

# شناسایی شکستگی‌ها و گسل‌های میدان نفتی سلمان در خلیج فارس با استفاده از داده‌های لرزه‌ای توسط روش الگوریتم ردیابی مورچه‌ای

اسما نصرتی، فاطمه مصباحی\*، علی کدخدائی و محمد حسن پور صدقی

گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۴

## چکیده

امروزه تحقیقات متعددی به منظور شناسایی خودکار گسل‌ها و سیستم شکستگی‌ها براساس داده‌های لرزه‌ای صورت گرفته است. همدوسی لرزه‌ای از جمله نشان‌گرهای هندسی است که در آشکار ساختن ناپیوستگی‌های لرزه‌ای نظیر گسل‌ها، شکستگی‌ها، کانال‌های رودخانه‌ای کاربرد فراوانی دارد. یکی از ابزارهای مناسب برای شناسایی گسل‌ها و شکستگی‌ها استفاده از داده‌های لرزه‌ای می‌باشد که با استفاده از الگوریتم ردیابی مورچه‌ای انجام می‌شود. در این مقاله با بررسی الگوریتم ردیابی مورچه‌ای و به شناسایی گسل‌ها و ریزگسله‌های موجود در میدان نفتی سلمان پرداخته شده است. میدان سلمان حاوی پنج سنگ مخزن داریان، گدون، عرب، کنگان، دالان و فراقان است. الگوریتم ردیابی مورچه‌ای ابزاری کارآمد در شناسایی دقیق شکستگی‌های مخازن است. بدین منظور در این مطالعه به کمک الگوریتم ردیابی مورچه‌ای، گسل‌ها و شکستگی‌های عمقی موجود در میدان نفتی سلمان بررسی شده است. طبق نتایج به دست آمده، در منطقه سلمان تاقدیس گنبد نمکی مشاهده شد. در رأس تاقدیس گسل‌های نرمال بزرگی با روند شمال باختری- جنوب خاوری وجود دارند که باعث ایجاد ساختار گرابن در منطقه شده‌اند. گسل‌های فرعی هم راستای گسل‌های اصلی نرمال و شکستگی‌های مزدوج با شیب تند توسط الگوریتم ردیابی مورچه‌ای در منطقه شناسایی شدند.

**کلمات کلیدی:** گسل، شکستگی، نشان‌گر، داده‌های لرزه‌ای، ردیابی مورچه‌ای

## مقدمه

این پژوهش با استفاده از مقاطع موجود و داده‌های لرزه‌ای سه بعدی، روند گسل‌ها و شکستگی‌ها در خلیج فارس میدان سلمان تشخیص داده شد و تفسیر گردید. شناسایی گسل‌ها از مراحل مهم تفسیر لرزه‌نگاری می‌باشد که در ساخت مدل ساختمانی لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲].

ایران به‌عنوان کشوری واقع در منطقه خاورمیانه دارای مواد هیدروکربنی بسیاری است، بنابراین تشخیص این مناطق حائز اهمیت می‌باشد [۱]. در

\*مسئول مکاتبات

mesbahif@tabrizu.ac.ir

آدرس الکترونیکی

شناسه دیجیتال: (DOI:10.22078/PR.2023.4864.3176)

خودکار باشد و این الگوریتم می‌تواند به‌طور مؤثر میزان رخدادهای نامرتبط با گسلش را کاهش داده و پیوستگی گسل‌ها را بهبود بخشد. در تحقیقات محققان از طریق ردیابی مورچه‌ای، پژوهش‌های متفاوتی انجام پذیرفته است که می‌توان به تحقیق لطفی و کشاورز فرج خواه اشاره نمود که حساسیت پارامترهای الگوریتم ردیابی مورچه و عوامل مؤثر بر عملکرد آن در شناسایی گسل‌ها و شکستگی‌ها را بررسی کردند که در این پژوهش با بررسی تراوایی شکستگی‌ها امکان مدل‌سازی پویا و نیز توسعه بهینه منابع هیدروکربوری فراهم می‌شود [۸]. همچنین، مهدوی بصیر و همکارانش در پژوهش خود با استفاده از ردیابی چند صفت مورچه و شبکه عصبی در میداین نفتی ایران برای تشخیص گسل استفاده کردند. طبق مطالعات آن‌ها ردیابی مورچه‌ای به‌عنوان یک الگوریتم بوده که قطاری از ویژگی‌های مستمر به منظور بهبود تجسم گسل مورد استفاده قرار گرفت [۹]. زهرا تاجمیر ریاحی و همکاران به بررسی تشخیص شکستگی با استفاده از ردیابی مورچه‌ای چند ویژگی لرزهای در میدان نفتی رگ سفید، جنوب غرب ایران پرداخته‌اند. در این مطالعه، شکستگی‌های بزرگ و کوچک در افق آسماری میدان نفتی رگ سفید با استفاده از ویژگی‌های لرزهای و تحلیل داده‌های چاه مشخص شده‌اند [۱۰]. در تحقیق حاضر با استفاده از الگوریتم مورچه‌ای و نشان‌گرهای لرزهای، گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه میدان سلمان واقع در خلیج فارس مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته است.

### زمین‌شناسی منطقه

از نگاه زمین‌شناسی خلیج فارس در قسمت زاگرس قرار دارد و فرونشست زمین ساختی کم ژرفایی است که در زمان ترشیری پسین در حاشیه جنوبی کوه‌های زاگرس تشکیل شده است و شدیدترین چین خوردگی‌ها در زمان پیلوپلیستوسن، کرانه‌های

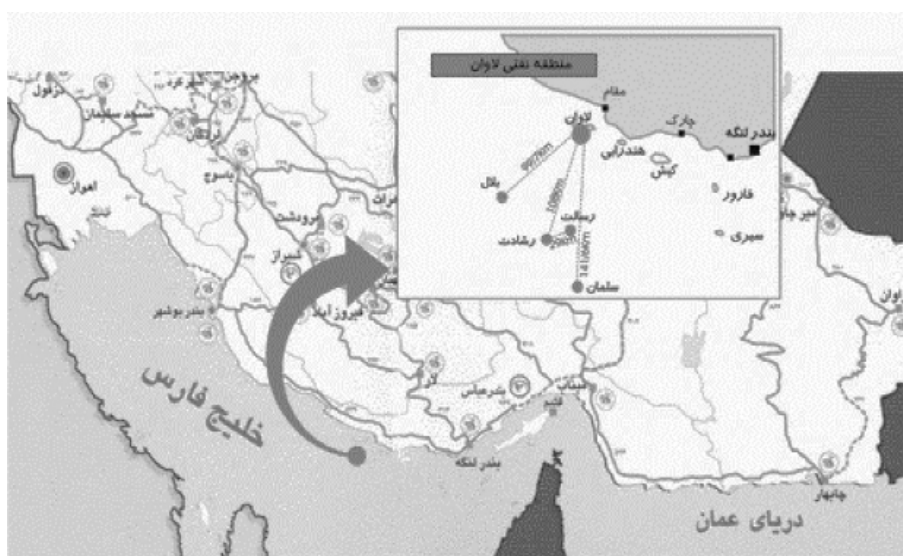
خلیج فارس از برخورد ساختارهای کرانه عربی و رشته کوه زاگرس تشکیل می‌شود جزیره لاوان هم در فاصله ۱۸ km از سواحل جمهوری اسلامی ایران در خلیج فارس واقع گردیده است. میدان سلمان از میدان‌های نفتی ایران که در استان هرمزگان در ۱۴۴ km جنوب جزیره لاوان قرار گرفته است و با میدان ابوالخوش امارات متحده عربی دارای ذخایر مشترک می‌باشد. میدان نفتی سلمان از یک تاکدیس نامتقارن به ابعاد تقریبی ۱۱ km در ۱۴ km تشکیل شده است [۳ و ۴]. به‌جهت شناسایی گسل‌ها و شکستگی‌های موجود، اطلاعات زمین‌شناسی و داده‌های لرزهای سه بعدی منطقه مورد تحقیق فراهم گردید، در این پروژه با استفاده از داده‌های لرزهای دوبعدی و سه بعدی در ابتدا نشان‌گرهای همدوسی بر مبنای هموارسازی، انحنا و واریانس روی داده‌های لرزهای اعمال شد تا عملکرد آن‌ها در آشکارسازی گسل بررسی شود. سپس بر روی مقاطع لرزهای حاصل از واریانس عملکرد ردیابی مورچه‌ای، جهت شناسایی گسل اعمال شد [۵ و ۶]. با تشخیص ساختارها می‌توان به مواد هیدروکربونی موجود در آن منطقه پی برد. همچنین با بررسی تراوایی شکستگی‌ها امکان مدل‌سازی پویا و نیز توسعه بهینه منابع هیدروکربونی فراهم می‌شود. ویژگی‌های لرزهای برای توصیف گسل‌ها و شکستگی‌ها در حجم داده‌های لرزهای سه بعدی بسیار مفید هستند و انسجام تغییرات جانبی در شکل موج را اندازه‌گیری می‌کند. در این پژوهش از نرم‌افزار پترل<sup>۱</sup> ویرایش ۲۰۰۸ محصول شرکت شلومبرژه جهت استخراج نشان‌گرهای مناسب شناسایی گسل‌ها شکستگی‌ها و تفسیر داده‌های لرزهای استفاده شده است. از آنجایی که سطوح گسل می‌تواند به‌طور مستقیم با تجمع مواد هیدروکربنی و نیز مسیر جریان آن مرتبط باشد، به نقشه درآوردن شبکه گسل‌ها و شکستگی‌ها در توصیف مخزن و استخراج هیدروکربن اهمیت به‌سزایی دارد [۷]. استفاده از الگوریتم ردیابی مورچه‌ای برای ردیابی سطوح گسل می‌تواند روشی

