

## تحلیل شکستگی‌های مخزن آسماری یکی از میادین جنوب غرب ایران، با استفاده از نمودارهای تصویرگر OBMI، UBI و انحراف سرعت

\* بهمن سلیمانی<sup>۱</sup>، ایمان زحمتکش<sup>۲</sup>، حسین شیخزاده<sup>۳</sup>

گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز

[Soleimani3000@yahoo.com](mailto:Soleimani3000@yahoo.com)

### چکیده

در مطالعه ساختمان‌های نفتی، مطالعه شکستگی‌های سنگ مخزن در مراحل تولید و توسعه میدان بسیار مهم و ضروری است و شناسایی و تشخیص این شکستگی‌ها همواره یکی از مشکلات پیش روی زمین‌شناسان، پتروفیزیک‌ها و مهندسیین مخزن بوده است. در این مطالعه بررسی سیستماتیک شکستگی‌های مخزن آسماری در یکی از میادین نفتی ایران، با استفاده از تحلیل نمودارهای تصویری OBMI، UBI و رسم نمودار انحراف سرعت صورت گرفته است همچنین برای بررسی ارتباط قائم لایه‌ها و شکستگی‌های موجود در مخزن از نتایج آزمایشات لایه‌آزمایی مکرر نیز استفاده شده است نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که بیشترین تراکم شکستگی‌ها در زون‌های ۱، ۲۰ و ۳۰ مخزن آسماری این میدان وجود دارد و با توجه به الگوی کلی شکستگی‌های مرتبط با چین‌خوردگی، شکستگی‌ها در این مخزن به طور عمده از نوع درزه‌های طولی، مورب و عرضی می‌باشند. همچنین نتایج حاصل از آزمایشات لایه‌آزمایی مکرر حاکی از ارتباط قائم لایه‌ها در افق‌های بالایی این مخزن می‌باشد که این امر می‌تواند نشان دهنده توسعه شکستگی در جهت‌های جانبی و قائم مخزن باشد.

**واژه‌های کلیدی:** شکستگی، نمودارهای تصویرگر، نمودار انحراف سرعت، OBMI و UBI

۱. عضو هیئت علمی گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی نفت، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳. شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، اداره مطالعات

شکستگی‌ها در میادین نفتی حوزه زاگرس نقش اساسی در مهاجرت و تولید از مخازن هیدروکربوری به ویژه سازند آسماری دارد و مخازن کربناته ایران از این نظر دارای شهرت جهانی هستند (Roehl, 1985). این شکستگی‌ها عمدتاً منشأ ساختمانی داشته و در طی فازهای فشاری مربوط به کوهزایی آلپ پایانی همزمان با حرکت افقی پوسته قاره‌ای عربستان در امتداد روند کوتاه شدگی پوسته و چین خوردگی رسوبات این حوضه به وجود آمده‌اند (alavi, 2007). در مخازن کربناته، بررسی و مطالعه شکستگی‌ها اساساً از این نظر حائز اهمیت است که شکستگی‌ها تأثیر مهمی در مقدار تخلخل و تراوایی سنگ‌ها داشته و حرکت سیالات را تسهیل می‌کنند (Serra, 1998). وجود شکستگی‌ها حتی شکستگی‌های بسیار کوچک تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر نفوذپذیری دارد و آگاهی و شناخت از الگوها و نحوه توزیع آن‌ها در هر میدان امکان طراحی صحیح مکان‌های حفاری چاه‌ها را به منظور امکان افزایش تولید و بهره‌وری حداکثر از مخزن و کاهش هزینه‌ها را فراهم می‌کند. در مطالعه شکستگی‌های مخازن هیدروکربوری، به طور کلی از اطلاعات مختلفی نظیر داده‌های ساختمانی (سطح الارضی و تحت الارضی)، داده‌های حفاری، نمودارهای رانده شده در چاه‌ها، داده‌های مغزه‌ها، اطلاعات تولیدی چاه‌ها و داده‌های دینامیکی مخزن استفاده می‌گردد (Tampson, 2000). بهترین روش برای تشخیص شکستگی‌ها، تصویرگرها می‌باشند. این تصویرگرها عمق بررسی بسیار پایینی دارند. در گل حفاری پایه آبی از (Full-bore Formation Micro Imager) FMI و در گل حفاری پایه روغنی از (Oil) OBMI و Base Mud Imager (Ultrasonic Borehole Imager) UBI استفاده می‌شود، که به طور کلی OBMI برای تعیین شیب ساختاری و ساختارهای رسوبی و UBI برای تعیین شکستگی‌ها مناسب است (Schlumberger, 2003). در نهایت با تلفیق اطلاعات فوق الذکر و از طریق روش‌های آماری و ریاضی، ساز و کار ایجاد شکستگی‌ها، روند عمومی و الگوی شکستگی‌های غالب و تأثیر آن‌ها بر تراوایی مخزن تعیین می‌شود. این الگو در ارتباط مستقیم با رژیم تکتونیکی حاکم بر منطقه می‌باشد. استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی از دیگر روش‌های موثر در شناسایی شکستگی‌ها است اما بایستی توجه داشت که هیچ نموداری به تنهایی نمی‌تواند نشان دهنده شکستگی‌ها باشد به نحوی که شناسایی شکستگی‌ها توسط ابزارهای چاه‌پیمایی متداول، نیاز به استفاده ترکیبی از نمودارها دارد (Martinz, 2002). نمودارهای چاه‌پیمایی نظیر صوتی و نوترون-تخلخل ابزار مفیدی برای پیش بینی سنگ شناسی از طریق خواص فیزیکی در چاه‌های فاقد مغزه هستند (Raymer, et al., 1980). در این نمودارهای با استفاده از معادله میانگین سرعت وایلی (Wyllie et al., 1956) میزان تخلخل قابل محاسبه است (Schlumberger, 1972, 1974; Asquith, 1985; Kamel, and Mohamed, 2006). معمولاً استفاده از نمودار صوتی نسبت به نمودارهای چگالی و تشعشعی بدلیل هزینه کمتر، سریعتر و مسایل ایمنی بیشتر ترجیح داده می‌شود (Paillet and Cheng, 1991). زیرا توزیع سرعت صوت الگوی انعکاس لرزه‌ای را کنترل می‌نماید. در این زمینه لاگ انحراف سرعت پیشنهاد می‌شود. نمودار انحراف سرعت که از ترکیب نمودار صوتی با نمودار تخلخل نوترون و یا نمودار چگالی به دست می‌آید، ابزاری مناسب برای تشخیص تخلخل‌های اصلی در کربنات‌ها محسوب می‌شود. بررسی‌های آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های کربناته نشان داده است که سرعت صوت نه تنها تابع میزان تخلخل است، بلکه به نوع تخلخل نیز بستگی دارد. علیرغم اینکه تخلخل و سرعت رابطه معکوس دارند، نوع تخلخل موجود نیز، این رابطه را تغییر می‌دهد به همین دلیل، برای یک تخلخل خاص، انحراف مشخصی در نمودار سرعت ایجاد می‌شود (Anselmetti & Eberli, 1999).

