

## تحلیل شکستگی‌های سنگ مخزن آسماری در میدان نفتی مارون (جنوب باختر ایران)

رضا علی‌پور

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۴ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۲

rezaalipoor116@gmail.com

### چکیده

میدان نفتی مارون در شمال خاوری اهواز، شمال باختری میدان آغاچاری و در منطقه فروافتادگی دزفول واقع شده است. رخنمون سطحی این میدان را سازند آغاچاری و نهشته‌های عهد حاضر تشکیل می‌دهد و سازند آسماری مهم‌ترین سنگ‌مخزن این میدان و به پنج لایه مخزنی تقسیم شده است. در این پژوهش بر اساس اطلاعات زیرسطحی مناطق مستعد با توسعه شکستگی بالا در این تاقدیس مورد بررسی قرار گرفته است و به نظر می‌رسد که تاقدیس نفتی مارون یک چین‌نامتقارن است و در قسمت‌های میانی ساختار که خمش محوری بارز است، مستعد مناطق با شکستگی بالا است. یال جنوب باختری در بیشتر نواحی و یال شمال‌خاوری در نواحی مرکزی دارای تراکم بالای شکستگی هستند و خمش محوری تاقدیس مارون ناشی از پهنه برشی حاصل از عملکرد گسل‌های پی‌سنگی و ساختارهای راستالغز قدیمی می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** آسماری، شکستگی، زیرسطحی، مارون، تاقدیس

### مقدمه

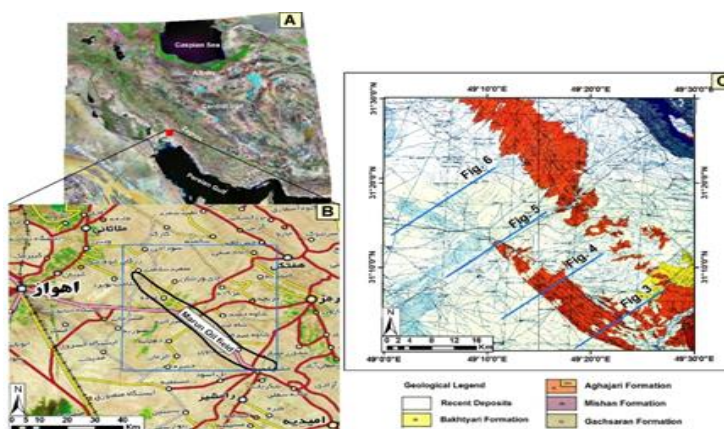
است. به طور کلی مطالعات بسیار کمی در جهت شناسایی ساختاری و شکستگی‌های میدان نفتی مارون انجام شده است که محدود به گزارشات درون سازمانی شرکت ملی نفت می‌باشد، از جمله (Baker and Speers, 1978) که به تجزیه و تحلیل شکستگی‌های این مخزن و (Eshghi, 1969) که به مطالعه شکستگی‌های این مخزن پرداختند و همچنین آربین و محمدیان (۱۳۸۹) با استفاده از اطلاعات مغزه‌ها و نمودارهای تصویرگر به بررسی شکستگی‌های مخزن آسماری میدان مارون پرداخته‌اند.

### هندسه ساختاری تاقدیس مارون

تاقدیس مارون در ناحیه فروافتادگی دزفول قرار گرفته که در اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی مربوط به چین‌خوردگی حاکم بر سامانه زاگرس، شکستگی‌های متعدد و متغیری در آن ایجاد شده است. در رخنمون‌های سطحی این تاقدیس، در بخش جنوب‌خاوری آن سازند آغاچاری و در بخش شمال باختری نهشته‌های عهد حاضر دیده می‌شود. ساختار نامتقارن و موجی شکل مارون در افق آسماری دارای ۷۰ کیلومتر طول و ۴ تا ۸ کیلومتر عرض می‌باشد که در بخش‌های شمال باختری از عرض آن کاسته می‌شود. شیب یال جنوب باختری بین ۴۵ تا ۶۰ درجه و شیب یال شمال خاوری بین ۲۵ تا ۳۵ درجه متغیر است (شکل ۲). مهم‌ترین گسلی که بر روی ساختار مارون تاثیرگذار بوده است، راندگی عمیقی است که در یال جنوبی و در امتداد روند ساختار به وجود آمده و شیب آن به سمت شمال خاور می‌باشد. ساختار نامتقارن، هندسه موجی شکل و همچنین تغییر شیب یال‌ها در طول تاقدیس نشان دهنده تنوع سازوکار چین‌خوردگی در این ساختار است. بنابراین تعیین دقیق سازوکار چین‌خوردگی در این تاقدیس دشوار می‌نماید. به‌طور کلی اطلاعات موجود درباره سازوکار چین‌خوردگی تاقدیس‌های زاگرس بر پایه اطلاعات لرزه‌نگاری و چاه‌ها می‌باشد.

میدان نفتی مارون در شمال‌خاور اهواز و در شمال‌باختر میدان نفتی آغاچاری قرار گرفته است. طول و عرض میدان به ترتیب ۷۰ کیلومتر و ۴ تا ۸ کیلومتر می‌باشد و یکی از بزرگ‌ترین میادین نفتی کشور می‌باشد. میدان مارون، تاقدیس نامتقارن با گسلی بزرگ و معکوس در یال جنوبی می‌باشد و در بخش جنوب خاوری فروافتادگی دزفول قرار گرفته است. گسل‌های بزرگ و عادی به موازات گسل معکوس یال جنوبی ولی در وضعیتی کم‌عمق‌تر، ساختمان تاقدیس آسماری را قطع کرده است. امتداد محور تاقدیس مارون مانند دیگر ساختارهای زاگرس در جهت شمال باختر جنوب خاور بوده که روند محور در بخش شمال‌باختری N45W بوده در قسمت جنوب‌خاوری تاقدیس، روند N55W پیدا می‌کند. در این تاقدیس بیشینه شیب در یال شمال‌خاوری ۲۵ تا ۳۵ درجه و در یال جنوب‌باختری ۴۵ تا ۶۰ درجه می‌باشد. بر اساس اطلاعات مخزنی، سازند آسماری در این میدان به پنج پهنه تقسیم بندی شده است که سنگ‌شناسی آنها مشتمل بر انیدریت، ژیبس، مارن و آهک است. همچنین پوش‌سنگ مخزن آسماری در میدان نفتی مارون در واقع بخش یک سازند تبخیری گچساران می‌باشد. تاکنون ۳۴۰ حلقه چاه در این میدان حفاری شده است که ۲۵ حلقه چاه در مخزن بنگستان و ۵ حلقه چاه در مخزن خامی تکمیل شده است. رخنمون‌های سطحی منطقه مورد مطالعه مشتمل بر سازند بختیاری (پلیوسن) و سازند آغاچاری (میوسن بالایی- پلیستوسن) می‌باشد (شکل ۱). شناخت نحوه تراکم و گسترش شکستگی‌ها در مخازن زیرسطحی نقش مهمی در برآورد پارامترهای مخزنی از قبیل روزنگی و تراوایی ایفا می‌کند. (شبان ۱۳۸۲) بنابراین در این پژوهش برای بررسی شکستگی‌های مخزن آسماری میدان نفتی مارون از روش‌های تحلیلی هندسی دایره‌محاطی، مشتق دوم ساختاری، خمش محور و RFF استفاده شده

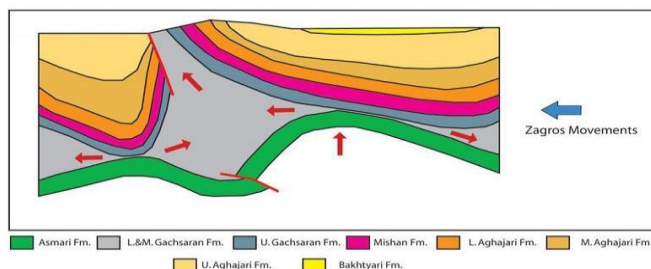
سنگی نسبتاً مقاوم و یک لایه با مقاومت کمتر وجود دارد که دگرریختی از یک سطح جدایشی مشخص می‌شود (Poblet and McClay, 1996; Dahlstrom, 1990; Mitra, 2003, 2002b). سطوح جدایش متعددی در کمربند زاگرس در طی مراحل مختلف دگرریختی پیشرو، هندسه چین‌ها را پیچیده نموده‌اند (Sherkati and Letouzey, 2004). همچنین یال‌های جلویی پرشیب تا برگشته باعث ایجاد چین‌های انتشار گسلی در جلوی راندگی‌های پنهان در زاگرس گردیده است (McQuarrier, 2004) و ساختارهای پس‌راندگی (Mitra, 2003) و راندگی‌های خارج از توالی (Morley, 1988) در بخش‌هایی از تاقدیس‌های فربار در فول قابل مشاهده است.