در داده‌ها حذف شده‌اند و نسبت نشانک به نوفه با استفاده از فیلترهای High , Low Cut = High Past , Cut و همچنین فیلتر F-K بهبود یافته‌اند. از آنجایی که منطقه مورد مطالعه در داخل آب است این شرکت به منظور افزایش سرعت و بازدهی در برداشت‌های لرزه‌ای به‌خصوص در مناطق کم عمق و در نتیجه کاهش هزینه‌ها، از روش Land Stream-er برای برداشت داده‌ها استفاده کرده است. چون در این روش، عملیات در زمان کوتاهی انجام گرفته، سرعت بالا بوده و خسارتی به محیط زیست وارد نمی‌شود و اطلاعات با کیفیت بیشتری برداشت شده است [۵ و ۱۳]. داده‌های تهیه شده از منطقه سلمان خلیج فارس به‌صورت برداشت دریایی توسط هیدروفون‌ها جمع‌آوری شده‌اند. نرم‌افزار استفاده شده در این پروژه نرم‌افزار پترل است که فرمت داده‌های تهیه شده به‌صورت SGY می‌باشد. این داده‌ها بارگذاری شده و سپس برای بهبود کیفیت بررسی شده‌اند و در شکل ۲ موقعیت مکعب لرزه‌ای بدون اعمال نشان‌گر، در مقاطع زمانی، به‌صورت سه بعدی Inline، Xline و Zline مشاهده می‌شود. داده‌ها از یک سری از خطوط افقی و عمودی تشکیل شده است که برای تصویرسازی بهتر چاه و منطقه استفاده می‌شود.

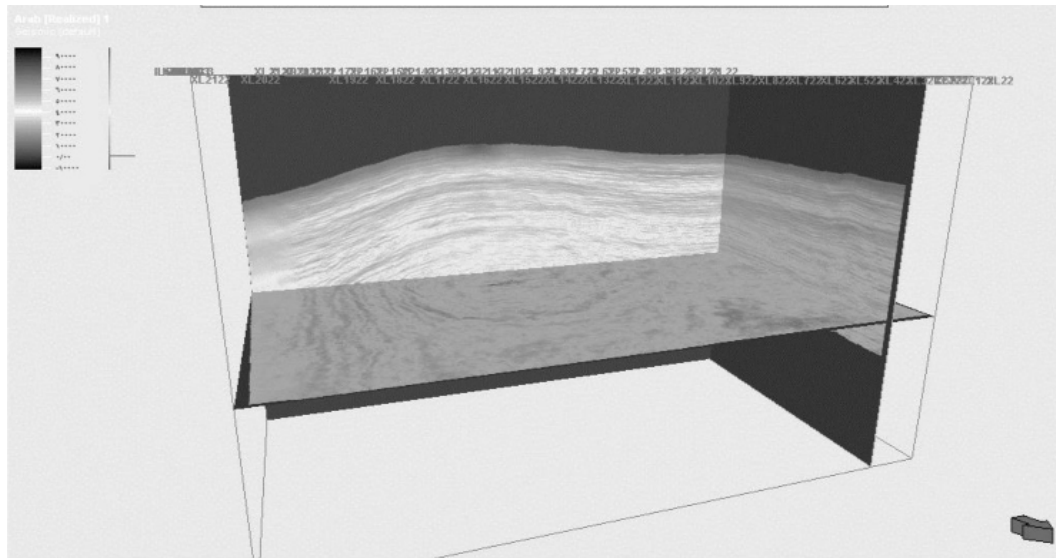
شمالی خلیج فارس (زاگرس) را چین داده است. میدان سلمان از نظر زمین‌شناسی به سه لایه تولید نفت تحتانی و فوقانی مربوط به دوره ژوراسیک و از یک لایه بوئیب مربوط به دوره کرتاسه تشکیل شده است [۱۱]. میدان سلمان منطقه‌ای است که در داخل آب قرار دارد (شکل ۱). در این محدوده مطالعاتی از میدان سلمان سازندهای داریان، بوئیب، هیث، سازند عرب پایینی و سازند دشتک وجود دارد که اولین سازند داریان است و سازند دشتک منطبق با پایان برداشت لرزه‌ای می‌باشد و در واقع آخرین سازند در منطقه است. همچنین در این منطقه حدود ۵ چاه اکتشافی حفر شده است که این چاه‌ها تا سازند عرب پایینی و هیث امتداد دارند و انحراف این پنج چاه در سازند عرب پایینی می‌باشد [۱۱].

**مواد و روش‌ها**

در منطقه مورد مطالعه در میدان سلمان پنج چاه اکتشافی وجود دارد که اطلاعات لرزه‌ای این پژوهش از چاه شماره دو دریافت شده است. در این مطالعه پس از دریافت اطلاعات منطقه با اعمال نشان‌گرهای لرزه‌ای در نرم‌افزار پترل گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه شناسایی و تفسیر شدند. داده‌های سه بعدی مورد استفاده در این پروژه آماده بوده و توسط یک شرکت خارجی برداشت شده‌اند. نوفه‌های موجود



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی جزیره لاوان و میدان سلمان [۱۴]



شکل ۲ مقاطع سه بعدی زمانی در مقطع Inline، Xline و Zline

مختلف کارآمدترین نشان گر برای تشخیص گسل‌ها و شکستگی‌ها معرفی می شوند [۱۶].

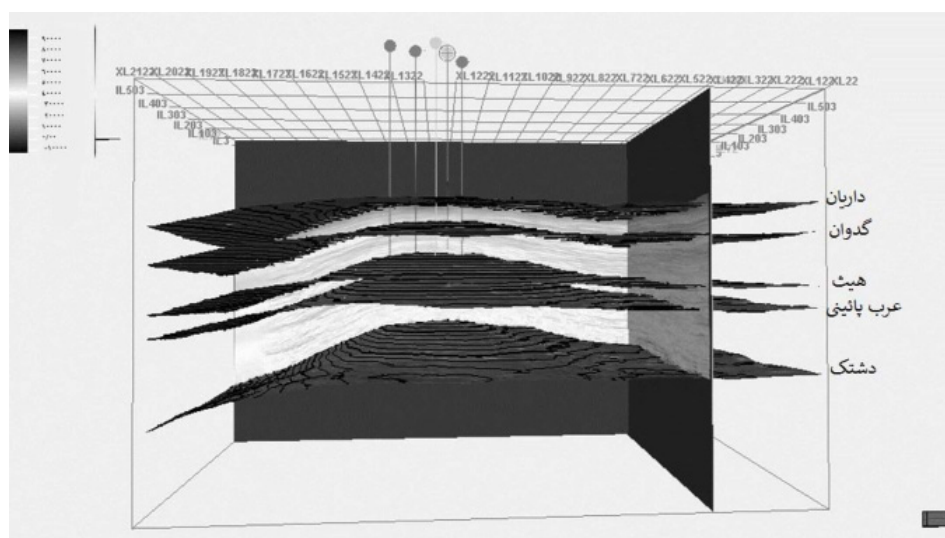
#### سازندها و چاه‌های منطقه

سازندهای موجود در محدوده مطالعاتی از این پژوهش در میدان سلمان شامل سازند جهرم، سروک، داریان، هیث، دشتک، کنگان، دالان، فراقان می‌باشند. سازندهایی که در منطقه مطالعاتی این بخش از پژوهش دیده شدند به ترتیب از بالا به پایین شامل سازند داریان، سازند گدوان، سازند هیث، سازند عرب پایینی و سازند دشتک بود (بقیه سازندها در این بخش از مطالعه مشاهده نگردید) (شکل ۳). همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود سازند دشتک همزمان با اتمام برداشت لزره‌ای می‌باشد در واقع برداشت لزره‌ای از داده‌ها، تا سازند دشتک صورت گرفته است و حفر چاه‌ها تا سازند عرب بوده و انحراف این چاه‌های اکتشافی مابین سازند هیث و سازند عرب می‌باشد.

