

## تحلیل شکستگی‌ها در تاقدیس لالی، جنوب باختر ایران

عظیم رمضانی<sup>۱\*</sup>، سید احمد علوی<sup>۲</sup> و حسین حاجی علی بیگی<sup>۳</sup>

۱. کارشناسی ارشد رشته تکتونیک گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۲۷

### چکیده

تاقدیس لالی در جنوب‌باختر ایران، در ۶۰ کیلومتری شمال‌خاور شوشتر قرار گرفته است. این تاقدیس در منطقه فروافتادگی دزفول واقع شده است. در این پژوهش بر اساس اطلاعات زیرسطحی و با بهره‌گیری از روش‌های تحلیلی زیرسطحی، سازوکار چین‌خوردگی و شکستگی‌های تاقدیس لالی مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به وجود گسل راندگی در یال جلویی (جنوب‌باختری)، تاقدیس لالی یک چین مرتبط با گسل می‌باشد. مجموعه ویژگی‌های این تاقدیس، سازوکار چین‌های پیشروی گسلی را برای آن پیشنهاد می‌کند. تحلیل هندسی انجام شده بر اساس استفاده از روش تحلیل دایره محاطی، روش تعیین میزان و جهت خمش محور ساختاری، مشتق دوم نقشه ساختمان زیرسطحی و روش RFF نشان می‌دهد که زون‌های مخزنی به ویژه زون‌های بالای سازند آسماری در میدان نفتی لالی، مستعد توسعه شکستگی هستند. همچنین تراکم شکستگی‌ها در یال جنوب‌باختری، نسبت به یال جنوب‌خاوری بیشتر می‌باشد. به طوری که بالاترین تراکم شکستگی‌ها در یال جلویی می‌باشد.

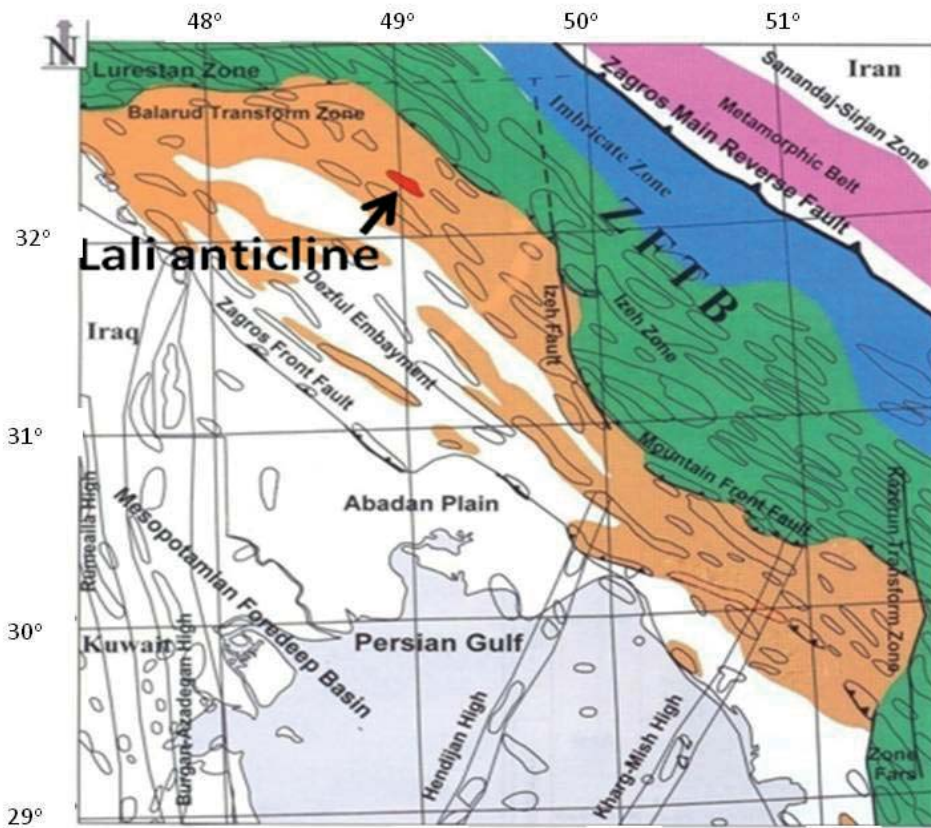
واژه‌های کلیدی: سازوکار چین خوردگی، شکستگی، گسل راندگی، تاقدیس لالی