شکل ۱. (A) تصویر ماهواره‌ای (Landsat 8 TM bands) فلات ایران که چهارگوش قرمز رنگ موقعیت شکل B را نشان می‌دهد. (B) نقشه راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه که چهارگوش آبی رنگ محل شکل C را نشان می‌دهد. (C) نقشه زمین‌شناسی میدان مارون در جنوب باختر ایران (Setudehnia and OB Perry, 1996) و خطوط آبی رنگ محل نیمرخ‌های لرزه‌نگاری شکل‌های ۳ تا ۶ را نشان می‌دهد.

پس‌راندگی‌های هندسی شود. بنابراین وجود لایه‌های شیلی در ستون سنگ‌شناسی آسماری میدان نفتی مارون در طی چین‌خوردگی می‌تواند موجب لغزش لایه‌ها شده و هر سطح طبقه به صورت سطوح لغزشی عمل کرده و لغزش از یال‌ها به سوی لولای چین است و لولا تغییر شکل کمی داده است. تفسیر نیمرخ‌های لرزه‌نگاری در قسمت‌های مختلف تاقدیس مارون و همچنین نیمرخ‌های رسم شده بر روی نقشه زیرسطحی سازند آسماری و زاویه بین‌یالی در نیمرخ‌های تاقدیس مارون نشان می‌دهد که هندسه چین از نوع چین‌های مرتبط با گسل و باز تا ملایم است و تغییرات حائز اهمیت در روند محور چین همراه با تغییر شیب یال‌ها نشان می‌دهد که تاقدیس از نوع چین‌های جدایشی و گسترش گسلی است.

سازند گچساران نقش اساسی در دگرریختی چین‌خوردگی‌های زاگرس داشته است، به طوری که نیروهای فشارشی ناشی از کوهزایی زاگرس باعث ایجاد راندگی در سازند گچساران می‌شود که این راندگی نقش مهمی در حرکت رو به بالای مواد شکل‌پذیر بازی می‌کند. بخش‌های روی مواد کم‌قوام به سمت سطح حرکت می‌کنند و در نتیجه بخش‌های بالایی سازندهای گچساران، میشان (میوسن میانی) و آغاچاری (میوسن بالایی تا پلیوسن) به سمت بالا خمیده می‌شوند و همچنین بخش‌های کم‌قوام سازند گچساران طی دگرریختی از محور تاقدیس به اطراف حرکت می‌کنند (Abdollahie Fard et al., 2011) (شکل ۲). درگیر شدن افق‌های جدایشی میانی طی دگرشکلی پیشرونده می‌تواند موجب افزایش



شکل ۲. دگرریختی در سازند گچساران در طی دگرریختی ناشی از کوهزایی زاگرس و حرکت جانبی و رو به بالای مواد کم‌قوام (Abdollahie Fard et al., 2011).

## روش مطالعه

شکستگی‌ها رایج‌ترین ساختار زمین‌شناسی هستند که ممکن است در هر رخنمون سنگی وجود داشته باشند (Park, 1989). البته به دلیل فرآیندهای پیچیده‌ای که در تشکیل آن‌ها دخالت دارد، تحلیل و بررسی آن‌ها به‌خصوص از دیدگاه ساختاری، به ویژه در مورد شکستگی‌های زیرسطحی مشکل بوده و به همین خاطر با وجود اهمیت زیاد، کمتر مورد توجه زمین‌شناسان قرار گرفته‌اند. تحلیل صحیح شکستگی‌ها و شناسایی مکان‌هایی با تراکم بالای شکستگی در مخازن هیدروکربنی و کربناته جنوب باختر ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مطالعه برای بررسی دقیق هندسه ساختاری تاقدیس مارون و بررسی شکستگی‌ها تعداد ۴ نیمرخ لرزه‌نگاری با فاصله حدوداً ۱۲ کیلومتری از یکدیگر انتخاب و مورد تفسیر قرار گرفته و سپس تغییرات ساختاری از شمال باختری تا جنوب خاوری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و ساختارها بر روی آن مشخص گردیده است. همچنین جهت بررسی توزیع فراوانی و تراکم شکستگی‌ها در میدان نفتی مارون، اطلاعات چاه‌ها و نقشه‌های زیرسطحی و نیمرخ‌های لرزه‌نگاری در روش‌هایی به کار برده شده‌اند، که هر یک از کارایی خاص خود برخوردارند. سپس با تطبیق نتایج حاصل از این روش‌ها درک بهتر و دقیق‌تری در مورد چگونگی گسترش شکستگی‌های مخزنی صورت گرفته است. روش‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل روش مشتق‌گیری ریاضی (مشتق اول و مشتق دوم)، روش تحلیل دایره محاطی (Inscribed Circle Analysis)، روش RFF (Relative Frequency of Fractures Method) و روش تعیین میزان و جهت خمش محور ساختاری می‌باشند.

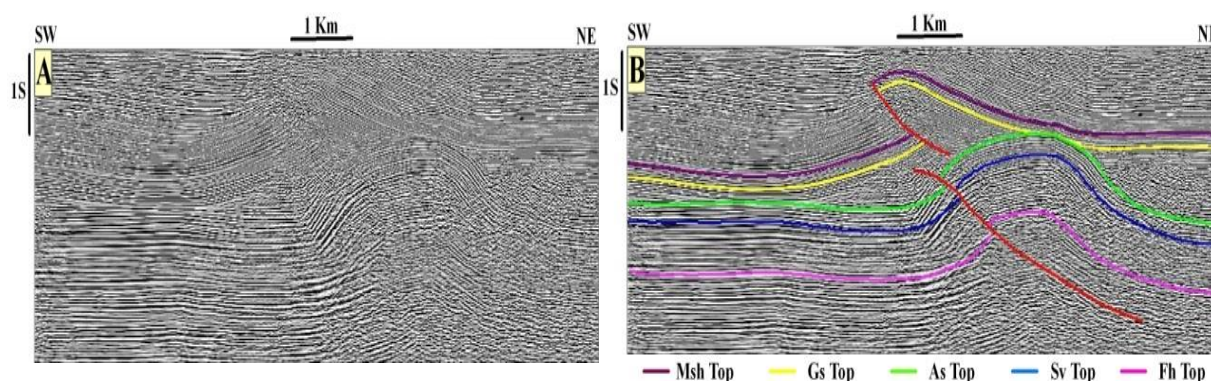
## تفسیر نیمرخ‌های لرزه‌نگاری

در این پژوهش برای بررسی هندسه چین‌خوردگی تاقدیس مارون چهار نیمرخ لرزه‌نگاری به صورت عمود بر محور تاقدیس و با روند شمال خاوری - جنوب باختری انتخاب و مورد تفسیر قرار گرفته که موقعیت این نیمرخ‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. نیمرخ لرزه‌نگاری (شکل ۳) در