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱ - تصویرگر مقاومتی سازند پایه روغنی (OBMI) و تصویرگر مافوق صوتی دیواره چاه (UBI)

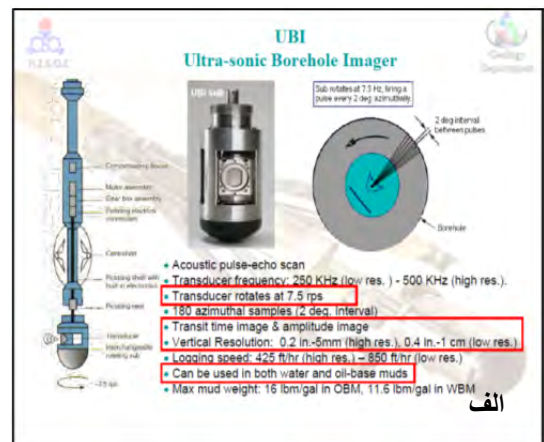
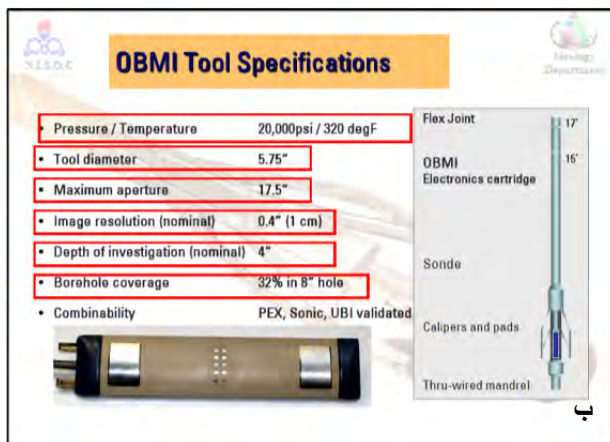
استفاده از گل‌های روغنی در حفاری خطرات عملیات حفاری را به طور اساسی کاهش و بازدهی را به نحو محسوسی افزایش می‌دهد و در عین حال امکان کاربرد دستگاه‌های FMI را نیز از بین می‌برد. همین موضوع و اهمیت بیش از حد نوع

گل حفاری باعث شده است تا دستگاه‌های تصویرگر جدیدی با کاربرد در گل روغنی ساخته شوند. دو دستگاه UBI و OBMI حاصل این تلاش بوده است (شکل ۱). دستگاه FMI قابلیت راندن در گل‌های نمکی را دارد (فاز رسانا بیشتر از ۸۰ درصد است) بنابراین در حالتی که گل روغنی باشد از ترکیب دو دستگاه OBMI و UBI استفاده می‌شود. دستگاه OBMI چهار بالشتک و ۴۰ الکتروود با دقت عمودی ۰,۴ اینچ دارد. در دو انتهای هر بالشتک، دو الکتروود قرار دارد که جریان را به درون گل ارسال می‌کنند. در وسط این بالشتک، دو ردیف و در هر ردیف پنج الکتروود وجود دارد. این الکتروودها اختلاف پتانسیل ایجاد شده در گل را بر اثر این جریان اندازه‌گیری می‌کنند. این اختلاف پتانسیل بر اساس فرمول مقاومت زیر اندازه‌گیری می‌شود (Serra, 1998).

