

# مقایسه شکستگی‌ها در یک موقعیت ساختاری یکسان در یک میدان نفتی، با استفاده از لاک تصویری

فرهاد خوشبخت<sup>۱\*</sup>، حسین معاریان<sup>۲</sup> و محمد محمدنیا<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۷/۰۲

## چکیده

شکستگی‌های طبیعی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده رفتار هیدرولیکی مخازن نفت و گاز هستند. شناخت صحیح این شکستگی‌ها در برنامه‌های تولید و توسعه میادین نفت حائز اهمیت است. کارآمدترین ابزار برای مطالعه ویژگی‌های شکستگی‌ها، لاک‌های تصویری هستند که تصویری با قدرت تفکیک بالا از دیواره چاه برداشت می‌کنند. این لاک‌ها امکان تعیین نوع، جهت‌یابی، بازشدگی و ژرفای دقیق شکستگی‌ها را فراهم می‌کنند. در این مطالعه شکستگی‌های استخراج شده از لاک‌های تصویری (FMI) در چاه واقع در یک میدان کربناته در جنوب باختر ایران مورد تحلیل آماری قرار گرفته است. این دو چاه در موقعیت ساختاری یکسان (پال جنوب باختری میدان) و نزدیک همدیگر واقع شده‌اند. در این مطالعه با مقایسه شکستگی‌های موجود در سازندهای یکسان در دو چاه مجاور، تشابه‌ها و تفاوت‌های شکستگی‌های سیستماتیک بررسی شده است و سعی شده است به این سؤال پاسخ داده شود که آیا شکستگی‌های یک سازند که از دو چاه واقع در یک موقعیت ساختاری یکسان برداشت شده‌اند، مشابه هستند یا خیر؟ مطالعه حاضر نشان داد که مرز لایه‌بندی مشاهده شده در لاک‌های تصویری چاه A و B از نظر چگالی و جهت‌یابی به طور کامل مشابه هستند. چگالی شکستگی‌های باز در چاه A به طور کامل متفاوت از چاه B بوده ولی جهت‌یابی آنها به نسبت مشابه است و در نهایت چگالی و جهت‌یابی شکستگی‌های پر شده در هر دو چاه مشابه یکدیگر هستند. الگوی شکستگی در سازند آسماری و پابده کم و بیش مشابه بوده در حالی که وضعیت شکستگی‌ها در سازند گوری که در ژرفای بیشتری قرار دارد، به طور کامل متفاوت از این دو سازند است. مقایسه لاک‌های چگالی مرز لایه‌بندی و شکستگی‌ها نشان داد که زون‌های با چگالی بالای شکستگی در قسمت‌هایی از سازندها قرار دارد که ستبرای لایه‌بندی در آنها کم است مانند سازند پابده که در این میدان به طور کامل لایه‌ای (لامینار) است.

**کلیدواژه‌ها:** لاک تصویری، شکستگی باز و پر شده، جهت‌گیری، چگالی شکستگی، سازند

\* نویسنده مسئول: فرهاد خوشبخت

## ۱- مقدمه

حاضر شکستگی‌های استخراج شده از لاک‌های تصویری دو چاه مجاور، واقع در موقعیت ساختاری یکسان، به منظور شناسایی الگوهای شکستگی، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. پارامترهای شکستگی‌های موجود در سازندهای یکسان در دو چاه مختلف مورد مقایسه قرار گرفته تا تشابه‌ها و تفاوت‌ها و تغییرهای شکستگی‌های سیستماتیک بررسی شود و به این سؤال پاسخ داده شود که آیا شکستگی‌های یک سازند که از دو چاه واقع در یک موقعیت ساختاری یکسان برداشت شده‌اند، مشابه هستند یا خیر؟ عوامل مؤثر در تشکیل شکستگی‌های حاصل چین‌خوردگی سازند، به دو گروه تقسیم می‌شود؛ گروه اول عوامل مربوط به خواص مکانیکی سنگ مانند جنس، تخلخل، اندازه دانه‌ها، فابریک و دسته دوم عوامل هندسی مانند ستبرای لایه‌بندی، موقعیت ساختاری و ژرفا است (Nelson, 2001). موقعیت ساختاری نقش مهمی در تشکیل شکستگی‌ها دارد. در این مطالعه شکستگی‌های سه سازند (آسماری، پابده و گوری) در دو چاه به طور کامل برداشت شده است. هر دو چاه در پال جنوب باختری یک میدان و مجاور هم واقع شده‌اند. با فرض تغییرهای ناچیز سنگ‌شناسی سازندهای مطالعه شده در فاصله کم و یکسان بودن موقعیت ساختاری، ارتباط شکستگی‌ها با پارامترهای دیگر مانند ژرفای سازند بررسی شده است.

## ۲- کلیات

### ۲-۱. زمین‌شناسی منطقه

حوضه رسوبی زاگرس، بخشی از حاشیه جنوبی اقیانوس تیس و یکی از مهم‌ترین حوضه‌های نفتی جهان به شمار می‌رود (Alavi, 1994). حوضه زاگرس در جنوب باختر ایران و شمال عراق قرار گرفته است. از نظر زمین‌شناسی ساختاری حوضه

شکستگی‌ها رفتار مخازن نفت و گاز را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اگر شکستگی‌ها باز باشند به صورت کانالی برای عبور سیال عمل کرده و باعث می‌شوند زمینه با تراوایی کم سنگ به زونی با تولید بالا تبدیل شود. در مقابل اگر شکستگی‌ها پر شده باشند به صورت مانعی در برابر حرکت سیال تبدیل می‌شوند. همچنین یک گسل ممکن است به خاطر پرشدگی یا رس، سیمانی شدن قطعه‌های خرد شده، به صورت سد عمل کرده و باعث جدایی مخزن در دو سوی گسل از لحاظ رژیم فشاری، سطح آب و نفت و نوع سیال در دو طرف شود (Haller et al., 1993). در مخازن شکسته جنوب باختر ایران شکستگی‌ها نقش بسیار مهمی در تولید هیدروکربن بازی می‌کنند. شناسایی وضعیت پراکندگی و الگوی شکستگی‌ها در مخازن از نظر برنامه اکتشاف، تولید و توسعه میادین نفتی حائز اهمیت است. در تمامی مراحل تولید و توسعه میادین نفتی آگاهی از ویژگی‌های شکستگی‌ها نقش بسزایی در تصمیم‌گیری‌ها دارد. در مراحل تکمیل چاه برای تعیین ژرفای مشبک‌کاری و در مراحل توسعه میدان، در برنامه‌ریزی برای تعیین مسیر چاه‌های جهت‌دار و زون‌های تزریق سیال نیز نیاز به اطلاع از وضعیت شکستگی‌ها ضروری است.