### مقدمه

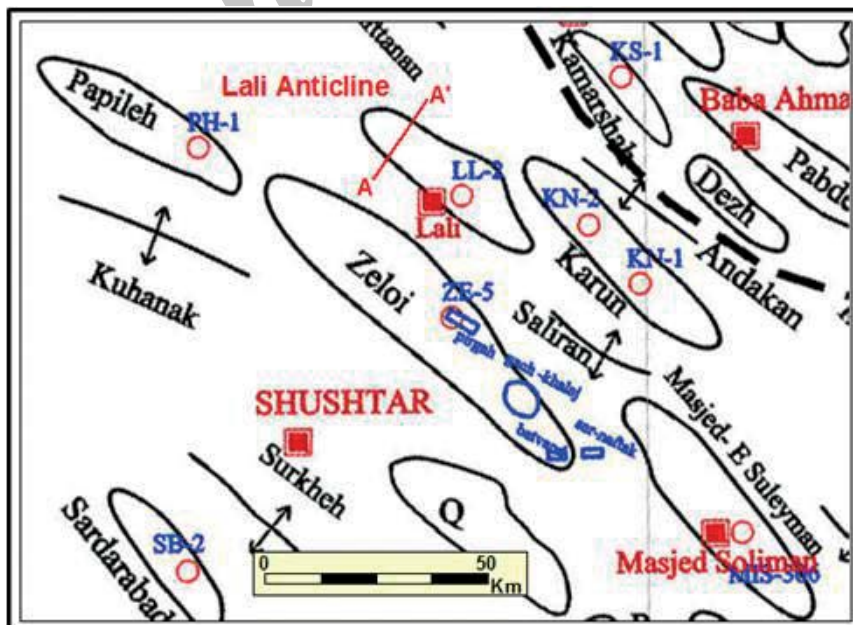
متمرکز شده است، عمدتاً از سنگ‌های آهکی، آهک‌های دولومیتی و لایه‌های نازکی از شیل و انیدریت تشکیل شده و در بخش‌های میانی سازند آسماری مشاهده گردیده است. تاقدیس لالی یک چین غیر استوانه‌ای، باز تا ملایم، نامتقارن و با سطح محوری خمیده است. روند محور در بخش باختری  $W^{\circ}N5$  و در مرکز میدان  $W^{\circ}N50$  است که در نزدیکی بخش خاوری به  $W^{\circ}N65$  تبدیل شده و در بخش خاوری به  $W^{\circ}N30$  می‌رسد. بنابراین محور چین S شکل بوده و احتمالاً در کل این چین متاثر از یک منطقه برشی راست گرد است. زاویه میل محور چین در بخش خاوری  $7^{\circ}$  و در بخش باختری  $8^{\circ}$  می‌باشد (رمضانی، ۱۳۸۹).

سازند آسماری به صورت سنگ مخزن این میدان است که در مناطق بالایی عمدتاً از آهک و دولومیت تشکیل شده است. در این تحقیق با توجه به نوع داده‌های موجود جهت شناسایی

تاقدیس لالی یک تاقدیس زیرسطحی است. این تاقدیس یکی از میدان‌های نفتی است که در استان خوزستان و ۶۰ کیلومتری شمال‌خاور شوشتر قرار گرفته است. از لحاظ تقسیمات ناحیه‌ای حوضه زاگرس در شمال فروافتادگی دزفول (شکل ۱)، در بین میادین مسجد سلیمان (در جنوب شرق)، زیلایی (در جنوب غرب)، کارون (در شرق) و کمرشاه (در شمال شرق) و در محدوده  $32^{\circ} 25'$  و  $32^{\circ} 10'$  عرض شمالی و  $48^{\circ} 50'$  و  $49^{\circ} 10'$  طول خاوری قرار دارد (شکل ۲). رخنمون‌های منطقه مورد مطالعه مشتمل بر سازند بختیاری (پلیوسن) و سازندهای گروه فارس، سازندهای گچساران (میوسن پایینی)، میشان (میوسن پایینی - میانی) و آجاجاری (میوسن بالایی - پلیستوسن) می‌باشد. سازند آسماری در تاقدیس لالی که این پژوهش بر شکستگی‌های آن



شکل ۱. موقعیت تاقدیس زیرسطحی لالی در فروافتادگی دزفول (با تغییرات از Abdollahie Fard et al. 2006).



