

## بررسی روش‌های تعیین شکستگی سنگ مخزن به کمک نمودارهای پتروفیزیکی و تصویری (FMS) در یکی از میادین کپه داغ

مجید محمدی نیا<sup>۱</sup>، مدیون اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

هنگامه عرفانیان<sup>۲</sup>، دانشگاه آزاد اسلامی

چکیده

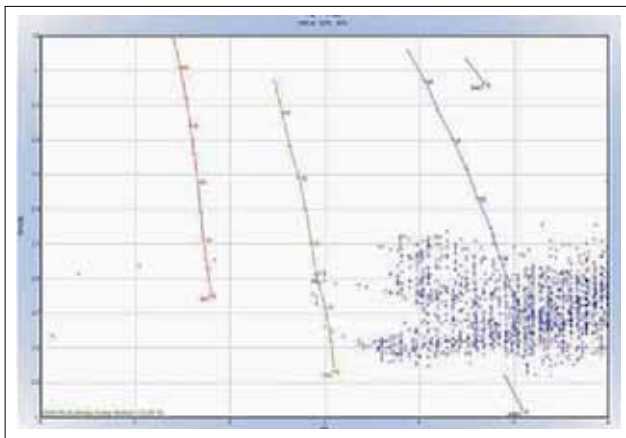
شکستگی‌های طبیعی مخازن نقش‌های اساسی در مهاجرت و تولید هیدروکربن‌ها دارند و به همین دلیل در جنبه‌های مختلف تولید و توسعه میادین از اهمیت خاصی برخوردار است. این تحقیق بررسی جامع نمودارهای تصویری و پتروفیزیکی است. بدین منظور در مرحله نخست با استفاده از مدل مولتی MultiMin نرم‌افزار Geolog تخلخل و تراوایی نمودارهای پتروفیزیکی ارزیابی شده است. سپس برای تعیین تراکم شکستگی‌ها، امتداد و جهت شیب آنها با استفاده از نرم‌افزار GeoFrame تجزیه و تحلیل آماری گردیده و بر اساس تلفیق نتایج تفسیر نمودارهای تصویری و نتایج ارزیابی پتروفیزیکی تأثیر شکستگی‌ها بر کیفیت مخزنی چاه-A بررسی شده است. نتایج این مقایسه نشان می‌دهد که شکستگی‌ها در طول چاه مورد مطالعه در سازند مزدوران تأثیری در بهبود تخلخل و تراوایی نداشته است.

واژگان کلیدی | شکستگی، نمودارهای پتروفیزیکی، نمودارهای تصویری، سازند مزدوران

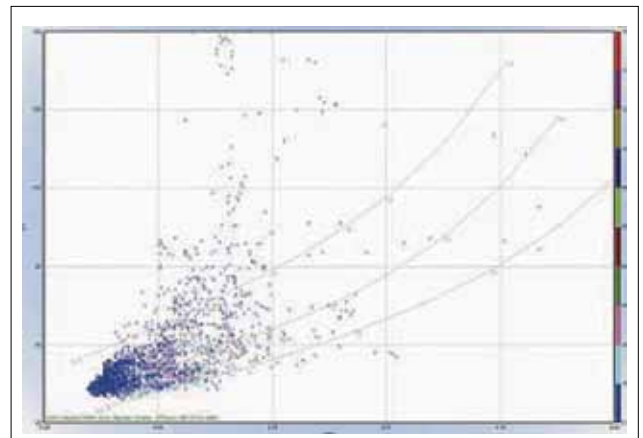
### مقدمه

ذخیره ترکیبات نفت و گاز در این فضاها وجود داشته باشد. یکی از ویژگی‌های اصلی سنگ مخزن وجود شکستگی‌های متعدد در آنست و با توجه به تأثیر شکستگی‌ها در حفاری، افزایش بازیافت نفت، مطالعه و بررسی شکستگی‌های سنگ مخزن از اهمیت خاصی برخوردار است. با توجه به وابستگی شدید اقتصاد کشور به صادرات مواد هیدروکربنی، مطالعه و تحقیق در زمینه روش‌های نوین اکتشاف و بهره‌برداری نفت و گاز ضروری به نظر می‌رسد. در تعداد زیادی از چاه‌های نفت و گاز کشور از روش تصویربرداری الکتریکی استفاده شده

