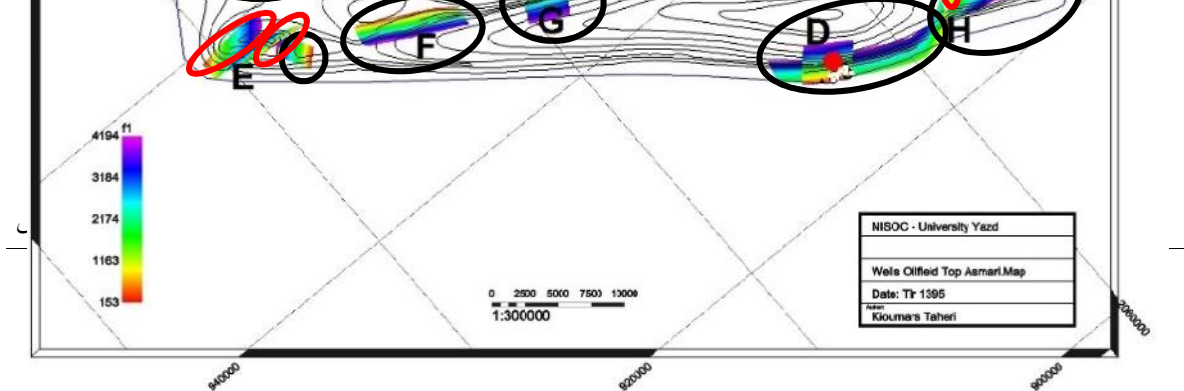
جهت بررسی وجود شکستگی در چاه‌های مورد مطالعه در مخزن آسماری، از روش غیر مستقیم دستگاه تصویرگر FMI استفاده شده است. از این نمودار بصورت گسترده، برای محاسبه پارامترهای شکستگی نظیر تخلخل و میزان بازشدگی شکاف‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. بر روی نمودارهای تصویرگر، انواع شکستگی‌های باز، بسته، شکستگی‌های القایی و ریزش دیواره چاه قابل تشخیص است، که در ارزیابی کیفیت مخزن همه این شکستگی‌ها مهم هستند. اما در این مطالعه تنها شکستگی‌های باز مهم هستند زیرا تنها دسته‌ای از شکستگی‌ها که بر روی خواص مخزن تأثیر می‌گذارند، شکستگی‌های باز هستند. دهانه این نوع شکستگی‌ها با گل پر می‌شود و اگر گل رسانا باشد، در نمودارهای تصویری تاریک به نظر می‌رسند. در شکل ۲ نقشه هم عمق زون A در مخزن آسماری را نشان می‌دهد.



### شکل ۲. نقشه هم عمق سر سازند آسماری در میدان مورد مطالعه

با هدف بررسی های هرچه بیشتر ساختمان تاقدیسی مخزن آسماری این میدان، با استفاده از اطلاعات لرزه نگاری، زمین شناسی و حفاری شده، خط اثر گسل های موجود در آن شناسایی و مدل شده است. در شکل ۳ هشت گسل طولی و سه گسل عرضی مدلسازی شده بر روی تاقدیس های مخزن آسماری، در بخش های مختلف میدان، نشان داده شده است، که این گسل ها از نوع گسل نرمال و معکوس هستند. در شکل ۳ گسل های طولی که به موازات میدان قرار دارند، با دایره های مشکی رنگ و گسل های عرضی که عمود بر ساختار میدان هستند با دایره های قرمز رنگ مشخص شده اند. با دقت در این نقشه مدلسازی شده، می توان مشاهده نمود که چهار گسل طولی و دو گسل عرضی در بخش های ۱ و ۲ در موقعیت چاه های A, B, E و F قرار گرفته است. این ناحیه از مخزن دارای تراکم شکستگی بیشتری می باشد و نتایج حاصل از بررسی های هرزروی گل و میزان تولید چاه ها، همخوانی خوبی را نشان می دهد. در این مطالعه چاه های G, D, C, H در بخش های ۵، ۷، ۸ و ۹ میدان برای بررسی بیشتر انتخاب شده اند و با مشخص نمودن موقعیت قرار گیری آنها در میدان و انطباق آنها با مدل گسلی، نشان داده شد که این چاه ها بر روی گسل ها یا در شعاع نزدیک به آنها قرار گرفته اند.