شکل ۲. موقعیت تاقدیس زیرسطحی لالی و سایر تاقدیس‌های هم‌جوار آن در فروافتادگی دزفول (برگرفته از شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۸۳). در این تصویر موقعیت نیمرخ لرزه‌ای تهیه شده از تاقدیس لالی نیز درج شده است. این نیمرخ لرزه‌ای در شکل ۷ نشان داده شده است.

**روش RFF (انبوهی نسبی شکستگی‌ها)**

مقدار RFF از رابطه ۱ (مطیعی، ۱۳۷۴) به دست آمده است:

$$RFF = [(R \times B_r) + (S \times B_s)] \times (1 - C) \times L \quad (1) \text{ رابطه}$$

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. این عوامل عبارتند از: L: سنگ‌شناسی، C: سیمان شدگی، S: عامل خمش محور ساختمانی، B<sub>s</sub>: عامل ساختمانی، B<sub>r</sub>: عامل برش آسماری، R: عامل ساختمانی با شعاع انحنا.

**L (عامل سنگ‌شناسی)**

تراکم شکستگی در سنگ‌های مختلف یکسان نیست (Nemati and Pezeshk, 2006). افزایش استحکام و کاهش شکل‌پذیری سنگ باعث افزایش تراکم شکستگی می‌شود (Nelson, 2001). بر اساس نگاه‌های (Stearns and Handin et al. (1963) و (Friedman (1972) با فرض این‌که سراسازند آسماری بین اعماق ۷۵۰۰ تا ۱۵۰۰۰ فوت باشد، و ثابت بودن سایر عوامل و براساس جدول ۱، کیفیت سنگ‌شناسی به چهار رده ۱ تا ۴ تقسیم شده است.

و بررسی خصوصیات ساختاری و شکستگی‌های زیرسطحی از مجموعه روش‌های کاربردی زیر استفاده گردیده است: ۱- تفسیر نیم‌رخ‌های لرزه‌ای ۲- بهره‌گیری از روش‌های تحلیلی هندسی به منظور مطالعه و بررسی میزان تغییرات انحنا.

**مطالعه تحلیل و بررسی توزیع فراوانی و تراکم شکستگی‌ها در تاقدیس لالی**

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 علیرغم اهمیت زیاد، کمتر مورد توجه زمین‌شناسان قرار گرفته‌اند. تحلیل صحیح شکستگی‌ها و شناسایی مکان‌هایی با تراکم بالای شکستگی در مخازن هیدروکربنی و کربناته جنوب‌باختر ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این تحقیق اولین ارزیابی و برآورد شکستگی‌های تاقدیس لالی است. جهت بررسی توزیع فراوانی و تراکم شکستگی‌ها در تاقدیس لالی از مجموعه روش‌هایی بهره گرفته شد که هر یک از کارایی خاص خود برخوردار بوده و نتایج حاصل از آن‌ها بسیار سودمند واقع گردید. این روش‌ها شامل روش RFF، تحلیل دایره محاطی، تعیین میزان و جهت خمش محور ساختاری و مشتق‌گیری ریاضی می‌باشند.

جدول ۱. فاکتورهای مؤثر در برآورد نسبی انبوهی شکستگی‌ها (مطیعی، ۱۳۷۴)

عامل سنگ‌شناسی (L)	فاصله شکستگی‌ها از اثر سطح محوری چین (بر حسب متر) (B <sub>s</sub> )
دولومیت ۴	کمتر از ۱۰۰۰ ۰
دولومیت - سنگ آهک ۲/۵	۱۰۰۰-۲۰۰۰ ۱
ماسه سنگ ۲	۲۰۰۰-۳۰۰۰ ۲/۵
ماسه سنگ - سنگ آهک ۱/۵	۳۰۰۰-۴۰۰۰ ۳
سنگ آهک ۱	بیشتر از ۴۰۰۰ ۴
میزان انحنا محور چین (بر حسب کیلومتر) (S)	میزان انحنا چین (بر حسب متر) (R)
کمتر از ۱۰ ۴/۵	۶۰۰ ۴
۱۰-۱۵ ۳/۵	۱۰۰۰ ۳/۵
۱۵-۲۵ ۳	۱۲۰۰ ۳
۲۵-۳۰ ۲	۲۰۰۰ ۲
۳۰-۳۵ ۱	۳۰۰۰ ۱
بیشتر از ۳۵ ۰	۴۰۰۰ ۰/۵
	۴۰۰۰ و بیشتر ۰