ایران یکی از کشورهایی است که مخازن غنی نفت و گاز دارد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که سنگ مخزن این میادین اغلب شکستگی دارند که این موضوع در بهره‌وری و بهره‌برداری از این مخازن تأثیر بسیار زیادی دارد. مطالعات نشان می‌دهد که بهره‌برداری از سنگ‌های حاوی منابع هیدروکربنی زمانی توجیه اقتصادی دارد که واجد خواص پتروفیزیکی لازم و خلل و فرج با ابعاد و کیفیت مورد نیاز بوده و قابلیت تجمع و



شکل ۲ | نمودار متقاطع RHOB-PEF برای تخمین لیتولوژی و تخلخل



شکل ۱ | نمودار متقاطع DT-NPHI برای تخمین لیتولوژی و تخلخل

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات (hg.erfanian@gmail.com)



تشخیص شکستگی‌ها، تخلخل و دیگر خواص مخزنی پرداخت. در این تحقیق برای محاسبه متغیرهای مخزنی از نرم‌افزار ژئولاگ استفاده شده و جهت کنترل محاسبات از نرم‌افزار IP<sup>2</sup> نیز کمک گرفته شده است. مراحل کار به ترتیب زیر است:

- انتخاب چاه مورد نظر
- بارگذاری تمامی داده‌های خام پتروفیزیکی (شامل اطلاعات نمودارهای مختلف الکتریکی چاه مخزنی و ...) برای هر چاه مدنظر در نرم‌افزار ژئولاگ
- انجام تصحیحات محیطی از جمله تصحیح دما، شوری، اثر قطر چاه، اثر گل حفاری و تصحیح اثر ماتریکس برای نمودارهای گرفته شده.
- ارزیابی پتروفیزیکی برای نواحی مختلف از طریق تعریف یک مدل پتروفیزیکی و رسم نمودارهای متقاطع برای تخمین متغیرهای پتروفیزیکی [۱]

#### ۱-۱-۱- تخمین لیتولوژی و تخلخل

با بررسی گزارش‌های حفاری و زمین‌شناسی و همچنین رسم نمودارهای متقاطع مشخص شد که چاه-A بیشتر از آهک و دولومیت و میزان اندکی شیل تشکیل شده است. نمودارهای متقاطع DT-NPHI و RHOB-PEF که برای چاه-A رسم شده در شکل‌های ۱-۲ و ۱-۳ ارائه شده‌اند. مطابق این نمودارها، لیتولوژی غالب کربناته است.

#### ۱-۲-۱- نتایج اجرای مدل در چاه-A در میدان مورد مطالعه

پس از اجرای برنامه، نوع و درصد سنگ‌شناسی و همچنین نوع

Feature typ	AZIMUTH	Strike	Dip
Bedding =4HC			
LC Bedding =161			
AII Bedding =165			
Stylolite S/dissolution seams=2			

شکل ۴ | نمودار استاتیک شیب لایه‌بندی و استیلولیت‌ها در چاه-A

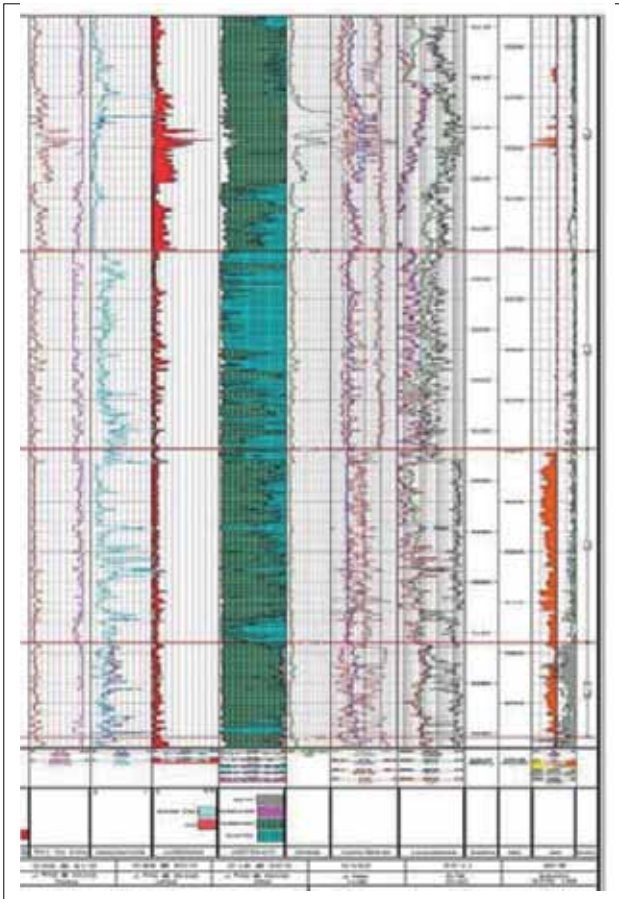
است. این روش مطالعه علاوه بر تعیین میزان تخلخل و تراوایی به وسیله نمودارهای پتروفیزیکی، امکان آشکارسازی سیستم شکستگی‌های دیواره‌های چاه در نمودارهای تصویری را به وجود می‌آورد. این پژوهش شناخت بهتری از کیفیت مخزن به دست خواهد داد.