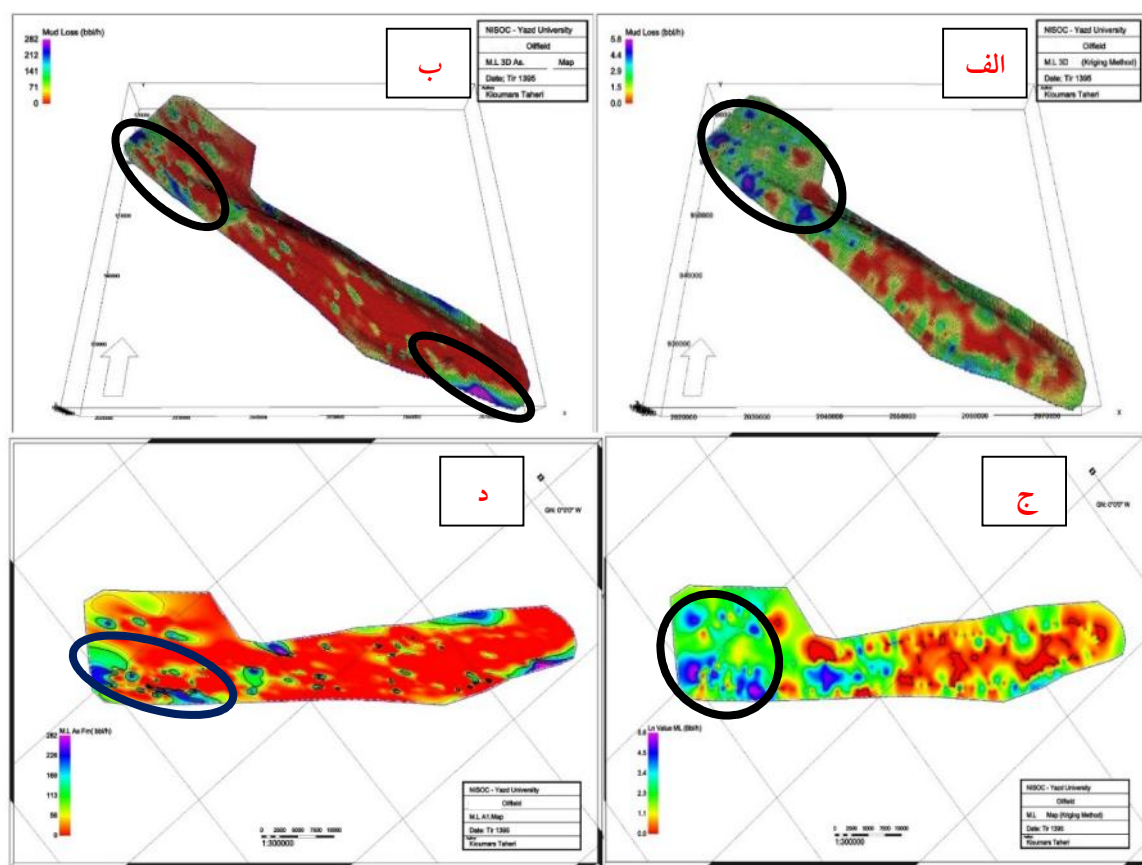




شکل ۳. مختصات و موقعیت چاه‌های نمودارگیری شده نسبت به خط اثر گسل‌ها بر روی خطوط هم عمق در مخزن آسماری

در ادامه بررسی‌ها مشخص شده است که، چاه‌های مورد مطالعه در بخش‌های خاصی از مخزن حفر شده‌اند که دارای هرزروی و تولید بالا می‌باشند. این پهنه‌ها را نمی‌توان به ترکیب سنگ شناسی ارتباط داد، چرا که ترکیب سنگ شناسی سازند آسماری در طول میدان تغییر قابل توجهی نداشته و میانگین تخلخل در تمامی گستره میدان تفاوت قابل توجهی نشان نمی‌دهد. بدین ترتیب مهمترین عاملی که سبب بهره‌دهی بالای چاه‌ها در این پهنه‌ها می‌گردد، گسترش شکستگی‌های تجمعی و گسل‌های یاد شده در این نواحی است. با توجه به خط اثر گسل‌ها در شکل ۳، که بخش‌های مختلف میدان و مخزن آسماری را در بر می‌گیرد، می‌توان به وجود شکستگی‌های بسیاری در این مخزن کرناته پی برد. بخش زیادی از هیدروکربن تولیدی مخزن آسماری ناشی از شکستگی‌های این میدان است. یکی از راه‌های اثبات وجود شکستگی‌ها در این بخش از مخزن و تاثیر آن بر میزان تولید هیدروکربن، داده‌های هرزروی سیال حفاری است. در شکل ۴ هرزروی سیال حفاری در سراسر میدان و مخزن آسماری به دو روش تخمین کریجینگ و روش تخمین میانگین همگرا، مدل‌سازی شده است و نقشه‌های دو بعدی و سه بعدی آن نیز در شکل ۴ قابل مشاهده است. داده‌های مربوط به همه چاه‌های میدان پس از آماده‌سازی بصورت رقومی در آمده است. جهت آماده‌سازی داده‌ها برای تهیه نقشه‌ها و مدل‌های سه بعدی در مخزن آسماری، مراحل مختلفی همچون حذف داده‌های غیر معقول، نرمال سازی داده‌ها، رسم هیستوگرام و واریوگرافی داده‌ها و عملیات تخمین و مدل‌سازی انجام شده است. تخمین و مدل‌سازی‌های انجام شده و مقایسه این دو روش نشان می‌دهد که تخمین به روش کریجینگ با توجه به در نظر گرفتن شعاع مناسب تخمین از دقت بیشتری برخوردار بوده، بگونه‌ای که توانسته است تخمین هرزروی را بصورت متمرکزتر و با تغییرپذیری واقعی‌تر ارائه دهد. این در حالی است که مدل‌سازی با روش میانگین در نرم افزار مدل‌سازی مخزن<sup>۱۸</sup> منجر به هموارسازی بیشتر نتایج تخمین هرزروی شده است که از واقعیت تغییرپذیری هرزروی در زون‌های مختلف فاصله بیشتری دارد. در این نقشه‌ها مناطق با هرزروی‌های بالا در دایره‌های مشکی مشخص شده است. در این مدل‌سازی به وضوح مشاهده می‌شود، محل وجود هرزروی‌های با حجم بالا در حدود ۲۹۰ بشکه در ساعت و شکستگی‌های شناسایی شده در محل این چاه‌ها توسط دستگاه تصویرگر الکتریکی FMI از انطباق بسیار بالایی برخوردار است. با اطمینان بالایی می‌توان گفت که، شکستگی‌های این نواحی خود عاملی در هرزروی سیال بوده و عامل مهمی در بالا بودن شاخص تولید چاه‌ها در این مناطق است.

