

**Research Article****Investigation of fractures and in situ stresses using Formation Micro Imaging (FMI) in south-western Iranian hydrocarbon field**Farshid Romiani<sup>1</sup>, Mohammad Hosein Saberi<sup>1\*</sup>, Mohammad Ali Riahi<sup>2</sup>

1- Faculty of New Sciences and Technologies, Department of Petroleum Engineering, Semnan University

2- Geophysics Branch of the Geology Department, National Iranian South Oil Company, Iran

**Keywords:** Image logs, Open and closed fractures, In situ stresses, Carbonate reservoirs**1- Introduction**

More than 60% of the world's oil and 40% of the world's gas reserves are in carbonate reservoirs. In these reservoirs, rock texture, diagenesis changes, and fractures control the reservoir's quality (Ezati et al., 2018). Tectonic, compressive or tensile forces can fracture almost all sedimentary rocks. This study used image logs to identify and investigate geological structures. Image logs are a bunch of modern logs that provide a virtual, directional image of the oil and gas wall. The image logs specify specific physical features of the formation and subsurface layers in terms of the depth of the recorded data in standard formats. Aghli et al. (2014) comparing the results of FMI with OBMI, showed that the use of FMI tools in the interpretation of reservoirs drilled using base drilling fluid provides very accurate results in the analysis of well wall fractures. They also confirmed these results with data from the Asmari reservoir in southern Iran (Aghli et al., 2014). Soleimani et al. (2013) showed that, due to fracture's role in the reservoir quality, their densities were determined using FMI image and velocity deviation logs. The results revealed that the distinguished petrology of similar electro-faces plays a vital role in the fracture densities (Soleimani et al., 2013).

**2- Geological and structural position of the field study**

The study well is located in one of the squares in the Sefidzakhur anticline. The Sefezakhur anticline is situated in the gas-rich area of Fars Province, 160 km southeast of Shiraz, south of the Aghar gas field and west of the Dalan and Day gas fields (Mottie, 1995). Najafi et al. (2013), using data from field surveys, seismic cuts and exploratory wells data in the Sefid Zakhur field, showed that further shortening and consequently over-structural reversal in the western parts caused the migration of hydrocarbons and accumulated in this section (Najafi et al., 2013).

**3- Image logs and interpretation**

The FMI tools have a high vertical resolution of about 0.2 in (5.1 mm), and their lateral coverage is approximately 80% in an 8.5 in (20.3 cm) borehole (Daws et al., 2002).

**3-1- Boundary layers**

Four hundred thirty layers were identified in the studied well, most of which were detected at high confidence intervals.

**3-2- Open and closed fractures**

We detected one thousand eight hundred twenty-nine open fractures were by the FMI dynamic image in the studied well, most of which lack continuity and opening for identification. Also, we considered two main categories for open fractures. The first cluster, where the fracture dispersion is greater than the second, is directed toward N-S and extends S35E - N35W. The second batch is n-s along the N85E-S85W. In closed fractures, the

---

\* Corresponding author: mh.saberi@semnan.ac.ir

DOI: 10.22055/AAG.2021.36382.2194

Received 2021-01-13

Accepted 2021-05-11

matrix is dense and has high electrical resistance, so in most cases, the halo effect around these fractures is weak. Also, we identified Sixty-nine closed fractures.

### 3-3- Fault and stylolite

Two potential faults were identified at the study intervals, both of which caused dip changes and abrupt texture changes.

12 stylolite were identified in the study well, most of them having short amplitude and parallel stratification.

### 3-4- In situ stress analysis

Based on the interpretations made to determine in situ stresses at different depths of the breakouts wells, a total of 140 fractures were identified. The breakouts indicate the direction of least stress ( $\sigma_h$ ) along the NW-SE and are consistent with the usual Zagros trend. Also, 128 inductive fractures were detected in the studied well. This type, which indicates maximum horizontal stress ( $\sigma_H$ ), was along the NW-SE.

## 4- Conclusions

Image logs provide helpful information: on geological structures, sedimentary rock, geomechanical analysis, and complete coring applications. A total of 1829 open fractures were detected by detecting the FMI dynamic image in the study well, most of which lack continuity and opening for identification. We identified Sixty-nine closed fractures and two potential faults at the study intervals, which caused dip changes and abrupt texture changes. Also, 12 stylolites with short amplitude and parallel stratification were identified. Based on the interpretations made to determine in situ stresses at different depths of the breakouts wells, we identified 140 fractures. The breakouts indicate the direction of least stress ( $\sigma_h$ ) along the NW-SE and are consistent with the usual Zagros trend. In addition, 128 inductive fractures were detected in the studied well. This type, which indicates maximum horizontal stress ( $\sigma_H$ ), was along the NW-SE.

## Acknowledgements

We want to thank Dr. Mohsen Ezzati for his extensive assistance and guidance.

## References

- Aghli, G., Charchi, A., Soleymani, B., Fardin, H., 2014. Using OBMI and UBI illustrator diagrams in analyzing the structure and fractures of Asmari reservoir and comparing it with velocity deviation diagram in one of the fields of southwestern Iran. *Advanced Applied Geology* 4(1), 1-9.
- Daws, C., Olivero, A., Tripakis, S., Yovine, S., 2002. Borehole Geology, Geomechanics and 3D Reservoir Modeling Brochure. *Oilfield Review* 1, 1–12.
- Ezzati, M., Azizzadeh, M., Riahi, M.A., Fattahpour, V., Honarmand, J., 2018. Characterization of micro-fractures in carbonate Sarvak reservoir, using petrophysical and geological data, SW Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 170, 675–695.
- Motiei, H., 1995. *Petroleum Geology of Zagros*, Geological Survey of Iran Publication, 589 p. (In Persian).
- Najafi, M., Yassaghi, A., Verges, J., Bahroudi, A., Sherhati, S., 2013. Three Dimensional Structural Analysis of the Sefid-Zakhr Anticline in the Fars Province, in order to obtain Geometry of the Permo-Triassic Reservoir Level. *Advanced Applied Geology* 3(4), 10-18.
- Soleimani, B., Ghozaishavi, A., Tavasoli, O.R., 2013. Electro- Facies and their Correlation with Fracture Density, Asmari Reservoir, Lali Oil Field. *Advanced Applied Geology* 3(4), 1-9.

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Romiani, F., Saberi, M.H., Riahi, M.A., 2022. Investigation of fractures and in situ stresses using Formation Micro Imaging (FMI) in south-western Iranian hydrocarbon field. *Adv. Appl. Geol.* 12(2), 276-290.

DOI: 10.22055/AAG.2021.36382.2194

url: [https://aag.scu.ac.ir/article\\_16820.html?lang=en](https://aag.scu.ac.ir/article_16820.html?lang=en)



## تفسیر نمودار تصویری FMI به منظور شناسایی پدیده‌های ریز دیواره چاه: مطالعه موردی در یکی از میداين هیدروکربنی جنوب غربی ایران

فرشید رومیانی

کارشناس ارشد مهندسی نفت، پردیس علوم و فناوری‌های نوین، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه سمنان

محمدحسین صابری\*

استادیار پردیس علوم و فناوری‌های نوین، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه سمنان

محمدعلی ریاحی

استادیار، دکتری ژئوفیزیک، عضو هیأت علمی دانشگاه تهران

\*mh.saberi@semnan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۱

### چکیده

شناسایی پدیده‌های ریز دیواره چاه همیشه برای مهندسين نفت مهم است. در این تحقیق با استفاده از نمودار تصویری FMI در نرم‌افزار ژئولاگ انواع پدیده‌های ریز دیواره و ساختمانی چاه مورد بحث و بررسی قرار گرفت. بر این اساس مجموعاً تعداد ۱۸۲۹ شکستگی باز قرائت شد که بخش عمده‌ای از آنها فاقد پیوستگی و بازشدگی مناسب برای شناسایی بودند و دارای شیبی متغیر با آزمون بین ۱۷۰ تا ۲۱۰ درجه از شمال است. همچنین تعداد ۶۹ عدد شکستگی بسته تشخیص داده شد که دارای زمینه سنگ متراکم و مقاومت الکتریکی بالایی بودند بنابراین اثر هاله در اطراف آنها ضعیف است. همچنین تعداد ۴۳۰ لایه بندی قرائت شد که بیشتر آنها در فواصل نمودارگیری با اطمینان بالا تشخیص داده شدند. در مجموع ۲ عدد گسل احتمالی با امتداد NE-SW35 و NE-SW75 شناسایی شد که انتظار می‌رود هر دو آنها باعث تغییر شیب و تغییر بافت ناگهانی سازند شده باشند. استیلولیت‌های شناسایی شده در این پژوهش ۱۲ عدد بودند که بیشتر آنها دارای دامنه کوتاه در جهات مختلف و موازی لایه‌بندی می‌باشند. همچنین به منظور بررسی تنش‌های برج، پرکاوته‌ها و شکستگی‌های کششی چاه مورد مطالعه دارای امتداد NW-SE بودند که در نتیجه هم‌راستا با جهت‌یابی زاگرس می‌باشند. در اعماق مختلفی از چاه مورد مطالعه تعداد ۱۴۰ عدد شکستگی برشی یا پرکاوته‌ها با امتداد NW-SE و هم‌راستا با روند معمول زاگرس (شمال شرقی - جنوب غربی) حضور دارند. همچنین تعداد ۱۲۸ عدد شکستگی کششی یا شکستگی‌های حاصل از عملیات حفاری شناسایی شد که مانند ریزش‌های دیواره چاه دارای امتداد NW-SE می‌باشند.