برای شناسایی شکستگی‌ها در مخازن، از توصیف مغزه‌های نفتی، چاه‌آزمایی، جریان سنج، پیمایش حرارتی، تغییرهای فشار، لاک‌های تولید، هرزروی گل، اطلاعات لرزه‌ای، لاک‌های چاه‌پیمایی، امواج استونلی و لاک‌های تصویری استفاده می‌شود. معمول‌ترین روش شناسایی شکستگی‌های کوچک مقیاس در اطراف دیواره چاه، مغزه‌ها هستند. ولی با توجه به محدودیت‌های اساسی مغزه‌های حفاری از جمله هزینه بالای تهیه مغزه، جهت‌دار نبودن و ضریب بازیافت پایین در زون‌های شکسته، امروزه لاک‌های تصویری ابزار مفیدتری برای مطالعه شکستگی‌ها هستند. در بررسی

شود این سطوح به صورت یک موج سینوسی ظاهر می‌شوند شکل (۲-ب). جهت پایین‌ترین قسمت موج سینوسی، آزمونوت شیب ظاهری صفحه را نشان می‌دهد. شیب ظاهری (φ) این صفحه نیز بیشترین شیب قرائت شده در نقطه عطف موج سینوسی است که از رابطه (۱) قابل محاسبه است. در این رابطه، A ژرفای نقطه بالایی، B ژرفای نقطه پایینی و D قطر چاه است (شکل ۲-ب).

$$\text{رابطه (۱)} \quad \phi = \tan^{-1}(A-B)/D$$

امتداد صفحه نیز عبارتست از: آزمونوت پایین‌ترین نقطه موج سینوسی  $\pm 90^\circ$  است.

### ۳- تفسیر لاگ‌های تصویری

#### ۳-۱. لایه‌بندی در لاگ تصویری و جهت‌یابی آن

دو طرف سطح لایه‌بندی به طور معمول دارای تباين فیزیکی است، که اختلاف مقاومت الکتریکی و تباين صوتی را در محل سطح لایه‌بندی باعث می‌شود. بنابراین در لاگ‌های تصویری، سطح لایه‌بندی به صورت تغییرهای ناگهانی مقاومت الکتریکی در تصویر بهنجار شده استاتیکی، در تمام بالشتک‌ها دیده می‌شود. به دلیل قدرت تفکیک بالا در لاگ تصویری، لایه‌های نازک و لامینه نیز قابل تشخیص‌اند. ولی به دلیل گسترش جانبی کم، به طور لزوم در تمامی بالشتک‌ها دیده نمی‌شوند (Serra, 1989).

مرزهای لایه‌بندی مشاهده شده در آسماری بیشتر به صورت نامشخص است و در ظاهر فرایندهای ثانوی دیاژنز باعث تبدیل مرزهای مشخص به مرزهای مبهم شده است. بیشتر مرز لایه‌بندی در محل همبری لایه‌های شیلی با آهکی یا در مرز دو سنگ‌شناسی با درصد شیل متفاوت، قابل شناسایی است. در برخی از فواصل ژرفایی هم تغییرهای بافت به شناسایی مرز لایه‌بندی کمک می‌کند. گاهی نیز در لاگ تصویری توالی لایه‌های متراکم کربنات دیده می‌شود که در آن مرز لایه‌بندی چندان مشخص نیست. دلیل این امر عدم وجود لایه‌های شیلی ستبر یا لایه‌های انیدریتی با مرزهای مشخص برای شناسایی لایه‌بندی است. استیلولیت‌هایی که در دیواره چاه‌های مورد مطالعه وجود دارند، به دلیل ظریف و ناپیوسته بودن، برای شناسایی وضعیت لایه‌بندی مناسب نیستند. در سازند پابده به دلیل حضور توالی‌های آهکی و شیلی لایه‌بندی به خوبی قابل تشخیص است و مرزهای مشخص‌تری بین لایه‌ها وجود دارد (شکل ۳).

شیب لایه‌بندی با افزایش ژرفا تغییر محسوسی نمی‌کند و دامنه تغییرات شیب در چاه A از ۱۸ تا ۵۹ درجه و در چاه B از ۱۷ تا ۵۱ درجه تغییر می‌کند و امتداد لایه‌بندی در چاه A از ۱۵۳ تا ۲۶۸ درجه و در چاه B، از ۱۹۴ تا ۲۶۴ درجه متغیر است. همچنین در هر دو چاه تغییرهای شدید و ناگهانی در جهت‌یابی لایه‌بندی که حاکی از وجود گسل عمده است، وجود ندارد.

#### ۳-۲. شکستگی‌ها در لاگ تصویری و جهت‌یابی آن

واژه عمومی شکستگی به هر گونه گسیختگی در سنگ اطلاق می‌شود که در برگیرنده شکستگی، ترک، گسل، لغزش است. شکستگی‌های تفسیر شده در چاه‌های مورد مطالعه به دو نوع شکستگی باز و شکستگی پر شده تفکیک شد.