<sup>18</sup> Reservoir Modeling Software (RMS)



شکل ۴. مدل‌سازی هرزروی سیال با استفاده از نرم افزار RMS در مخزن آسماری میدان مورد مطالعه الف) نقشه سه بعدی در روش تخمینگر کریجنگ ب) نقشه سه بعدی در روش میانگین همگرا ج) نقشه دو بعدی در تخمینگر کریجنگ د) نقشه دو بعدی در روش میانگین همگرا [۴]

با جمع بندی موارد ذکر شده می‌توان این طور بیان نمود که بدلیل عملکرد گسل‌های موجود، تاقدیس مخزن آسماری دچار یک خمش در بخش شمال غربی و جنوب شرقی گردیده و هندسه ساختاری خاصی را برای آن بوجود آورده است. در این هندسه ساختاری، گسل‌های ناشی از این خمش موجب ایجاد شکستگی‌ها در سراسر مخزن، بخصوص در نواحی اطراف این شکستگی‌ها شده است. تراکم بالای شکستگی خود موجب هرزروی‌های حین حفاری شده و باعث افزایش

شاخص تولید نفت در این چاه‌ها نیز شده است. برای مطالعه و بررسی هر چه بیشتر این شکستگی‌ها، دستگاه‌های تصویرگر FMI رانده شده در این چاه‌ها تفسیر شده است و این شکستگی‌ها در ابعاد مختلف ارزیابی شده است.

#### ۴-۳- تحلیل و تفسیر داده‌های حاصل از دستگاه تصویر ساز الکتریکی FMI

دستگاه تصویر ساز الکتریکی FMI برای تحلیل‌های زمین شناسی و ژئومکانیکی، ابزار کارآمدی می‌باشد و کاربردهای مخزنی بسیاری از جمله، تخلخل‌های ثانویه، نفوذپذیری شکستگی‌ها، گسل‌ها، آنالیز شکستگی‌ها، تفاسیر زمین شناختی ساختاری و رسوبی، مقایسه رخنمون‌ها و مغزه‌ها را داراست. در این مطالعه پس از نمودارگیری، فایل داده‌های سرچاهی (بصورت دلیس<sup>۱۹</sup> و لس<sup>۲۰</sup> که فرمت استاندارد برای تمامی نرم افزارها می‌باشد) ابتدا به وسیله کامپیوتر با استفاده از نرم افزار بارگذاری داده<sup>۲۱</sup> خوانده شده‌اند. فایل داده‌ها برای پردازش تصویر در نرم‌افزار ژئوفریم<sup>۲۲</sup> بارگذاری شده است، سپس محاسبات تراکم، روزنه، فاصله گذاری، طول و تخلخل شکاف‌ها توسط نرم افزار انجام شده است. تعیین ناهمگنی مخزن با استفاده از برداشت شکستگی‌ها بوسیله نرم‌افزار بورتکس<sup>۲۳</sup> انجام شد. محاسباتی از تخلخل، قطر شکاف‌های مخزن انجام شد و لذا حجم محاسبات بسیار بالا است. در پایان، بررسی نقش شکستگی‌ها بر روی پارامترهای مخزن و تفسیر نمودارهای تصویری شکستگی‌ها با آنالیز ساختمان شکستگی‌ها انجام شده است. در شکل ۵ مراحل پردازش نمودارهای تصویری، که فرآیندی اساسی قبل از شروع تفسیر آنها است نشان داده شده است. دسته‌ای از پردازش‌ها از جمله تصحیح سرعت، تصحیح اساسی برای تمامی دستگاه‌های تصویرگر است. به ویژه برای چاه‌هایی که دیواره آنها ریزش داشته و احتمال گیر افتادن سوند وجود داشته باشد. نرمال سازی<sup>۲۴</sup> نمودار برای مشاهده جزئیات ظریف دیواره چاه لازم است. قبل از محاسبه میزان بازشدگی شکستگی‌ها نیز بایستی بر روی تصویر درجه بندی<sup>۲۵</sup> انجام شود. سیستم‌های پردازشی و تفسیر جدید، علاوه بر تکنیک‌های دستی، تکنیک‌های اتوماتیک را نیز دارا می‌باشند. هدف اصلی از پردازش تصویر، بهبود کیفیت و از بین بردن اشکالیست که دارای ساختار زمین شناسی نیستند. بعد از عملیات جمع آوری داده‌ها، مجموعه‌ای از عملیات‌ها، باید برای تصحیح و بهبود کیفیت داده‌ها، صورت گیرد که در شکل ۵، مراحل آن به ترتیب نشان داده شده است.