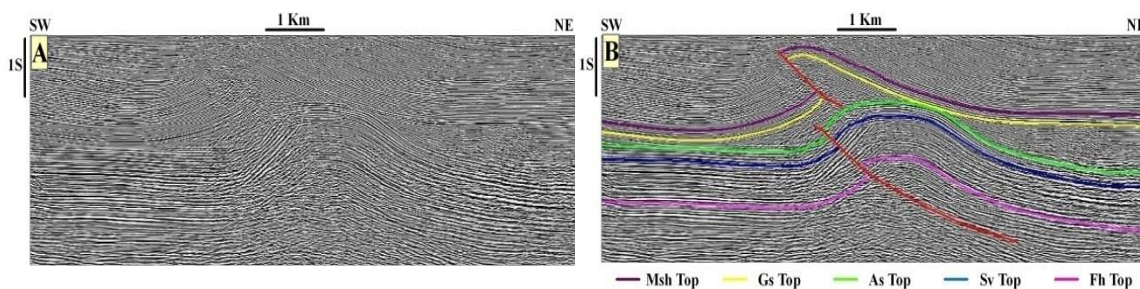
بخش جنوب‌خاوری تاقدیس مارون قرار دارد و بیشتر رخنمون سطحی در امتداد این نیمرخ را سازند آواری آغاچاری تشکیل می‌دهد. یک راندگی عمقی جلویی که از گروه خامی منشا گرفته، تا بخش‌های میانی سازند گچساران نفوذ کرده و باعث ایجاد دگرریختی اصلی شده است. با ادامه دگرریختی در تاقدیس مارون یک راندگی کم‌عمق بالایی که ریشه در سازند شکل‌پذیر گچساران دارد به سطح رسیده است و باعث خمش در سازندهای گچساران، میشان و آغاچاری شده است. ضخامت سازند گچساران در محدوده لولای چین به حداقل مقدار خود رسیده و در یال‌های چین و اطراف آن دچار ضخیم‌شدگی شده است که به علت حرکت جانبی مواد شکل‌پذیر بوده و باعث ضخیم‌شدگی بسیار زیاد سازند گچساران روی یال شمال خاوری تاقدیس شده است.

نیمرخ لرزه‌نگاری (شکل ۴) در شمال باختری و فاصله حدوداً ۱۲ کیلومتری نیمرخ لرزه‌نگاری (شکل ۳) و در بخش‌های میانی تاقدیس مارون قرار گرفته است. همان‌طور که در این نیمرخ و تفسیر مربوط به آن مشاهده می‌شود هندسه کلی مشابه نیمرخ لرزه‌نگاری شکل (۳) می‌باشد و یک راندگی عمقی با ریشه در گروه خامی به سمت بالا منتشر شده و در بخش‌های میانی سازند گچساران حالت هموار پیدا کرده است و همچنین راندگی کم‌عمق بالایی با ریشه در سازند گچساران به سمت بالا انتشار پیدا کرده و باعث دگرریختی در سازندهای گچساران، میشان و آغاچاری شده است.

ضخامت سازند گچساران نیز در این نیمرخ لرزه‌نگاری در محدوده لولای چین به حداقل مقدار خود رسیده و در بخش‌های یال‌های چین و اطراف آن دچار ضخیم‌شدگی شده است، به طوری که ضخامت بسیار زیادی از سازند گچساران روی یال شمال‌خاوری تاقدیس مارون در این قسمت دیده می‌شود.



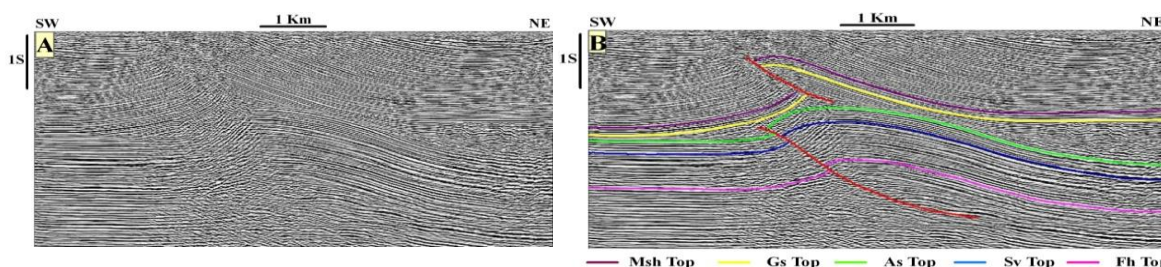
شکل ۳. (A) نیمرخ لرزه‌نگاری بخش جنوب‌خاوری تاقدیس مارون که موقعیت آن در شکل (۱) مشخص شده است. (B) تفسیر نیمرخ A که یک راندگی عمقی اصلی و یک راندگی کم‌عمق بالایی دیده می‌شود. Msh, Gs, As, Sv و Fh به ترتیب میشان، گچساران، آسماری، سروک و فهلان را نشان می‌دهد.



شکل ۴. (A) نیمرخ لرزه‌نگاری بخش میانی تاکدیس مارون که موقعیت آن در (شکل ۱) مشخص شده است. (B) تفسیر نیمرخ A و همچنین Msh, Gs, As, Sv و Fh به ترتیب میشان، گچساران، آسماری، سروک و فلهیان را نشان می‌دهد.

نسبت به بخش‌های جنوب‌خاوری کمی بازتر شده و ضخامت سازند گچساران در محدوده لولای چین هر چند که کم می‌باشد ولی نسبت به بخش‌های جنوب‌خاوری بیشتر می‌باشد و حرکت مواد شکل‌پذیر سازند گچساران به طرف یال‌ها کمتر می‌باشد. بنابراین ضخامت سازند گچساران در روی یال‌ها و بویژه یال شمال‌خاوری نسبت به دو نیمرخ قبلی کمتر و شیب یال‌های تاکدیس مارون در امتداد این نیمرخ لرزه‌نگاری نسبت به بخش‌های جنوب‌خاوری کمتر شده است.

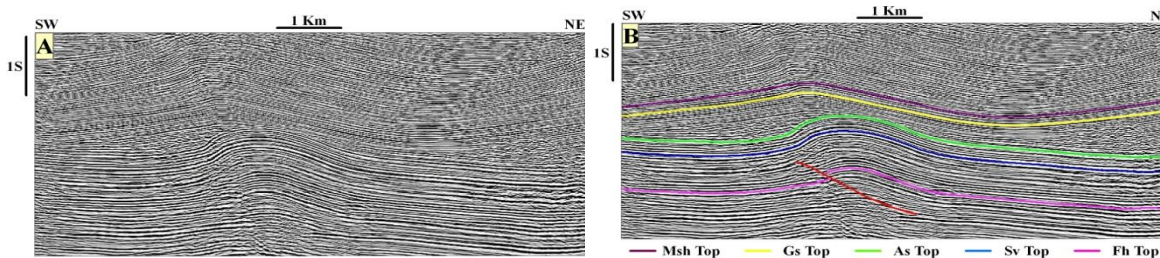
نیمرخ لرزه‌نگاری (شکل ۵) نیز در شمال باختری و فاصله حدوداً ۱۲ کیلومتری نیمرخ لرزه‌نگاری (شکل ۴) و در بخش‌های میانی تا شمال خاوری تاکدیس مارون قرار گرفته است و به طور کلی مشابه دو نیمرخ قبلی می‌باشد. راندگی‌های کم‌عمق بالایی و راندگی عمیق اصلی شکل گرفته و عامل اصلی دگرریختی می‌باشند و بیشتر رخنمون سطحی در امتداد این نیمرخ لرزه‌نگاری نهشته‌های عهد حاضر می‌باشند و فقط در بخش میانی و بالای محور چین‌خوردگی رخنمون کمی از سازند آغاچاری قابل مشاهده است. هندسه کلی چین‌خوردگی در این بخش از تاکدیس



شکل ۵. (A) نیمرخ لرزه‌نگاری بخش میانی تا شمال‌باختری تاکدیس مارون که موقعیت آن در شکل (۱) نشان داده شده است. (B) تفسیر نیمرخ A و همچنین Msh, Gs, As, Sv و Fh به ترتیب میشان، گچساران، آسماری، سروک و فلهیان را نشان می‌دهد.