#### ۱- روش تحقیق

#### ۱-۱- تفسیر نمودارهای پتروفیزیکی

از مطالعه نمودارهای پتروفیزیکی می‌توان به تفسیر لیتولوژی،

مختصات شیب و امتداد لایه‌بندی‌ها						
شیب لایه‌بندی	تغییرات آریموت امتداد	آریموت امتداد لایه‌بندی	تغییرات آریموت لایه	آریموت لایه‌بندی	تعداد نمونه‌ها	لایه‌بندی
۴	۵	N55W-S55E	۵	N40E	۴	لایه‌بندی با وضوح زیاد
۶	۱۰	N67W-S67E	۱۰	N40E	۱۶۱	لایه‌بندی با وضوح کم
۶	۱۰	N67W-S67E	۱۰	N40E	۱۶۵	مجموع لایه‌بندی



شکل ۳ | نتیجه ارزیابی پتروفیزیکی برای چاه-A

**۲-۱- تعبیر، تفسیر و ارزیابی نمودارهای تصویری زمین شناسی (FMS)**

یکی از مهم ترین روش های مؤثر در تعیین شکستگی ها، نمودارهای تصویری زمین شناسی است. نمودارهای تصویری با تعیین تراکم شکستگی ها، امتداد و جهت شیب آنها، میزان بازشدگی، فاصله آنها از یکدیگر، باز و بسته بودن آنها و در نهایت ارائه الگوی مناسبی از شکستگی های مخزن، در برنامه ریزی های لازم جهت تولید میادین نفت و گاز کمک فراوانی می کنند.

**۱-۲-۱- نمودارهای تصویری FMS**

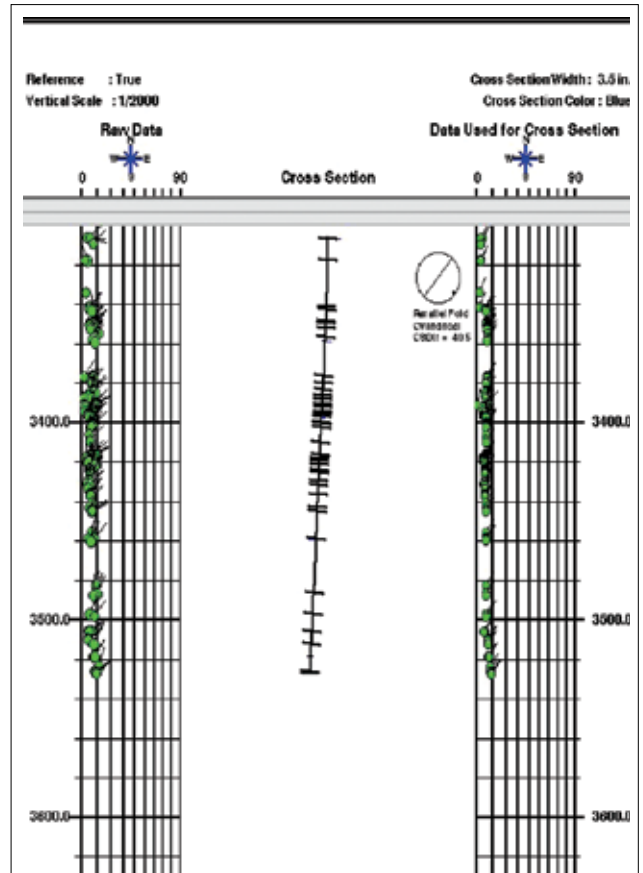
در این مطالعه، شکستگی ها با ابزار FMS مورد بررسی قرار گرفته اند. این ابزار از فن آوری شیب سنج استفاده کرده و قادر است تصویر خاکستری یا رنگی از دیواره چاه به دست دهد. این تصاویر ویژگی های مختلفی نظیر لایه بندی، ساخت های رسوبی، شکستگی، استیلولیت، گسل، چین خوردگی و فروریزش را نشان می دهند. در این ابزار گیرنده های ریز مقاومت در انتهای دو بازوی عمود برهم نصب شده اند. این گیرنده ها قادرند تغییرات مقاومت را با حد تفکیک زیادی در لایه های حفاری شده ثبت کنند.