**الف) شکستگی‌های باز:** دهانه این شکستگی‌ها به وسیله گل حفاری پر می‌شود و اگر گل رسانا باشد مقاومتی که در این قسمت توسط لاگ تصویری ثبت می‌شود بسیار کمتر از زمینه سنگ است بنابراین شکستگی باز به صورت یک موج سینوسی (که در واقعیت به صورت یک صفحه است) کامل یا ناپیوسته و تیره رنگ در لاگ تصویری مشاهده می‌شود. بیشتر شکستگی‌های باز مشاهده شده در چاه A مربوط به آسماری زیرین و سازند پابده است (شکل ۳) که برخی از آنها نیز در اثر انحلال به شکستگی انحلالی تبدیل شده‌اند.

زاگرس در شمال ورقه عربستان قرار دارد. تاریخچه زمین‌شناسی آن شامل زمان‌های طولانی مدت فرونشست و رسوبگذاری بوده که توسط زمان‌های کوتاه مدت بالا آمدگی و عدم رسوبگذاری قطع شده است. چین‌خوردگی اصلی در این حوضه مربوط به زمان‌های میوسن و پلیوسن است که تاکنون نیز ادامه دارد و موجب شکل‌گیری تاق‌دیس‌های کشیده‌ای شده است که عمده تله‌های نفتی این ناحیه را تشکیل می‌دهند (مطیعی، ۱۳۷۴). کمر بند کوهزایی زاگرس در ایران، بخشی از رشته کوه‌های آلپ-همالیا به شمار می‌رود که گسترشی در حدود ۲۰۰۰ کیلومتر از شمال باختر (گسل آتاتولی در خاور ترکیه) تا جنوب خاور (خط عمان) دارد. این کمر بند محصول جدایش بلوک قاره ای از حاشیه گندوانا فرض می‌شود که به دنبال آن فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتیس در زیر خرد قاره ایران، و سپس برخورد با صفحه آفرورعی صورت گرفته است (مطیعی، ۱۳۷۴).

#### ۳-۲. موقعیت ساختاری چاه مطالعه شده در میدان

چاه‌های مطالعه شده در یال جنوب باختری یکی از میادین کربناته جنوب باختر ایران قرار دارد (شکل ۱). در این چاه‌ها سازندهای آسماری، پابده و گورپی به طور کامل حفاری شده‌اند. میانگین شیب لایه‌بندی در محل چاه ۳۷ درجه و امتداد لایه‌بندی ۱۴۶ درجه است.

#### ۳-۳. سازندهای مورد مطالعه

سازند آسماری بیشتر از آهک‌های نومولیت‌دار (شامل گریستون، پکستون و کستون) با ستبرای لایه‌بندی کم تا متوسط تشکیل شده است که به طور محلی شیلی شده است. محیط رسوبگذاری سازند آسماری به سمت بالا کم ژرف شده و از سنگ آهک مارن دریایی ژرفا (کم انرژی) تا گریستون اسکلتی دریایی کم ژرف (پرانرژی) شامل چند توالی، تشکیل شده است. سن سازند آسماری از الیگوسن تا میوسن پسین است (مطیعی، ۱۳۸۲). سازند پابده از شیل آهکی گلوبوزینادار دریایی ژرف، مارن و مادستون همراه با آهک شیلی دارای فسیل ماهی به تشکیل شده است. سازند پابده به سمت شمال خاور به سنگ آهک دولومیتی ماسه‌دار سازند شهبازان و به سمت جنوب باختر به آهک‌های سبخایی سازند جهرم تبدیل می‌شود. سن سازند پابده از پالئوسن پیشین تا الیگوسن پسین است (مطیعی، ۱۳۸۲). سازند گورپی نیز از مارن‌های پلاژیک گلوبوزینادار دریایی ژرف و آهک مارنی و سنگ رسی همی‌پلاژیک نازک لایه و رنگ آبی تیره تشکیل شده است. این سازند با مرز ناپیوسته‌ای بر روی سازند سروک قرار دارد سن سازند گورپی کرتاسه پسین است (Alavi, 2004).

#### ۳-۴. لاگ‌های تصویری

لاگ تصویری یک تصویر مجازی از دیواره چاه است که بر اساس ویژگی‌های فیزیکی سازند، مانند مقاومت الکتریکی و تباين صوتی، برداشت می‌شود. در روش تصویربرداری الکتریکی، اختلاف مقاومت الکتریکی عوارض دیواره چاه، توسط دستگاه تصویربرداری ثبت شده و تبدیل به تصویر رسانایی دیواره چاه می‌شود (شکل ۲-الف). این ابزارها به وسیله یک سری الکترود که بر روی یک بالشتک نصب شده‌اند، قادرند مقاومت میکرو یا رسانایی میکرو در دیواره چاه را اندازه‌گیری کنند (Serra, 1984). هر بالشتک تنها درصد محدودی از دیواره چاه را تصویربرداری خواهد کرد. ابزارهای مدرن از چهار تا شش بازوی مستقل تشکیل می‌شوند و هر بالشتک چندین الکترود را شامل می‌شود.

#### ۳-۵. تعیین جهت‌یابی (Orientation) ساختارهای صفحه‌ای توسط لاگ تصویری

لاگ تصویری، تصویری استوانه‌ای از دیواره چاه است. هر پدیده صفحه‌ای شکل، مانند لایه‌بندی یا 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