<sup>19</sup> Dlis

<sup>20</sup> Las

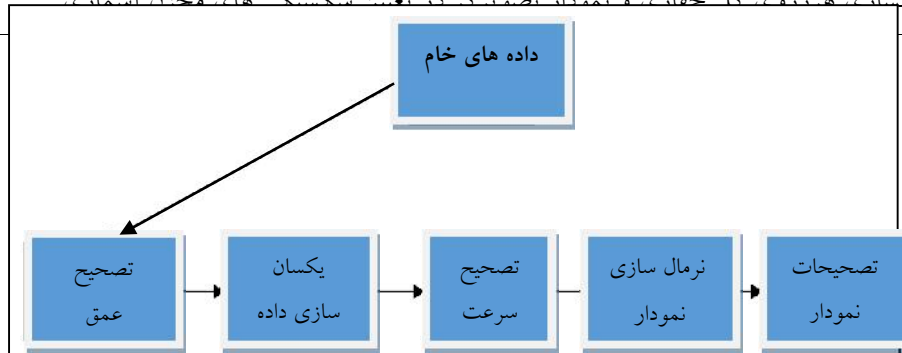
<sup>21</sup> Data Load

<sup>22</sup> Geoframe

<sup>23</sup> BoreTex

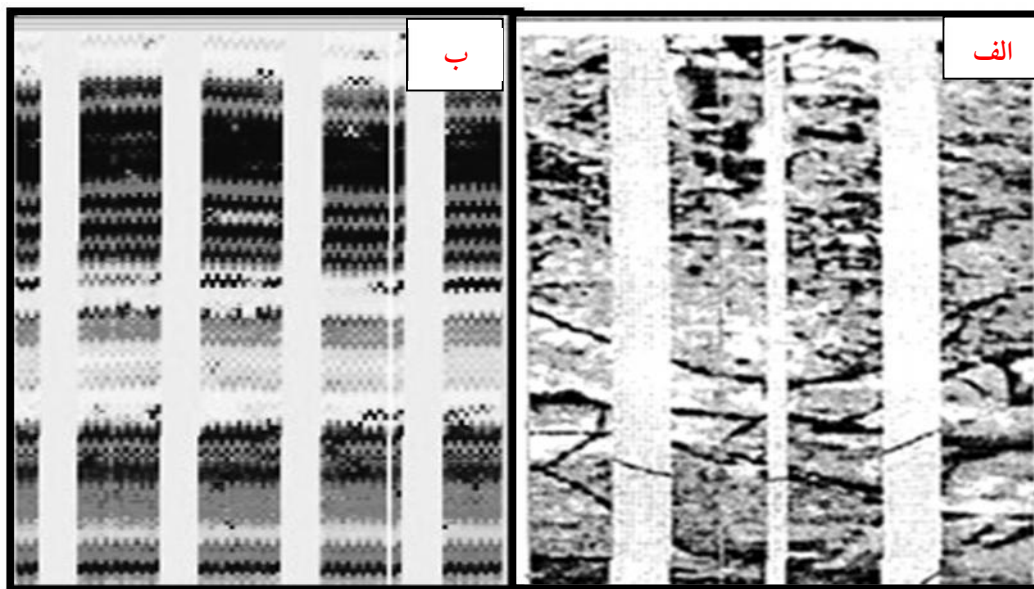
<sup>24</sup> Normalization

<sup>25</sup> Calibration



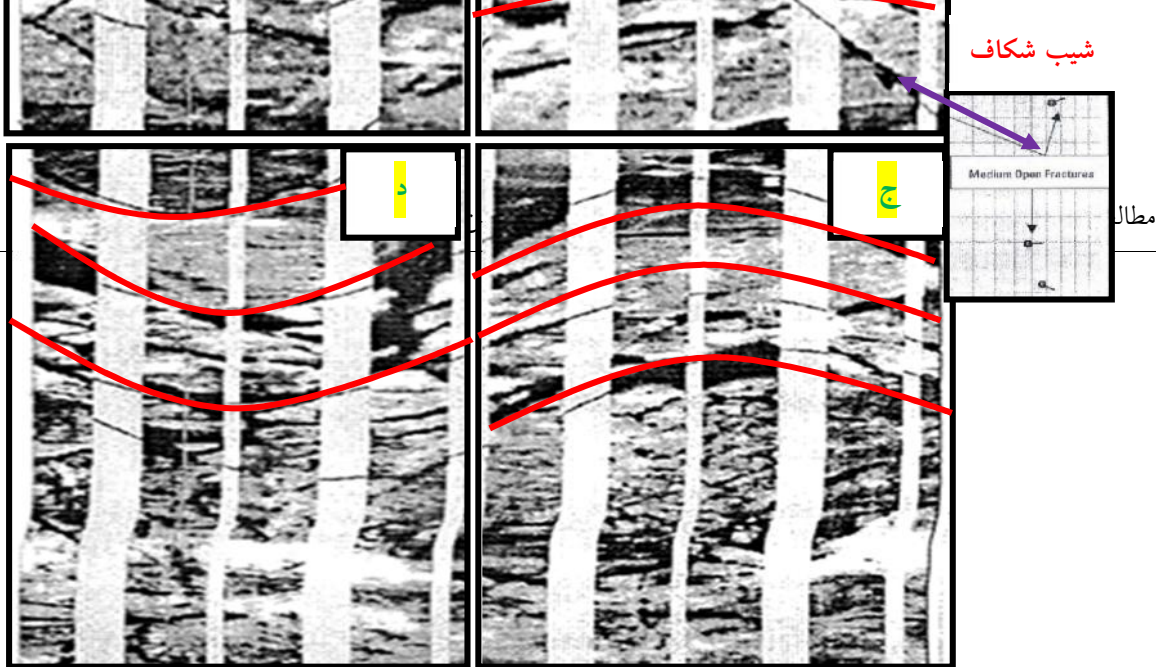
شکل ۵. مراحل پردازش داده‌ها در دستگاه تصویرگر FMI

در مرحله تصحیح سرعت اگرچه سرعت کابل در نمودارگیری ممکن است ثابت باشد، ولی ابزار معمولاً در بعضی مکان‌ها گیر می‌کند و به دنبال آن بعد از رهایی به طرف بالا جهش می‌یابد. در چنین شرایطی اعمال یک جابجایی ساده برای هر ردیف کارساز نخواهد بود و تصویر بصورت عوارض دندان‌اره‌ای<sup>۲۶</sup> دیده خواهند شد. در این مطالعه تصحیح انجام شده بر روی تصویرهای دستگاه تصویرگر انجام شده است که در شکل ۶ قابل مشاهده است. همانگونه که مشخص است، در تصویر سمت چپ تصحیح سرعت بر روی آن انجام نشده است و دارای بهم ریختگی‌های زیادی مثل اثرات دندان‌اره‌ای و لکه بودن است، در حالی که تصویر تصحیح شده سمت راست دارای وضوح قابل قبولی است که روند شکستگی‌ها را بخوبی نشان می‌دهد.