تغییر مقادیر مقاومت که به شکل تباين رنگی نشان داده می شود می تواند به صورت یک تصویر مجازی ویژگی های مخزن را به طور کیفی نمایش دهد [۵].

**۲-۲-۱- زنجیره پردازش نمودارهای تصویری**

در این مطالعه برای آنالیز شکستگی ها از نرم افزار Borview که در مجموعه نرم افزار Geoframe قرار دارد استفاده شد. در ابتدا به کمک مدول BHGeol Formatter، فرمت داده ها خوانده شده و داده ها به منظور تعمیر و اصلاح داده های کم کیفیت توسط GPIT Survey مورد بررسی قرار گرفت. سپس تصحیح زاویه انحراف مغناطیسی، تصحیح سرعت، برابری سازی، تشخیص و اصلاح دکمه های

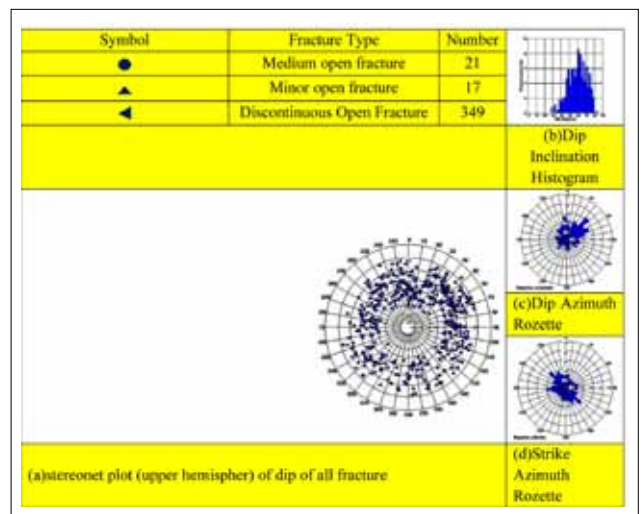
و میزان سیال و تخلخل در چاه A محاسبه می شود. نتایج ارزیابی پتروفیزیکی در چاه A در شکل ۳- ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود لیتولوژی غالب چاه آهک و دولومیت است، همچنین نوع سیالات مخزن و میزان تخلخل نیز نشان داده شده است.



شکل ۵ | نمایش مقطع عرضی از شیب لایه بندی چاه A

۲ | انواع شکستگی ها و مشخصات شیب و امتداد آنها در چاه A

شکستگی	نوع شکستگی	آزیموت شکستگی ها	تغییرات آزیموت شکستگی ها	آزیموت امتداد شکستگی ها	تغییرات آزیموت امتداد شکستگی ها	متوسط شیب شکستگی ها	تغییرات شیب شکستگی ها
شکستگی های باز	متوسط	S43W	۱۵	N40W-S40E	۲۰	۶۳	۳۲-۷۸
	کوچک	N42W & S27E	۲۵	N48E-S48W	۲۰	۷۱	۴۸-۷۸
	نپهسته	N45E & North	۶۰	N45W-S45E & East-West	۳۰	۶۱	۲۸-۸۴
	احتمال شکستگی	N47E, S67E & one minor N72W	۵	N22E-S22W & N42W-S42E	۵	۶۶	۳۶-۸۰
	مجموع	N45E & North	۶۰	N45W-S45E & East-West	۳۰	۶۱	۲۸-۸۴



شکل ۶ | نمایش نمودارهای استاتیک از شیب های همه شکستگی های موجود در چاه A



شکستگی‌هایی که به صورت پیوسته یا ناپیوسته رسانیا بودند به عنوان شکستگی باز در نظر گرفته شدند. از پنج نوع شکستگی باز بزرگ، متوسط، کوچک، ناپیوسته و احتمالی، چهار نوع شناسایی شده و شکستگی‌هایی از نوع باز بزرگ دیده نشد [۳].

امتداد شکستگی‌های باز در این سازند متغیر بوده و به صورت شرقی غربی و N45E-S45W دیده می‌شود. همه شکستگی‌های باز را می‌توان بر اساس ارتباط امتدادشان نسبت به امتداد لایه‌بندی و الگوی شکستگی‌های مرتبط با چین خوردگی در سه دسته قرار داد:

■ شکستگی‌های باز با امتداد N40,60W-S40,60E که امتداد آنها تقریباً

معیوب و تصحیح ولتاژ با استفاده از مدول BorEID انجام شد. همچنین به منظور افزایش وضوح تصویر از مدول BorNor و جهت تفسیر تصاویر از مدول Borview استفاده شد [۴].