شمال‌باختری و محدوده میل تاکدیس قرار گرفته و درصد کوتاه‌شدگی کمتر می‌باشد. بنابراین هندسه چین‌خوردگی بازتر شده و شیب یال‌ها نسبت به بقیه نیمرخ‌ها کمتر می‌باشد و همچنین ضخامت سازند گچساران در محدوده لولای چین نسبت به بقیه قسمت‌های تاکدیس بیشتر و روی یال‌ها و بویژه یال شمال‌خاوری کمتر می‌باشد و رخنمون سطحی تاکدیس مارون در امتداد این نیمرخ را نهشته‌های عهد حاضر تشکیل می‌دهد.

آخرین نیمرخ لرزه‌نگاری تفسیر شده در این مطالعه نیمرخ لرزه‌نگاری (شکل ۶) می‌باشد که در انتهای شمال‌باختری تاکدیس مارون و در فاصله حدوداً ۱۲ کیلومتری شمال باختر نیمرخ لرزه‌نگاری (شکل ۵) قرار گرفته است. هندسه کلی تاکدیس مارون در امتداد این نیمرخ تغییراتی نسبت به بقیه قسمت‌های تاکدیس و نیمرخ‌های دیگر نشان می‌دهد، به طور کلی مهم‌ترین تفاوت عدم شکل‌گیری راندگی کم‌عمق بالایی می‌باشد که احتمالاً به این علت می‌باشد که این نیمرخ لرزه‌نگاری در انتهای

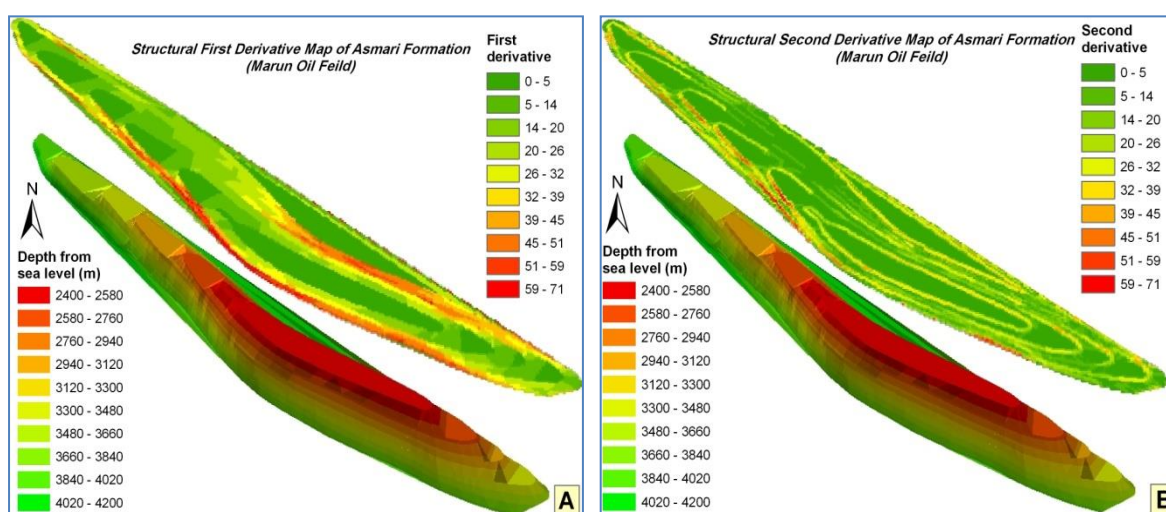


شکل ۶. (A) نیمرخ لرزه‌نگاری در انتهای شمال‌باختری تاکدیس مارون که موقعیت آن در شکل (۱) نشان داده شده است. (B) تفسیر نیمرخ A که راندگی کم‌عمق بالایی تشکیل نشده و همچنین Msh, Gs, As, Sv و Fh به ترتیب میشان، گچساران، آسماری، سروک و فلهیان را نشان می‌دهد.

### روش مشتق گیری ریاضی

در نقشه خطوط تراز زیرسطحی میدان مارون، هر قسمتی از هر مقطع ساختاری، به عنوان یک سهمی در یک سامانه مختصات با دو بعد طول یا عرض جغرافیایی (X) و ارتفاع (Y) در نظر گرفته شده است. شیب منحنی در هر نقطه در واقع شیب خط مماس بر آن منحنی و برابر با مشتق اول سهمی می باشد. بنابراین مشتق مقاطع ساختاری، آهنگ تغییرات شیب را نشان داده و با متصل نمودن نقاطی با درجه شیب برابر، نقشه هم شیب یا نقشه مشتق اول به دست می آید. از آنجایی که مشتق، آهنگ تغییرات یک متغیر را نشان می دهد، مشتق نقشه هم شیب، یا به عبارتی مشتق دوم نقشه خطوط تراز زیرسطحی، آهنگ تغییرات شیب یا مناطقی که تغییرات

شدید شیب دارند را نشان می دهد. نقشه مشتق دوم منطبق بر مناطقی با حداکثر خمیدگی و شیب ساختاری، و در نتیجه بیشترین شکستگی مرتبط با آن می باشد. بر اساس نقشه مشتق اول رأس مخزن آسماری، بیشترین میزان شیب یال ها در این مخزن مربوط به یال جنوب باختری و به میزان کمتر، بخش مرکزی تا جنوب خاوری یال شمال خاوری آن می باشد. با توجه به نقشه مشتق دوم نیز، بیشترین آهنگ تغییرات شیب و بنابراین بالاترین استعداد توسعه شکستگی های ناشی از خمیدگی عرضی ساختار، در مخزن آسماری مربوط به بخش مرکزی و جنوب خاوری یال جنوب باختری آن می باشد. (شکل ۷). این مسأله، نشان دهنده بالا بودن دگرریختی در بخش های میانی تاقدیس مارون می باشد.

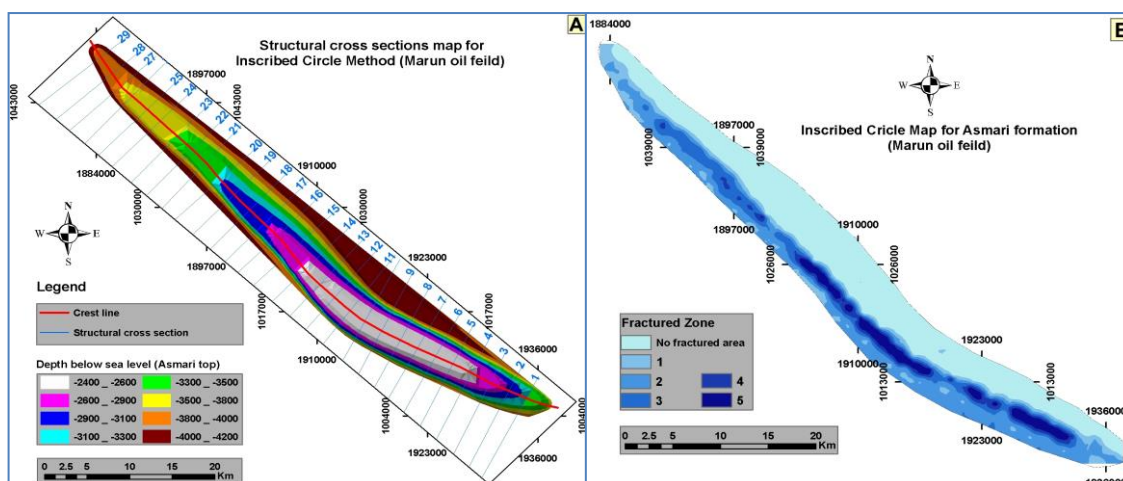


شکل ۷. (A) نقشه مشتق اول و (B) نقشه مشتق دوم رأس مخزن آسماری همراه با الگوی سه بعدی این مخزن در میدان نفتی مارون.