**کلمات کلیدی:** نمودار تصویری، شکستگی‌های باز و بسته، تنش‌های برج، مخازن کربناته

### مقدمه

مطالعات مربوط به تکتونیک منطقه‌ای هستند و تأثیر بسزایی بر نفت و گاز و کیفیت مخزنی دارند.

تنش‌های برج می‌توانند بر خواص مخزن (تخلخل و تراوایی) و عملکرد آن بگذارد. علاوه بر این، نقش مهمی در مسائل مربوط به ثبات گمانه، بهره‌وری و تزریق دارند. بنابراین نیاز به توصیف این تنش‌ها و الگوبرداری از تأثیر آنها بر خصوصیات و عملکرد مخزن وجود دارد (Ameen, 2003). در زون‌های شکسته می‌توان به صورت مستقیم و غیرمستقیم با استفاده از داده‌های لرزه‌ای، لاگ‌های پتروفیزیکی، آزمایش‌های سرچاه، تاریخچه گل حفاری و توصیف مغزه اطلاعات خوبی حاصل نمود.

اما هر کدام از این روش‌ها به دلیل قدرت تفکیک پایین دارای محدودیت‌های اساسی هستند. توصیف مغزه‌ها روش مناسبی برای شناسایی پدیده‌های ریز دیواره گمانه است با این حال مغزه‌ها دارای

بیش از ۶۰٪ نفت و ۴۰٪ ذخایر گازی جهان در مخازن کربناته هستند. در این مخازن ترکیبی از بافت سنگ، تغییرات دیاژنز و شکستگی‌ها کیفیت مخزن را کنترل می‌کنند (Ezati et al., 2018). تقریباً همه سنگ‌های رسوبی ممکن است تحت نیروهای زمین‌ساختی شکسته شوند. جریان سیال عمدتاً متأثر از ساختار و اندازه منافذ می‌باشد از این رو شکستگی‌ها یکی از مهمترین مسیرهای سیال در مخازن کربناته هستند و می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر عملکرد مخزن داشته باشند. در سطح شکستگی پیوستگی بافت سنگ از بین می‌رود و باعث ایجاد مسیری با تراوایی بالا می‌شود (Suau and Services, 1980).

شناسایی پدیده‌های ریز دیواره گمانه در مخازن کربناته، همیشه برای مهندسين نفت مهم بوده زیرا این پدیده‌ها، ابزارهای مفیدی برای

تصویری مقاومتی را به منظور شناسایی سیستم های شکستگی تفسیر و آنالیز نمودند. در سال های اخیر استفاده از آنالیز ابزارهای تصویرگر در مطالعات مخازن هیدروکربنی ایران به کار گرفته شده است که از آن جمله می توان به مطالعه شکستگی های میدان های آسماری، مارون، میدان گازی پارس جنوبی و ... اشاره نمود.

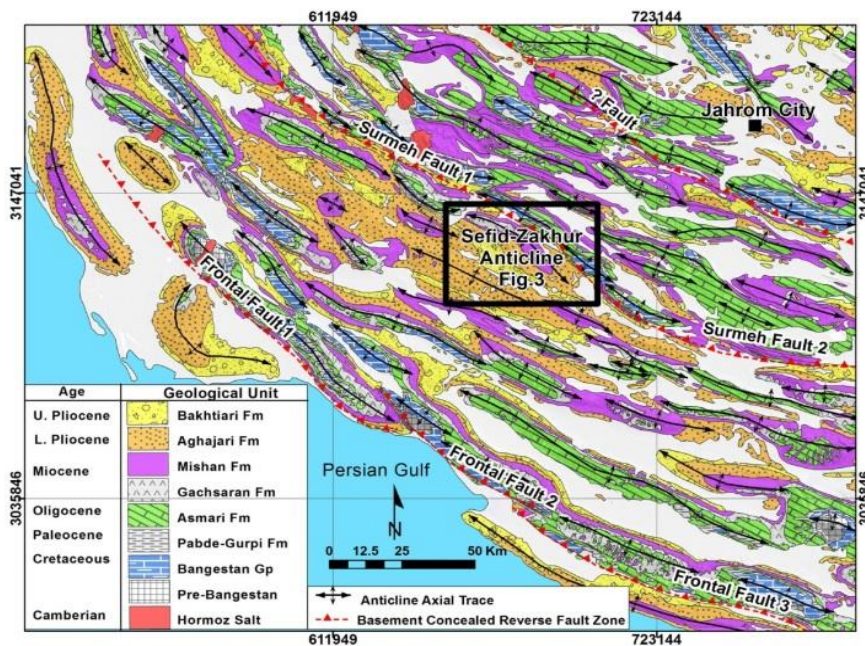
### موقعیت زمین شناسی و ساختمانی میدان مورد مطالعه

میدان مورد مطالعه در جنوب غربی ایران واقع شده و از لحاظ تقسیم بندی های ساختاری در پهنه فارس قرار دارد. این منطقه که ادامه شمالی طول سازند سفیدزاکور تقریباً ۴۰ کیلومتر و عرض آن ۸ کیلومتر است که سازندهای بختیاری، آغاچاری، میشان، گچساران و آسماری در آن رخنمون دارد و توسط تعدادی دیگری تاقدیس از جمله لار و هالگان احاطه می شود. قله غربی آن تقریباً امتداد شرقی - غربی دارد اما قله شرقی که تحت تاثیر گسل عرضی به پایین افتاده از روند معمولی حوضه زاگرس یعنی شمال غربی - جنوب شرقی برخوردار است کمان قطر است در بخش مرکزی پیشانی پهنه فارس واقع شده است (شکل ۱).

این تاقدیس در قسمت باختری به صورتی پشت نهنگی کلاسیک مشاهده می شود. در شمال باختری به وسیله یک تراس از میدان گازی دالان جدا شده است و یال شمال شرقی در زیر گسلی که جنوب باختری تاقدیس لار را قطع کرده رخنمون دارد. به سمت جنوب شرقی دارای حالتی از چین صندوقی است که پلانچ حاصل کرده است. بستگی قائم این تاقدیس در سازند آسماری ۱۴۰۰ متر است (Motiei, 1995).

محدودیت های اساسی از جمله ضریب بازیافت پایین، جهت دار نبودن و هزینه بالا هستند که این امر موجب شده امروزه از لاگ های تصویری برای مطالعه شکستگی ها استفاده شود (Tokhmchi et al., 2010; Khoshbakht et al., 2006). به همین منظور در این پژوهش از نمودارهای تصویری برای شناسایی و بررسی ساختارهای زمین شناسی استفاده شده است. نمودارهای تصویری دسته ای از نمودارهای مدرن هستند که تصویری مجازی و جهت دار از دیواره چاه های نفت و گاز ارائه می دهند. این نمودارها ویژگی های فیزیکی خاصی از سازند و لایه های زیرسطحی را بر حسب عمق چاه تعیین و سپس داده های ثبت شده را بر اساس فرمت های استاندارد ذخیره می کند. ارزیابی های ژئومکانیکی داده های حاصل از تصاویر الکتریکی می تواند بطور قابل توجهی پیش بینی های جریان سیال مخازن شکستگی را بهبود بخشد و همچنین بهینه سازی مسیرهای چاه را در نظر بگیرد.

در طی سال های گذشته مجموعه داده های ساختمانی و زمین شناسی حاصل از نمودارهای تصویری برای ساخت مدل های مخزن و مدل های ژئومکانیکی استفاده شده است. به عنوان مثال در ارتباط با آنالیز تصاویر FMI برای شناسایی شکستگی ها گلاور و بورمن در سال ۲۰۰۶ با استفاده از اعمال صفحه عمودی بر روی تصاویر استفاده کردند که توانستند با دقت نسبتاً خوبی خصوصیات شکستگی را تعیین نمایند. تحقیقاتی که در ایران برای آنالیز تصاویر جهت شناسایی شکستگی ها صورت گرفته می توان به مطالعات Khoshbakht و همکاران (۲۰۰۶) که به بررسی نگارهای تصویرگر در شناسایی شکستگی های مخازن کربناته پرداختند، اشاره نمود. همچنین Shafieezadeh (۲۰۱۲) و Ghaempanah (۲۰۱۲) هر کدام به صورت جداگانه لاگ های



شکل ۱- نقشه زمین شناسی پهنه قدیمی فارس (پیشانی فارس مرکزی). موقعیت تاقدیس سفیدزاکور و همچنین محل میدان های گازی پرموتریاس مشخص شده است (Najafi et al., 2013).

Fig. 1. Geological map of the old area of Fars (Central Fars frontal). The location of the Sefid Zakhur anticline as well as the location of the Permo-Trias gas fields have been determined (Najafi et al., 2013).

ردیف ۱۲ دکمه الکترونی تشکیل شده که در مجموع ۱۹۲ الکتروود با قطر ۴ میلی‌متر و توسط یک جداکننده به طول ۱ میلی‌متر احاطه شده است. دکمه‌ها که روی تصاویر ریز مقاومت قرار دارند در دو ردیف با ۵۰٪ همپوشانی قرار می‌گیرند تا پوشش کافی فراهم آورند (Pöppelreiter et al., 2010).

ابزار FMI دارای وضوح عمودی بالایی در حدود ۰٫۲ اینچ (۵٫۱ میلی‌متر) و پوشش جانبی آن تقریباً ۸۰٪ در یک گمانه ۸/۵ اینچی (۲۰٫۳ سانتی‌متر) است. این ابزار همچنین می‌تواند اطلاعات مفیدی درباره ساختارهای زمین‌شناسی، ویژگی‌های رسوبی و بافت سنگ، آنالیزهای ژئومکانیکی، برنامه‌های کامل مغزه‌گیری سازند ارائه دهد (Schlumberger, 2002).