$$R = K \frac{dv}{I}$$

K=geometrical factor

خروجی این دستگاه همانند دستگاه FMI به گونه‌ای است که نواحی مقاومت بالا به صورت روشن و نواحی با مقاومت پایین به رنگ تیره مشخص می‌شود. باید متذکر شد OBMI همه شکستگی‌ها چه بسته یا باز را نشان می‌دهد، اما این دو شکستگی را از یکدیگر تشخیص نمی‌دهد. بنابراین برای تکمیل اطلاعات مربوط به شکستگی‌ها و وضعیت دیواره چاه، باید دستگاه دیگری به نام UBI به همراه OBMI در چاه وارد می‌شود. این دستگاه بر اساس ارسال موج صوتی با یک ارسال کننده دورانی (تعداد ۱۸۰ پالس در هر چرخش و تقریباً ۷,۵ چرخش در هر ثانیه) به سمت دیواره چاه کار می‌کند و دامنه و زمان موج برگشتی را اندازه‌گیری می‌کند. برای تشخیص شکستگی‌های باز و بسته با استفاده از نمودارهای تصویرگر OBMI و UBI ابتدا باید شکستگی‌ها را بر روی نمودار OBMI مشخص کنیم این شکستگی‌ها ممکن است باز یا بسته باشند با این وجود هر دو دسته بر روی نمودار به رنگ روشن دیده می‌شوند. در ادامه باید همین شکستگی را بر روی نمودار UBI ردیابی کنیم چنانچه بر روی این نمودار به رنگ تیره دیده شود شکستگی مذکور باز می‌باشد در غیراینصورت بسته محسوب می‌شود.



شکل ۱- نمایش شماتیک دستگاه UBI (شکل الف) و دستگاه OBMI (شکل ب) به همراه ویژگی‌های هر دستگاه

## ۲-۲- تعریف شکستگی‌ها و مفاهیم مربوط به آن

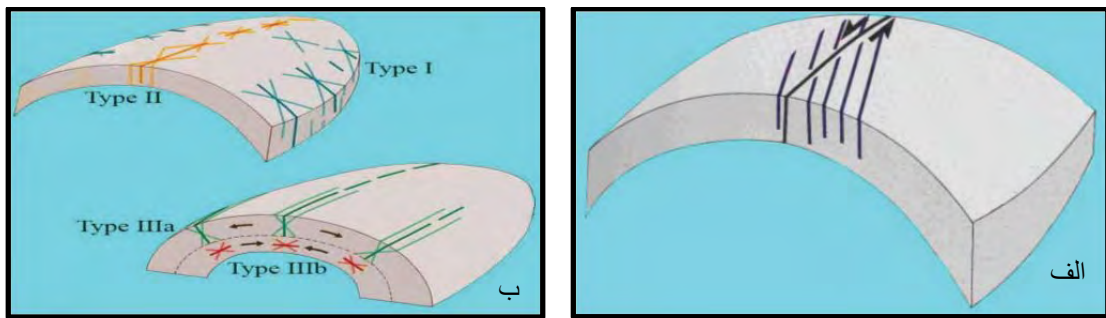
واژه شکستگی به هرگونه گسیختگی یا ناپیوستگی فیزیکی در سنگ اطلاق می‌شود که از حد آستانه مقاومت سنگ گذشته باشد (fossen, 2010). شکستگی‌ها، درزها و گسل‌ها را شامل می‌شوند. تفاوت این دو دسته، در جایجایی یا سکون صفحات است. منشأ سیستم‌های شکستگی را می‌توان از طریق شیب، امتداد، مورفولوژی، فراوانی نسبی و روابط زاویه‌ای را می‌توان از طریق داده‌های مغزه جهت‌دار و نمودارهای تصویرگر به دست آورد. شکستگی‌ها را براساس روند، گسترش، مورفولوژی و رژیم تکتونیکی محلی به دو دسته تقسیم می‌کنند (Stearns, 1968):

## ۲-۲-۱- سیستم شکستگی‌های وابسته به گسل خوردگی

در این سیستم صفحه گسل توسط صفحات برش تعریف می‌شوند و می‌توان جهت تنش حداکثر ( $\delta_1$ ) را نیز به دست آورد. فراوانی و نوع شکستگی‌های مجاور گسل به صورت ذیل می‌باشد (شکل ۲.الف). شکستگی‌های برشی نسبت به گسل موازی و حالت مزدوج دارند. شکستگی‌های کششی با زاویه حاده در بین شکستگی‌های مزدوج قرار می‌گیرند. در این سیستم شدت شکستگی‌ها بستگی به لیتولوژی، فاصله تا گسل، میزان جابجایی در دو طرف صفحه گسل، مجموع کل میزان تغییر شکل در توده سنگ، عمق تدفین و نوع گسل دارد.