#### بررسی مقاطع لزره‌ای

مقطع Inline در جهت شرقی غربی می‌باشد. محور Inline 52 که مقطع اولیه این محور است که به‌علت خمیدگی حاصله در داده‌های لزره‌ای وجود تاقدیس کاملاً مشاهده شد.

در این پژوهش روش‌های متعددی برای تشخیص گسل‌ها و شکستگی‌ها توسط نرم‌افزار پترل استفاده شد که نشان‌گرها بررسی شدند تا در نهایت بهترین نشان‌گر موجود معرفی شود؛ نشان‌گرهای لزره‌ای مورد بحث در این پژوهش نشان‌گر لزره‌ای هموارسازی، تشخیص لبه، شیب، انحنا، واریانس و الگوریتم ردیابی مورچه‌ای می‌باشد و عملکرد آن‌ها در تشخیص گسل‌ها و شکستگی‌ها بررسی شدند که چندین ویژگی شفافیت گسل‌ها را در داده‌های لزره‌ای افزایش می‌دهند که عبارت‌اند از ویژگی‌های واریانس، ویژگی‌های مورچه، ویژگی‌های انحنا و غیره که در میان آن‌ها، ویژگی‌های مورچه نتایج بهتری در شفافیت گسل‌ها و شکستگی‌ها نشان می‌دهد [۱۵]. ابتدا داده‌های لزره‌ای در نرم‌افزار پترل بارگذاری شد. سپس با اعمال سازندها (جهرم، سروک، داریان، هیث، دشتک، کنگان، دالان، فراقان) و چاه‌های موجود در میدان سلمان ویژگی‌های مورد نظر در مقاطع عرضی و زمانی بررسی شدند و سپس با انتخاب و اعمال نشان‌گرهای مناسب بر روی داده‌های بارگذاری شده گسل‌ها و شکستگی‌های موجود در منطقه شناسایی و تفسیر شدند و در آخر با مقایسه مقاطع و ویژگی‌های مورد نظر توسط نشان‌گرهای



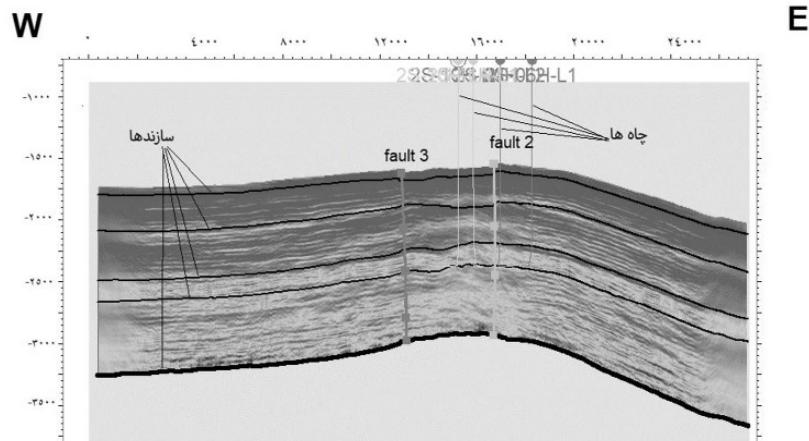
شکل ۳ سازندها و چاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه

Xline می‌باشد که جابه‌جایی لایه‌ها به صورت واضح دیده می‌شود **شکل ۹** که این پنج گسل تا محور Xline913 ادامه دارند [۱۸]. مقطع Zline برش افقی از داده‌های Inline و Xline می‌باشد و توسط این مقطع می‌توان وجود تاقدیس در منطقه مطالعاتی را تأیید کرد (**شکل ۱۰**).

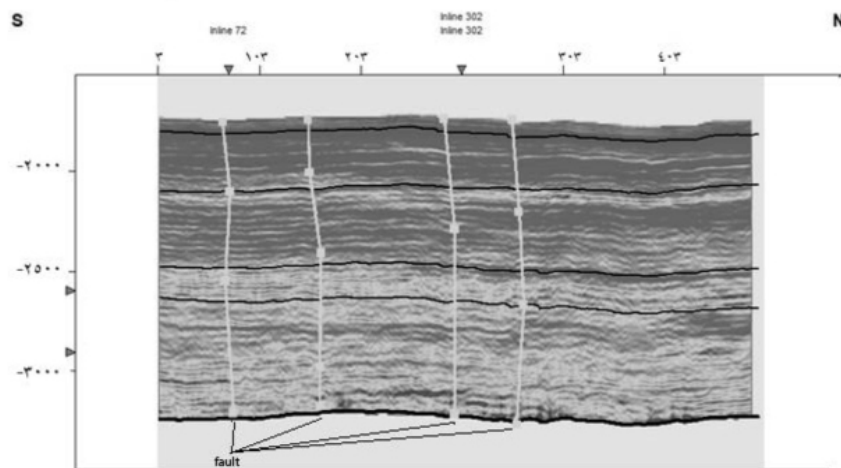
#### اعمال الگوریتم ردیابی مورچه‌ای

این الگوریتم، دنباله‌ای از الگوریتم مورچه ارائه شده توسط دوریگو است که با پیروی از اصل هوش گروهی، راه حل بهینه را برای حل مسائل ترکیبی انتخاب می‌کند. براساس این الگوریتم، تعدادی زیادی از مورچه‌های الکترونیکی به‌طور تصادفی در حجم لرزهای توزیع می‌گردند؛ به طوری که به هریک از آن‌ها اجازه داده می‌شود در امتداد سطوحی که به‌نظر می‌رسد گسل باشند، با آزاد کردن فرومون الکترونیکی حرکت کنند [۱۹]. این الگوریتم می‌تواند به‌طور مؤثر میزان رخدادهای نامرتبط با گسلش را کاهش داده و پیوستگی گسل‌ها را بهبود بخشد. الگوریتم ردیابی مورچه نیز ابزاری کارآمد در شناسایی دقیق شکستگی‌های مخزن است که تمامی ناپیوستگی‌های مکانی موجود در نشان‌گر لرزهای را جهت استخراج سطوح محتمل به گسل تحلیل می‌کند.

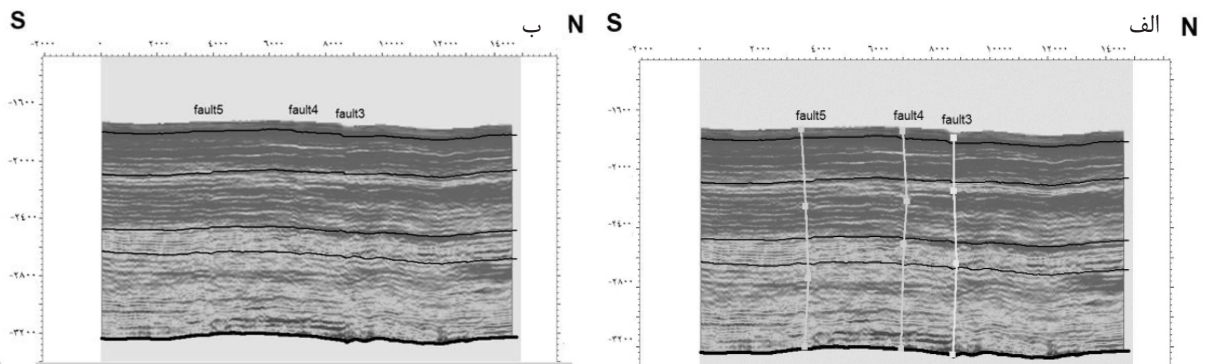
با ادامه روند در محور Inline182 دو گسل در بخش بالایی تاقدیس مشاهده شد. این دو گسل از نوع گسل نرمال هستند که به موازات همدیگر کشیده شده‌اند و به‌علت فرورفتگی ساختار گرابین را به وجود آورده‌اند. این دو گسل توسط ابزار در پترل کشیده شده و در **شکل ۴** مشاهده می‌شود. مقطع Xline در جهت NS، شمالی جنوبی قرار دارد. این مقطع از محور Xline 233 شروع می‌شود. در محور Xline403 جابه‌جایی لایه‌هایی که در **شکل ۵** دیده می‌شود نشان از وجود گسل می‌باشد که این گسل‌ها به‌علت ساختارشان گسل نرمال می‌باشند (**شکل ۵**). در Xline443 جابه‌جایی لایه‌ها با وضوح بیشتری دیده می‌شود و به‌علت تداوم گسل شماره ۴ و گسل ۳ که هر دو گسل، گسل نرمال می‌باشند، وجود گرابین در این محور از مقطع را تثبیت می‌کنند [۱۷] (**شکل ۶**). در محور Xline703 سه گسل نرمال به‌صورت کاملاً واضحی نمایش داده شد که در نرم‌افزار پترل با استفاده از ابزار رسم گسل، گسل‌های دیده شده در شکل رسم شدند (**شکل ۷**). در محور Xline713 ما بین دو گسل ۱۱ و گسل ۹ یک جابه‌جایی در روند لایه‌ها مشاهده شد که گسل اصلی دومین گرابین را ایجاد می‌کند (**شکل ۸**). محور Xline833 پر تنش‌ترین محور