شکل ۶. تصحیح سرعت در تصاویر ابزار FMI (الف) تصویر اصلاح شده و بعد از تصحیح سرعت (ب) تصویر اصلاح نشده و قبل از تصحیح سرعت [۶]

یکی از بدیهیاتی که در این مطالعه هم مشخص شده است این است که، در بخش هایی که شکستگی ها و شکاف های با تراوایی بالا وجود دارد، شاخص تولید چاه ها نیز بالا است و این مناطق در زمان حفاری نیز بیشترین حجم هرزروی را به خود اختصاص داده اند. همانگونه که در مدلسازی هرزروی مخزن آسماری این مسئله تأیید شده است. شکل ۷، نمودار تصویری گرفته شده از چاه های مورد بررسی در مخزن آسماری را نشان می دهد، که بصورت عمودی و در جهت شمال جغرافیایی می باشد. ریز تصویرهای گرفته شده از این نمودارها، وجود شکستگی ها و قطر باز شدگی شکاف ها را با توجه به شیب لایه بندی موجود در مخزن، به درستی نشان داده است. تصاویر با کیفیتی که توسط دستگاه تصویرگر FMI، از این سازند مخزنی تهیه شده است، گویای آن است که با استفاده از اطلاعات بدست آمده از این نمودارگیری می توان مدیریت بهتری بر روی تولید از شکستگی های مخزن در هر چاه داشت. اطلاعات بدست آمده از نمودار زمین شناسی FMI که وجود شکستگی ها و شکاف ها را تأیید می کند، برای یکی از چاه های این میدان در تصویر شکل زیر ارائه شده است. نمودار گرفته شده توسط شرکت شلمبرژر از مقطع ۲۶۷۰ تا ۳۵۸۳ متری بیان می کند که ۷۴۹ شکاف باز و ۷۳ شکاف بسته ثبت شده است، که بیشترین میزان هرزروی و نفوذ صافاب و ذرات جامد گل به این بخش اختصاص یافته است و تأثیر بسزایی را بر شاخص تولید چاه داشته است. بیشتر شکستگی های باز آسماری در چاه های مورد مطالعه به صورت بریده و منقطع با باز شدگی زیاد می باشند.



شکل ۷. نحوه نمایش شکستگی های باز (خطوط سینوسی قرمز رنگ) و پچ های متراکم و متخلخل و شیب شکستگی ها بر روی نمودار تصویری FMI در مخزن آسماری میدان مورد مطالعه و تخلخل و تخلخل حفره ای بر روی نمودار تصویرگر [۶]

همانطور که در شکل ۷ ملاحظه شده است دستگاه تصویرگر FMI قابلیت تشخیص پچ های متراکم و متخلخل را دارد. در صورتی که نمودارهای پتروفیزیکی، بدلیل رزولوشن پایین تر این توانایی را ندارند. بطور کلی، شکستگی های بررسی شده نشان می دهد که در سطوح آنها هیچگونه جابجایی مشاهده نمی شود و در برخی نقاط دهانه آنها باز و یا به وسیله بعضی از کانی ها پر شده است. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می شود، شکستگی ها بر روی نمودارهای تصویری به صورت عوارض سینوسی شکل دیده می شوند، و معمولا دارای شیب بالایی هستند. بخصوص در رژیم های کشتی (بیشتر از ۳۰ درجه) شیب شکستگی ها معمولا از دیگر عوارض ساختاری بیشتر است. میزان بازشدگی شکستگی ها بر اساس معادله ۱ در زیر محاسبه شده است:

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

در این معادله 'W' میزان بازشدگی شکستگی، 'A' میزان پاسخ هر دکمه از ابزار، 'Rm' میزان مقاومت گل حفاری، 'Rxo' میزان مقاومت زون رخنه، 'c' و 'b' ثابت هایی هستند که به نوع ابزار و خواص محیطی بستگی دارند. بطور کلی A، پارامتری است که ممکن میزان جریان ولتاژ در زون رخنه و تحت تأثیر صفحه شکستگی را نشان دهد. با استفاده از اطلاعات استخراج شده از دستگاه تصویرگر FMI رانده شده در چاه و تفسیر آنها، در جدول ۳ اندازه های بازشدگی شکاف ها برای مقاطع مختلف نشان داده شد، و هر زون یا رخساره در مخزن آسماری می تواند از تراکم شکستگی منحصر به فردی برخوردار باشد که، میزان شکستگی ها در یازده زون مخزن آسماری متفاوت بوده است. بر این اساس بیشترین تراکم شکستگی را بترتیب زون های  $B_4 > D_2 > B_2 > A_1 > D_1 > B_3$  در مخزن آسماری میدان مورد مطالعه به خود اختصاص داده اند. در جدول ۳، روزه های ناشی از شکستگی به تفکیک میزان باز شدگی آنها، ارائه شده است.