به عکس، در قسمت‌های میانی آسماری که سازند حالت توده‌ای و ستر لایه است، چگالی شکستگی‌ها بسیار کمتر است. سازند پابده به دلیل سنگ‌شناسی خاص آن که حاوی کانی‌های رسی زیادی است حالت شکنندگی خود را از دست داده و در اثر وارد شدن تنش به آن کمتر دچار شکستگی شده است بنابراین شکستگی‌ها در آن کمتر از سازندهای آسماری و پابده است. در کمر بند چین خورده - رانده شده زاگرس چین خوردگی استوانه‌ای عامل اصلی تشکیل چین‌ها بوده است و چین‌ها توسط دو عامل صفحه خنثی و سطح لغزشی به وجود آمده‌اند (Barker and Speers, 1977; Colman Sadd, 1978). به طور کلی با شروع چین خوردگی بخش لولای چین دچار کشش شده و شکستگی‌های طولی به موازات محور چین به وجود آمده است در ادامه با گسترش چین خوردگی لایه‌های مقاوم بر روی لایه‌های نامقاوم یا سطوح ضعف شروع به لغزش کرده و شکستگی‌های برشی در یال‌های تاق‌دیس شکل گرفته‌اند. در هر دو چاه مورد مطالعه دسته اصلی شکستگی موازی محور چین است و در طول چاه با تراکم‌های مختلف دیده می‌شود لذا این دسته را می‌توان شکستگی طولی نامید. به طور عموم شکستگی‌های طولی در قسمت لولای چین که دارای بیشترین خمش است، تشکیل شده و در این ناحیه به وفور یافت می‌شوند. این چاه‌ها در ناحیه لولای تاق‌دیس قرار ندارد توضیح محتمل برای فراوانی شکستگی‌های طولی در این چاه که در یال تاق‌دیس قرار دارد این است که محدوده بیشترین خمش این تاق‌دیس در طی چین خوردگی جابه‌جا شده است دلیل این امر شیب بیشتر یال جنوب باختری تاق‌دیس است که باعث گسترش زون بیشترین خمش به سمت جنوب باختری شده است. دسته دوم، شکستگی‌های برشی هستند. در مراحل ابتدایی چین خوردگی، به دلیل این که ساختار تحت فشار قرار دارد، شکستگی‌های برشی چیره هستند (Gholipour, 1994). شکستگی‌های برشی عموماً در یال چین تشکیل می‌شوند و ادامه آنها محور چین را قطع می‌کند و این شکستگی‌ها قبل از شکستگی‌های طولی تشکیل می‌شوند. در برخی از اینتروال‌ها دسته دوم، دسته اول را قطع کرده و در محل تقاطع جابه‌جایی کوچکی را نشان می‌دهد.

بررسی دقیق لاگ چگالی شکستگی‌ها در چاه A نشان می‌دهد که روند کاهش در لاگ چگالی شکستگی‌ها وجود دارد. چگالی شکستگی‌ها در قسمت بالای اینتروال‌ها (پایین آسماری و پایین پابده) بیشترین میزان بوده و به سمت پایین کاهش پیدا کرده و در قاعده آن به کمترین میزان می‌رسد. این اینتروال‌ها را می‌توان یک لایه مکانیکی در نظر گرفت که حین چین خوردگی به قسمت بالای آن تنش کششی بیشتر وارد شده و به سمت پایین میزان تنش کاهش یافته است لذا تغییر مقدار تنش اعمالی به لایه‌ها باعث تغییر در تراکم شکستگی‌های به وجود آمده شده است. بیشتر شکستگی‌هایی که در این چاه‌ها توسط لاگ تصویری برداشت شده است از نوع شکستگی‌ها سیستماتیک هستند که در اثر چین خوردگی به وجود آمده‌اند.

**شکستگی باز:** در چاه A در سازند آسماری یک دسته شکستگی باز با جهت‌یابی ۴۰ / ۲۴۲ وجود دارد (شکل ۶) در حالی که در سازند پابده دو دسته با جهت‌یابی ۵۸ / ۲۶۸ و ۱۶۲ / ۱۷ دیده می‌شود. دسته اول کم و بیش مشابه دسته شکستگی اصلی در سازند آسماری است و به احتمال منشأ یکسانی با آن دارد. دسته دوم شکستگی‌های مشاهده شده در پابده، در سازند آسماری وجود ندارد از این رو می‌توان گفت این دسته از نظر منشأ با دسته اول تفاوت داشته و ممکن است جزء شکستگی‌های حاصل چین خوردگی نبوده و در اثر عوامل زمین‌ساختی محلی، مانند گسل، به وجود آمده باشند. شکستگی‌های باز در سازند گورپی به طور کامل متفاوت از دو سازند دیگر بوده و با توجه به پراکندگی جهت‌یابی آنها، امکان

همچنین بیشتر شکستگی‌های سازند آسماری از نوع باز بوده که در قسمت زیرین آسماری قرار داشته و بازشدگی آنها کم و به طور عموم ناپیوسته هستند. در چاه B، بیشتر شکستگی‌های باز در سازند گورپی قرار داشته و به طور عموم شکل غیر صفحه‌ای و ناپیوسته دارند.

**ب) شکستگی پوشده:** ماده پرکننده شکستگی‌ها به طور معمول کانی‌های متبلور هستند، که به دلیل تراکم بودن و نبود تخلخل، مقاومت الکتریکی بسیار بالایی دارند. اثر این شکستگی‌ها در لاگ تصویری به صورت یک موج سینوسی روشن ظاهر می‌شود. علاوه بر آن، زمانی که دستگاه از مقابل یک شکستگی پر شده عبور می‌کند بین دو طرف صفحه شکستگی، به دلیل پراکندگی جریان تزریق شده به دیوار چاه در محل شکستگی‌های مایل، یک اختلاف مقاومت (تیره یا روشن) به وجود می‌آید که به آن اثر هاله‌ای گفته می‌شود اثر هاله‌ای یکی از نشانه‌های شکستگی پر شده است. ماده پرکننده شکستگی‌ها در چاه‌های مورد بررسی، کانی‌های دارای مقاومت بالا است که باعث شده‌اند اثر هاله‌ای در اطراف شکستگی‌ها مشخص‌تر دیده شود (شکل ۴). شکستگی‌های پر شده ۱۱ درصد از کل شکستگی‌های تفسیر شده در این چاه A و ۸۳ درصد از کل شکستگی‌های موجود در چاه B را شامل می‌شوند. کم و بیش تمام شکستگی‌های پر شده در سازند پابده و گورپی قرار دارند (شکل ۸).

#### ۴- تحلیل شکستگی‌ها

قبل از تفسیر نتایج، اطلاعات به دست آمده از لاگ‌های تصویری، تفکیک و دسته‌بندی شدند. به این منظور شکستگی‌ها در دو دسته اصلی شکستگی‌های باز و پر شده قرار داده شدند. از نظر ساختمانی، این نوع دسته‌بندی کمک می‌کند تا زمان تشکیل هر دسته شکستگی، ارتباط زایشی و زمان رسوب ماده پرکننده، بررسی شود. همچنین از نظر مطالعه کیفیت مخزن، تفکیک شکستگی‌های باز امکان شناسایی زون‌های تراوا را فراهم می‌کند.