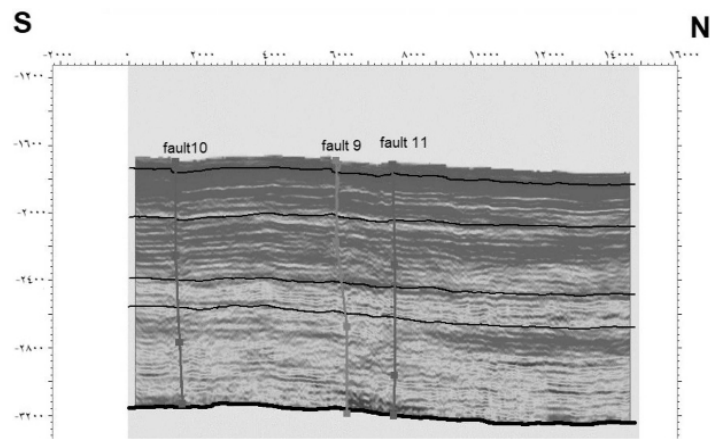
شکل ۴ مقطع Inline 182 که دو گسل نرمال گرابن و چهار چاه در این مقطع Inline نمایش می‌دهد



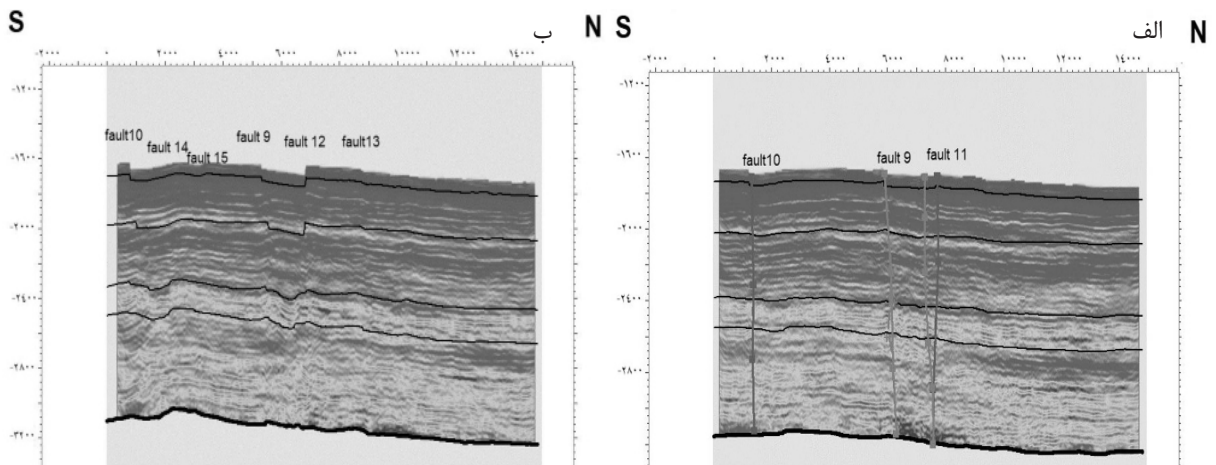
شکل ۵ هر خطوط عمودی رسم شده یک گسل نرمال را در ساختار Xline نمایش می‌دهد



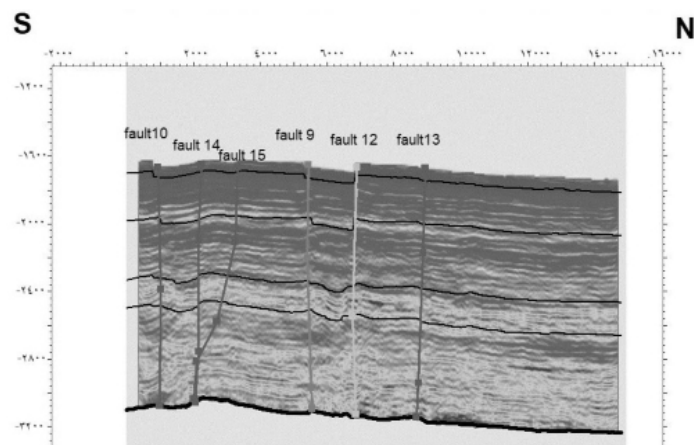
شکل ۶ تصویر الف) جابه‌جایی لایه‌ها و تصویر ب) مقطع Xline 443 با دو گسل شماره ۳ و ۴ که وجود فرورفتگی در مقطع را نشان می‌دهد



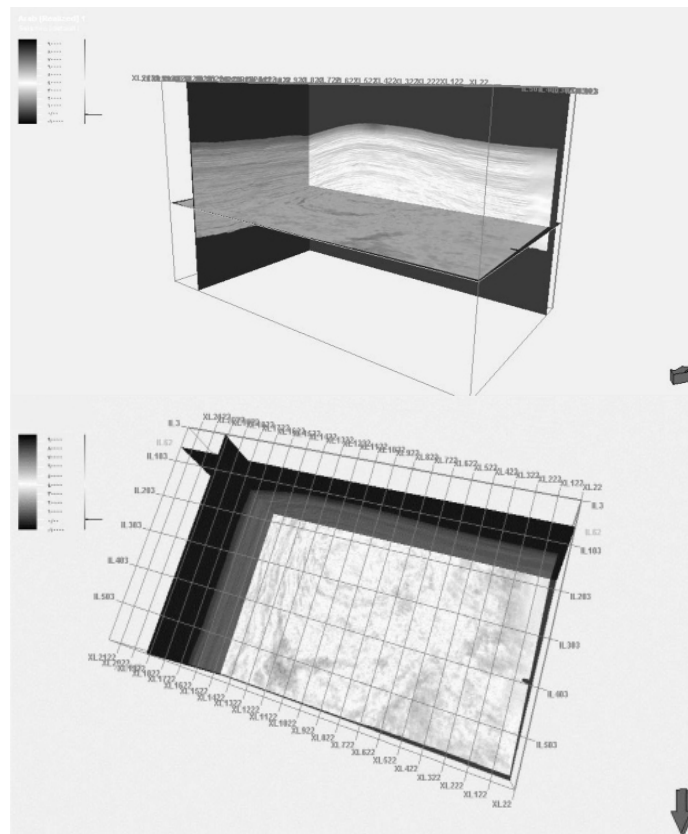
شکل ۷ سه گسل نرمال در مقطع Xline703



شکل ۸ یک گسل نرمال، مابین گسل‌های ۱۱ و ۹ که دومین گرابن را در منطق مورد مطالعه نشان می‌دهد



شکل ۹ مقطع Xline843 دو گسل نرمال دیگری دیده می‌شود در این مقطع زمانی پنج گسل در مقطع دیده می‌شود



شکل ۱۰ نمای کلی از مقطع Zline (تصویر بالایی) و وجود تاقدیس در منطقه (شکل پایینی)

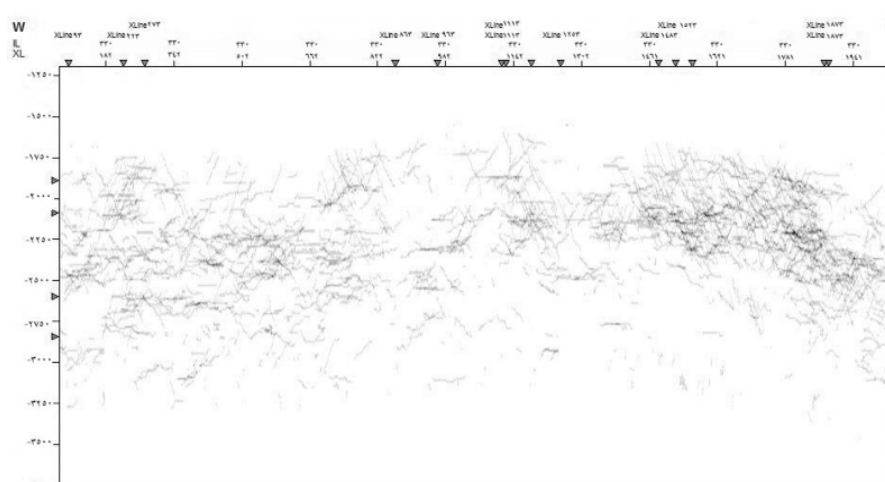
### سایر نشان‌گرها

در نرم‌افزار پترل بخش سائیزمیک برای عملکرد ردیابی مورچه ای ابتدا در این ترکیب نشان‌گر واریانس اعمال شده و سپس عملکرد ردیابی مورچه‌ای اعمال می‌شود همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود در محور Inline خط‌هایی در سمت راست داده دیده می‌شود، به‌صورت عمودی وجود دارد که جهت آن‌ها شمال باختری و جنوب خاوری می‌باشد و یک سری خطوطی به‌صورت شمال خاوری جنوب باختری مشاهده می‌شود. این خطوط به‌علت تکرار موجود به‌عنوان ریزگسل‌ها و شکستگی‌ها شناخته شدند. یکسری خطوط به‌عنوان شکستگی به‌صورت افقی وجود دارد که در محور دیده می‌شود. خطوط شمال باختری جنوب خاوری در Inline در سمت راست محور و با شدت فراوانی دیده می‌شود که نشان از وجود گسل‌هایی با ساختارهای ریز می‌باشند و وجود شکستگی‌های تند مزدوج، در منطقه میدان سلمان را تثبیت می‌کند (شکل ۱۱).