جدول ۳. اندازه گیری قطر باز شدگی شکاف ها در مخزن آسماری میدان مورد مطالعه توسط دستگاه تصویرگر FMI

فاصله روزه های شکاف در چاه های مورد بررسی					شکل ها
محدوده روزه میلی متر < ۰/۲	محدوده روزه ۰/۲ - ۰/۳	محدوده روزه ۰/۳ - ۰/۵	محدوده روزه ۰/۵ - ۱ میلی متر	محدوده روزه میلی متر > ۱	
۳۳۱۰ - ۳۳۲۰	۳۳۹۰ - ۳۴۰۰	۳۱۹۰ - ۳۲۰۰	۳۲۰۰ - ۳۲۱۰	۳۲۱۰ - ۳۲۲۰	تراکم >
۳۳۲۰ - ۳۳۳۰	۳۳۰۰ - ۳۳۱۰	۳۲۱۰ - ۳۲۳۰	۳۲۱۰ - ۳۲۵۰	۳۲۵۰ - ۳۲۶۰	

	۳۳۲۰ - ۳۳۳۰	۳۲۹۰ - ۳۳۱۰	۳۲۶۰ - ۳۲۸۰	۳۴۱۰ - ۳۴۳۰
	۳۳۵۰ - ۳۳۶۰	۳۳۶۰ - ۳۳۹۰	۳۲۸۰ - ۳۲۹۰	۳۵۲۰ - ۳۵۳۰
		۳۵۳۰ - ۳۵۴۰	۳۳۹۰ - ۳۴۰۰	۳۵۵۰ - ۳۵۶۰
		۳۵۵۰ - ۳۵۶۰	۳۴۰۰ - ۳۴۱۰	
			۳۴۱۰ - ۳۴۲۰	
			۳۴۳۰ - ۳۴۴۰	
			۳۴۴۰ - ۳۴۵۰	
			۳۴۵۰ - ۳۵۲۰	
			۳۵۳۰ - ۳۵۶۰	
			۳۵۶۰ - ۳۵۷۰	

همچنین در این مطالعه میزان تخلخل مناطقی که دستگاه تصویرگر در دیواره چاه آنها را پوشش داده است، بر اساس معادله

۲ در نرم افزار محاسبه شده است:

$$\Phi_{FMI/EMI} = \Phi_{log} * [LLS * Ci]^{1/m} \quad (2)$$

در معادله ۲،  $Ci$  میزان هدایت هر الکتروود از ابزار FMI را نشان می‌دهد.  $LLS$  ( $1/ohm$ ) لاگ مقاومتی زون کم عمق و مرتبط با فولست است.  $\Phi_{log}$  مربوط به تخلخل محاسبه شده از یکی از لاگ‌های تخلخل، که اغلب NPHI در نظر گرفته می‌شود.  $m$  فاکتور سیمان شدگی است، که در مخازن کربناته بین ۲ تا ۲,۵ متغیر است و پارامتر  $\Phi_i$  میزان تخلخل محاسبه شده برای هر دکمه را نشان می‌دهد. علاوه بر محاسبه تخلخل کل، دستگاه‌های تصویرگر الکتریکی توانایی بالایی در تشخیص و اندازه‌گیری تخلخل ثانویه، شامل واگی‌ها و شکستگی‌ها، دارند. تخلخل حاصل از شکستگی‌ها یک عدد بسیار کوچک است که نقش چندانی در تخلخل کل مخزن ندارد. تخلخل‌های حفره‌ای نوع مهمی از تخلخل هستند که در بعضی از قسمت‌های مخزن، نوع اصلی تخلخل محسوب می‌شوند. اهمیت این نوع تخلخل هنگامی که آنها به هم پیوسته باشد چندین برابر افزایش پیدا خواهد کرد. علاوه بر اینکه تخلخل‌های واگی بر روی دستگاه‌های تصویرگر قابل تشخیص هستند، نحوه ارتباط یا ایزوله بودن آنها هم قابل بررسی می‌باشد.

جدول ۴ نشانگر توزیع تخلخل در مخزن و ناهمگونی آن است. با بررسی اطلاعات هندسی شکستگی‌های باز و قطر شکاف‌ها، با توجه به ضخامت سازند مخزنی آسماری، عمق قرارگیری آنها، میزان توزیع تخلخل ایجاد شده توسط شکاف‌ها و شکستگی‌ها در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. شکستگی‌های بزرگتر از ۱ میلی‌متر با بیشترین بازشدگی در عمق ۳۴۱۰ - ۳۴۳۰ متری قرار گرفته شده است، که مربوط به زون B<sub>4</sub> است. با توجه به تحلیل و تفسیر نمودار تصویری، اندازه-گیری تراکم شکستگی‌ها و قطر بازشدگی شکاف‌ها، اطلاعات آماری نفوذپذیری در مخزن آسماری میدان مورد مطالعه در



مقیاس زون و زیر زون مشخص شده است. بهترین زون مخزن آسماری در جهت X با متوسط ۷۴۴/۵ میلی داری مربوط به D<sub>1</sub>، در جهت Y با متوسط ۹۵۸ میلی داری مربوط به زون B<sub>2</sub> و در جهت Z مربوط به زون B<sub>4</sub> است که میانگین آن معادل ۹۳۵ میلی داری است. بیشترین و کمترین نفوذپذیری در جهت X مخزن آسماری بترتیب برابر با ۳۶۷۶ و ۱/۸ و متوسط آن در حدود ۳۹۰ میلی داری می‌باشد. نحوه توزیع این ویژگی در راستای Y حداکثر ۵۰۰۰ و حداقل نزدیک به ۹ میلی داری در تغییر است، که میانگین این مقادیر به ۴۸۲ میلی داری نزدیک است. این میزان نفوذپذیری ایجاد شده توسط شکستگی های شناسایی شده، ارتباط بسیار خوبی را با نقشه‌های هرزروی نشان می‌دهد. بررسی ها حاکی از این است که حفاری های صورت گرفته در مخزن بدلیل تراکم بالای شکستگی ها در مناطق غسل خورده و یا در شعاع نزدیک آنها، با هرزروی های بالایی همراه بوده است. در جدول ۴ میزان توزیع تخلخل های ناشی از شکستگی نشان داده شده است، که از تفسیر نمودار تصویری گرفته شده از مخزن (شکل ۵) بدست آمده است. با توجه به باریک و پهن بودن شکستگی ها، محدوده مقادیر آن به تفکیک در جدول آمده است. تنوع مقادیر زیر، به تفکیک عمق قرارگیری شکستگی ها در مخزن، بصورت جدول ستونی ارائه شده است.