## ۲-۲-۲- سیستم شکستگی‌های وابسته به چین خوردگی

تاریخچه تنش و تغییر شکل در طی ایجاد و رشد یک چین و سپس توسعه شکستگی‌ها در آن بسیار پیچیده است. اما الگوهای ساختاری حاکم بر هر منطقه و روابط حاکم بر این الگوها در شناخت و درک این عوامل بسیار سودمند هستند. بنابراین مادامی که وضعیت و شدت این دسته شکستگی‌ها با شکل و روند چین همخوانی داشته باشد. می‌توان آن‌ها را در این رده قرار داد. (Stearns, 1968) هندسه شکستگی‌های وابسته به چین خوردگی را توصیف نمود (شکل ۲، ب).

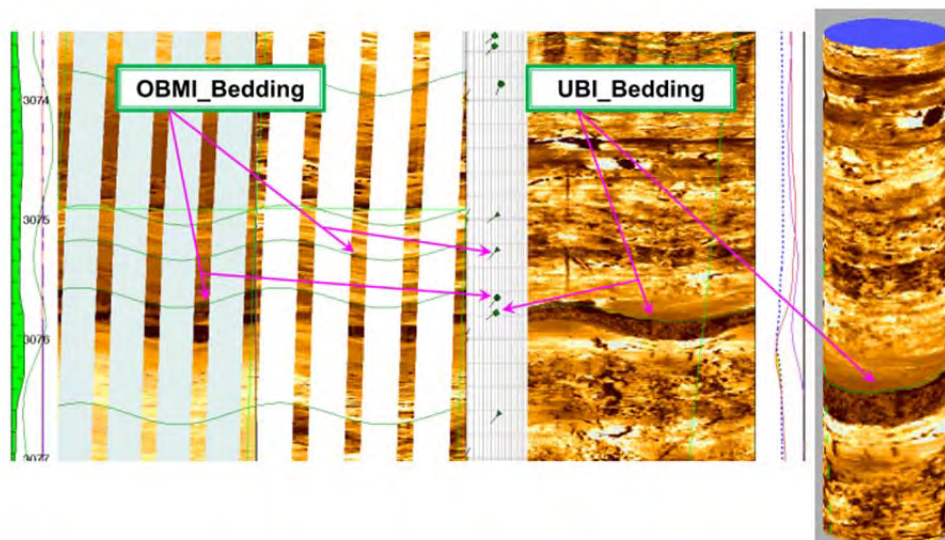


شکل ۲- (الف) سیستم شکستگی‌های مربوط به گسلش و (ب) سیستم شکستگی‌های مربوط به چین خوردگی (Stearns, 1968)