### روش تحلیل دایره محاطی

هدف از به کارگیری روش تحلیل دایره محاطی تعیین محدوده گسترش شکستگی های باز ناشی از خمش عرضی چین خوردگی یا شکستگی های کششی ساختار تاقدیسی است. اساس این روش بر تغییرات شعاع خمیدگی تاقدیس و تأثیر آن بر میزان تراکم شکستگی ها استوار است. در این روش بر روی جدیدترین نقشه خطوط تراز زیرسطحی برش های عرضی ساختمانی در طول میدان و عمود بر محور تاقدیس ترسیم شد و سپس پهنه های مختلف مخزنی از رأس تا قاعده مخزن بر روی این برش ها رسم شد. پس از آن دوایر محاطی به صورت مماس با نقاط عطف یال های ساختار رسم گردیده اند. تفاوت در میزان جدایش شعاعی بین دایره محاطی و خمیدگی ساختار، بیانگر میزان تغییرات در خمیدگی ساختار بوده و محل هایی که بیشینه جدایش را داشته باشند به عنوان مناطقی که دارای بیشینه خمیدگی و در نتیجه بالاترین پتانسیل شکستگی هستند مشخص می شوند. این روش نسبت به روش مشتق گیری ریاضی از نقشه های خطوط تراز زیرسطحی، دارای این برتری است که

تحت تأثیر خطاهای ایجاد شده در اثر انطباق های تکه تکه ای یا عملیات گرد کردن منحنی ها قرار نمی گیرد (شبان، ۱۳۸۲). در این مطالعه پس از ترسیم ۲۹ برش عرضی بر روی جدیدترین نقشه خطوط تراز زیرسطحی افق آسماری در میدان مارون (شکل ۸-A) و رسم دوایر محاطی، محل برخورد این دوایر با سرزون های مختلف، بر روی نقشه پایه (Base map) میدان پیاده شد و نقشه هم ارزش حاصل از این نقاط تهیه شده است (شکل ۸-B). بررسی های انجام شده با استفاده از روش دایره محاطی نشان می دهد که هر چهار پهنه مخزنی سازند آسماری در میدان نفتی مارون مستعد شکستگی بوده و پهنه های یک و دو این مخزن از استعداد توسعه شکستگی بیشتری نسبت به پهنه های عمیق تر برخوردار می باشند. بر این اساس پهنای محدوده شکستگی های عمیق و پرتراکم در محدوده مرکزی مخزن که از خمیدگی عرضی بالاتری نسبت به محدوده خاوری و باختری آن برخوردار است، بیشتر بوده و به دلیل شیب زیادتر یال جنوب باختری، توسعه شکستگی ها بیشتر متمایل به جنوب باختر مخزن می باشد.



شکل ۸. (A) موقعیت برش‌های عرضی تهیه شده بر روی رأس مخزن آسماری در میدان نفتی مارون. (B) نقشه حاصل از روش دایره محاطی که نواحی مستعد توسعه شکستگی‌های کششی را نشان می‌دهد.

جنوبی است. لذا این عامل تعیین کننده فاصله نقطه مورد مطالعه نسبت به این سطح خنثی است.

R (عامل ساختمانی): با وجود اینکه برای یک نیمرخ چین، مراکز خمیدگی و شعاع‌های متفاوتی بدست می‌آید اما بهترین دایره منطبق بر کمان چین ترسیم می‌شود که شعاع آن معرف خمیدگی چین خواهد بود و بر حسب طول کمیت گذاری می‌شود.

Br (عامل برش آسماری): با توجه به اینکه در یک لایه چین خورده شکستگی‌های کششی باز در بالای سطح خنثی شکل می‌گیرند و با فاصله از این سطح رابطه مستقیم دارند و دیگر اینکه شکستگی‌های تراکمی در زیر سطح خنثی تشکیل می‌شوند، (Br) مبین فاصله نقطه مورد نظر از این سطح است. در رابطه تعیین سطح خنثی  $(a = [(Dt + Db) / 2])$  و با فرض گذر این سطح از میانه ضخامت سازند آسماری پارامترهای a (عمق سطح خنثی)، Dt (عمق سر سازند آسماری) و Db (عمق قاعده آسماری) مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای یک ساختار تاقدیس گون مقدار Br در دو حالت قابل بررسی و تعیین است، بدین ترتیب که در عمق‌های بیشتر از سطح خنثی (a) مقدار Br مساوی صفر و در عمق‌های کمتر رابطه  $Br = [(Dx - a) / (a - Dt)] * 4$  مقدار عدد مورد نظر را تعیین می‌کند.

در کلیه روابط ذکر شده، تمامی عمق‌ها بر حسب فوت یا متر از سطح دریای آزاد است (مطبیعی، ۱۳۷۴). به منظور به کارگیری روش RFF، ۲۸ برش عرضی عمود بر محور تاقدیس بر روی جدیدترین نقشه خطوط تراز زیرسطحی افق مخزنی آسماری ترسیم شده است (شکل ۹-A). با توجه به عمق و شیب سطح تماس سیالات (آب و نفت) و سنگ‌شناسی سازندهای تشکیل دهنده این مخازن براساس زون‌بندی‌های انجام شده، در هر برش عوامل معرفی شده در رابطه RFF برای رأس مخزن، سطوح عمقی معین نسبت به آن‌ها و منطبق بر میانه ضخامت پهنه‌های مختلف در هر مخزن، محاسبه و با استفاده از مقادیر به دست آمده، نقشه‌های هم ارزش RFF برای آن تهیه شده است (شکل ۹-B تا F).

### روش RFF (Relative Frequency of Fractures Method)

در رابطه  $RFF = [(R * Br) + (S * Bs)] * (1 - C) * L$  هر کدام

از پارامترها ویژگی خاصی را نشان می‌دهند:

L (سنگ‌شناسی): تراکم شکستگی در سنگ‌های مختلف یکسان نیست (Nemati and Pezeshk, 2006) و افزایش استحکام و کاهش شکل-پذیری سنگ باعث افزایش تراکم شکستگی می‌شود (Nelson, 2001). براساس نگاه‌های هندین و همکاران (Handin et al., 1963) و استیرنز و فریدمن (Stearns and Friedman, 1972) و با فرض این که سر سازند آسماری بین اعماق ۷۵۰۰ تا ۱۵۰۰۰ فوت باشد، و براساس (جدول ۱) کیفیت سنگ شناسی به چهار رده ۱ تا ۴ تقسیم شده است.

C (سیمان شدگی): با احتساب دو فرض اساسی، یکی این که تمام شکستگی‌ها در زیر سطح آب و نفت سیمان شده‌اند و دیگر آنکه از سطح همبری آب و نفت به طرف سرسازند آسماری سیمان شدگی کاهش می‌یابد. به طور کلی در رابطه سیمان شدگی  $C = [(Dx - Dh) / (Dl - Dh)] * 0.9$ ، پارامترهای Dx (عمق نقطه مورد مطالعه)، Dh (عمق بلندترین نقطه در تاقدیس مورد بررسی)، DL (عمق سطح تماس آب و نفت) مورد توجه می‌باشند. این رابطه دارای جواب کیفی است و فاقد ابعاد می‌باشد. هر کدام از عوامل موجود در این رابطه با توجه به درجات کیفی مطابق با (جدول ۱) کمیت‌گذاری شده‌اند.