### ۱-۲-۳- تفسیر نمودار FMS در چاه‌های مذکور

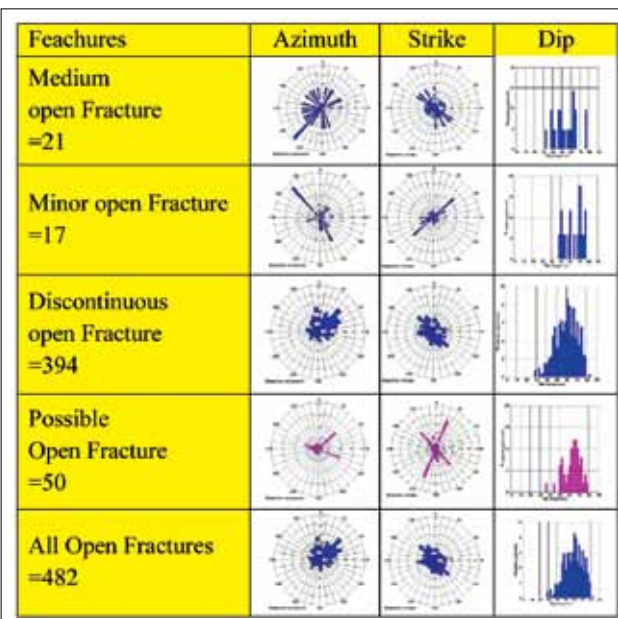
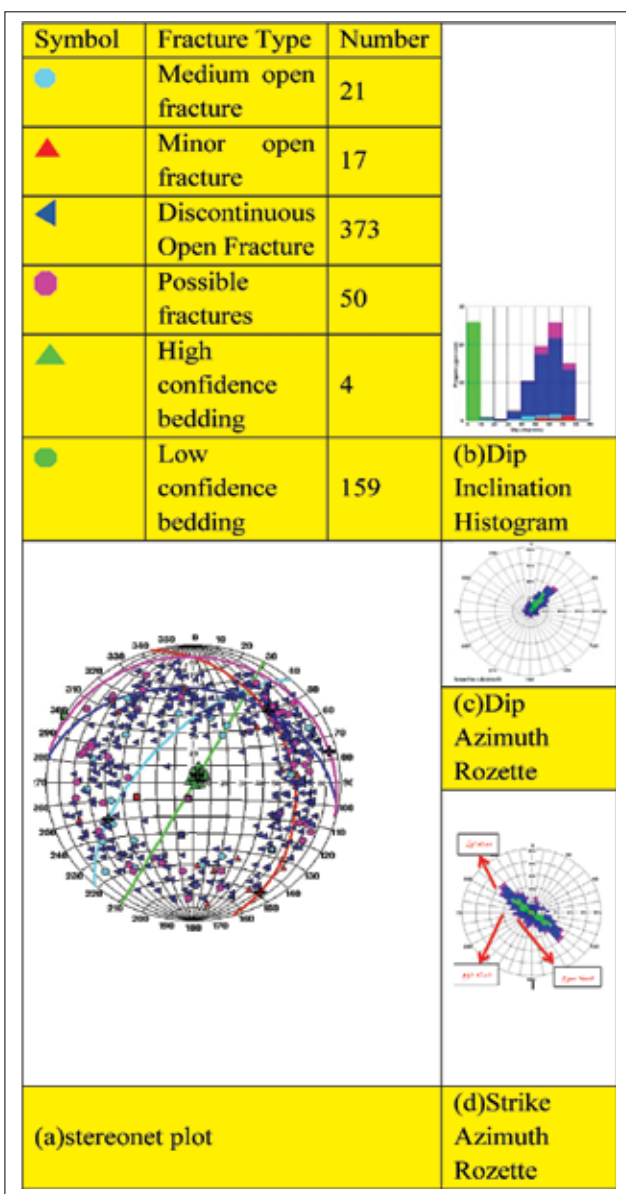
#### ۱- آنالیز شیب ساختمانی

لایه‌بندی به صورت لایه‌های سنگ آهک متراکم و در برخی فواصل میان لایه‌های شیل با ضخامت‌های مختلف است. مرز لایه‌بندی بر اساس کیفیت به دو گروه لایه‌بندی با وضوح زیاد و لایه‌بندی با وضوح کم تقسیم می‌شود.