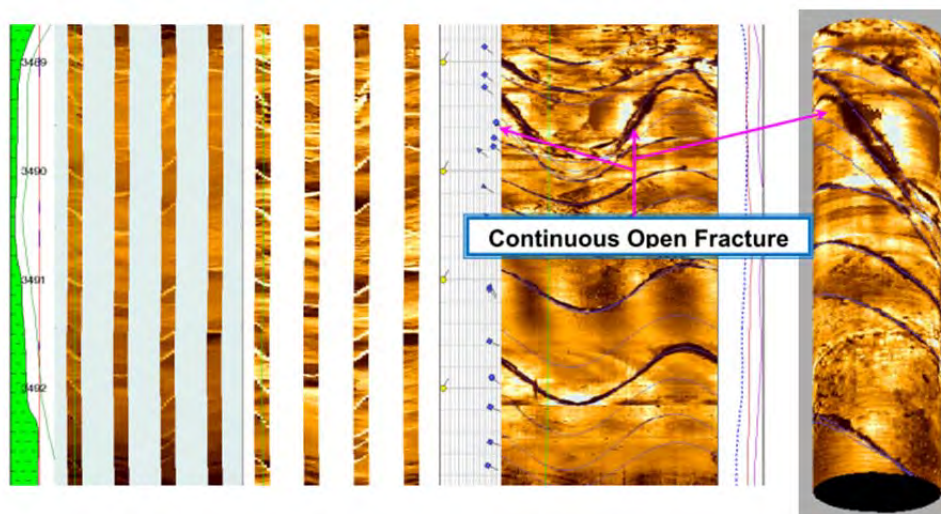
## ۲-۳- آنالیز شکستگی‌ها

شکستگی‌ها ساختارهای صفحه‌ای هستند که در امتداد آن‌ها هیچ جابجایی ظاهری دیده نمی‌شود. به طور کلی این ساختارها در رژیم کششی و چرخشی دارای شیب تندتری هستند. در حالیکه در رژیم تراکمی می‌توانند کمتر از ۳۰ درجه شیب داشته باشند. ممکن است دهانه شکستگی‌ها باز باشد. یا اینکه با بعضی از کانی‌ها نظیر رس، کلسیت، انیدریت، پیریت و غیره پر شود (Serra, 1989). در تصاویر OBMI، بخش‌های رسانا (همانند شیل، استیلولیت یا رگه‌های انحلالی پر شده با رس، تخلخل یا شکستگی باز) به صورت رنگ خاکستری تیره یا سیاه ظاهر می‌شوند. در صورتی که بخش‌های مقاوم (مانند آهک‌های متراکم، ماسه سنگ یا انیدریت) به صورت سایه‌های زرد روشن یا سفید دیده می‌شوند (شکل ۳ و ۴). شکستگی‌های باز به خاطر ورود گل رسانا به صورت ساختارهای خطی تیره دیده می‌شوند که زاویه زیادی نسبت به سطح لایه‌بندی دارند. شکستگی‌های بسته یا سیمانی شده نیز به خاطر کلسیت یا انیدریت پرکننده آن‌ها به صورت ساختارهای خطی تیره مشاهده می‌شوند. فاکتورهای زیادی روی کیفیت تصاویر تأثیر می‌گذارند که باید قبل از تفسیر، اثر آن‌ها را تصحیح نمود. این فاکتورها عبارتند از: تغییر سرعت ابزار نسبت به سرعت لوله حفاری یا کابل و گیر کردن ابزار. برای افزایش جزئیات ساختارهای سازندی، تصاویر را تعدیل و نرمالیزه می‌کنند. دو نوع نرمالیزه استاتیک و دینامیک روی تصاویر صورت می‌گیرد. در کل پدهای OBMI در طی نمودار گیری، تماس خوبی با دیواره‌های چاه برقرار می‌کنند. داده‌های خام تصاویر OBMI با استفاده از نرم افزار GeoFrame پردازش شدند (Schlumberger, 1974). شناسایی و طبقه‌بندی شکستگی‌ها با استفاده از یک ابزار تصویری با

قدرت تفکیک بالا همانند شناسایی مستقیم آن‌ها از روی مغزه ممکن است. داده‌های مورد مطالعه با استفاده از ابزار OBMI در چاه ۸/۵ اینچی لاگ‌گیری شده است. شکستگی‌های بسیار زیادی در تصاویر OBMI مشاهده شد که طبقه‌بندی آن‌ها بر اساس منشأ در ادامه آمده است.



شکل ۳- نمایش وضعیت لایه‌بندی بر روی تصاویر OBMI/UBI



شکل ۴- نمایش شکستگی‌های باز بر روی تصاویر OBMI/UBI در سازند آسماری میدان مارون

#### ۲-۴- لاگ انحراف سرعت

لاگ انحراف سرعت (Velocity Deviation log) از ترکیب لاگ صوتی با لاگ نوترون یا چگالی محاسبه می‌گردد و توسط آن می‌توان اطلاعاتی راجع به انواع تخلخل‌های اصلی در کربنات‌ها، ردیابی توزیع فضاهای خالی دیاژنتیکی و نیز پیش‌بینی روند تراوایی به دست آورد. بر اساس پاسخ حاصل از این لاگ سه زون قابل تشخیص است: زونهای با انحرافهای صفر- زونهای با انحرافهای کوچک (  $\pm 500$  m/s ) بوسیله تخلخل بین ذره‌ای، بین بلوری یا ریز تخلخل ایجاد می‌شوند.

**زونهای با انحرافهای منفی** - انحرافات منفی زمانی ایجاد می شوند که سرعت لاگ سونیک، کمتر از سرعت پیش بینی شده بوسیله معادله زمان متوسط وایلی برای همان تخلخل باشد و کاهش سرعت لاگ سونیک تحت تأثیر سه عامل، نامنظم شدن یا بهم ریختگی دیواره چاه، وجود شکستگی و محتوای گاز بوجود می آید این زونها معمولاً تراوایی بالایی از زونهای دیگر نشان می دهند.

**زونهای با انحرافهای مثبت** - این زونها سرعت نسبتاً بالایی را با توجه به تخلخل نشان می دهند و توسط تخلخل های چهار چوبی مثل قالبی و درون فسیلی ایجاد می شوند (Anselmetti, and Eberli, 1999).