### روش تحقیق

پارامترهای زیادی بر روی مقاومت اندازه‌گیری شده در نمودارهای تصویری تاثیرگذارند که برای شناخت این پارامترها قبل از تفسیر ابتدا بایستی داده‌های خام برداشت شده از چاه مورد پردازش قرار گیرند. پردازش نمودارهای تصویری شامل فرایندهایی است که منجر به حذف برخی خطاها، بهبود کیفیت تصاویر و محاسبه خودکار بعضی پارامترها از جمله شیب و امتداد پدیده‌های زمین‌شناسی می‌شود (Khoshbakht, et al., 2016). هدف از تفسیر نمودارهای تصویری، توصیف ویژگی‌های سازند برای کمک به تفسیر رسوب‌شناسی، تعیین حضور مسیرهای تراوا (شکستگی‌های باز) و موانع تراوایی (لایه‌های شیلی یا لایه‌های شدیداً فشرده)، کمک به محاسبات مربوط به زون تولیدی و کمک به حفاری چاه‌های بعدی می‌باشد. در این مطالعه، هدف اصلی تفسیر و تشخیص انواع شکستگی‌ها، جهت یابی تنش‌های محلی و دیگر ساختارهای ریز دیواره گمانه است. همچنین تعیین جهت و سازکار ایجاد آنها در گستره مخزن مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت. که این مهم توسط نمودار تصویری رانده شده در چاه انجام شده است. در این مطالعه با استفاده از نرم افزار ژئولاگ نسخه 8/0، اطلاعات خام نمودار تصویری FMI پردازش و برای مطالعه انواع پدیده‌های ریز دیواره چاه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ابتدا تصحیح اختلاف بین عمق تخمین زده شد و عمق حاصل از حفاری چاه صورت گرفته است، سپس داده‌ها یکسان سازی شدند. 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 آنها، که بسیار حساس هستند، یکسان سازی بصورت دکمه به دکمه بر روی داده‌ها اعمال می‌شود. در مرحله بعد، به دلیل وجود نیروهای شناوری 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 عمل پردازش، 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

بطور کلی تاقدیس سفیدزاخو یک ساختار نامتقارن با دو قله است که شیب دامنه شمالی آن بیشتر است. بخش شرقی نسبتاً متقارن بوده اما به سمت بخش غربی به تدریج بر عدم تقارن آن به سمت شمال افزوده می‌شود به نحوی که شیب یال شمالی آن ۳۵ تا ۵۵ درجه و شیب یال جنوبی آن ۲۰ تا ۴۰ درجه می‌گردد (Abtahi, 2008). پوشش رسوبی منطقه مورد مطالعه که بر روی پی سنگ متبلور پرکامبرین قرار گرفته است ضخامت بیش از ۱۰ کیلومتر دارد و عمدتاً از واحدهای سنگی کربناته، تبخیری، مارنی و شیلی تشکیل شده است (شکل ۲).

پهنه فارس از تریاس تا میوسن نسبت به مناطق مجاور بالاتر بوده است. مطالعه نقشه‌های هم‌ضخامت سازندها و تفسیر برش‌های لرزه‌ای طولی نشان داده است که ضخامت پوشش رسوبی از جنوب شرق و شمال غرب به سمت مرکز این منطقه کاهش می‌یابد. بالاتر بودن این منطقه از تریاس تا میوسن موجب مهاجرت اولیه هیدروکربور به سمت آن و تجمع گاز در بلندا شده است. با آغاز چین خوردگی در میوسن، این تجمعات گازی مجدداً مهاجرت کرده و در بستگی‌های ایجاد شده توسط تاقدیس‌ها به دام افتاده اند. سنگ مخزن این ذخایر واحدهای کربناته گروه دهرم به سن پرموتریاس هستند، که توسط شیل‌های ارگانیک سیلورین زیرین به عنوان سنگ منشأ شارژ شده و با تبخیری‌های تریاس به عنوان سنگ پوش پوشیده شده است (Najafi et al., 2013). بر اساس اطلاعات حاصل از نمودارهای مخزنی و آزمایش‌های چاه، حجم گاز در جای مخزن دهرم میدان سفیدزاخو بین ۸ تا ۱۲ تریلیون پای فوت مکعب تخمین زده شده است.

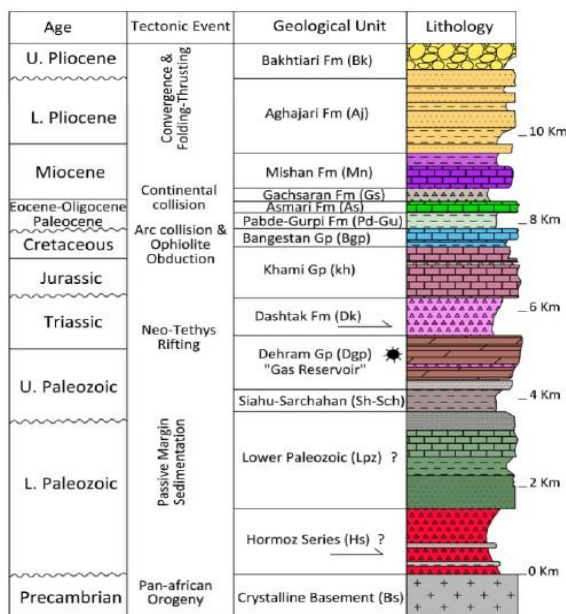
### لاگ تصویری (FMI)

لاگهای تصویری، تصویری استوانه‌ای شکل و مجازی از دیواره چاه با قدرت تفکیک بالا هستند که قادرند پدیده‌های ظریف دیواره را نشان دهند. هر پدیده صفحه‌ای شکل، مانند لایه بندی و شکستگی، که چاه را به صورت غیر قائم قطع کرده باشد، در استوانه چاه به شکل بیضی دیده می‌شود. در صورتی که استوانه در امتداد محورش بریده و باز شود یعنی همان شکلی که در لاگ تصویری نمایش داده میشود، شکستگی یا لایه بندی به صورت یک موج سینوسی ظاهر میشود. یکی از کاربردهای اصلی لاگ‌های تصویری، قابلیت ترکیب با سایر ابزارها است که باعث می‌شود تصاویری با کیفیت‌تر از پدیده‌های زمین‌شناسی ارائه شود.

در سال ۱۹۹۱ ابزار FMI توسط شرکت شلومبرژه برای پوشش و وضوح بالاتر دیواره گمانه تولید شد. این دستگاه در واقع تکمیل‌کننده و تصحیح شده دستگاه تصویربرداری FMS است. در این ابزار خطوط جریان نسبت به خطوط پتانسیل به صورت قائم حرکت کرده و وارد سازند می‌شود. دستگاه تصویربرداری FMI بر روی چهار پد اصلی و چهار پد ثانویه نصب شده که فلپ نامیده می‌شوند. پدها و فلپها، حاوی تعدادی سنسور مقاومتی می‌باشند که شکل پدها به دلیل مطابقت با انحنا دیواره چاه به صورت منحنی است. این هشت پد/فلپ از دو

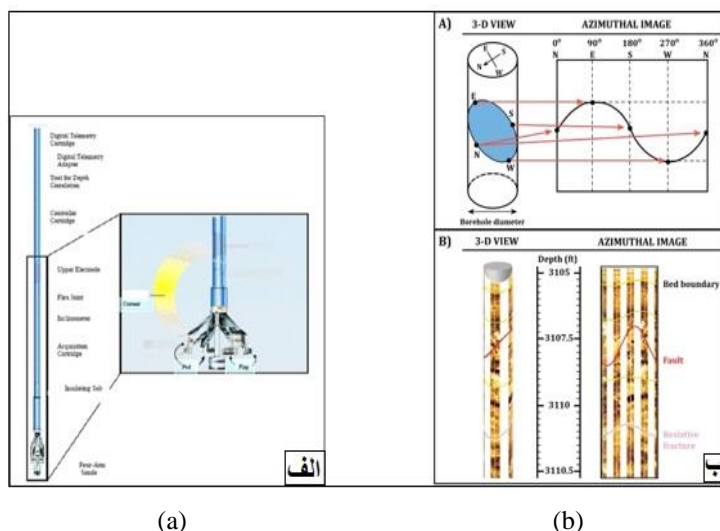
مجموعه شکستگی‌های تفسیر شده را در مقیاس ۳۶۰ درجه نشان می‌دهند. علاوه بر این یک نقشه هیستوگرام شیب که در آن زاویه شیب (محور X) در مقابل فرکانس (محور Y) قرار دارد ترسیم می‌شود.

می‌شود. برای تسهیل در شناخت ویژگی‌های زمین‌شناسی نتایج تفسیر لاگ FMI در فواصل زمانی مشخصی قرار گرفتند و به صورت نمودارهای گل‌سرخ ترسیم شدند. این نمودارها توزیع جهت و امتداد



شکل ۲- ستون چینه‌شناسی پوشش رسوبی در بلندای قدیمی فارس. این ستون بر حسب ضخامت واحدها می‌باشد که با عملیات صحرایی برای واحدهایی جوانتر از کرتاسه، داده‌های چاه‌های حفاری شده تا عمق پالئوزوئیک بالایی و گزارش‌های چینه‌شناسی برای واحدهای پالئوزوئیک زیرین به دست آمده است (Najafi et al., 2013).