برای مقایسه شکستگی‌ها در هر سازند، شکستگی‌های سازندهای آسماری، پابده و گورپی، شامل شکستگی‌های باز و پر شده به طور جداگانه در چاه‌های A و B بررسی شده‌اند. برای هر یک از شکستگی‌ها پل صفحه‌های شکستگی در نمودار قطبی (pole Diagram) رسم شده و پارامترهای آماری آنها محاسبه شده است (شکل‌های ۵ تا ۷). همچنین چگالی هر یک از پدیده‌ها به صورت لاگ رسم شده است (شکل ۸). تعداد مرز لایه‌بندی، شکستگی‌های باز و پر شده در جدول ۱ و مقدار میانگین جهت‌یابی انواع پدیده‌های مشاهده شده در چاه A و B در جدول ۲ نشان داده شده است.

**کل شکستگی‌ها:** در چاه A، ۷۱۰ شکستگی و در چاه B ۱۲۰ شکستگی شامل شکستگی‌های باز و پر شده شناسایی شده است. به طور کلی در چاه A، دو دسته شکستگی قابل شناسایی است ولی در چاه B تعداد محدودی شکستگی وجود دارد که امکان تفکیک دسته شکستگی در آنها وجود ندارد. (شکل ۵). در چاه A، از دو دسته، یک دسته در آسماری و دو دسته در سازند پابده وجود دارند که دسته اول بین دو سازند مشترک است. در سازند گورپی وضعیت شکستگی‌ها از نظر تعداد و جهت‌یابی کاملاً متفاوت است و نمی‌توان دسته شکستگی مشخصی را در سازند پابده شناسایی کرد. مقایسه چگالی شکستگی‌ها با ستر برای لایه‌بندی نشان می‌دهد که در قسمت‌هایی که ستر برای لایه‌بندی کم است، چگالی شکستگی‌ها بالاست (شکل ۸). لذا در کل سازند پابده که ستر برای لایه‌بندی کم (و تعداد مرز لایه‌بندی در واحد طول زیاد) است، بیشترین تمرکز شکستگی وجود دارد. این موضوع با مقایسه چگالی مرز لایه‌بندی‌ها (ستون اول شکل ۸) با چگالی شکستگی‌ها (ستون دوم و سوم شکل ۸) آشکار می‌شود.

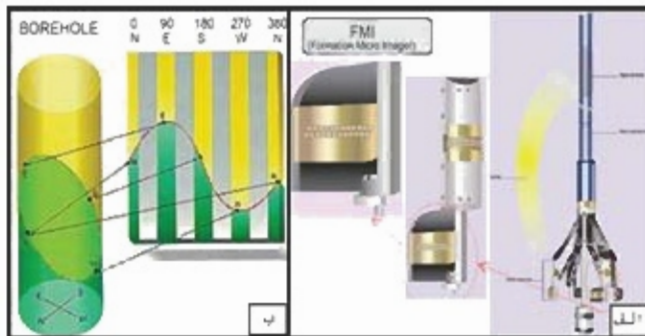
آسماری و پابده از نوع شکستگی طولی موازی محور تاقدیس هستند. این چاه‌ها در پال جنوب باختری میدان قرار دارد و حث فراوانی شکستگی‌های طولی در آن، جابه‌جایی متعلقه بیشترین خمش به سمت جنوب باختر تاقدیس است. زیاد بودن شیب پال جنوب باختری این میدان نسبت به پال شمال خاوری می‌تواند گواهی بر این مدعا باشد. دسته دوم (فرعی) شکستگی‌های مشاهده شده در سازند پابده، شکستگی‌های پرشی هستند. مسخوانی لاگه چگالی شکستگی‌ها با لاگه چگالی لایه‌بندی، فراوانی ناپوستگی‌های موازی لایه‌بندی و فراوانی شکستگی‌های طولی به همراه اطلاعات به دست آمده از منابع دیگر نشان می‌دهد که صلبه غشی و خمشی-تغزنی دو مکانیسم عمده ایجاد شکستگی‌ها در این تاقدیس هستند. در چاه A بیشترین تراکم شکستگی‌ها در قسمت پایین آسماری و کل سازند پابده قرار دارد ولی در چاه B در قسمت میانی پابده و سازند گورپی بیشترین شکستگی‌ها مشاهده می‌شود. در چاه A چگالی شکستگی‌ها در مرز دو سازند آسماری و پابده بیشترین مقدار است. به دلیل این که دو سازند خواص ژئومکانیکی متفاوتی دارند لذا به نظر می‌رسد در این قسمت سازوکار خمشی-تغزنی در تشکیل شکستگی‌ها نقش مهم‌تری داشته است. این مطالعه نشان داد که چگالی مرز لایه‌بندی در یک سازند دو دو چاه مجاور به طور کامل مشابه و چگالی شکستگی‌ها به طور کامل متفاوت است. همچنین بررسی حاضر نشان داد که در مطالعه شکستگی‌ها، لاگ تصویر می‌تواند جایگزین مناسبی برای مغزه که با هزینه بالایی تهیه می‌شود، باشد. در مطالعه شکستگی‌ها پروژه در محازن شکسته، لاگ‌های تصویری ابزار توانمندی در شناسایی شکستگی‌ها به ویژه شکستگی‌های باز هستند. شکستگی‌های باز، که به طور معمول مجری مناسب برای عبور سیال مخزن فراهم می‌کنند، برای تولید محازن بسیار مهم هستند لذا زون‌هایی که چگالی شکستگی‌های باز در آنها بالاست از تروایی بالاتری برخوردار هستند.