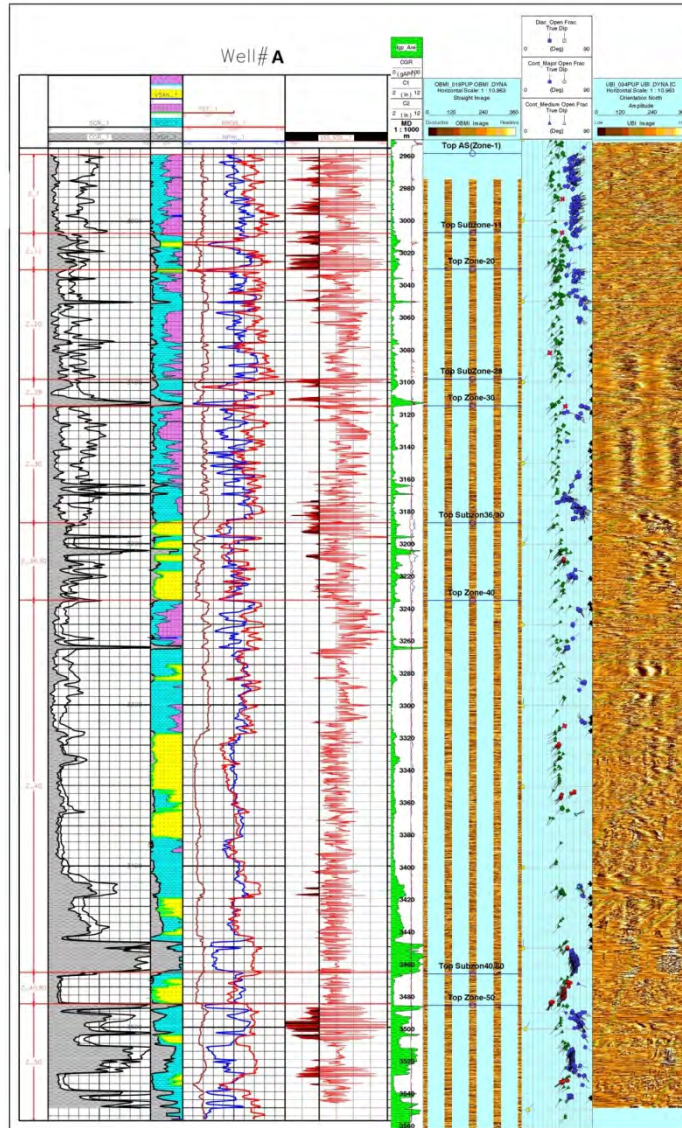
### ۳- تعبیر و تفسیر

#### ۳-۱- تحلیل ساختار و شکستگی های مخزن

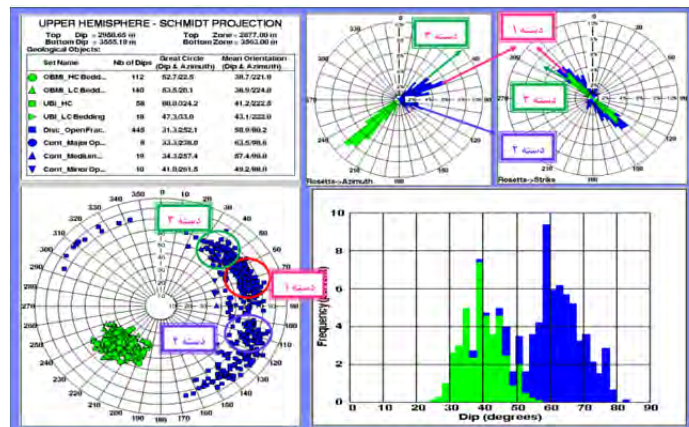
به طور کلی نمودارهای تصویرگر در بررسی و اندازه گیری پارامترهای هندسی لایه ها، گسل ها و شکستگی ها (امتداد، شیب و جهت)، تشخیص شکستگی های باز، نیمه باز و بسته (شکل ۵ و ۶)، تشخیص بخش های متراکم و نامتراکم در مخزن، تشخیص استیلولایت و انیدریت، تعیین جهت استرس های محلی و... استفاده می شود. در این مطالعه، هدف اصلی بررسی و تشخیص شکستگی های باز در گستره مخزن آسماری (به صورت جانبی و قائم) تعیین جهت و نوع آن ها، سازوکارهای ایجاد آن ها، تعیین جهت استرس های محلی و تعیین بخش های ناتراوا و متراکم در مخزن با استفاده از نرم افزار Geoframe بوده است. که این مهم با استفاده از نمودارهای تصویرگر رانده شده در دو حلقه چاه از میدان نفتی مارون انجام شده است. همچنین به منظور صحت کار در تشخیص شکستگی ها، نمودار انحراف سرعت برای هر دو چاه محاسبه و ترسیم گردیده است تا بوسیله انحراف منفی این نمودار در مقابل محدوده های دارای شکستگی بتوان مناطق شکسته را مشخص نمود. از نتایج آزمایشات لایه آزمایشی مکررنیز جهت بررسی ارتباط قائم شکستگی ها و لایه ها در مخزن استفاده شده است.