S (عامل خمش محور ساختمانی): در صورتی که اثر سطح محوری یک تاقدیس زیرزمینی در نمای نقشه خطوط تراز زیرسطحی (سطح افقی) دچار خمش شده و انحنایی در آن مشاهده شود، با رسم بهترین شعاع خمیدگی محور و محاسبه طول آن می‌توان این عامل را کمیت گذاری کرد.

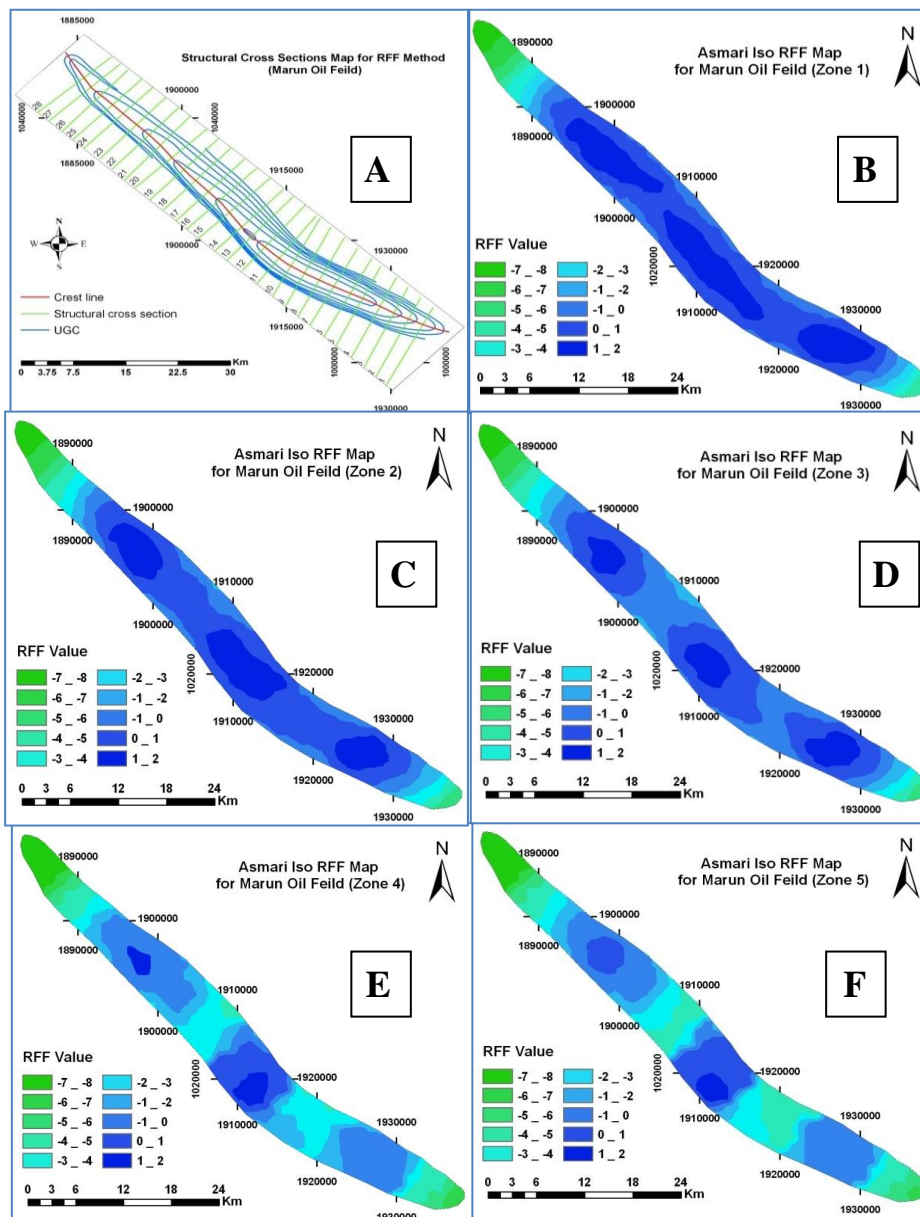
Bs (عامل ساختمانی): این عامل در پیوند با عامل S محاسبه می‌شود. فرض اصلی بر این کمیت گذاری قبول اثر سطح محوری در روی نقشه (سطح افقی) به عنوان سطح خنثی نسبت به یال‌های شمالی و

جدول ۱. فاکتورهای موثر در برآورد نسبی انبوهی شکستگی ها (مطیعی، ۱۳۷۴)

Rock type	Lithology factor	Horizontal distance from axis (feet)	Structural axis factor
Dolomite	4.0	Less than 3000	0.0
Dolomite-Limestone	2.5	3000-6000	1.0
Sandstone	2.0	6000-9000	2.5
Sandstone-Limestone	1.5	9000-12000	3.0
Limestone	1.0	Over 12000	4.0

Radius of structure Axis (miles)	Sinuosity factor	Radius of structure (feet)	Structure factor
Less than 5	4.5	2000	4.0
5 to 10	3.5	3000	3.5
10 to 15	3	4000	3.0
15 to 20	2.0	6000	2.0
20 to 25	1.0	8000	1.0
Over 25	0	10000	0.5
		Over 10000	0.0



شکل ۹. (A) موقعیت برش‌های عرضی تهیه شده بر روی سرسازند آسماری میدان نفتی مارون جهت به کارگیری روش RFF (B تا F) به ترتیب نقشه‌های هم RFF برای سر-سازند آسماری، عمق منطبق بر میانه پهنه‌های یک، دو، سه و چهار و پنج سازند آسماری (مناطق آبی رنگ نواحی مستعد دارای حداکثر تراکم شکستگی را نشان می‌دهند).

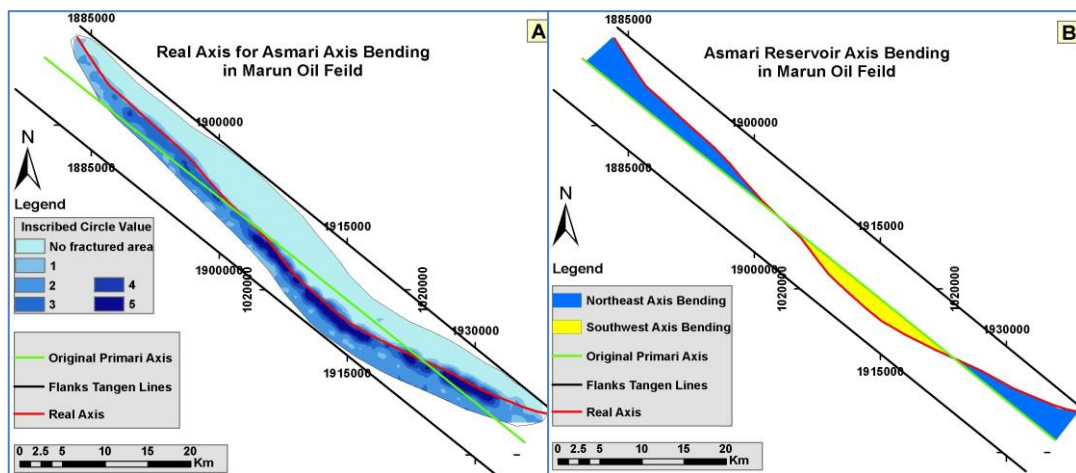
از حالت اولیه مشخص گردد.