شناسایی دسته شکستگی از میان آنها وجود ندارد. شکستگی‌های سازند گورپی در سازندهای جوان‌تر، یعنی آسماری و پابده وجود ندارند لذا می‌توان گفت که این شکستگی‌ها به احتمال متقدم بر شکستگی‌های دو سازند دیگر تشکیل شده‌اند یعنی این شکستگی‌ها قبل یا همزمان با چین‌خوردگی در سازند گورپی به وجود آمده است. احتمال دیگر این است که وجود شکستگی‌ها در گورپی ناشی از ویژگی‌های ژئومکانیکی خاص این سازند باشد. پراکنندگی زیاد جهت‌یابی این شکستگی‌ها ممکن است دلیلی بر غیرمنظم بودن آنها باشد. در هر حال برای تعیین دقیق منشأ و سن نسبی آنها نیاز به مطالعات تکمیلی، از جمله بررسی‌های صحرایی و مطالعه مغزه‌ها و لاگ‌های تصویری چاه‌های اطراف است.

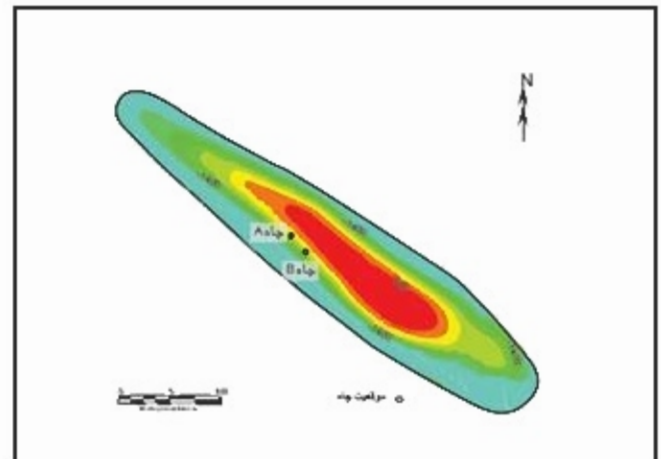
**شکستگی‌های پوشده:** با توجه به جهت‌یابی شکستگی‌های پرشده در سازندهای آسماری و پابده، می‌توان گفت که این شکستگی‌ها مشابه دو دسته شکستگی‌های باز بوده و تنها تعداد آنها کمتر است. لذا زمان تشکیل و منشأ شکستگی‌های باز و پرشده در این دو سازند یکسان بوده در حالی که شکستگی‌های پرشده در سازند گورپی هیچ‌گونه مشابهتی با شکستگی‌های پرشده در سازند آسماری و پابده ندارد. مقایسه وضعیت شکستگی‌های باز و پرشده در سازند گورپی ارتباطی بین این دو نوع شکستگی را نشان نمی‌دهد، لذا این نیز شاهدی بر غیر منظم بودن شکستگی‌های سازند گورپی است.

### ۵- نتیجه‌گیری

بیشترین تعداد شکستگی‌های شناسایی شده در لاگ تصویری چاه A از نوع باز بوده در حالی که در چاه B از نوع پرشده هستند. شکستگی‌های سازند آسماری و پابده انگوری یکسانی نشان می‌دهند در حالی که انگوری شکستگی‌های سازند گورپی به طور کامل متفاوت از این دو سازند است. بیشتر شکستگی‌های سازند



شکل ۲- الف) تصویر دستگاه FMI به همراه وضعیت قرارگیری الکترودها بر روی بالشتک (Skulumberger, 2002) ب) پاک پدیده صفحه‌های شکل مانند مرز لایه‌بندی که چاه را قطع کرده در لاگ تصویری به صورت یک موج سینوسی مشاهده می‌شود.



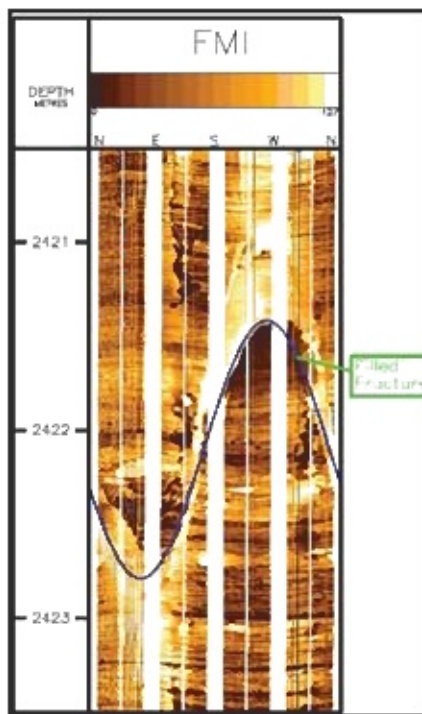
شکل ۱- موقعیت ساختاری چاه مطالعه شده در میدان

جدول ۱- تعداد پدیده‌های تفسیر شده در سازندهای مختلف در چاه‌های مورد مطالعه

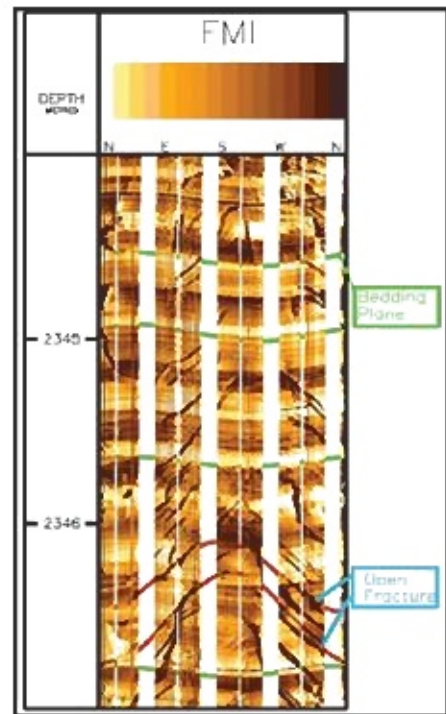
چاه	لایه‌بندی			شکستگی باز			شکستگی پرشده		
	تعداد کل	آسماری	پابده	گورپی	پابده	آسماری	تعداد کل	آسماری	پابده
A	288	182	106	257	79	202	639	11	28
B	392	165	227	17	0	3	20	63	37