#### ۳-۲- تحلیل شکستگی چاه A

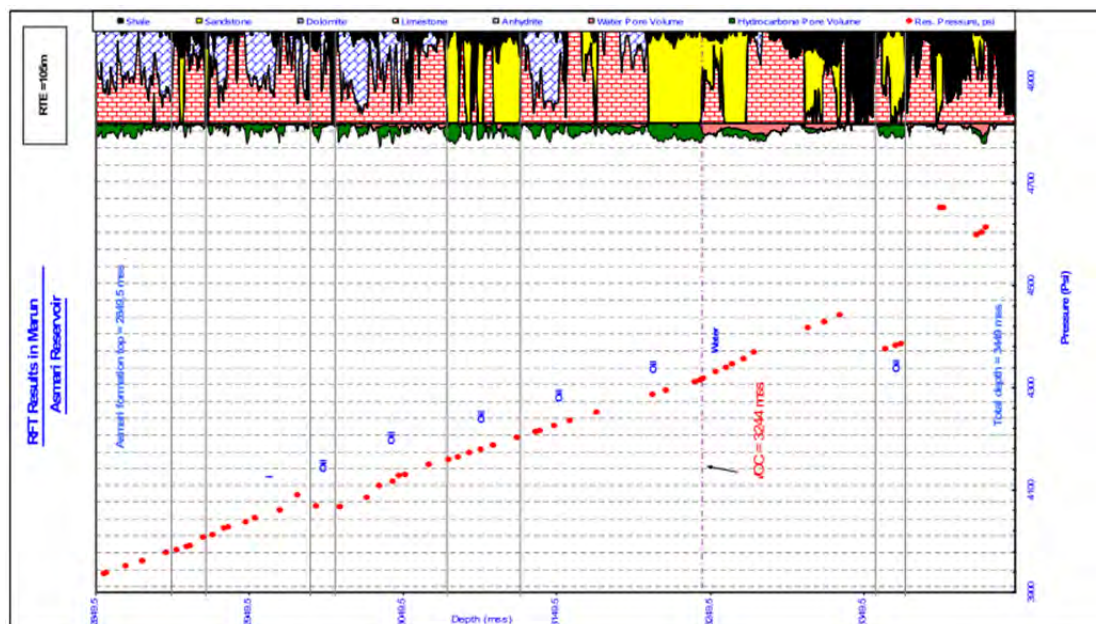
در این چاه در میان زون ها زون ۱، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ (به خصوص زون ۱) دارای تراکم بالای شکستگی می باشد در حالیکه زون ۴۰ و زیر زون های ۱۱، ۳۰، ۲۸، ۳۶ و ۸۰/۴۰ دارای تراکم شکستگی بسیار پایینی بودند (شکل ۵). همچنین در این چاه شکستگی های باز، به سه دسته با شیب یکسان ۵۸ درجه تقسیم شده اند، دسته اول به سمت  $E 70-60$  و در امتداد  $W 20-30$  شکستگی های باز، به سه دسته دوم به سمت  $E 80-65$  و در امتداد  $W 25-10$  و در نهایت دسته سوم به سمت  $E 60-50$  و در امتداد  $W 30-40$  قرار گرفته اند. این سه دسته شکستگی نسبت به لایه بندی به شکل طولی کششی، مورب و عرضی برشی قرار گرفته اند. پراکندگی این شکستگی ها و موقعیت آنها نسبت به لایه بندی بر روی نمودارهای گل-سرخ و هیستوگرام در شکل (۶) نشان داده شده است. نتایج آزمایشات لایه آزمایشی مکرر در این چاه نشان می دهد که فشار لایه های مخزنی نزدیک به هم بوده و از مقدار شیب یکنواختی تبعیت می کند که این موضوع حاکی از ارتباط فشاری قائم بین لایه های مخزن است (شکل ۷).



شکل ۵- نمودار انحراف سرعت و نتایج نمودار تصویرگر در چاه A

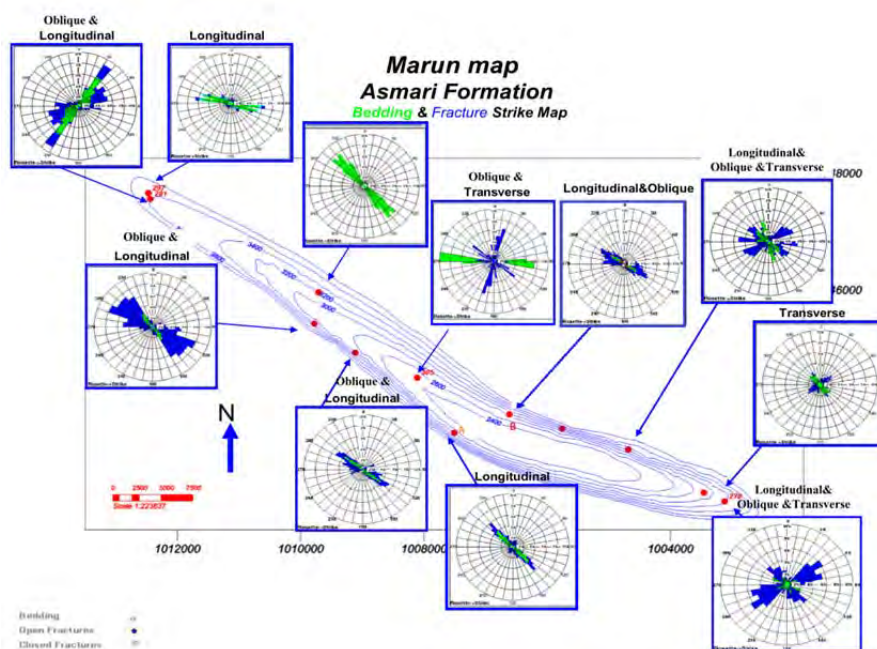


شکل ۶- مقایسه پراکندگی شکستگی‌ها نسبت به لایه‌بندی در چاه A مارون



شکل ۷- نتایج آزمایش لایه آزمایی مکرر در چاه A مخزن آسماری مارون

بر اساس نقشه‌های امتداد شکستگی و لایه‌بندی برای چاه A در این مطالعه و چاه‌های از قبل مطالعه شده میدان می‌توان به این نتیجه رسید که امتداد شکستگی‌های غالب روند N130E و از نوع شکستگی‌های طولی کششی است در صورتیکه در شمال و شمال شرق و مرکز میدان هر دو دسته شکستگی‌های مرتبط با چین‌خوردگی و خمش به صورت باز دیده می‌شود به طوریکه دسته شکستگی‌های غالب از نوع طولی کششی، عرضی عمود بر لایه‌بندی و مورب می‌باشد که نشان دهنده وجود دو سیستم موثر چین‌خوردگی و خمش در این میدان می‌باشد (شکل ۸).