الگوریتم ردیابی مورچه‌ای یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای تشخیص گسل‌ها و شکستگی‌های موجود در میدان سلمان می‌باشد [۲۰]. همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود در نرم‌افزار پترل در بخش سائیزمیک با اعمال این نشان‌گر به‌دلیل نطفه‌های موجود خطوط نامنظمی در مقاطع دیده می‌شود که نمی‌توان وجود گسل‌ها و شکستگی‌ها را به‌طور قطعی در آن تشخیص داد. بنابراین در این پژوهش برای عملکرد بهتر ردیابی مورچه‌ای سه روش ترکیبی متفاوتی با نشان‌گرهای دیگر استفاده شده است [۲۱].

- اعمال الگوریتم ردیابی مورچه‌ای بدون ترکیب سایر نشان‌گرها
- ترکیب نشان‌گر واریانس با الگوریتم ردیابی مورچه‌ای
- ترکیب نشان‌گر هموارسازی و واریانس با الگوریتم ردیابی مورچه‌ای
- اعمال الگوریتم ردیابی مورچه‌ای بدون ترکیب با





شکل ۱۱ مقطع Inline با اعمال الگوریتم مورچه‌ای شکستگی‌های مزدوج با شیب تند

شکستگی‌ها با وضوح بالا، برای حذف نوفه‌های اضافی و همچنین برای عملکرد بهتر الگوریتم ردیابی مورچه‌ای اعمال شد بدین صورت است که در این ترکیب ابتدا نشان‌گر Smooth را اعمال کرده و پس از آن نشان‌گر واریانس و در آخر الگوریتم ردیابی مورچه‌ای اعمال شد (شکل ۱۳). با اعمال نشان‌گر Smooth داده‌های لرزه‌ای شفاف می‌شود و تشخیص گسل و شکستگی‌ها را آسان می‌کند. در واقع هدف اصلی این نشان‌گر حذف نوفه‌های تصادفی اصلی در داده‌های لرزه‌ای است که می‌تواند تداوم رویدادهای لرزه‌ای را افزایش دهد، در حالی که بخش‌های دیگر گسل‌های مرزی به خوبی حفظ می‌شوند.

در محور Xline733 دو گسل نرمال گرابین توسط این نشان‌گر قابل تشخیص است که در شکل ۱۴ گسل‌های رسم شده، با گسل‌های مشخص شده A و B روی هم می‌افتند و ساختار گرابین را تأیید می‌کند. در جدول ۱ گسل‌های شناسایی شده به همراه مقاطع لرزه‌ای و محورهای مورد بحث مرتبط با آنها آورده شدند.

#### بحث

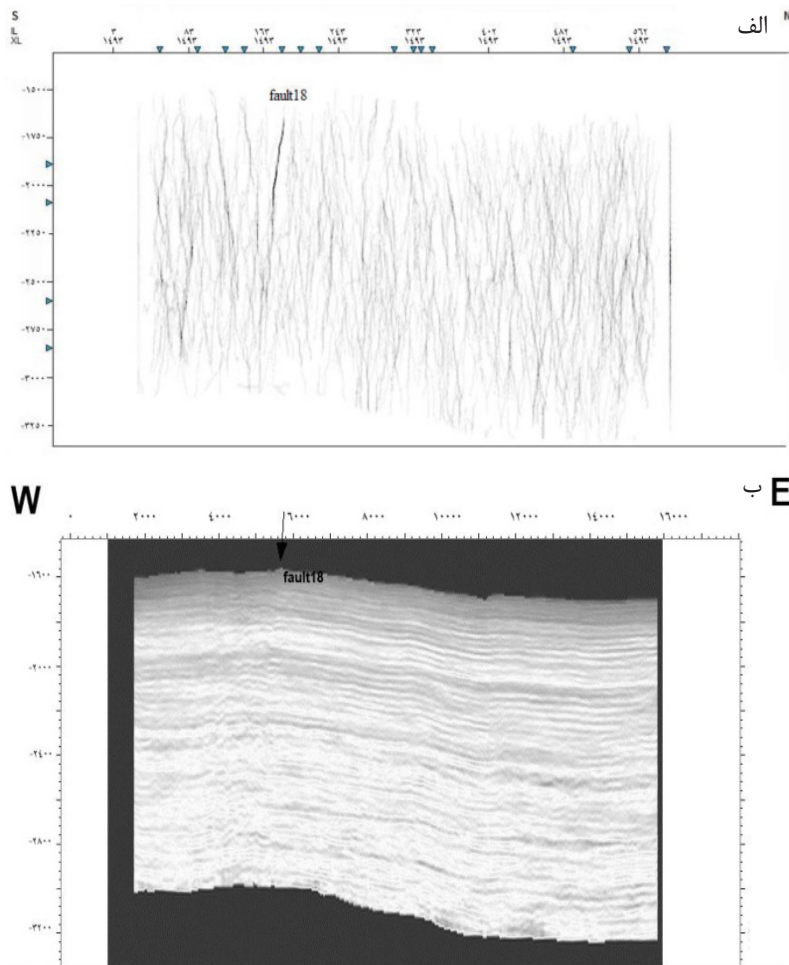
همان‌طور که بررسی و تحلیل شد در منطقه مطالعاتی ریزگسله‌ها و گسل‌های نرمالی وجود دارد.

#### - ترکیب نشان‌گر واریانس با الگوریتم ردیابی مورچه‌ای

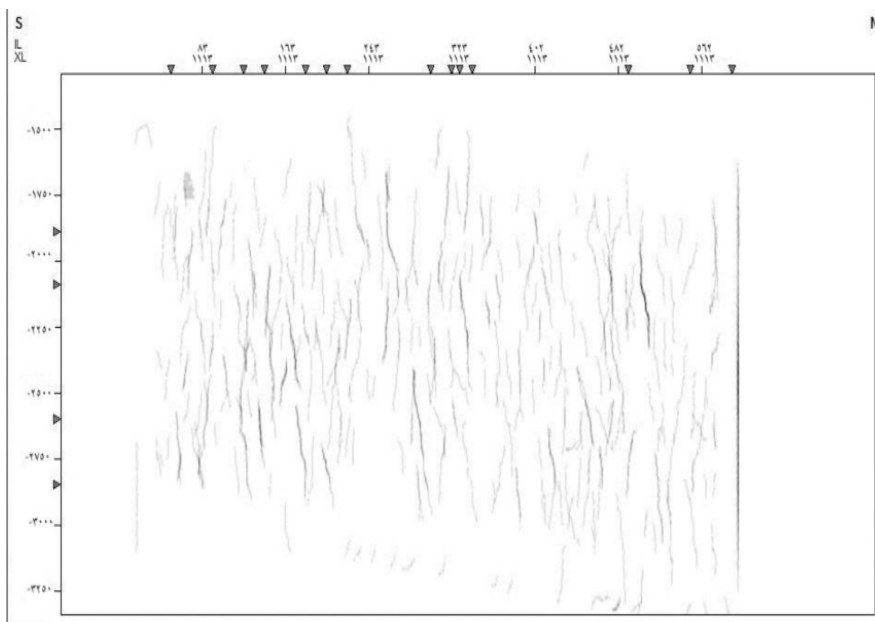
در این بخش به دلیل عملکرد بهتر الگوریتم ردیابی مورچه‌ای در مقاطع، نشان‌گرهای لرزه‌ای با هم اعمال شد بدین گونه که ابتدا نشان‌گر واریانس اعمال گردید. سپس الگوریتم ردیابی مورچه‌ای بر روی همان داده اعمال شد. در این داده‌ها نشان‌گر واریانس فقط وجود لبه‌ها را ثابت می‌کند و نمی‌توان وجود گسل و یا پدیده‌های دیگر زمین‌شناسی را در آن تشخیص داد اما از آن برای اجرای عملکرد بهتر الگوریتم ردیابی مورچه‌ای استفاده شد [۲۲]. در محور Xline1493 مشاهده شد که خطوط اضافی و اکثراً افقی از مقطع حذف شده‌اند و تنها گسل‌ها و شکستگی‌ها دیده می‌شود که گسل نرمال هم به صورت خط پرننگ در مقطع دیده می‌شود. این خط نشان‌گر گسل نرمال شماره ۱۸ است که طبق بررسی‌های انجام شده این گسل ۱۸ که به کمک الگوریتم ردیابی مورچه‌ای یافت شده است کاملاً منطبق با گسل ۱۸ همان محور می‌باشد که در مقطع Xline بررسی شد (شکل ۱۲).