$$a = \left( \frac{D_t + D_b}{2} \right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه ۳،  $a$  عمق سطح ختشی،  $D_t$  عمق سر سازند آسماری و  $D_b$  عمق قاعده آسماری در نقطه مورد مطالعه است. برای یک ساختار تاق‌دیس‌گون مقدار عامل  $B_r$  در دو حالت قابل بررسی و تعیین است، بدین ترتیب که در عمق‌های بیشتر از سطح ختشی، مقدار  $B_r$  مساوی صفر و در عمق‌های کمتر از عمق سطح ختشی،  $B_r$  از رابطه ۴ (مطبیعی، ۱۳۷۴) محاسبه می‌شود.

$$B_r = \left( \frac{D_x - a}{a - D_t} \right) \times 4 \quad \text{رابطه (۴)}$$

در کلیه روابط ذکر شده، تمامی عمق‌ها بر حسب فوت یا متر از سطح دریای آزاد است. در این پژوهش، با در نظر گرفتن عوامل فوق، به منظور به‌کارگیری روش RFF، شانزده برش عرضی، عمود بر محور تاق‌دیس بر روی جدیدترین نقشه خطوط تراز زیر سطحی افق مخزنی آسماری ترسیم شده است (شکل ۳ الف). با توجه به عمق و شیب سطح تماس سیالات (آب و نفت) و سنگ‌شناسی سازنده‌های تشکیل دهنده این مخازن براساس زون‌بندی‌های انجام شده، در هر برش عوامل معرفی شده در رابطه RFF برای رأس مخزن و سطوح عمقی معین نسبت به آن‌ها که منطبق بر میانه ضخامت زون‌های مختلف در هر مخزن هستند، محاسبه شده و با استفاده از مقادیر به‌دست آمده، نقشه‌های هم‌ارزش RFF برای آن تهیه شده است (شکل ۳ ب تا ح) (رمضانی و همکاران، ۱۳۸۸).

زون‌بندی انجام شده بر روی مخزن آسماری در تاق‌دیس لالی بر اساس اطلاعات برداشت شده در چاه‌های حفاری شده در این تاق‌دیس انجام شده است. در این تاق‌دیس سازند آسماری به هفت زون (از ۱ تا ۷ از بالا به پایین) شماره‌گذاری شده‌اند. بیشترین ضخامت مربوط به زون ۴ با ضخامت متوسط ۷۰ متر و کمترین ضخامت مربوط به زون ۳ با ضخامت ۴۰ متر می‌باشد. زون ۵ شامل تناوبی از لایه‌های انیدریتی و سنگ آهک است. بخش انتهایی زون ۷ بر روی انیدریت قاعده‌ای قرار دارد و در انتهای آن سازند پابده شروع می‌گردد. زون‌های ۱ و ۲ شامل آسماری فوقانی و بقیه زون‌ها آسماری میانی را دربرمی‌گیرند. هر یک از این زون‌ها با شروع یا پایان یافتن یک لایه شیلی - مارنی آغاز گردیده است. (شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، ۱۳۸۷).

براساس این روش، مناطقی از ساختار تاق‌دیس که با عملکرد توأم انحناء عرضی و طولی همراه هستند، مستعد تراکم بالای شکستگی شناخته شده (زون‌های ۱ تا ۴) و با افزایش عمق از فراوانی شکستگی‌ها کاسته می‌شود (زون‌های ۵ تا ۷). بنابراین، حداکثر تراکم شکستگی‌های، مربوط به مناطق با عمق کمتر، در کمان بیرونی انحناء محوری تاق‌دیس می‌باشند. همچنین از رأس افق مخزنی به سمت مناطق عمیق‌تر آن، از نقش انحناء عرضی در ایجاد شکستگی‌ها کاسته شده و انحناء طولی نقش پررنگ‌تری پیدا می‌کند.