حدود ۱۶۱ مرز لایه‌بندی تشخیص داده شد که اغلب واضح نبوده و به دلیل فرآیندهای دیاژنتیکی ناهموارند. حدود چهار مرز لایه‌بندی با وضوح زیاد تشخیص داده شد. نتایج آماری مطالعه لایه‌بندی‌ها در شکل ۴- ارائه شده است. از آنجا که تعداد لایه‌بندی با وضوح زیاد (H.C) کم است، شیب لایه‌بندی با وضوح کم (L.C) برای محاسبه شیب ساختمانی در نظر گرفته شده است. با توجه به مقطع عرضی که توسط نرم‌افزار StrucView از Geoframe تهیه گردیده مشاهده می‌شود که با افزایش عمق، شیب لایه‌بندی از الگوی ثابتی پیروی می‌کند و تغییرات زیادی نخواهد داشت. به این حالت Green pattern می‌گویند. در این چاه با توجه به آرایش لایه‌بندی یک چین موازی مشاهده می‌شود.

#### ۲- آنالیز شکستگی‌ها

در این چاه حدود ۴۳۲ شکستگی شناسایی و تفسیر شده است. تمام



۸ نمایش همه شکستگی‌های باز و مرز لایه‌بندی به همراه صفحات گذرانده بر آن در چاه-A



۷ نتایج حاصل از شکستگی‌های باز بزرگ، متوسط، کوچک، ناپیوسته و احتمالی و همه شکستگی‌های باز در چاه-A



$$V_{dt} = (v_{rock} - v_{dt}) \times (100000 / 3.281) \quad (4)$$

با استفاده از نمودار انحراف سرعت، سه ناحیه شناسایی می شود:

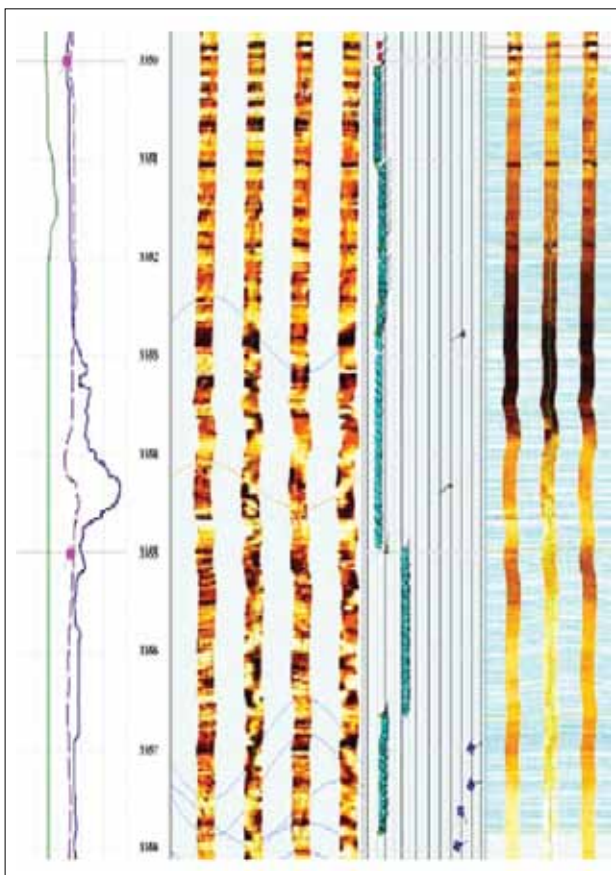
الف) نواحی با انحرافات کم (+۵۰۰، -۵۰۰) که نمایانگر تخلخل بین بلوری است. اغلب این نواحی آلتراسیون دیاژنزی کمتری داشته و معمولاً با ارتباط خوبی که دارند تراوایی خوبی نشان می دهند. این نواحی در نمودار انحراف سرعت (VDL) با رنگ زرد مشخص شده اند.

ب) نواحی با انحراف منفی (کمتر از -۵۰۰) زمانی ایجاد می شوند که سرعت نمودار سونیک کمتر از معادله زمان وایلی برای همان تخلخل باشد. این امر نمایانگر فاز گازی یا وجود شکستگی و تراوایی زیاد است.

ج) نواحی با انحراف مثبت (بیشتر از +۵۰۰) که نمایانگر تخلخل های بین دانه ای و قالبی بوده و معمولاً تراوایی کمی دارند.