شکل ۸- نمایش امتداد غالب شکستگی‌های مخزن آسماری در چاه‌های حفاری شده میدان مارون با استفاده از اطلاعات نمودارهای تصویرگر



## ۴- نتیجه‌گیری

۱- بر اساس نقشه‌های امتداد شکستگی و لایه‌بندی برای چاه‌های A در این مطالعه و چاه‌های از قبل مطالعه شده این میدان می‌توان به این نتیجه رسید که امتداد شکستگی‌های غالب روند N130E واز نوع شکستگی‌های طولی کششی است در صورتیکه در شمال و شمال شرق و مرکز میدان هر دو دسته شکستگی‌های مرتبط با چین-خوردگی و خمش به صورت باز دیده می‌شود

۲- علاوه بر ارتباط محدوده‌های مستعد شکستگی مخزن آسماری میدان مارون با عوامل چین‌خوردگی و خمش می‌توان به نقش خواص سنگ‌شناسی لایه‌ها در محدود کردن گسترش این شکستگی‌ها در زون‌های بالایی مخزن نام برد به طوریکه زون‌های ۱ و ۲۰ بشدت دولومیتی (با شکستگی بیشتر)، زون ۳۰ دولومیتی متخلخل و ضخیم‌تر، در نتیجه شکنندگی کمتر وزون ۴۰ به دلیل ماهیت شیلی از شکستگی کمتری نسبت به افق‌های بالاتر برخوردار است.

۳- در سازند آسماری میدان مارون زون‌های ۱، ۲۰ و ۳۰ بیشتر از جنس آهک‌های دولومیتی بوده که به‌ویژه زون یک ۹۰ درصد دولومیتی می‌باشد، بنابراین تراکم شکستگی‌ها به‌خصوص در زون یک بیشتر بوده و در زیرزون-های ۴۰ و ۵۰ که به مقدار شیل و مارن لایه‌های آهکی افزوده می‌شود در نتیجه شکنندگی کمتر لایه‌ها شکستگی‌ها بیشتر میکروسکوپی می‌باشند.

۴- براساس انحرافات منفی قابل مشاهده در نمودار انحراف سرعت ساخته شده برای چاه A زون‌های شکسته این چاه شناسایی گردید که عمدتاً منطبق بر اینتروال‌های کربناته آهکی و به‌ویژه دولومیتی مخزن می‌باشد.

۵- مقایسه زون‌های منفی (که سرعت کمتر از  $500\text{ m/s}$  دارند) با نتایج حاصل از نمودار تصویرگر بیانگر آن است که نمودار انحراف سرعت می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در شناسایی تخلخل شکستگی به‌کار رود.

۶- استفاده از تفسیر نمودار OBMI و UBI با وجود این‌که دقت کمتری از FMI دارند، ابزار توانمندی برای شناسایی شکستگی‌ها و شیب ساختاری در مخازنی است که از گل پایه روغنی استفاده می‌شود. که به طور کلی OBMI برای تعیین شیب ساختاری و ساختارهای رسوبی و UBI برای تعیین شکستگی‌ها مناسب است.

1. alavi, M., 2007, Structures of zagros fold-thrust belt of iran; American journal of science, 307, 1064-1095
2. Anselmetti, F.S., and Eberli G.P., 1999, The velocity Deviation Log ; A tool to Predict pore Type permeability Trends in carbonate Drill Holes from sonic and porosity or density logs, AAPG Bulletin , Volume 83, No.3, pp.450-466.
3. Asquith, G. B., 1985, Handbook of log evaluation techniques for carbonate reservoirs: AAPG Methods in Exploration Series 5, 47 p.
4. Fossen, h., 2010. Structural geology, Cambridge university press, 463 pages
5. Kamel, M.H., and Mohamed, M.M., 2006, Effective porosity determination in clean/shaly formations from acoustic logs with applications, J. Petrol. Sci. Engin., v 267-274.
6. Paillet, F. L., and Cheng, H. C., 1991, Acoustic waves in boreholes: Boca Raton, Florida, CRC Press, 264 p.
7. Raymer, L.L., Hunt. E.R., and Gardner, J. S., 1980, An improved sonic transit time-to-porosity transform, Trans., SPWLA Annual Logging Symposium, Paper.
8. Roehl P.O. and chouette P.W 1985, Carbonate Petroleum Reservoirs, New York, Springer-Verlage, 622 pages.
9. Schlumberger, 1974, Log interpretation—applications: New York, Schlumberger Limited, v. 2, 116 p.
10. Schlumberger, Reservoir Optimization Conference, (Using Borehole Imagery to reveal key Reservoir Features), Tehran, Iran , 2003
11. Serra, O., 1989, Formation micro scanner image interpretation, 2nd ed., schlumberger educational services, 117 pp.
12. Stearns, E.W., Fracture & Mechanism of Flow in Naturally Deformed Rocks , Geological Survey Of Canada, 68527995, 1968
13. Tampson L.B. 2000, Fracture Reservoirs: Integration is the Key of Optimazition, Distinguished Author Series, 52-54 SPE 56010.
14. Wyllie, M. R., A. R. Gregory, and G. H. F. Gardner, 1956, Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media: Geophysics, v. 21, no. 1, p. 41-70.