Fig. 2. Stratigraphic of sedimentary coverage in the old area of Fars. This column is based on unit thickness obtained by field operations for units smaller than the Cretaceous, excavated data to Upper Paleozoic depths, and stratigraphic reports for Lower Paleozoic units (Najafi et al., 2013).



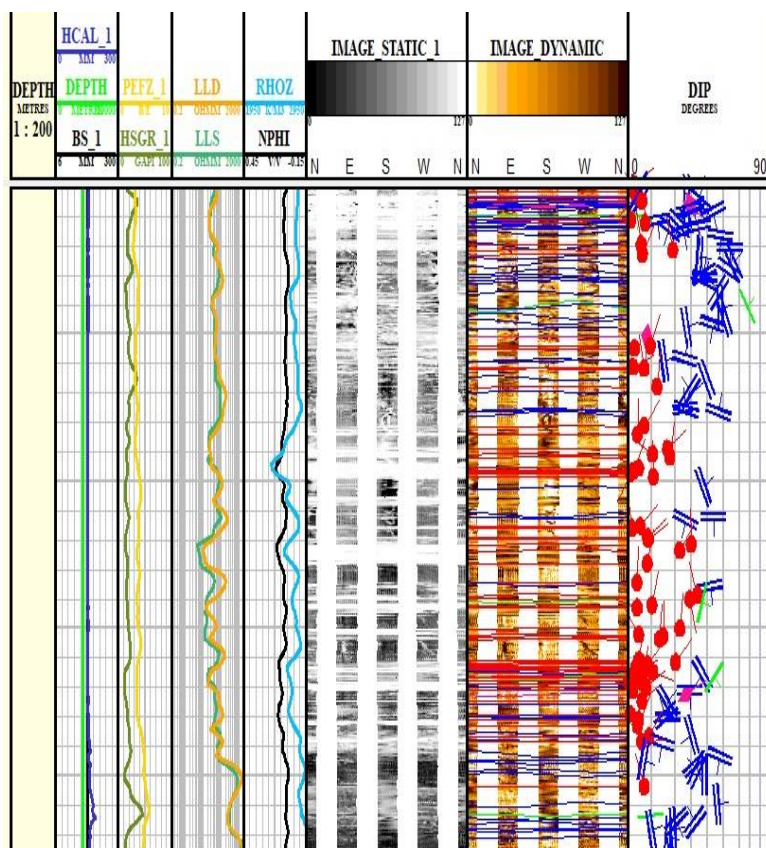
شکل ۳- (a) دیاگرام دستگاه تصویربرداری FMI. ابزار تصویری گمانه دارای تعداد متغیری از پدها (۴، ۶ یا ۸) و الکترودها هستند. ابزار FMI دارای ۴ بازو است که هر کدام از آن‌ها با یک پد و فلپ همراه است. هر پد دارای ۲۴ حسگر ریز مقاومت و در مجموع ۱۹۲ الکترود است (Ahmadi, 2006) و نحوه تولید تصویر در یک گمانه استوانه‌ای توسط ویژگی‌های مسطح در نماهای 2D و 3D (Yildirim, 2014).

Fig. 3. (a) FMI imaging diagram. Borehole imaging devices have a variable number of pads (4, 6, or 8) and electrodes. The FMI imaging has four arms, each with a pad and flap. each pad has 24 micro-resistance sensors and 192 electrodes (Ahmadi, 2006) and (b) production an image in a cylindrical borehole by flat features in 2d and 3d views (Yildirim, 2014).

### بحث و نتیجه گیری

نمونه‌ای از بخش تفسیر شده لاگ FMI در شکل ۳ نشان داده شده که از چپ به راست هفت مسیر در طول تعیین و تفسیر پدیده‌ها استفاده شده است. Track1 شامل داده‌های مربوط به عمق و قطر چاه است که از ثبت نمودار کالیپر توسط ابزار FMI به دست می‌آید. در یک گمانه هموار، قرائت کالیپر عموماً عرض گمانه را نشان می‌دهد. افزایش عرض گمانه نشان از احتمال حضور شکستگی‌های ناشی از حفاری است. Track2: این ستون شاخص عمقی و سنگ‌شناسی را نشان می‌دهد که بر اساس ترکیب داده‌های حاصل شده از اشعه گاما و اثر فوتوالکتریک به دست می‌آید. Track3: خروجی لاگ‌های مقاومت چندگانه را نشان می‌دهد. این ستون ارتباط مستقیمی با سایر ابزارهای نمودارگیری دارند و برای کاهش ابهامات در مرحله تفسیر و حصول اطلاعات به کار

می‌روند. Track4: این مسیر حاوی منحنی تخلخل‌های قرائت شده نوترون و چگالی است. در هنگام قرائت اگر تخلخل نوترون خیلی کمتر از تخلخل چگالی باشد احتمال حضور گاز طبیعی وجود دارد. Track5: یک تصویر استاتیک پردازش شده است که جریان استاتیکی را به صورت خاکستری نمایش می‌دهد. این ستون نشان‌دهنده جریان نسبی از هر نقطه از چاه نسبت به بالاترین و کمترین مقدار جریان فعلی به دست آمده در کل نمودار است. Track6: تصویر دینامیکی پردازش شده با آثار سینوسی است که نشان‌دهنده شیب ویژگی‌های زمین‌شناسی تفسیر شده است و امکان شناسایی پدیده‌های ظریف را فراهم می‌کند. Track7: نشان‌دهنده جهت و شیب پدیده‌های صفحه‌ای سازند است. مقیاس شیب غیرخطی است و از (۰ درجه در سمت چپ تا ۹۰ درجه در سمت راست) افزایش می‌یابد.



شکل ۴- نمایی از تفسیر ریز مقاومت FMI به همراه اطلاعات بالای آن در سازند مورد مطالعه.

Fig. 4. A view of the interpretation micro-resistivity of FMI with its high information in the study formation.

### لایه بندی

خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و هندسه لایه‌ها در ترکیب با مشخصات ابزارها منجر به پاسخ‌های پیچیده‌ای از لاگ‌های الکتریکی می‌شود (Khoshbakht et al., 2016).

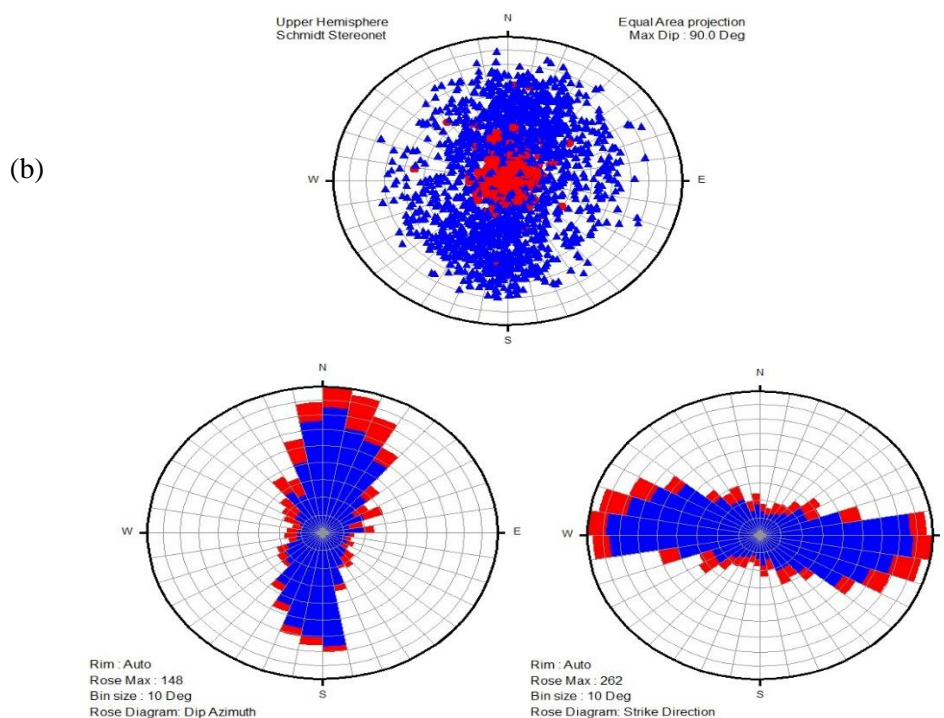
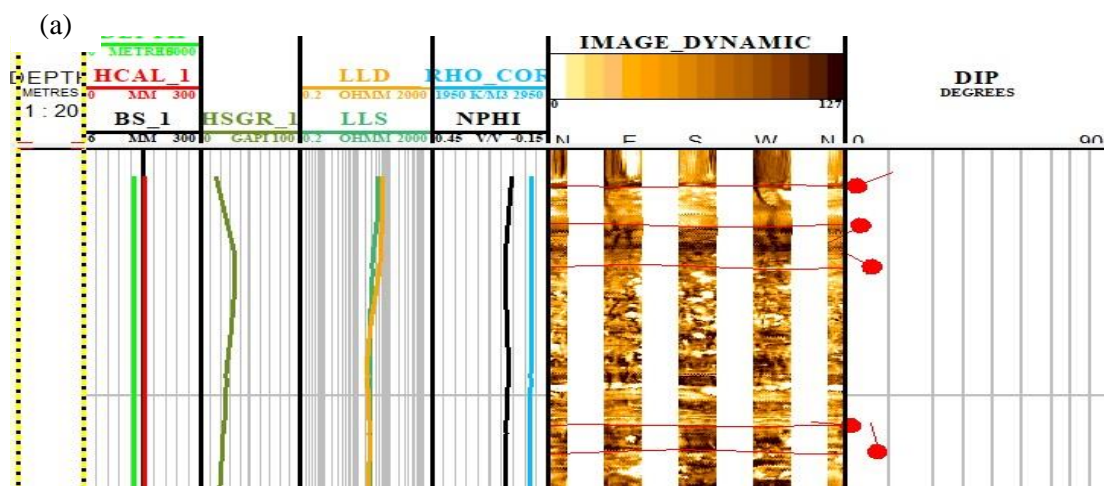
طبقه یا لایه یک واحد رسوبی است که در شرایط فیزیکی ثابت تشکیل شده است. طبقات به وسیله مرزها از یکدیگر جدا می‌شوند که