جدول ۲- جهت پایی پدیده‌های تفسیر شده در سازند‌های مختلف در چاه‌های مورد مطالعه

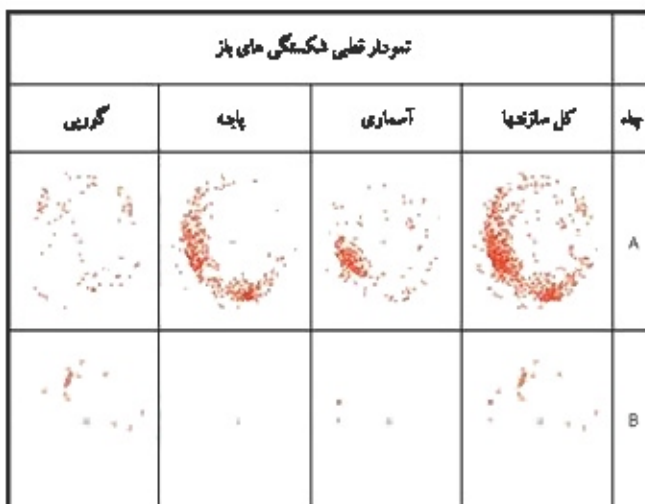
چاه	لایه پدیدی			جهت پایی پدیده‌های مشاهده شده (شیب / آزیموت)				شکستگی پر شده		
	گورنی	پایه	آسماری	کل	گورنی	پایه	آسماری	شکستگی باز	گورنی	
A	۳۶/۵۱	۳۶/۵۶	۳۷/۵۸	۳۳/۲۰	۳۳/۲۵	۳۳/۲۱	۲۳/۲۳	آسماری	۱۳۷/۶۱	
B	۳۸/۵۷	۳۹/۵۸	۳۹/۵۷	۳۹/۲۲	-	-	۱۷/۱۹	۲۳/۲۰	۱۵۱/۷	
								۲۸/۲۹	۲۸۳/۱۹	



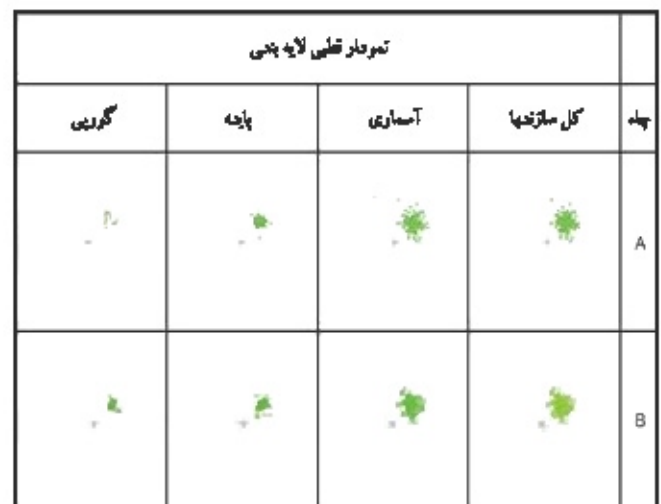
شکل ۳- شکستگی پر شده در سازند پایه که اثر هاله‌ای اطراف آن مشخص است



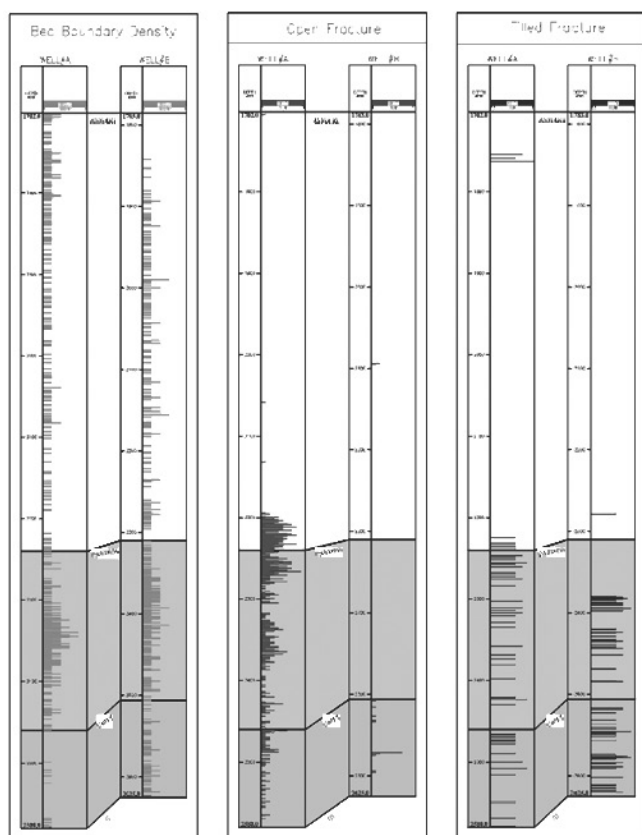
شکل ۴- تغییر رنگ در لاگ تصویری که نشان‌دهنده مرز لایه پدیدی است و شکستگی باز ناپیوسته در سازند پایه.



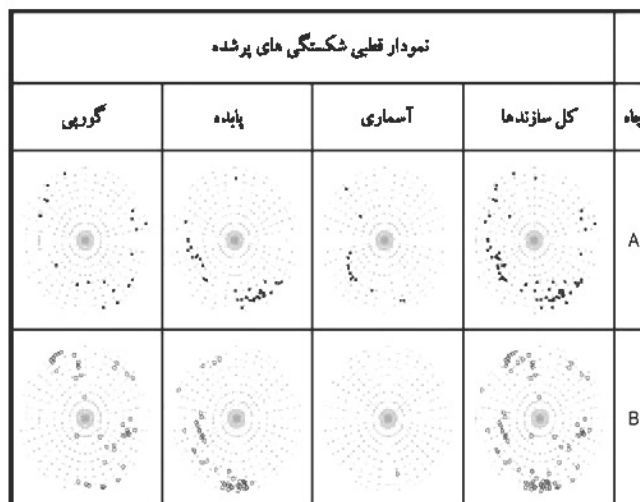
شکل ۶- نمودار قطبی (Pole diagram) منصفه‌های شکستگی‌های باز در چاه A و B (نیمکره پایین شبکه اشمیت)