#### - ترکیب نشان‌گر هموارسازی و واریانس با الگوریتم ردیابی مورچه‌ای

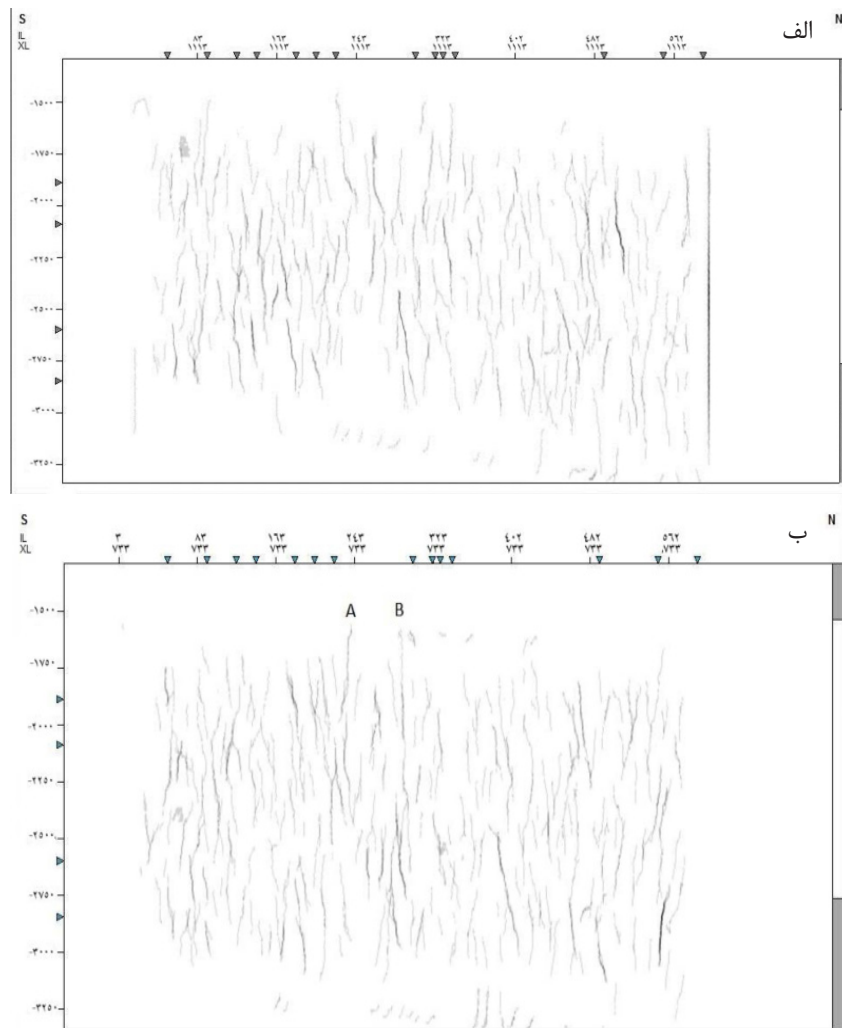
روش سومی که برای شناسایی گسل‌ها و



شکل ۱۲ گسل نرمال موجود در محور Xline1493. شکل الف گسل موجود توسط الگوریتم ردیابی مورچه ای یافت شده است که منطبق با گسل ۱۸ در محور ۱۴۹۳ از مقطع Xline است



شکل ۱۳ مقطع Xline که بدون نوفه‌های اضافی که ساختارها را نشان می‌دهد



شکل ۱۴ محور Xline733 الف) مقطع لرزه‌ای با الگوریتم ردیابی مورچه‌ای و ب) انطباق گسل‌های رسم شده با گسل‌های A و B شکل الف) که وجود ساختار گرابن را تأیید می‌کند

جدول ۱ مقاطع لرزه‌ای گسل‌های شناسایی شده

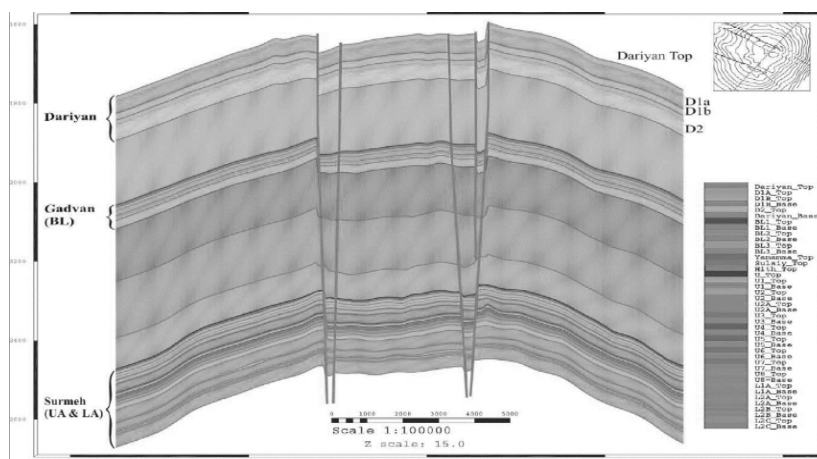
| مقطع لرزه‌ای | گسل                    |
|--------------|------------------------|
| Inline 182   | F3-F2                  |
| Xline 443    | F5-F4-F3               |
| Xline 703    | F11-F10-F9             |
| Xline 713    | F11-F10-F9             |
| Xline 913    | F11-F10-F9             |
| Xline 843    | F15-F14-F13-F12-F10-F9 |
| Xline 1493   | F18                    |

(تنش عمودی به سمت بالا) و سپس به مرور زمان در رژیم تکتونیکی، میدان سلمان به صورت کششی در آمده است که منجر به تشکیل دو سری گسل نرمال در رأس تاقدیس و یک ساختار گرابن مشخص شده است. طبق مطالعات لطفی و کشاورزفرج خواه به دلیل حساسیت سنجی پارامترهای الگوریتم ردیابی مورچه‌ای به تنهایی قادر به تشخیص واضح گسل‌ها نمی‌باشد. بنابراین در این پژوهش وقتی از ترکیب دو نشان گر وارپانس و هموارسازی استفاده شد تشخیص ساختارهای گسلی ساده تر شده و به وضوح در منطقه ساختارهای خط واری مشاهده شد که به معنای گسل نرمال بودند [۲۰].

### نتیجه گیری

از آن جایی که تجمع مواد هیدروکربنی مانند نفت و گاز در چین‌ها و گسل‌ها می‌تواند حضور بیشتری داشته باشد، داده‌های لرزه‌ای به دلیل عمق نفوذ قابل توجه، در تشخیص نفت و گاز، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. تفسیر گسل به صورت دستی یک کار وقت گیر می‌باشد. یکی از راه‌های شناسایی گسل‌ها، به کارگیری روش داده‌های لرزه‌ای همانند استفاده از نشان‌گرها در عصر حاضر می‌باشد. در این تحقیق از ترکیب نشان‌گرهای لرزه‌ای در راستای شناسایی گسل‌ها و شکستگی‌ها استفاده شد و همچنین تلاش شد گسل‌ها و شکستگی‌ها از لحاظ

در محور Inline 172 سه گسل نرمال دیده شد که دو گسل شماره ۲ و گسل شماره ۳ باعث ایجاد ساختار گرابن در محدوده مطالعاتی شده‌اند. در بررسی محور Xline 843 چندین گسل دیده شد که این گسل‌ها نیز از نوع نرمال می‌باشند. طبق بررسی‌های انجام شده در منطقه ساختار تاقدیس نیز دیده شد (این داده‌ها برای اولین بار در تحقیق حاضر مشاهده شده‌اند) که در بالای تاقدیس دو گسل نرمال بزرگی وجود دارند که باعث ایجاد گرابن شده است و این ساختار گرابن در هر دو محور Xline و Inline دیده می‌شود. گسل‌های فرعی هم در امتداد گسل‌های اصلی نرمال کشیده شده‌اند. شکل ۱۵ نمای شکلی از مقطع Xline میدان سلمان می‌باشد که جابه‌جایی‌های گسل نرمال را به تصویر کشیده است که باعث پدید آمدن گرابن در قله تاقدیس میدان سلمان شده است [۲۳]. در بررسی نشان‌گرها برای تشخیص گسل‌ها و شکستگی‌ها مشخص شد که طبق مطالعات حسین زاده و کدخدایی الگوریتم ردیابی مورچه‌ای در شناسایی دقیق شکستگی‌های مخازن ابزاری کارآمد است [۲۴] که در میدان سلمان هم با اعمال الگوریتم ردیابی مورچه‌ای شکستگی‌های مزدوج با شیب تند به وضوح دیده شدند. در واقع ابتدا تاقدیس تشکیل شده است که علت ساختار گنبدی این میدان (شیب چهار طرفه) نفوذ دیپایرهای نمک به سمت بالا بوده است



شکل ۱۵ نمای تصویری از گسل‌های نرمال و گرابن موجود در منطقه میدان سلمان

گسل‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی را در مقاطع لرزه‌ای به درستی و با وضوح کامل‌تری مشاهده و تفسیر کرد.