معمولاً سطوح لایه بندی گفته می‌شود که ضخامت آن ممکن است از ۱ تا ۲ میلی متر (لامینه) تا چند ده متر (لایه) تغییر کند. دو طرف سطح لایه‌بندی دارای تباین فیزیکی است که اختلاف مقاومت الکتریکی و تباین صوتی را در محل باعث می‌شود. بنابراین در نمودارهای تصویری، سطح لایه‌بندی به صورت تغییرات نسبتاً زیاد و ناگهانی مقاومت الکتریکی در تصویر به‌هنگار شده استاتیکی، در تمام بالشتک‌ها مشاهده می‌شود. به دلیل قدرت تفکیک بالا در نمودار تصویری، لامینه نیز قابل

(شکل ۵a). همچنین در بعضی اعماق تغییرات بافت سازند مرز لایه بندی را مشخص می کند. به دلیل پوشش ۳۶۰ درجه این تصاویر عوارضی که روی آنها مشخص می گردند، شیب و امتداد با دقت بهتری ارائه می دهند. در شکل ۵b شیب و امتداد لایه بندی نسبت به شکستگی های باز قابل مشاهده است.

رویت است اما به دلیل گسترش جانبی کم نمی توان آن را در تمام بالشکت ها مشاهده نمود. خطوطی با اختلاف ناگهانی و نسبتاً زیاد که به راحتی از یک بالشکت تا بالشکت های دیگر قابل ردیابی بوده و در تصاویر استاتیکی نیز می توان مشاهده نمود، به عنوان مرز لایه بندی شناخته می شود (Khoshbakht, 2006).

در چاه مورد مطالعه در مجموع تعداد ۴۳۰ لایه بندی قرائت شد که بیشتر آنها در فواصل نمودارگیری با اطمینان بالا تشخیص داده شدند



شکل ۵- (a) نمونه ای از لایه بندی مشاهده شده در چاه مورد مطالعه و (b) پراکندگی، شیب و امتداد لایه بندی نسبت به شکستگی های باز بر روی نمودارهای گل سرخی و استریونت.

Fig. 5. (a) An example of stratification observed in the well study and (b) dispersion, dip and strike of stratification relative to open fractures on rose diagram.



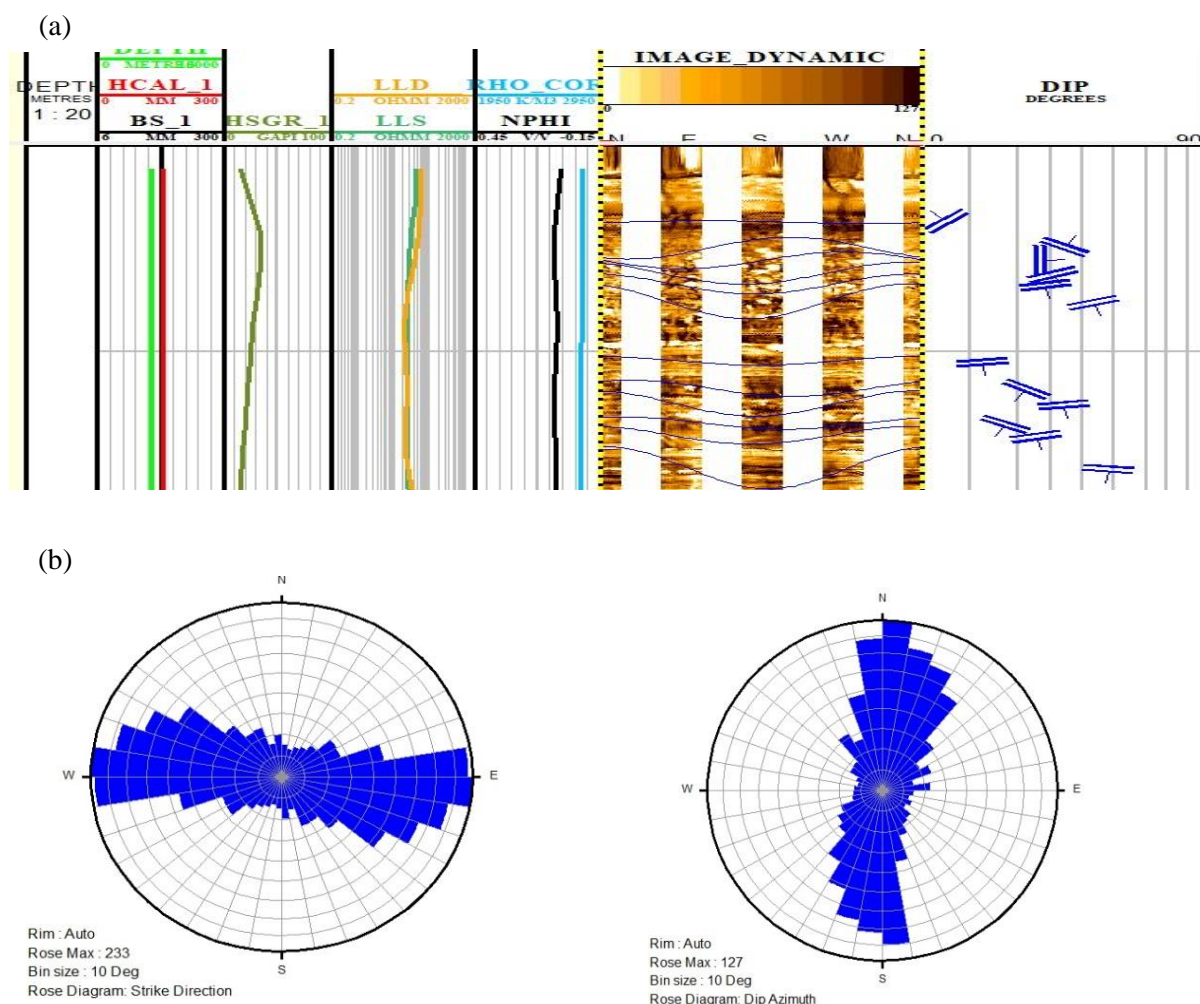
### شکستگی‌های باز

معمولا در شکستگی‌های باز سیال حفاری به داخل شکاف‌ها نفوذ کرده و یک لایه نازک و رسانا ایجاد می‌کند. دهانه این نوع از شکستگی‌ها به وسیله گل حفاری پر می‌شود و در صورتی که گل رسانا باشد مقاومتی که در این قسمت توسط نمودار تصویری ثبت می‌شود بسیار کمتر از زمینه سنگ است. به همین دلیل شکستگی باز به صورت یک موج سینوسی کامل یا ناپیوسته و تیره رنگ در نمودار تصویری مشاهده می‌شود (Khoshbakht, 2006). اگرچه بطور دقیق نمی‌توان تعیین کرد که شکستگی‌ها برای عبور جریان باز هستند یا پر شده از رس، اما فرض بر این است که همه شکستگی‌های رسانا باز هستند. بطور کلی شکستگی‌های باز توسط موادی نظیر گل حفاری، شیل و پیریت که از سازندهای اطراف رسانا ترند پر می‌شوند. به دلیل تفکیک اندازه شکستگی‌ها، ضخامت ظاهری آنها نسبت به شکاف حقیقی به میزان قابل توجهی گسترش یافته است. با توجه به اینکه شکستگی‌ها سطوح

صافی ایجاد نمی‌کنند لذا خطوط مربوط به آنها بر روی تصاویر کاملا خمیده یا مستقیم نیستند (Arzani, 2007).

با ردیابی تصویر دینامیکی FMI در چاه مورد مطالعه در مجموع تعداد ۱۸۲۹ شکستگی باز تشخیص داده شد که بخش عمده‌ای از آنها فاقد پیوستگی و بازشدگی مناسب برای شناسایی می‌باشند.

شکستگی‌های باز چاه مورد مطالعه دارای شیبی متغیر با آزیموت بین ۱۷۰ تا ۲۱۰ درجه از شمال است. در این چاه برای شکستگی‌های باز، دو دسته اصلی در نظر گرفته شد. دسته اول که پراکندگی شکستگی در آن نسبت به دسته دیگر بیشتر است در جهت N-S و دارای امتداد SE-NW35 می‌باشد. دسته دوم نیز در جهت N-S و دارای امتداد NE-SW85 می‌باشد. در شکل ۶a دو دسته اصلی شکستگی قرائت شده مشخص است و نیز شیب و امتداد آنها در شکل ۶b قابل مشاهده است.



شکل ۶- (a) نمونه‌ای از شکستگی‌های باز مشاهده شده در چاه مورد مطالعه و (b) شیب و امتداد شکستگی‌های باز بر روی نمودارهای گل‌سرخ و استریونت.