### C (عامل سیمان‌شدگی)

با احتساب دو فرض اساسی، یکی اینکه تمام شکستگی‌ها در زیر سطح آب و نفت سیمانی شود و دیگر آنکه عمق سطح تماس آب و نفت چقدر باشد، می‌توان بین عمق نقطه مورد مطالعه و بلندترین نقطه در ساختمان مورد مطالعه، عامل سیمان‌شدگی را محاسبه نمود. در تاق‌دیس لالی نیز فرض بر این است که تمام شکستگی‌ها در زیر سطح آب و نفت سیمان شده‌اند و همچنین از سطح تماس آب و نفت به طرف سرسازند آسماری سیمان‌شدگی کاهش می‌یابد. عامل سیمان‌شدگی با استفاده از رابطه ۲ (مطبیعی، ۱۳۷۴) محاسبه می‌شود.

$$c = \frac{D_x - D_h}{D_L - D_h} \times 0.9 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه ۲،  $C$  عامل سیمان‌شدگی،  $D_x$  عمق نقطه مورد مطالعه  $D_h$  عمق بلندترین نقطه در تاق‌دیس مورد بررسی،  $D_L$  عمق سطح تماس آب و نفت می‌باشد.

### 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 انحناء محور و محاسبه طول آن می‌توان این عامل را کمیت‌گذاری کرد.

### Bs (عامل ساختمانی)

این عامل در پیوند با عامل  $S$  محاسبه می‌شود. فرض اصلی بر این کمیت‌گذاری قبول اثر سطح محوری در روی نقشه (سطح افقی) به عنوان سطح ختشی نسبت به یال‌های شمالی و جنوبی است. لذا این عامل تعیین‌کننده فاصله نقطه مورد مطالعه نسبت به این سطح ختشی است.

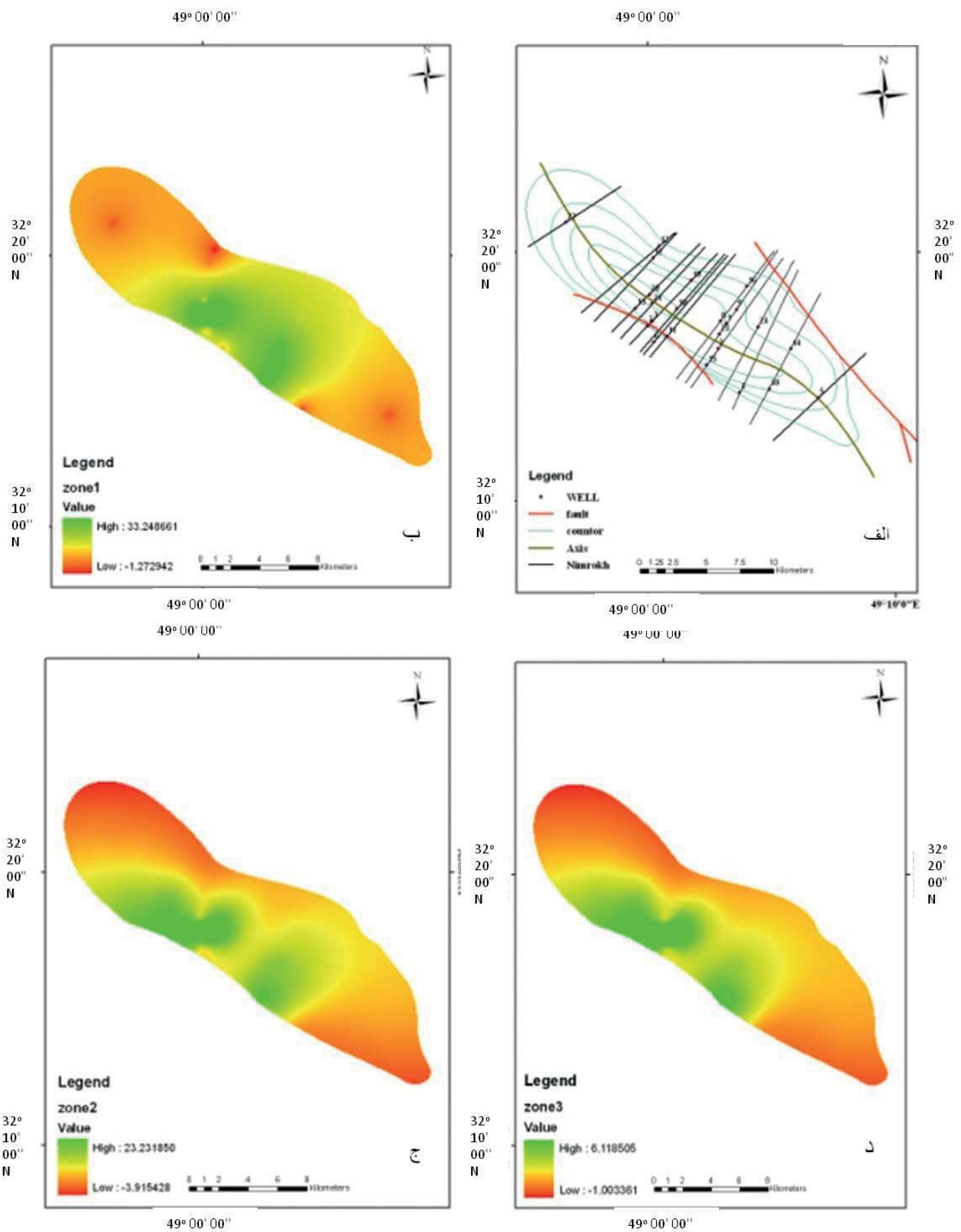
### R (عامل ساختمانی با شعاع انحناء)