طبق نمودار تطابقی بین نمودار انحراف سرعت (VDL) و چگالی شکستگی ها، در شکل ۱۲ مشخص می شود که پراکندگی شکستگی ها در کدامیک از نواحی این نمودار بیشتر است.

همان طور که در این شکل مشاهده می شود نمودار انحراف سرعت در این چاه، انحراف مثبت را نشان می دهد. تخلخل بین دانه ای و قالبی و تراوایی کم



شکل ۱۰ | نمایش لایه بندی متقاطع در چاه-A

با امتداد لایه بندی برابر است و از نوع شکستگی های امتدادی یا طولی هستند. این امر نشان می دهد که احتمالاً شکستگی در حین چین خوردگی به وجود آمده است.

■ شکستگی های باز با امتداد N20,40W-S20,40E که امتداد آنها نسبت به امتداد لایه بندی تقریباً مورب است و از نوع شکستگی های مایل هستند. ممکن است این شکستگی ها ناشی از تنش های برجای قدیمی باشند.

■ شکستگی های باز با امتداد S05E-N05E که امتداد آنها عمود بر امتداد لایه بندی است و از نوع شکستگی های عرضی هستند.

### ۳- لایه بندی متقاطع

بعد از حذف شیب لایه های ساختمانی توسط نرم افزار Depth removal، شیب لایه بندی متقاطع باقی می ماند که به صورت دو شیب آزیموت اصلی؛ شمال-شمال شرق و شمال-شمال غرب است. جریان قدیمه به صورت پلی مدال و نشان دهنده محیط دریایی شلف است [۶].

### ۳-۱- روابط و نحوه محاسبه نمودار انحراف سرعت [۲]

یکی از روش های تعیین ارتباط بین تخلخل و تراوایی توسط نمودارهای پتروفیزیکی، استفاده از معادله وایلی است. با این روش نمودار نوترون و نمودار سونیک نیز به نمودار سرعت تبدیل شده و از اختلاف این دو سرعت، نمودار انحراف سرعت به دست می آید. نمودار VDL بر پایه رابطه وایلی توسط روابط زیر در چاه های گازی ساخته می شود:

$$\phi = \frac{NPHI + 2RHOB}{8} \quad (1)$$

$$V_{rock} = (1/(1-\phi)55 + (\phi \times 189)) \quad (2)$$

$$V_{dt} = (1/DT) \quad (3)$$

Upper mozduran formation cross bedding	enviroment	Rosette Azimuth pattern	Palaeo current par
3350m to 3358m	Marine shelf		Polymodal

شکل ۹ | تفسیر رسوبی از لایه بندی متقاطع چاه-A



بوده و شکستگی‌ها در ناحیه با انحراف مثبت، پراکندگی بیشتری دارند.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه که با کمک ارزیابی نمودارهای پتروفیزیکی، بررسی

نمودارهای تصویری زمین‌شناسی و آنالیز شکستگی‌ها انجام شد و نتایج زیر حاصل گردید:

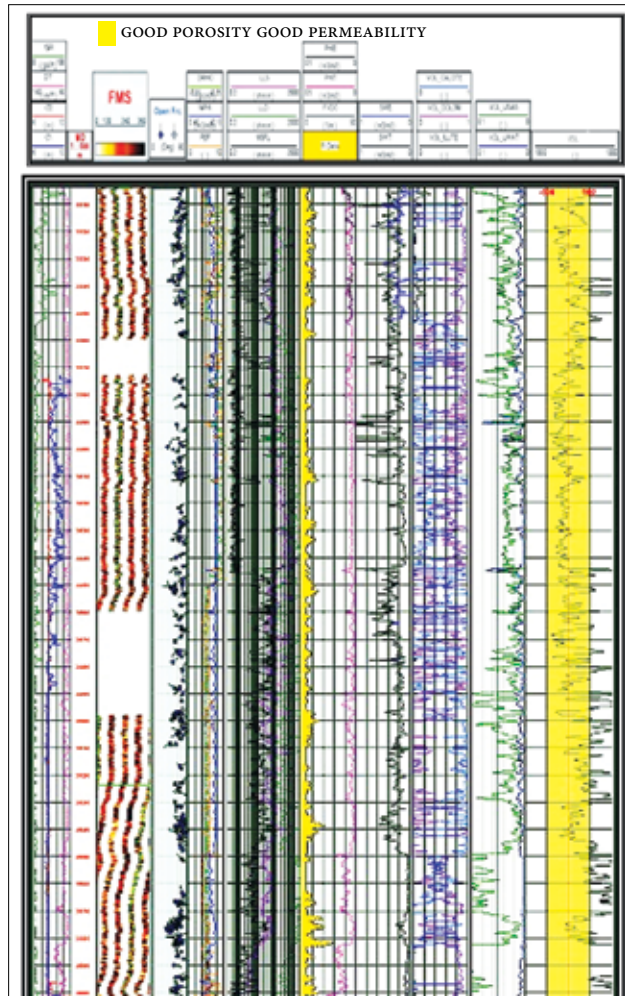
■ نتایج ارزیابی پتروفیزیکی نشان می‌دهد که سنگ مخزن این منطقه عمدتاً کربناته بوده و از آهک و دولومیت تشکیل شده است.