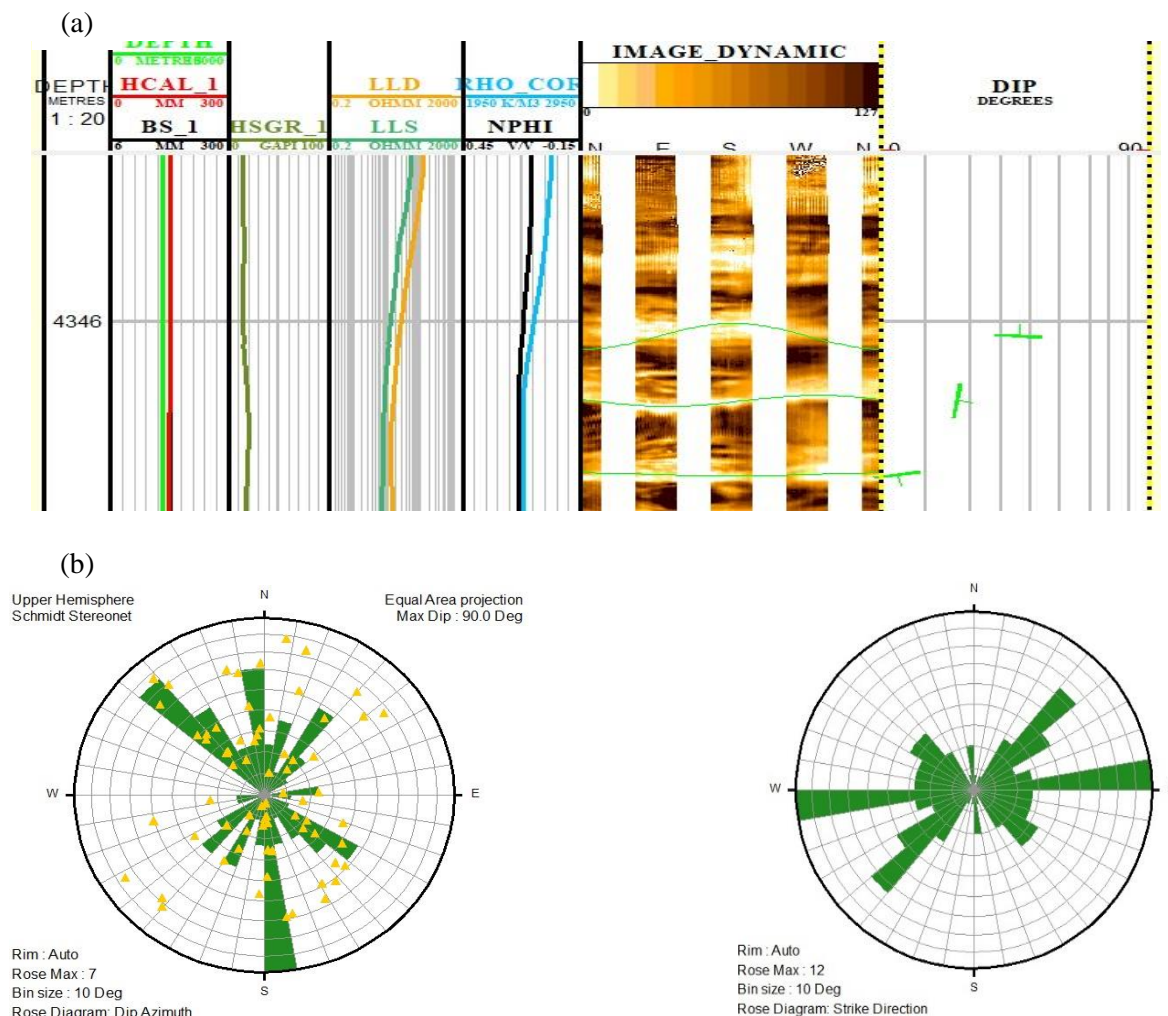
Fig. 6. (a) An example of open fractures observed in the well study and (b) dispersion, dip and strike of open fractures on rose diagram.

**شکستگی‌های مسدود شده**

شکستگی‌های پر شده به وسیله کانی‌ها به صورت پدیده‌های ریز یا بسیار ریز، کشیده و تا حدودی مستقیم با مقاومت بسیار زیاد (رنگ روشن) و به شکل عمود یا مایل در نمودار تصویری مشاهده می‌شوند. این پدیده‌ها، صور دیگر را قطع می‌کنند و همچنین ممکن است در تمامی بالشتک‌ها مشاهده نشوند. شکستگی‌های مسدود شده از محیط اطرافشان مقاوم‌تر هستند و حداقل ضخامت ظاهری آنها که توسط نمودار تصویری قابل تشخیص است به اندازه پهنای یک الکتروود (۵ الی ۶ میلی‌متر) است. بسته به اختلاف مقاومت میان سیمان در دهانه شکستگی و سنگ میزبان، اثر هاله می‌تواند ظاهر شود که یکی از نشانه‌های اصلی شناسایی شکستگی‌های مسدود شده هستند. در توجیه این پدیده می‌توان گفت پراکندگی جریان تزریق شده به دیواره چاه در

محل شکستگی‌های مایل باعث ایجاد چنین حالتی می‌شود (Khoshbakht, 2006).

بطور کلی این نوع شکستگی‌ها در گذشته باز بوده‌اند اما به مرور زمان سیمان‌های مقاومی نظیر سیمان سیلیسی و سیمان کلسیتی توسط سیالات درون شکستگی ته نشین شده و باعث مسدود شدن آنها می‌شود. عموماً سطوح سیمانی شده نمایانگر موانع تراوایی در مقابل جریان سیال است اما در حالتی که دارای گسترش جانبی و به یک لایه ناتراوا منتهی شوند می‌توانند به عنوان تله‌های کوچک موضعی عمل کنند (Ghaem Panah, 2005). در چاه مورد مطالعه زمینه سنگ متراکم و دارای مقاومت الکتریکی بالایی است بنابراین در بیشتر موارد اثر هاله در اطراف این شکستگی‌ها ضعیف می‌باشد. در شکل ۷a نحوه تعیین شکستگی‌های بسته نشان داده شده است. در کل ۶۹ عدد شکستگی مسدود شده تشخیص داده شد که میزان شیب و جهت آنها در شکل ۷b قابل مشاهده است.



شکل ۷- (a) نمونه ای از شکستگی‌های مسدود شده مشاهده شده در چاه مورد مطالعه و (b) پراکندگی، شیب و امتداد شکستگی‌های مسدود شده بر روی نمودارهای گل‌سرخ و استریونت.

Fig. 7. (a) An example of closed fractures observed in the well study and (b) dispersion, dip and strike of closed fractures on rose diagram.

**گسل**

گسل خصوصیاتى مانند شکستگی دارد و بطور کلی نوعی از شکستگی است که در امتداد آنها جابه‌جایی رخ داده باشد. گسل‌ها معمولاً با یک صفحه گسل کاملاً فرونشسته مشخص می‌شوند که در بعضی موارد یک زون پیچیده‌ای است که شامل چندین صفحه گسل و همراه با شکستگی و برش است. بیشترین ویژگی تشخیصی صفحات بستر مربوط به گسل است (Luthi, 2001). در حالتی که جابه‌جایی بیشتر از قطر چاه باشد نمی‌توان آنها را در نمودار تصویری مشاهده نمود لذا استفاده از شواهد غیر مستقیمی نظیر تغییر ناگهانی در شیب و امتداد لایه‌ها، تغییر ناگهانی در جهت‌یابی چاه، جابه‌جایی روند تنش‌ها و غیره پیشنهاد می‌شود (Khoshbakht, 2006).

همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است در فواصل چاه مورد مطالعه مجموعاً ۲ عدد گسل احتمالی شناسایی شد که هر دو آنها باعث تغییر شیب و تغییر بافت ناگهانی سازند شده‌اند. همچنین این گسل‌ها باعث قطع شدگی و تکرار شدگی لایه‌ها در قسمت‌هایی از مخزن گردیده‌اند. در جدول ۱ مشخصات گسل‌های احتمالی شناسایی شده آورده شده است.

**استیلولیت**

استیلولیت‌ها محصول فشار انحلالی در محل تماس دانه‌ها هستند که به صورت دندانه‌ای و با گسترش جانبی در سنگ‌های کربناته دیده می‌شوند و بیانگر تنش موضعی در سنگ‌های کربناته هستند. از آنجا که استیلولیت‌ها روی جریان سیال اثر دارند همیشه مورد توجه بوده‌اند. استیلولیت‌ها عوارض دندانه‌ای شکل و نتیجه فشار انحلالی بین دانه‌ها هست و از دیدگاه کیفیت مخزنی و مطالعات تنش دیرینه به شدت حائز اهمیت هستند (Yosefi et al., 2019).

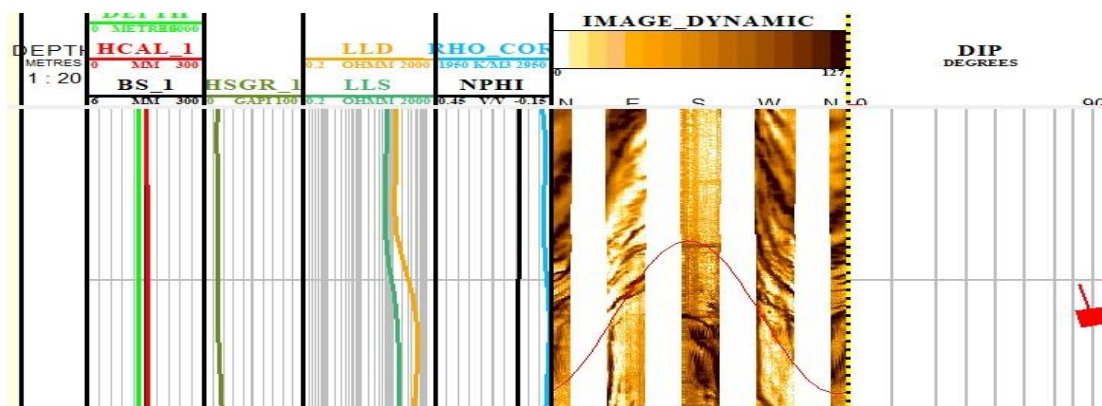
اصلی‌ترین مواد پرکننده آنها کانی‌های رسی هستند که به دلیل رسانایی بالای الکتریکی در نمودار تصویری به صورت تیره رنگ مشاهده می‌شوند. در برخی مواقع در صفحه استیلولیت مواد نارسانا مانند مواد هیدروکربنی یا دانه‌های کوارتز تجمع می‌یابد که در این حالت صفحه استیلولیت روشن‌تر از زمینه‌سنگ است (Khoshbakht, 2006).