با وجود اینکه برای یک نیم‌رخ چین، مراکز انحناء و شعاع‌های متفاوتی بدست می‌آید اما بهترین دایره منطبق بر کمان چین ترسیم می‌شود که شعاع آن معرف انحناء چین خواهد بود و بر حسب طول، کمیت‌گذاری می‌شود.

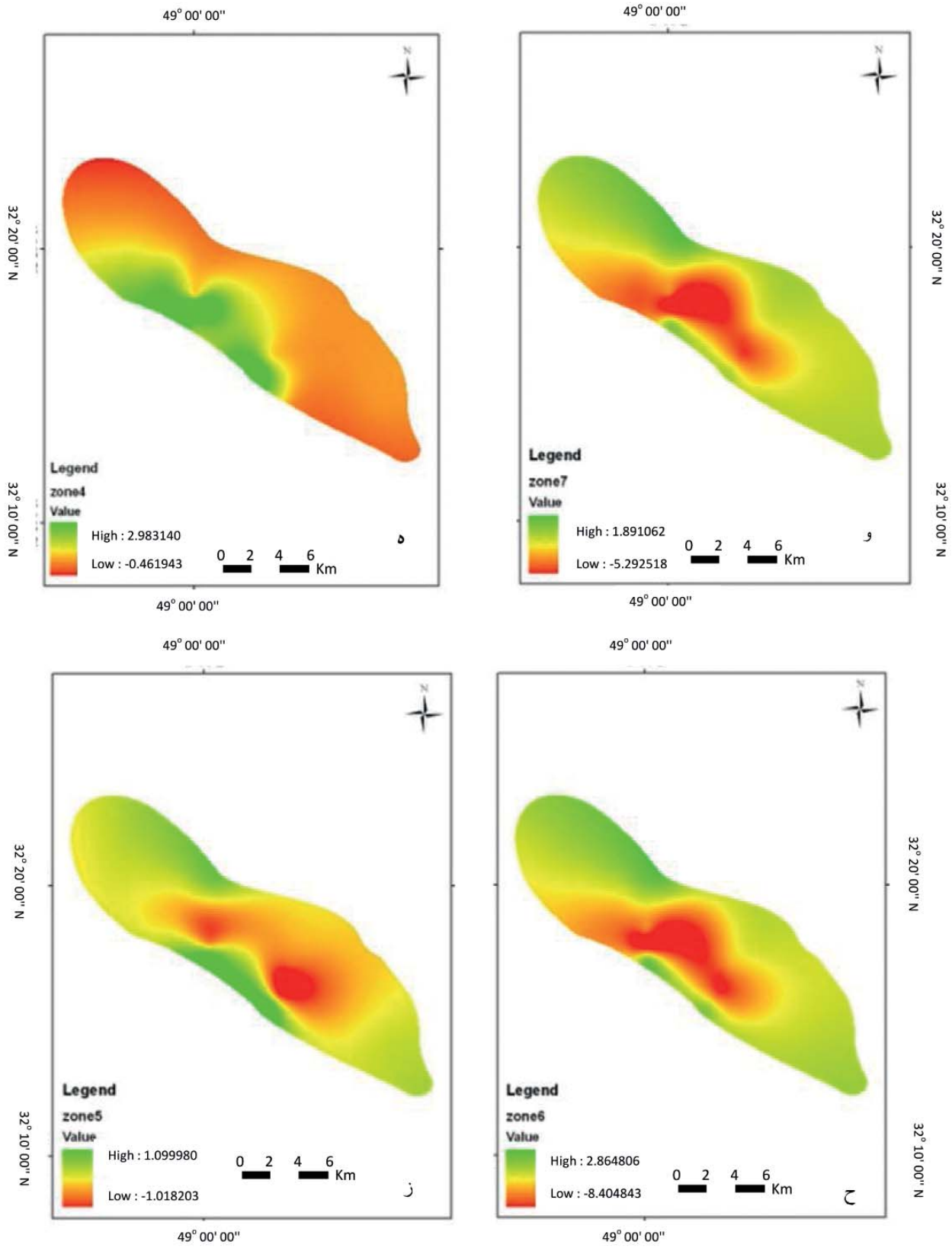
### B<sub>r</sub> (عامل برش آسماری):