جدول ۴. توزیع تخلخل بدست آمده از تفسیر نمودار تصویری در مخزن آسماری میدان مورد مطالعه

توزیع تخلخل		فاصله های تخلخل ثانویه			شکل ها
پهن	باریک	محدوده تخلخل ۵-۲٪	محدوده تخلخل ۸-۵٪	محدوده تخلخل ۸٪ بالاتر	شکل >
۲۷۱۰-۲۷۲۰	۲۷۴۰-۲۸۲۰	۲۷۴۰-۲۸۲۰	۲۷۲۰-۲۷۳۰	۲۷۵۰-۲۷۶۰	
۲۷۳۰-۲۷۴۰	۲۸۷۰-۲۸۹۰	۲۹۶۰-۲۹۸۰	۲۷۳۰-۲۷۴۰	۲۸۱۰-۲۸۲۰	
۲۸۲۰-۲۸۴۰	۲۹۳۰-۲۹۴۰	۳۰۰۰-۳۰۴۰	۲۸۲۰-۲۸۵۰	۲۸۲۰-۲۸۳۰	
۲۸۴۰-۲۸۷۰		۳۰۵۰-۳۰۸۰	۳۰۴۰-۳۰۵۰	۲۸۹۰-۲۹۰۰	
۲۸۹۰-۲۹۳۰		۳۱۵۰-۳۱۶۰	۳۰۸۰-۳۱۵۰	۲۹۳۰-۲۹۴۰	
۲۹۴۰-۲۹۶۰		۳۱۹۰-۳۲۰۰	۳۱۷۰-۳۱۸۰	۲۹۵۰-۲۹۶۰	
۲۹۸۰-۲۹۹۰		۳۲۲۰-۳۲۴۰	۳۲۰۰-۳۲۱۰	۳۱۸۰-۳۱۹۰	
۳۰۴۰-۳۰۵۰		۳۲۶۰-۳۳۴۰	۳۳۵۰-۳۳۶۰	۳۲۱۰-۳۲۲۰	
۳۰۸۰-۳۱۹۰		۳۳۸۰-۳۵۷۰			

## ۵- نتیجه گیری

در تفسیر نمودار تصویری مشخص شد که روند توزیع و گسترش تخلخل ناشی از شکستگی تا حدود زیادی با آرایش توزیع شکستگی ها در چاه های میدان مورد مطالعه مشابه است و محدوده توزیع تخلخل های پهن و بالای ۸ درصد، بر روی خط اثر غسل ها و در شعاع نزدیک به آنها واقع شده است.



نتایج حاصل از تفسیر نقشه های هرزروی، مدل گسل ها و نمودار تصویری نشان می دهد که، بطور کلی تولید هیدروکربن و مهمترین عامل هرزروی در مخزن کربناته آسماری در میدان مورد مطالعه، شکستگی های ناشی از وجود گسل ها است، که تأثیر فراوانی بر تولید از سنگ مخزن و هرزروی سیال حفاری دارند.

بکارگیری دستگاه تصویرگر FMI در محدوده های عمقی با پتانسیل تولیدی بالا در مخزن آسماری این میدان و بکارگیری مدل سه بعدی هرزروی سیال حفاری، باعث قطعیت بخشی به حضور شکستگی ها، توزیع تخلخل در بخش های مختلف این مخزن شد و نشان داد که زیر زون B4 دارای بیشترین میزان تراکم شکستگی است و نسبت به سایر زونها توان تولید هیدروکربن بالایی را خواهد داشت.

استفاده از تفسیر نمودارهای تصویری در مخزن کربناته آسماری و تهیه تصاویر با دقت میلی متر از شکاف ها و شکستگی های مخزن، تدابیر ویژه ای برای تکمیل چاه و حفاری این بخش از مخزن اندیشیده شده است، که مهمترین آن، انجام یک عملیات تکمیل بهینه چاه و حفاری با هرزروی کم، در محل شکستگی ها با توجه به موقعیت قرارگیری گسل ها جهت جلوگیری از آسیب دیدگی به مخزن شده است.

## سپاس و قدردانی

نویسندگان مقاله از معاونت زمین شناسی گسترشی و اداره کل حفاری مناطق نفتخیز جنوب به واسطه حمایت های مادی و معنوی در تالیف این مقاله تشکر و قدردانی می نمایند. همچنین از داوران مقاله آقایان دکتر سجاد کاظم شیروودی، مهندس محسن زینالی و دکتر علیرضا ندیمی تشکر و قدردانی می گردد.