استیلولیت‌های شناسایی شده در چاه مورد مطالعه در کل ۱۲ عدد هستند که بیشتر آنها دارای دامنه کوتاه و موازی لایه‌بندی هستند. شکل ۹ نتایج حاصل از مطالعه این پدیده‌ها در سازند سفیدزخور نشان داده شده است. همانطور که مشخص است این پدیده‌ها در جهات مختلفی قرار دارند. امتداد استیلولیت‌های تفسیر شده در این منطقه تقریباً مشابه با سطوح لایه‌بندی است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این پدیده‌ها بطور عمده از فشار طبقات بالایی ایجاد شده‌اند.

جدول ۱- مشخصات گسل‌های احتمالی شناسایی شده در چاه مورد مطالعه.

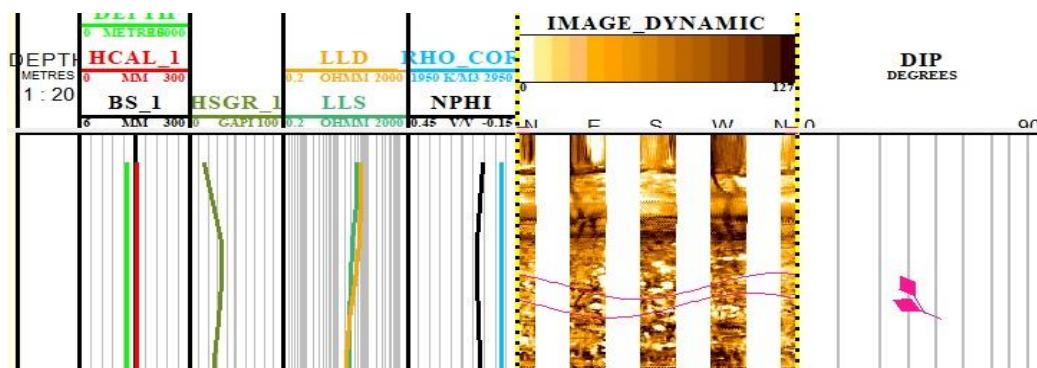
Table 1. Characteristics of potential faults identified in the well study.

Depth	Dip	Azimuth True	Strike	Identification
4459.178	79.02	346.3	N35E-S35W	Texture change and gradient sudden
4649.797	85.98	308.0	N75E-S75W	Texture change and gradient sudden



شکل ۸- نمونه‌ای از گسل احتمالی مشاهده شده در چاه مورد مطالعه.

Fig. 8. An example of possible faults identified in the well study.



شکل ۹- نمونه‌ای از استیلولیت‌های مشاهده شده در چاه مورد مطالعه.

Fig. 9. An example of stylolites observed in the well study.

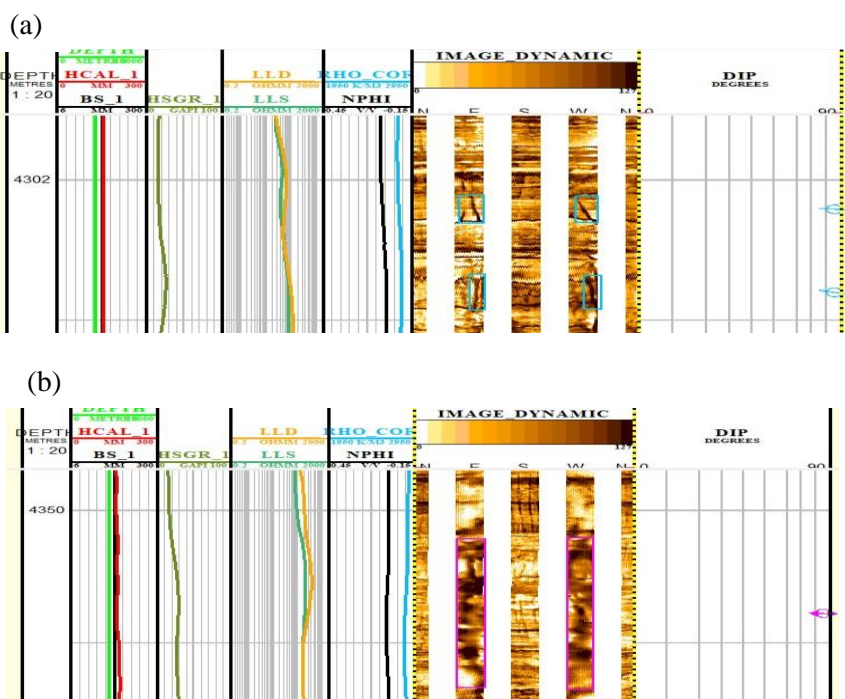
زمین‌شناسی، عمق، فشار منافذ، ضریب اصطکاک و استحکام سنگ بستگی دارد (Schwartz, 2006).

هنگامی که یک گمانه حفاری می‌شود رژیم تنش به دلیل حذف مواد سنگی به شدت تغییر می‌کند. در نواحی که فعالیت‌ها و حرکات تکتونیکی وجود داشته باشد مقادیر تنش‌های اصلی با هم متفاوت خواهد بود. بطور کلی حرکت صفحات تکتونیکی جهت‌یابی محورهای تنش در منطقه را تعیین می‌کند. اگرچه در برخی مواقع تنش‌های محلی باعث برهم‌نش تنش‌های محلی حاصل از حرکات صفحات می‌شود اما معمولاً منشأ تنش‌های محلی چین‌خوردگی، دیاپیرسم، گسل خوردگی و ... است (Zoback, 1992).

### تجزیه و تحلیل تنش‌های برجا

تنش‌های برجا به معنی تنش‌های طبیعی بدون آشفته‌گی مصنوعی (فعالیت‌های انسانی) هستند (Heidbach et al., 2016). تنش‌های برجا در مخازن شکستگی و سایر مخازن زیرسطحی بر خواص مخزن (تخلخل و تراوایی) و عملکرد آن تاثیرگذار می‌باشد. علاوه بر این، نقش مهمی در مسائل مربوط به ثبات گمانه، بهره‌وری و تزریق دارند. بنابراین نیاز به توصیف این تنش‌ها و الگوبرداری از تاثیر آنها بر خصوصیات و عملکرد مخزن وجود دارد (Ameen, 2003).

تنش‌های تکتونیکی در طول سطح زمین و همچنین پوسته زمین فعال هستند. بزرگی این تنش‌ها به عواملی مانند فرایندهای



شکل ۱۰- (a) نمونه‌ای از شکستگی کششی ناشی از حفاری و (b) برک‌اوت‌های مشاهده شده در چاه مورد مطالعه.

Fig. 10. (a) An example of a tensile fracture caused by drilling (b) breakout observed in the well study.

باشد مقدار تنش که گل حفاری در اعماق به دیواره وارد می‌کند بیشتر از تنش بیشه در آن عمق است، لذا در دو قسمت متقابل دیواره چاه شکستگی‌های کششی به وجود خواهد آمد که شکستگی القایی در اثر حفاری نامیده می‌شود (Khoshbakht, 2006).

با استناد بر تفسیر انجام گرفته در اعماق مختلفی از چاه مورد مطالعه شکستگی‌های برشی یا پرکاوته‌ها حضور داشتند و در مجموع تعداد ۱۴۰ عدد از این نوع شکستگی شناسایی شد. همچنین تعداد ۱۲۸ عدد شکستگی کششی یا شکستگی‌های حاصل از عملیات حفاری شناسایی شده است.

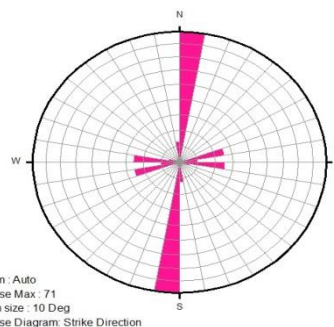
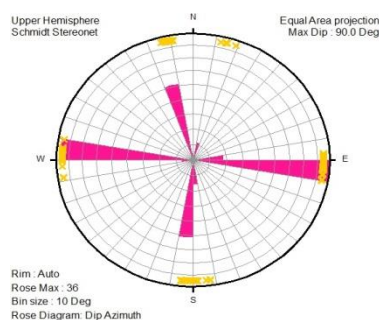
در حالی که وزن گل حفاری خیلی پایین باشد مقدار تنش حلقه که توسط تنش‌های منطقه‌ای به دیواره چاه وارد می‌شود بیشتر از تنش وارده به دیواره توسط گل حفاری است در نتیجه گسیختگی برشی در دیواره چاه به وجود آمده و به مرور زمان باعث ریختگی در دو قسمت متقابل از دیواره چاه می‌شود که ریختگی یا پرکاوته نامیده می‌شود. پرکاوته‌ها یک تغییر هندسی در گمانه هستند و تا زمانی که تنش‌ها به اندازه کافی کاهش یابد و شکستگی متوقف شود رشد می‌کند. روش‌های تصویربرداری برای آنها بسیار حساس نیستند، زیرا بالشتک‌ها تنها قسمت‌های بیرون زده را دنبال می‌کنند. زمانی که وزن گل حفاری زیاد

جدول ۲- مشخصات شکستگی‌های القایی شناسایی شده در چاه مورد مطالعه.