■ به‌طور کلی تعداد شکستگی‌ها در این مخزن زیاد است (احتمالاً به دلیل فعالیت‌های تکتونیکی منطقه). عمده شکستگی‌های مورد مطالعه از نوع شکستگی‌های باز هستند.

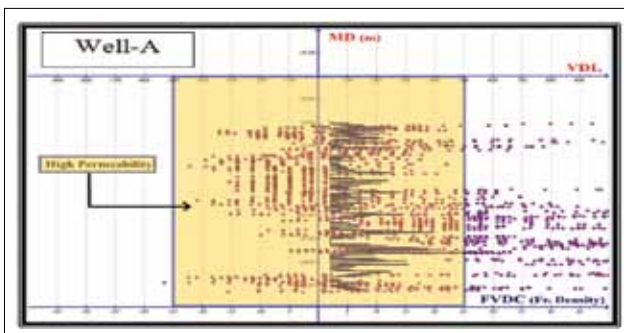
■ با توجه به روند شکستگی‌ها و لایه‌بندی در چاه مذکور، به‌نظر می‌رسد بیش از ۷۰ درصد شکستگی‌ها هم‌امتداد با محور لایه‌بندی و چین ساختمانی بوده و بر اثر چین خوردگی شکل گرفته‌اند.

■ با توجه به نتایج حاصل، در صورتی که تخلخل غالب یک سازند بر اثر وجود شکستگی‌ها باشد این سازند باید روی نمودار انحراف سرعت، انحراف منفی نشان دهد. از طرفی با توجه به نتایج نمودار انحراف سرعت در این چاه مشاهده می‌شود (شکل-۱۱) که تخلخل چاه از نوع بین‌دانه‌ای و قالبی بوده و میزان تراوایی کم است. بنابراین در این چاه شکستگی‌ها نتوانسته‌اند تأثیر مثبتی بر تخلخل و تراوایی داشته باشند؛ چراکه وجود شکستگی‌ها باعث انحراف منفی نمودار انحراف سرعت نشده است.

■ تفسیر نمودار FMS نشان می‌دهد که شکستگی‌ها در این چاه باز شدگی کم تا متوسطی داشته و به‌همین علت نقش مفیدی در افزایش تخلخل و تراوایی ندارند. ■



شکل ۱۱ | نمایش نمودار تکمیلی بین نمودارهای پتروفیزیکی، تصویری زمین‌شناسی و نمودار انحراف سرعت چاه-A



شکل ۱۲ | نمودار تطابقی بین نمودار انحراف سرعت (VDI) و چگالی شکستگی‌های چاه-A

### پانویس‌ها

1. majid.mohammadinia@gmail.com

2. Interactive Petrophysics

### منابع

- [1] خوشبخت، فرهاد، ۱۳۸۵، بررسی کارایی نمودارهای الکتریکی تصویرگر در مطالعه شکستگی‌های یکی از مخازن جنوب غرب ایران، سمینار کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران
- [2] حسینی، هادی، ۱۳۹۱، کاربرد لاگ انحراف سرعت در تشخیص نوع تخلخل و روند تراوایی مخزن آسماری در میدان نفتی کیلور کریم، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین
- [3] Serra, O., (1989), Formation Micro Scanner Image Interpretation, Schlumberger Education Services educational Services, 5p.
- [4] Schlumberger, 1999. Borehole Image Measurements, Schlumberger Oil Field Services, Version 9.2.
- [5] Schlumberger, 2002, Borehole Geology, Geomechanics And 3D Reservoir Modeling. Houston, Texas, Schlumberger Educational Services, SMP-5822
- [6] Tucker M. E., 2003, "Sedimentary Rocks In The Field", 3rd Edn., 234 Pp, John Wiley, New York.