## منابع

- [1] چیت فروش، ا.، مکوندی، ع.، همایی، م.، سراج، م.، (۱۳۹۱)، "مطالعه جامع مخازن آسماری و بنگستان میدان مورد مطالعه"، گزارش پ شماره ۸۰۶۲، مدیریت امور فنی - بایگانی زمین شناسی گسترشی، ص ۴۵۰.
- [2] رضایی، م.، (۱۳۸۷)، "زمین شناسی نفت ایران"، انتشارات علوی، ص ۴۸۵.
- [3] طاهری، ک.، محمد تراب، ف.، (۱۳۹۶) " کاربرد کریجینگ شاخص در مدل سازی مناطق با هرزروی بحرانی در مخزن آسماری یکی از میدادین نفتی جنوب غرب ایران"، نشریه پژوهش نفت، پژوهشگاه صنعت نفت، شماره ۹۵، مهر و آبان، ص ۹۱-۱۰۴.
- [4] طاهری، ک.، محمد تراب، ف.، (۱۳۹۵) "مدلسازی هرزروی گل حفاری در سازند آسماری با استفاده از روش های زمین آماری در میدان نفتی گچساران"، نشریه زمین شناسی نفت ایران، شماره ۱۱، بهار و تابستان، ص ۸۴-۱۰۱.

- [5] Alizadeh, M., Movahed, Z., & Junin, R. (2015). "Finding the Drilling Induced Fractures and Borehole Breakouts Directions Using Image Logs" *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, 10 (1), 9-30.
- [6] Barker, S. N., (1992). "X" Field Asmari Reservoir Fracture System", Technical Report No P-3561, Ahwaz, Volume 1, Page 1-15.
- [7] Davarpanah, A., Kakoli, M., & Ahmadi, M. H. (2016). "Analysis of Fractured Reservoir Structure by Interpretation of FMI and VSP Logs" *Journal of Marine Science: Research & Development*, 6 (6), 6.
- [8] Ezati, M., Soleimani, B., & Moazeni, M. (2014). "Fracture and horizontal stress analysis of Dalan Formation using FMI image log in one of southwestern Iranian Oil wells" *Journal of Tethys*: 2 (1), 1-8.
- [9] Fossen, H., (2010). "Structural Geology" Cambridge University Press, 463p.
- [10] Hartawi, R., Ildrem, S., Ismawan, I., Nanda, N., (2017), "Characterization of Basement Fracture Reservoir In Field 'X', South Sumatera Basin, Based On The Analysis of Core And fmi log" *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 2 (2), 155-165.
- [11] Khoshbakht, F., Memarian, H., Mohammadnia, M., (2009), "Comparison of Asmari, Pabdeh and Gurpi formation's fractures, derived from image log" *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 67 (1-2), 65-74.
- [12] Mirna I. S. (2011). "borehole-image log interpretation and 3D facies modeling in the mesaverde group, greater natural buttes field", unita basin, Utah.
- [13] Nelson, R. A. (2001). "Geological Analysis of Naturally Fractured Reservoirs" (2th ed.), Gulf Professional Publishing.
- [14] Roger, M. S., Cubbit, J. (2006). "Stratigraphic Reservoir Characterization for Petroleum Geologists, Geophysicists and Engineers", Handbook of Petroleum Exploration and Production, Volume 6, Elsevier Publications.
- [15] Sanaee, R., Shadizadeh, S.R. & Riahi M.A. (2010). "Determination of the stress profile in a deep borehole in a naturally fractured reservoir", *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 47,599-605.
- [16] Serra, O. (2010). "Formation MicroScanner Image Interpretation", Schlumberger Education Services.
- [17] Tingay, M., Reinecker, J., & Müller, B. (2008). "Borehole breakout and drilling-induced fracture analysis from image logs", World Stress Map Project, pp 1-8.
- [18] Wang, R., Song, H., Tang, H., Wang, Y., Killough, J., Huang, G. (2016). "Analytical Modeling of Gas Production Rate in Tight Channel Sand Formation and Optimization of Artificial Fracture" Wang et al. SpringerPlus, 5:540.
- [19] Vatandoust, M., Farzipour Saein, A., (2017), "Prediction of Open Fractures in the Asmari Formation Using Geometrical Analysis: Aghajari Anticline, Dezful Embayment, SW Iran" *Journal of Petroleum Geology*, 40 (4), 413-426.

## Image log in determination of Asmari reservoir fractures in one oil fields in the southwest of Iran

K. Taheri, M.R. Rasaei, A. Ashjaei

\*kio.taheri@yahoo.com

Received: December 2017, Accepted: April 2018

### Abstract

Understanding of oil and gas reservoirs is great help in maximizing hydrocarbon recovery. In the study of the characteristics of oil structures, the analysis of the fractures of reservoir rock in the stages of production and development of the field is very necessary. Nowadays, the use of mud loss modeling and image logs in helping accomplish this task is of great assistance to petroleum geologists. Since the most of Iran's reservoirs are carbonate type, investigation and analysis fractures, degree of fissures opening and porosity distribution in the Asmari reservoir field of study, It is one of the most effective factors in the production of hydrocarbons from this field. One of the best ways to identify and interpret geology in the well, using of the FMI illustrator is, which can create high quality images from the well. With the help of the images provided, can determine the types of fractures, porosity, the distribution of diagenetic porous spaces and the estimation of permeability trend. In this article, first, structure and Functionality of the FMI illustrator and then drilling and production problems in Asmari reservoir were evaluated and In the following, the functional role of the log in interpreting and determining the degree of fissures opening, porosity distribution and permeability level in 8 wells in Asmari reservoir, has been evaluated. In this study, analysis of Asmari reservoir fractures and how to expand these fractures in the reservoir By using mud loss modeling, interpretation of the FMI illustrator and the effect of these fractures was on the porosity and permeability of the reservoir. In this study, it has been determined that, fractures analysis in wells very good matching with drilling mud loss maps with rock basement faults at the has anticline of the Asmari reservoir.

**Keywords:** Fractures, Asmari Reservoir, FMI Illustrator, Porosity Distribution, Mud Loss Map.