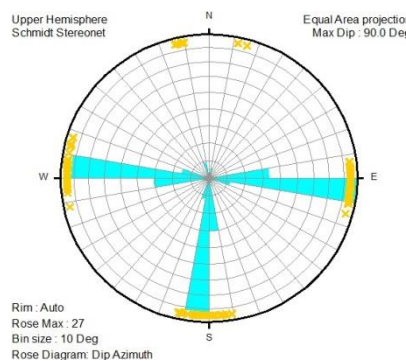
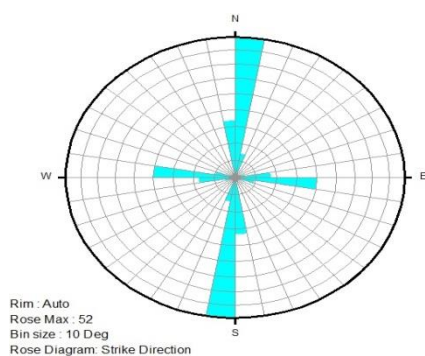
Table 2. Characteristics of drilling-induced fracture in the well study.

Drilling-induced fracture	Selected Dips	Mean Dip	Mean Azimuth
Borehole Breakout	140	90 Deg	125 Deg
Tensile Fracture	128	80 Deg	121 Deg

### Borehole Breakout



### Tensile Fracture



شکل ۱۱- پراکندگی، شیب و امتداد پرکاوته‌ها و شکستگی‌های کششی ناشی از حفاری بر روی نمودارهای گل‌سرخ و استریونوت در چاه مورد مطالعه.

Fig. 11. dispersion, dip and strike of breakout and tensile fracture caused by drilling on rose diagram in the well study.

لایه بندی است، بدین ترتیب می توان نتیجه گرفت که این عوارض از فشار طبقات بالایی ایجاد شده اند و از نوع چینه ای می باشند.

- در فواصل چاه مورد مطالعه در مجموع ۲ عدد گسل احتمالی با امتداد NE-SW35 و NE-SW75 شناسایی شد که انتظار می رود هر دو آنها باعث تغییر شیب و تغییر بافت ناگهانی سازند شده باشند.

- با استفاده از تصویر دینامیکی FMI در مجموع تعداد ۱۸۲۹ شکستگی باز تشخیص داده شد که بخش عمده ای از آنها فاقد پیوستگی و باز شدگی مناسب برای شناسایی می باشند. این نوع از شکستگی ها دارای شبیهی متغیر با آزیموت بین ۱۷۰ تا ۲۱۰ درجه از شمال است.

- در چاه مورد نظر برای شکستگی های باز دو دسته اصلی در نظر گرفته شد. دسته اول که پراکندگی شکستگی ها در آن بیشتر است در جهت N-S و دارای امتداد SE-NW35 می باشد. دسته دوم در جهت N-S و دارای امتداد NE-SW85 است.

- در مجموع تعداد ۶۹ عدد شکستگی بسته در چاه مورد مطالعه قابل تشخیص است. زمینه سنگ متراکم و دارای مقاومت الکتریکی بالایی است بنابراین در بیشتر موارد اثر هاله که مشخصه اصلی اینگونه از شکستگی ها هست در اطراف آنها ضعیف می باشد.

- در اعماق مختلفی از چاه مورد مطالعه تعداد ۱۴۰ عدد شکستگی برشی یا برکوت ها با امتداد NW-SE و هم راستا با روند معمول زاگرس (شمال شرقی - جنوب غربی) حضور دارند. همچنین تعداد ۱۲۸ عدد شکستگی کشتی یا شکستگی های حاصل از عملیات حفاری شناسایی شد که مانند ریزش های دیواره چاه دارای امتداد NW-SE می باشند.

### سپاس گذاری

از آقای دکتر محسن عزتی و مهندس آرش امیری به جهت مساعدت ها و راهنمایی های گسترده نهایت تشکر و سپاس را داریم.

بر اساس این نمودارها برکوت های شناسایی شده در چاه مورد مطالعه که بیانگر جهت کمترین تنش وارده بر حفره چاه ( $\sigma_h$ ) هستند دارای امتداد NW-SE و هم راستا با روند معمول زاگرس (شمال شرقی - جنوب غربی) می باشند. همچنین شکستگی های کشتی که نشان دهنده تنش افقی حداکثر ( $\sigma_H$ ) هستند مانند ریزش های دیواره چاه دارای امتداد NW-SE می باشند.

### نتیجه گیری

این مطالعه با هدف بررسی مکانیزم شکستگی ها و تعیین جهت یابی تنش های برجا در منطقه انجام گرفته است. لاگ تصویری FMI می تواند اطلاعات مفیدی درباره ساختارهای زمین شناسی، ویژگی های رسوبی و بافت سنگ، آنالیزهای ژئومکانیکی، برنامه های کامل مغزه گیری و آزمایشی سازند ارائه دهد. داده های مورد استفاده در این مطالعه با کمک نرم افزار ژئولاگ علاوه بر یک مجموعه استاندارد از لاگ های پتروفیزیکی، از تصاویر الکتریکی FMI گمانه استفاده شده است که با کمک این نمودارها می توان یک مدل سازی از مخزن و چاه های اطراف آن ایجاد نمود.

- تعداد ۴۳۰ لایه بندی در چاه مورد مطالعه شناسایی شد که بیشتر آنها در فواصل نمودارگیری با اطمینان بالا تشخیص داده شدند. همچنین در بعضی اعماق تغییرات بافت سازند مشاهده شد که این مرز لایه بندی را مشخص می کند.

- بررسی استیلولیت های شناسایی شده در نمودارهای گل سرخی و استریون نشان داد که این پدیده ها در کل ۱۲ عدد هستند و بیشتر آنها دارای دامنه کوتاه در جهات مختلف و موازی لایه بندی می باشند. امتداد استیلولیت های تفسیر شده در این منطقه تقریباً مشابه با سطوح

### منابع

- Abtahi, T., 2008. Introducing a Sefidzakhor Field - Dehram Reservoir, Internal Report 2 p.
- Ahmadi, M., 2006. Use of Micrologs and Electrical Borehole Images for Fracture Detection, Natural Buttes Field, Uinta Basin, Utah, p. 204.
- Ameen, M.S., 2003. Fracture and In-Situ Stress Characterization of Hydrocarbon Reservoirs: Definitions and Introduction. Geological Society Special Publication 209, 1-6.
- Arzani, A., 2007. Structural analysis of Ahwaz oil field with a special focus on its fractures, Report 1, 249p.
- Ezati, M., Azizzadeh, M., Riahi, M.A., Fattahpour, V., Honarmand, J., 2018. Characterization of Micro-Fractures in Carbonate Sarvak Reservoir, Using Petrophysical and Geological Data, SW Iran. Journal of Petroleum Science and Engineering 170, 675-95.
- Heidbach, O., Barth, A., Muller, B., Reinecker, J., Stephansson, O., Tingay, M., Zang, A., 2016. Scientific Technical Report 16-01 WSM Quality Ranking Scheme, Database Description and Analysis Guidelines for Stress Indicator.
- Khoshbakht, F., Rasaie, M.R., Shekarifard, A., 2016. Investigating Induction Log Response in the Presence of Natural Fractures. Journal of Petroleum Science and Engineering 145, 357-69.
- Luthi, S.M., 2001. Marine and Petroleum Geology Geological Well Logs Their Use in Reservoir Modeling.
- Najafi, M., Yassaghi, A., Verges, J., Bahroudi, A., Sherkat, B., 2013. Three-dimensional structural analysis of Sefidzakhor anticline in Fars area to determine the geometry of the permo-trias gas reservoir. Advanced Applied Geology 3(4)10-18
- Pöppelreiter, M., García-Carballido, C., Kraaijveld, M., 2010. Dipmeter and Borehole Image Log Technology. AAPG Memoir 92, 357.

- Schlumberger, 2002. Borehole Geology, Geomechanics and 3D Reservoir Modeling Brochure. Current, p. 1–12.
- Schwartz, B.C., 2006. Fracture Pattern Characterization of the Tensleep Formation, Teapot Dome, Wyoming.
- Suau, J., 1980. Fracture Detection From Well Logs, Schlumberger Inland Services , The Log Analyst 21(02), 3–13.
- Tokhmchi, B., Memarian, H., Rezaee, M.R., 2010. Estimation of the Fracture Density in Fractured Zones Using Petrophysical Logs. Journal of Petroleum Science and Engineering 72(1–2), 206–13.
- Yidirim, A., 2014. Subsurface fracture analysis using FMI logs: implications for regional state of stress prediction in the black warrior basin, Alabama, 65-561.
- Yosefi, B., Emami Meybodi, S.M.R., Sharahi, S.Y., Sedaghatnia, M., 2019. The pattern and effect of Stylolites and Stylomotels in permeability and micro porosity of carbonate rocks. Applied Sedimentology 7, 97-108.
- Zoback, M.L., 1992. First-and Second-Order Patterns of Stress in the Lithosphere: The World Stress Map Project. Journal of Geophysical Research 97(B8): 11703–11728.



©2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.