محدوده‌های جابجا شده، نواحی مستعد در توسعه شکستگی‌های کششی ناشی از خمیدگی محوری ساختار را نشان می‌دهد. افزایش فاصله محور کنونی از حالت اولیه بیان کننده افزایش استعداد توسعه شکستگی‌های کششی و مساحت محدوده شکسته شده می‌باشد (شکل ۱۰). به منظور استفاده از این روش، اقدام به ترسیم مماس‌هایی بر روی آخرین منحنی تراز زیرسطحی بسته میدان در دو افق مخزنی آسماری و بنگستان گردیده است. سپس محور اولیه هر افق، با رسم خط میانه‌ای که دارای فاصله مساوی از پایانه‌های این دو خط می‌باشد، بازسازی گشته و با موقعیت محور کنونی آن، که با ترسیم خط گذرا از نقاط دارای حداکثر خمیدگی عرضی بر روی نقشه حاصل از روش دایره محاطی به دست آمده است، مورد مقایسه قرار گرفته است تا میزان و جهت جابجایی محور کنونی از حالت اولیه مشخص گردد. محدوده‌های جابجا شده، نواحی مستعد در توسعه شکستگی‌های کششی ناشی از خمیدگی محوری ساختار را نشان می‌دهد. افزایش فاصله محور کنونی از حالت اولیه بیان کننده افزایش استعداد توسعه شکستگی‌های کششی و مساحت محدوده شکسته شده می‌باشد (شکل ۱۰). بر این اساس پهنای محدوده شکستگی‌های عمیق و پرتراکم در محدوده مرکزی مخزن که از خمیدگی عرضی بالاتری نسبت به محدوده‌های دیگر آن برخوردار است، همچنین، به دلیل شیب زیادتر یال جنوب باختری، توسعه شکستگی‌ها بیشتر متمایل به جنوب-باختر مخزن می‌باشد.

بر اساس این روش، مناطقی از ساختار تاقدیس که با عملکرد توأم خمیدگی عرضی و طولی همراه هستند، مستعد تراکم بالای شکستگی شناخته شده (پهنه‌های ۱ تا ۳) و با افزایش عمق از فراوانی شکستگی‌ها کاسته می‌شود (پهنه‌های ۴ تا ۵). بنابراین، حداکثر تراکم شکستگی‌ها، مربوط به مناطق با عمق کمتر، در کمان بیرونی خمیدگی محوری تاقدیس در قسمت‌های میانی و شمال باختری تاقدیس می‌باشد. همچنین از رأس افق مخزنی به سمت مناطق عمیق‌تر آن، از نقش خمیدگی عرضی در ایجاد شکستگی‌ها کاسته شده و خمیدگی طولی نقش پر رنگ‌تری پیدا می‌کند.

### روش تعیین میزان و جهت خمش محور ساختاری

با استفاده از این روش می‌توان محدوده شکستگی‌های مرتبط با میزان خمیدگی محوری ساختار را مشخص نمود. در هر خمیدگی محوری، کمان بیرونی خمیدگی، به علت تأثیر تنش‌های کششی می‌تواند ایجاد شکستگی‌های کششی نموده و کمان درونی خمیدگی، به دلیل تأثیر تنش‌های فشارشی می‌تواند حتی شکستگی‌هایی که در اثر چین‌خوردگی (خمیدگی عرضی) ساختار به وجود آمده است را به صورت شکستگی‌های بسته در آورد. به منظور استفاده از این روش، اقدام به ترسیم مماس‌هایی بر روی آخرین منحنی تراز زیر سطحی بسته میدان در افق مخزنی آسماری گردیده است. سپس محور اولیه، با رسم خط میانه‌ای که دارای فاصله مساوی از پایانه‌های این دو خط می‌باشد، بازسازی گشته و با موقعیت محور کنونی آن، که با ترسیم خط گذرا از نقاط دارای حداکثر خمیدگی عرضی بر روی نقشه حاصل از روش دایره محاطی به دست آمده است، مورد مقایسه قرار گرفته است تا میزان و جهت جابجایی محور کنونی



شکل ۱۰. (A) بازسازی محور اولیه ساختار مارون در مخزنی آسماری با استفاده از نقشه حاصل از روش دایره محاطی. (B) تعیین نواحی مستعد توسعه شکستگی‌های کششی، ناشی از خمیدگی محوری (طولی) ساختار در افق مخزنی آسماری می‌باشد.

در امتداد خود به دلایل مختلفی همچون تغییر در ترکیب سنگ‌شناختی سنگ میزبان، دچار تغییر روند (خمیدگی) شده، علاوه بر آن زاویه شیب متفاوتی را نیز در فواصل مختلف از خود نشان می‌دهد. واضح است که این تغییر روند گسل، به نوبه خود باعث ایجاد خمیدگی طولی در تاقدیس حاصل از آن می‌شود. همچنین نرخ لغزش متفاوت این گسل راندگی که خود می‌تواند ناشی از زاویه شیب متفاوت آن در بخش‌های مختلف باشد

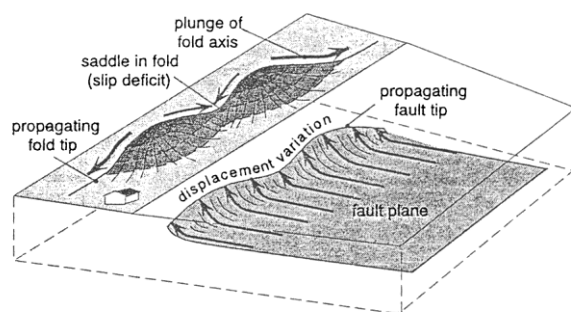
### خمیدگی محوری در تاقدیس زیرسطحی مارون و عوامل احتمالی مؤثر بر آن

#### تغییر روند و نرخ لغزش متفاوت در راندگی مارون

بررسی نیمرخ‌های لرزه‌نگاری دوبعدی مربوط به تاقدیس نفتی مارون، نشان می‌دهد که این تاقدیس از نوع چین‌های مرتبط با گسل است. مسلماً یک گسل به طول ده‌ها کیلومتر، به صورت یک خط کاملاً مستقیم نبوده و



دارای نرخ لغزش بیشتر هستند، ایجاد می‌شوند. ساختارهای زمین‌اسیبی نیز نشان‌دهنده فواصلی از گسل می‌باشند که دارای نرخ لغزش کمتر هستند (شکل ۱۱). تداوم عمل کرد این گسلش موجب ایجاد چین‌هایی می‌شود که دارای پایانه‌های از دو سو مایل می‌باشند (Burbank and Anderson, 2001). این پدیده در اکثر ساختارهای موجود در پهنه فروافتاده دزفول قابل مشاهده است.

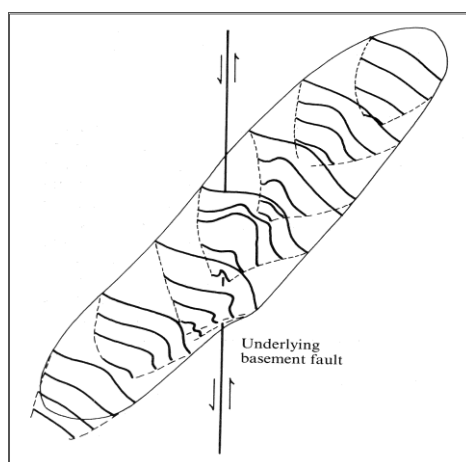


شکل ۱۱. گسترش جانبی راندگی زیرسطحی باعث توسعه چین‌خوردگی در پوشش رسوبی بالایی می‌شود. نرخ لغزش متفاوت این گسل، در شدت بالا آمدگی و چین‌خوردگی تاقدیس بالایی آن مؤثر است (Burbank and Anderson, 2001).