طبق بررسی‌های انجام شده چنین نتیجه‌گیری می‌شود:

- در میدان سلمان ساختار تاقدیسی داریم که این تاقدیس حاصل بالا آمدن گنبد نمکی در اثر برخورد تکتونیکی پلیت ایران و عربستان است.
- در میدان سلمان گسل‌های اصلی نرمال باعث ایجاد گرابن شده و روند گسل‌ها در جهت NW-SE گسل‌های فرعی نیز در امتداد گسل‌های اصلی می‌باشند.
- با اعمال الگوریتم ردیابی مورچه‌ای شکستگی‌های مزدوج با شیب تند را که شاخص رژیم تکتونیکی کششی است مشخص شد.
- با ترکیب الگوریتم ردیابی مورچه‌ای با نشان‌گرهای واریانس و هموارسازی می‌توان گسل‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی را در مقاطع لرزه‌ای به درستی و با وضوح کامل‌تری مشاهده و تفسیر کرد.

### تشکر و قدردانی

مقاله حاضر، برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول است که در دانشگاه تبریز انجام شده است. بدین‌وسیله از دانشگاه تبریز برای حمایت در راستای انجام تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

موقعیت و هندسه توسط برخی نشان‌گرهای لرزه‌ای مهم مانند نشان‌گر لرزه‌ای هموارسازی، شیب، واریانس و الگوریتم ردیابی مورچه‌ای شناسایی شود. در نتیجه با استفاده از نرم‌افزار پترل و نشان‌گرهای استخراج شده از داده‌های لرزه‌ای، وجود گرابن در منطقه و همچنین گسل‌ها و شکستگی‌هایی را در مقاطع مختلف از داده‌های لرزه‌ای تفسیر شد. باید در نظر داشت هدف پژوهش مذکور، شناسایی ویژگی‌های مورد هدف در مقاطع زمانی و افقی می‌باشد. طبق تفاسیر به دست آمده وجود دو گسل نرمال تفسیر شد که باعث پدید آمدن یک گرابن در منطقه مطالعاتی شده است. استفاده از ویژگی جدید Ant Tracking به زمین شناس در کار تفسیر گسل کمک زیادی می‌کند. با روش ردیابی مورچه‌ای شکستگی‌های مزدوج با شیب تند که شاخص مناطق با رژیم تکتونیکی کششی هستند شناسایی شده‌اند. دانش زمین‌شناسی منطقه و تجربه مفسر مرتبط با این ابزار مفید به‌طور قابل توجهی باعث صرفه‌جویی در زمان در طول کار تفسیر خواهد بود و طبق تفاسیر انجام شده مشاهده شد که نشان‌گرهای لرزه‌ای به‌خصوص الگوریتم ردیابی مورچه‌ای به تنهایی قادر به تشخیص درست گسل‌ها و شکستگی‌ها نمی‌باشد که در این پژوهش برای بهبود وضعیت از روش ترکیبی استفاده شد با ترکیب الگوریتم مورچه‌ای با نشان‌گرهای واریانس و هموارسازی می‌توان

### مراجع

- [۱]. آقاباتی، س. ع. (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، (۶۴۰).
- [2]. Fossen H. (2016). Structural geology University of Bergen, Norway, ISBN 978-1-10705764-7 Hardback,
- [۳]. شیبانی، ح. ر. و حسن‌نیا م. (۱۳۹۸). جزیره تاریخی لاوان و ظرفیت‌های اقتصادی آن، هفدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، مطالعات خلیج فارس سال پنجم تابستان، (۱۷).
- [۴]. موسوی نسب، ص.، کدخدائی، ع.، علیزاده، ا. و براتی، م. ب. (۱۳۹۵). ارزیابی تاثیر تنش‌ها در الگوی پراکندگی و میزان جابه‌جایی گسل‌های میدان نفتی سلمان، پژوهش نفت، ۲۶(۳-۹۵)، ۹۲۲-۸۲. doi: 10.22078/pr.2016.642

- [۵]. جهانبخش، ر.، امامزاده، س. ا.، علیاری شوره دلی، م.، هاشمی، ع. و میری ر. (۱۳۹۰) پیش‌بینی گیر اختلاف فشاری لوله‌های حفاری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی احتمالی در حفاری فراساحلی میدین خلیج‌فارس. پژوهش نفت، ۲۱(۶۵):۵۷-۴۷. Available from: <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=177551>
- [6]. Jansen, K. (2005). Seismic investigation of wrench faulting and fracturing at Rulison Field, Colorado (Doctoral dissertation, Colorado School of Mines), 121.
- [7]. Ngeri, A. P., Tamunobereton-Ari, I., & Amakiri, A. R. C. (2015). Ant-tracker attributes: an effective approach to enhancing fault identification and interpretation, *Journal of VLSI and Signal Processing*, 5, 67-73.
- [۸]. لطفی، م. و کشاورزفرج‌خواه، ن. (۱۳۹۶). حساسیت‌سنجی پارامترهای الگوریتم ردیابی مورچه و عوامل مؤثر بر عملکرد آن در شناسایی گسل‌ها و شکستگی‌ها، چهارمین همایش بین‌المللی نفت، گاز و پتروشیمی، تهران.
- [9]. Basir, H. M., Javaherian A. and Yaraki M. T. (2013) Multi-attribute ant-tracking and neural network for fault detection: A case study of an Iranian oilfield, *Journal of Geophysics and Engineering*, 10, 1, doi: 10.1088/1742-2132/10/1/015009.
- [10]. Riahi, Z. T., Sarkarinejad, K., Faghieh, A., Soleimany, B., & Payrovian, G. R. (2021). Fracture detection using multi seismic attributes ant-tracking in the Rag-e-Sefid oilfield, SW Iran (No. EGU21-12039), *Copernicus Meetings*, doi.org/10.5194/egusphere-egu21-12039.
- [۱۱]. صادقی، ل.، حسنپور صدقی، م. و کدخدایی، ع. (۱۴۰۱). تحلیل تکتونیک‌یکی یکی از میدین نفتی جنوب غرب ایران، با استفاده از نمودار تصویری FMI، پژوهش نفت، ۳۲(۱۴۰۱): ۳-۲۱. doi: 10.22078/pr.2022.4611.3077
- [۱۲]. نورافکن، ا.، سلیمانی ب. و کدخدایی، ع. (۱۳۹۴). ساخت نمودار سرعت موج برشی با بهره‌گیری از الگوریتم کلونی مورچه و استفاده از داده‌های چاه‌پیمایی در میدان نفتی چشمه خوش، پژوهش نفت، ۲۵(۱-۸۵)، ۲۰۳-۱۹۳. doi:10.22078/pr.2016.590
- [13]. Bouchaala, F., Ali, M. Y., Matsushima, J., Bouzidi, Y., Takougang, E. M. T., Mohamed, A. A., & Sultan, A. (2019). Azimuthal investigation of compressional seismic-wave attenuation in a fractured reservoir. *Geophysics*, 84(6), B437-B446, doi: 10.1190/GEO2019-0079.1.
- [۱۴]. همپائیان، ر.، رحیم‌پور بناب، ح.، کمالی، م. ر. و موسوی حرمی، س. ر. (۱۳۹۴). عوامل مؤثر بر کیفیت مخزنی سازند سورمه فوقانی (عرب) در میدین بلال و سلمان - خلیج‌فارس، پژوهش نفت، ۲۵(۸۳): ۸۱-۶۸. doi: 10.22078/pr.2015.534
- [15]. Samadi, I., Kordi, M., Soleimani Monfared M., & Ahmadi A. (2020). Introducing an integrated strategy in fault modelling with multi-attributes in 3D seismic data in a field from Persian Gulf, *Journal of the Earth and Space Physics*, 46(1). 81-96, doi: 10.22059/jesphys.2020.286837.1007147.
- [16]. Jansen, K. (2015). Seismic investigation of wrench faulting and fracturing at rulison field, Colorado By, 121, First Eddition.
- [17]. Nelson, R., Amoco, B. P. (2016). Geologic analysis of naturally fractured reservoirs, First Eddition, Houston TX, ISBN 978-0-88415-317-7 Hardback.
- [18]. Zhou, H. W. (2014). Practical Seismic Data Analysis, 1st edition, Springer, 1-385, doi: 10.1017/cbo9781139027090.
- [19]. Colorni, Alberto, Marco Dorigo, and Vittorio Maniezzo. (1992) An Investigation of some Properties of an Ant Algorithm, First Eddition, In PPSN, 92, 1-189.
- [۲۰]. عقلی، ق.، سلیمانی، ب.، چرچی، ع. و زحمتکش، ا. (۱۳۹۵). تعیین روشی نوین برای شناسایی زون‌های شکسته بر روی نمودارهای پتروفیزیکی و تطابق آن با نمودارهای تصویرگر، پژوهش نفت، ۲۶(۱-۹۵): ۱۳۴-۱۲۰. doi: 10.22078/pr.2016.619
- [۲۱]. لطفی م. و جواهریان ع. (۱۳۹۸). بهبود شناسایی گسل‌ها با تلفیق شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و نشان‌گرهای لرزه‌ای غیرمتعارف، [https://jmre.journals.ikiu.ac.ir/article\\_2361.html](https://jmre.journals.ikiu.ac.ir/article_2361.html)
- [22]. Zhang, T., Lin, Y., Liu, K. H., Alhakeem, A., & Gao, S. (2017). Fault visualization enhancement using ant tracking technique and its application in the Taranaki basin, new Zealand, In SEG Technical Program