شکل ۷- نمودار قطبی (Pole diagram) منصفه‌های مرز لایه پدیدی در چاه A و B (نیمکره پایین شبکه اشمیت)



شکل A- نمودار چگالی (تعداد در یک متر) لایه‌بندی، شکستگی‌های باز و پر شده در چاه B و A



شکل ۷- نمودار قطبی (Pole diagram) منحنه‌های شکستگی‌های پر شده در چاه A و B (نیمکره پایین شبکه اشمیت)

### کتابنگاری

- مطیعی، ه.، ۱۳۷۴- زمین‌شناسی ایران: زمین‌شناسی نفت زاگرس ۱ و ۲، سازمان زمین‌شناسی ایران، ۱۰۰۹ص.  
 مطیعی، ه.، ۱۳۸۲- زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس، سازمان زمین‌شناسی ایران، ۵۵۶ص.

### References

- Alavi, M., 1994- Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations, *Tectonophysics* 229 (1994) 211-238.  
 Alavi, M., 2004- Regional stratigraphy of the Zagross fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution, *American Journal of Science*, Vol. 304, P. 1-20.  
 Barker, S.N., Speers, R.G., 1977- The Geology of the Asmari Reservoir, Report No. P-3171.  
 Colan Sadd, S.P., 1978- Fold Development in Zagros Simply Folded Belt, Southwest Iran; *AAPG Bulletin*, vol. 62/6, pp. 984-1003.  
 Gholipour, A.M., 1998- Patterns and Structural Positions of Productive Fractures in the Asmari Reservoirs, Southwest Iran, *The Journal of Canadian Petroleum Technology*, Vol. 37, No. 1.  
 Haller, D. & Hamon, G., 1993- Meillon-Saint Faust gas field, Aquitaine basin; Structural re-evaluation aids understanding of water invasion. In Parker, J. R. (ed.) *Petroleum Geology of NW Europe*, Proceedings of the 4th conference. Geological Society, London, 1519-1526.  
 Nelson, R.A., 2001- Geological analysis of naturally fractured reservoirs. Second Edition. Gulf Professional Publishing.  
 Schlumberger, Borehole geology, 2002- geomechanics and 3D reservoir modeling (FMI), SMP-5822.  
 Serra, O., 1989- Formation MicroScanner Image Interpretation, Schlumberger Education Services.

## Comparing Fractures in a Unique Structural Setting of an Oilfield, Acquired from FMI

F. Khoshbakht<sup>1</sup>, H. Memarian<sup>2</sup> and M. Mohammadnia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran.

<sup>2</sup> Mining Department, Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2007 May 12

Accepted: 2008 September 23

### Abstract

Natural fractures are the main factor which control hydraulic behavior of oil and gas reservoir in naturally fractured reservoirs. Thus it is important to fully characterize these features in fractured reservoirs. Image logs are one of powerful tools in fracture study in wells. Image log is high resolution "pseudo picture" of borehole wall which records properties of fractures. In present study, FMI (Formation Micro Scanner) of two wells located in the same structural setting of a naturally fractured carbonate are considered. Well A and B drilled through three formations (Asmari, Pabdeh and Gurpi) and fracture data of these formations were acquired from these wells. Both wells located in the same structural setting near each other. We compared fractures of each formation in well A with well B to find out similarity and dissimilarity of fractures occurred in the same formation in different wells. This study shows that density and orientation of bedding planes of well A is completely similar to well B. Density of open fractures of well A is totally different from well B but orientations of open fractures are same in two wells. Density and orientation of filled fractures of well A are similar to well B. Pattern of fractures of Asmari and Pabdeh formations are similar but in Gurpi fractures are different. Comparison of density of bedding planes and fractures show that high fracture frequency occurred in the thin beds, for example FMI show that laminar intervals of Pabdeh coincide with highly fractured intervals.

**Keywords:** Image Log, Open and Filled Fracture, Orientation, Density of fracture, Formation.

For Persian Version see pages 65 to 70

\*Corresponding author: F. Khoshbakht; E-mail: Khoshbakhtf@ripi.ir

## Investigation of Plate Bearing and Settlement in South-Eastern and East Tehran

F. Rezaei<sup>1\*</sup> & M. Eivazi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

<sup>2</sup> Soil Mechanics Laboratory of the Ministry of Road and Transportation, Tehran, Iran

Received: 2007 September 12

Accepted: 2008 April 05

### Abstract

The Tehran city, capital of Iran is located on young alluvium deposits which mostly cover due to rapid urban development. This urban development without proper geotechnical and geological assessment may cause great engineering and economic problems. Survey of geotechnical problems are one of the most important issue that consider for building important structures. Most of constructions are based on the ground. Hence the Examination and recognition of physical and mechanical properties of soil layers are so necessary. Present research aims to determine stability parameters, plat bearing and amount of foundation settlement in East and South-Eastern of Tehran in Ghalemorghi area. For this specific zones have been identified, among them, first, second and third zones have middle ( $2 < q_a < 3$ ), good ( $3 < q_a < 4$ ) and very good ( $4 < q_a < 6$ ) stability (bearing conditions). 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> zones show low ( $1 < q_a < 2$ ) and middle ( $2 < q_a < 3$ ) bearing condition. The 6<sup>th</sup> area has low ( $1 < q_a < 2$ ) and very low ( $0 < q_a < 1$ ) stability conditions. In a general view soil density decrease from north to south due to gradual change of sand and gravel deposits to clay deposit and with depth it increase. The amount of immediate settlement also decreases with depth. (Rezaei, Adib & Eivazi, 2007). Comparison between old and new researches show that in new researches, amount of plat bearing is more and amount of settlement less than old researches in surface layers (0-5 m), but there aren't any important changes in amount of plat bearing and settlement in deeper layers. We think increase in amount of plate hearing, and decrease in amount of settlement in surface layers have