### عملکرد گسل‌های پی‌سنگی

مؤلفین (Kent, 1978; Faver, 1975; Player, 1969; Falcon, 1961; Oliver, 1986) نیز معتقدند که بلوک‌های پی‌سنگی علاوه بر - دخالت در ایجاد ساختارهای بزرگ ناحیه زاگرس، در شکل‌گیری ساختمان‌های کوچک‌تر، از قبیل تاقدیس‌ها و خمیدگی محوری موجود در آن‌ها نیز مداخله دارند (شکل ۱۲). آمین (Ameen, 1992) نیز اعتقاد دارد که حرکت بلوک‌های بزرگ پی‌سنگی، که خود به وسیله گسل‌های طولی و عرضی به بلوک‌های کوچک‌تری تقسیم شده‌اند، موجب بالا آمدگی‌ها و پایین‌افتادگی‌ها در طی زمان شده است. این مسأله در مدل پی‌سنگ ناحیه فروافتاده دزفول نیز به وضوح قابل رؤیت است.

یکی دیگر از عواملی که در خمیدگی محوری تاقدیس زیرسطحی مارون مؤثر است، سازوکار خاصی از تنش برشی است که به وسیله گسل‌های پی‌سنگی کنترل می‌شود. عملکرد این گسل‌ها (ناشی از هم‌گرایی دو صفحه عربی و ایران مرکزی) همراه با نقش کنترلی دیگر عوامل، خمیدگی طولی این تاقدیس را به دنبال داشته است. به عقیده مطیعی (۱۳۷۴) گسل‌های پی‌سنگی در خمیدگی شدید محور تاقدیس‌هایی همچون رگ-سفید و اهواز در ناحیه فروافتاده دزفول و تاقدیس‌های گیسکان و سربالش (که در حوالی گسل کازرون واقع شده‌اند) مداخله داشته‌اند. تعدادی از



شکل ۱۲. خمیدگی طولی و تغییر جهت بی‌تقارنی تاقدیس، در اثر عملکرد گسل راست‌الغز پی‌سنگی (Oliver, 1986).

### نتیجه گیری

روش دایره محاطی نشان می‌دهد که هر پنج پهنه مخزنی به ویژه پهنه های بالایی سازند آسماری در میدان نفتی مارون مستعد توسعه شکستگی بوده و تولید نفت بوده و بالاترین تراکم شکستگی را در مناطقی که هر پنج پهنه دارای شکستگی هستند می‌توان مشخص نمود. همچنین به دلیل شیب بیشتر یال جنوب‌باختری، توسعه شکستگی‌ها بیشتر متمایل به جنوب‌باختر مخزن می‌باشد. بر اساس روش RFF مناطقی از ساختار تاقدیس که با عملکرد توأم خمیدگی مرتبط با چین‌خوردگی (خمشی عرضی) و خمیدگی ناشی از پیچش (Distortion) محور ساختمانی (خمشی طولی) همراه هستند، مستعد تراکم بالای شکستگی شناخته می‌شوند (زون‌های ۱ تا ۳). مناطق عمیق‌تر مخزن آسماری (زون‌های ۴ تا ۵) از گسترش و تراکم شکستگی کمتری نسبت به مناطق کم‌عمق‌تر برخوردار می‌باشند. بنابراین بر اساس این روش، بیشینه تراکم شکستگی مربوط به مناطق با عمق کمتر، در قسمت میانی و نزدیک به انتهای شمال باختری و جنوب خاوری چین و منطبق با یال محدب خمشی محوری تاقدیس می‌باشد. با توجه به مشتق دوم نقشه خطوط تراز زیرسطحی به نظر می‌رسد که یال جنوبی دارای بیشترین خمیدگی و خمشی است، و

### منابع

- آرین، م.، محمدیان، ر.، ۱۳۸۹. تحلیل شکستگی‌های مخزن آسماری میدان مارون (زاگرس). فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۸، ص ۷۸ - ۹۶.
- شبان، ع.، ۱۳۸۲. تحلیل شکستگی‌های تحت‌الأرضی و تأثیر آن بر مهاجرت سیال در مخزن آسماری میدان نفتی گچساران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین ساخت، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۷۳ صفحه.
- مطیعی، ۱۳۷۴. زمین‌شناسی نفت زاگرس. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، جلد اول، ۵۸۹ صفحه.
- Abdollahie Fard, I., Sepehr, M., and Sherhati, S., 2011. Neogene salt in SW Iran and its interaction with Zagros folding. Geological Magazine, Vol:148, p:854-867.
- Ameen, M. S., 1992. Effect of basement tectonics on hydrocarbon generation migration and accumulation in northern Iraq. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol: 76, p:356-370.
- Barker, S. N. and Speers, R. G., 1978- Marun Asmari Reservoir high permeability system, OSCO Rep. No. 3401.
- Burbank, D.W. and Anderson, R.S., 2001, Tectonic geomorphology, Blackwell science.
- Colman Sadd, S.P., 1978, Fold development in Zagros simply folded belt, Southwest Iran. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol:62, p:984-1003.
- Dahlstrom, C. D. A., 1990. Geometric constraints derived from the law of conservation of volume and applied to evolutionary models for detachment folding. American Association of Petroleum Geologists Bulletin Vol:74, p:336-344.
- Eshghi, M., 1969- Photo linears, Asmari Fracture System and well productivity of Aghajari Area, IOOC, Rep. No.1152.
- Falcon, N.L., 1961. Major earth-flexing in the Zagros Mountains of southwest Iran. Quarterly Journal Geological Society of London, Vol:117, p:367-376.
- Faver, G., 1975. Structures in the Zagros Orogenic Belt. OSCO, Report No.1233 (Unpub).
- Handin, J., Friedman, M. and Feather, J.N., 1963, Experimental deformation of sedimentary rocks under confining pressure- pore pressure Test, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol:47, p:717- 755.
- Kent, P. E., 1978. Review of the Kazerun lineament system. OSCO, Technical Note (Unpub). Proc. of Second Geological Symposium of Iran: March 1977, Iranian Petroleum Institute. Tehran.
- McQuarrier, N., 2004. Crustal Scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. Journal of Structural Geology, Vol:26, p:519-533.
- Mitra, S., 2002b, Fold-accomodation faults, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol:86, p:671-693.
- Mitra, S., 2003. A unified kinematic model for the evolution of detachment folds. Journal of Structural Geology Vol:25, p:1659-1673.
- Morley, C.K., 1988. Out-of-sequence thrusts, Tectonics, Vol:7, p:539-561.

- Nelson, R.A., 2001, Geologic analysis of naturally fractured reservoirs, Gulf publishing, Houston, Texas, Contr. In petrol. Geology and Eng., 2nd ed., 332 PP.
- Nemati, M., Pezeshk, H., 2006, Spatial distribution of fractures in the Asmari Formation of Iran in subsurface environment :Effect of lithology and petrophysical properties, Natural Resources Research, Vol:14, p:305-316.
- Oliver, D., 1986. The development of structural patterns above reactivated basement faults. Unpublished Ph.D. Thesis, University of London.
- Park, R. G., 1989, Foundation of structural geology, 2nd ed., 358 PP.
- Player, R.A., 1969. The Hormuz Salt Plugs of southern Iran. IOOC, Report No.1146 (Unpub).
- Poblet, J., McClay, K.R., 1996, Geometry and kinematics of single-layer detachment folds, American Association of Petroleum Geologists' Bulletin, Vol:80, p:1085-1109.
- Sherkati, S., and Letouzey, J., 2004. Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran. Marine and Petroleum Geology, Vol:21, p:535-554.
- Stearns, D.W. and Friedman, M., 1972, Reservoirs in fractured rock, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol:16, p:82- 100.