Expanded Abstracts, 2350-2354, Society of Exploration Geophysicists, doi: 10.1190/segam2017-17654531.1.

[۲۳]. کدخدایی، ع. (۱۳۹۱). گزارش شرکت خدمات مهندسی نفت کیش، کارفرما شرکت نفت فلات قاره ایران.

[24]. Kadkhodaie, A., Hosseinzadeh, S., Mosaddegh, H., & Kadkhodaie, R. (2019). Pore throat size characterization of carbonate reservoirs by integrating core data, well logs and seismic attributes. *Geopersia*, 9(2), 395-410, doi: 10.22059/GEOPE.2019.269872.648430.



# Identification of Fractures and Faults in Salman Oil Field in the Persian Gulf Using Seismic Data by the Ant-tracking Algorithm

Asma Nosrati, Fatemeh Mesbahi\*, Ali Kadkhodaie and Mohammad Hasanpour Sedghi

Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz

mesbahif@tabrizu.ac.ir

DOI:10.22078/PR.2023.4864.3176

Received: October/04/2022

Accepted: February/05/2023

## Introduction

Iran, as a country located in the Middle East region, has many hydrocarbon materials, so it is important to recognize these regions [1]. In this research, using existing sections and three-dimensional seismic data, the trend of faults and fractures in the Persian Gulf of Salman field was diagnosed and interpreted. Identifying faults is one of the important stages of earthquake interpretation. It is a diagram that is used in building a seismic structure model [2]. Seismic features are very useful for describing faults and fractures in 3D seismic data volumes and measuring the coherence of lateral changes in the waveform. In addition, in this research, the Petrel software (2008 edition) produced by Schlumberger company was used to extract suitable indicators for identifying faults and fractures and interpreting seismic data.

## Materials and Methods

The data used in this project were ready and collected by an overseas company. The noises in the data have been removed and the signal-to-noise ratio has been improved by using Cut Low Cut=High Pass, High Cut=Low Pass filters, and F-K filter. Since the studied area is in an offshore field, this company uses the Land Streamer method to collect data to increase the speed and efficiency of seismic acquisitions, especially in shallow areas, and thus reduce costs [3,4].

The data prepared from the Salman area of the Persian Gulf were collected by hydrophones in the form of sea sampling. The software used in this project is Petrel software, and the format of the prepared data is SGY.

These data are uploaded and then released to improve the quality.

## Results and Discussion

There are micro faults and normal faults in the study area, three normal faults can be seen Inline 172 axis, faults 2 and 3 caused the creation of a graben structure in the research area. In the examination of the Xline843 axis, several faults can be seen, and these faults are of the normal type. According to the investigations carried out in the region of the anticline structure, it was seen that there are two large normal faults above the anticline which caused the creation of graben and this graben structure can be seen in both the Xline and Inline axis, the sub-faults are also created due to tensile force. Figure 14 is a schematic view of the Xline section of the Salman field, depicting the displacements of the normal fault, which caused the emergence of graben in the Salman field [5]. According to the studies of Hosseinzadeh and Kodkhodaie, the ant tracking is an accurate algorithm for detecting reservoir fractures. [6], which is also found in the Salman field by applying the ant-tracking indicator. Conjugate fractures with a steep slope were seen, which is a characteristic of the extensional tectonic regime.

According to the studies of Lotfi et.al(2016), due to the sensitivity of the parameters of the ant tracking algorithm alone, it is not able to detect faults, therefore, in this study, when the combination of two variance indicators and smoothing is used, the detection of fault structures has become simpler and it is possible to see the structures in the region, meaning a normal fault [7].



### Conclusions

Since the accumulation of hydrocarbon materials such as oil and gas can be more present in folds and faults, seismic data is of special importance in detecting oil and gas due to its significant penetration depth. There are five exploratory wells in the Salman field, since the manual interpretation of the fault is a time-consuming task, one of the ways to identify the faults is the use of seismic data methods, similar to the use of markers in the present area. In this research, the combination of seismic indicators was used to identify faults and fractures, and it was also tried to smooth the faults and fractures in terms of position and geometry by some important seismic indicators such as the seismic indicator. Slope, variance, and ant tracking indicators should be identified. As a result, by using Petrel software and the seismic, the existence of graben in the region as well as faults and fractures at different stages were interpreted from seismic data. It should be kept in mind that the mentioned research aims to identify the characteristics of the target in time and horizon. According to the obtained interpretations, the existence of two normal faults was interpreted as having caused the emergence of a graben in the study area. Using the new feature of Ant Tracking helps the geologist a lot in fault interpretation. The ant tracking method has detected conjugate fractures with a steep slope, which are indicators of areas with a tensile tectonic regime. The geological knowledge of the area and the experience of the interpreter related to this useful tool will significantly save time during the interpretation work, and according to the interpretations, it was observed that the seismic indicators, especially the ant tracking seismic indicator is not able alone to correctly detect faults and fractures. To improve the results obtained and increase the accuracy of the operation, in this research, a hybrid method was used to improve the situation, by combining the ant algorithm with variance indicators and smoothing, it is possible to identify faults and geological structure.

### Acknowledgments

This article is taken from the master's thesis of the first author, which was done at the University of Tabriz. The University of Tabriz is hereby thanked for its support in carrying out the research.

### References

1. Aghanabati, A. (2005). Geology of Iran, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (GSI), Iran, Open Journal of Geology, 7,7.
2. Haakon Fossen (2016) "STRUCTURAL GEOLOGY." 1st edition, Hardback, University of Bergen, Norway, 1-642, ISBN 978-1-10705764-7 2016.
3. Zhao, X., Chen, X., Lan, Z., Wang, X., & Yao, G. (2023). Pore pressure prediction assisted by machine learning models combined with interpretations: A case study of an HTHP gas field, Yinggehai Basin. *Geoenergy Science and Engineering*, 229, 212114, Doi.org/10.1016/j.geoen.2023.212114.
4. Bouchaala, F., Ali, M. Y., Matsushima, J., Bouzidi, Y., Takougang, E. M. T., Mohamed, A. A., & Sultan, A. (2019). Azimuthal investigation of compressional seismic-wave attenuation in a fractured reservoir. *Geophysics*, 84(6), B437-B446, DOI: 10.1190/GEO2019-0079.1.
5. Lotfi, Masoumeh and Keshavarfarajkhah, Nasser, 2016, sensitivity measurement of the parameters of the ant tracking algorithm and factors affecting its performance in identifying faults and fractures, the 4th International Oil, Gas and Petrochemical Conference, Tehran.
6. Ali Kodkhodaie, 1391, Report of Kish Oil Engineering Services Company, the employer of Continental Plateau Oil Company of Iran
7. Kadkhodaie, A., Hosseinzadeh, S., Mosaddegh, H., & Kadkhodaie, R. (2019). Pore throat size characterization of carbonate reservoirs by integrating core data, well logs and seismic attributes. *Geopersia*, 9(2), 395-410, doi: 10.22059/GEOPE.2019.269872.648430.