با توجه به اینکه در یک لایه چین خورده شکستگی‌های کششی باز در بالای سطح ختشی شکل می‌گیرند و با فاصله از این سطح رابطه مستقیم دارند و دیگر اینکه شکستگی‌های تراکمی در زیر سطح ختشی تشکیل می‌شوند، بنابراین عامل  $B_r$  مبین فاصله نقطه مورد نظر از این سطح است.

جهت تعیین سطح ختشی با فرض گذر این سطح از میانه ضخامت سازند آسماری از رابطه ۳ (مطبیعی، ۱۳۷۴) استفاده می‌شود.



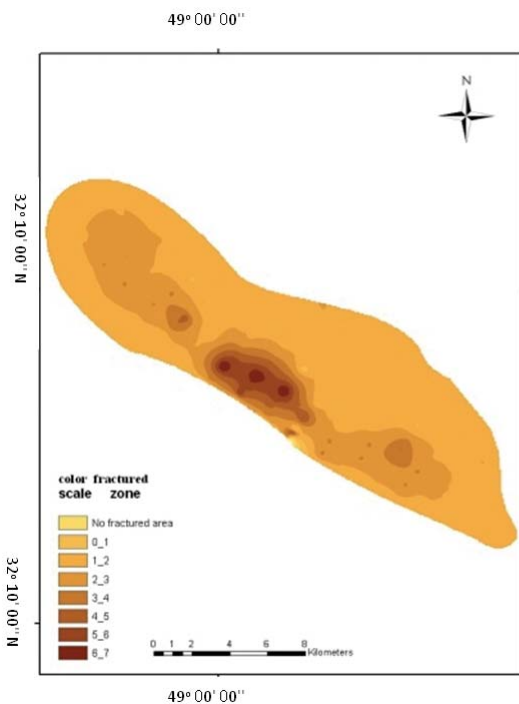
شکل ۳. الف) موقعیت برش‌های عرضی تهیه شده بر روی سرسازند آسماری میدان نفتی لالی جهت به کارگیری روش RFF. ب تا ح) به ترتیب نقشه‌های هم RFF برای سرسازند آسماری، عمق منطبق بر میانه زون‌های یک، دو، سه و چهارپنج و شش و هفت سازند آسماری (مناطق سبز رنگ نواحی دارای حداکثر تراکم شکستگی را نشان می‌دهند) (رضانی، ۱۳۸۹).



ادامه شکل ۳

محوری، کمان بیرونی انحناء<sup>۲</sup>، به علت تأثیر تنش‌های کششی<sup>۳</sup> می‌تواند ایجاد شکستگی‌های کششی نموده و کمان درونی<sup>۴</sup> انحناء، به دلیل تأثیر تنش‌های فشارشی<sup>۵</sup> می‌تواند حتی شکستگی‌هایی که در اثر چین‌خوردگی (انحناء عرضی) ساختار به وجود آمده است را به صورت شکستگی‌های بسته درآورد.

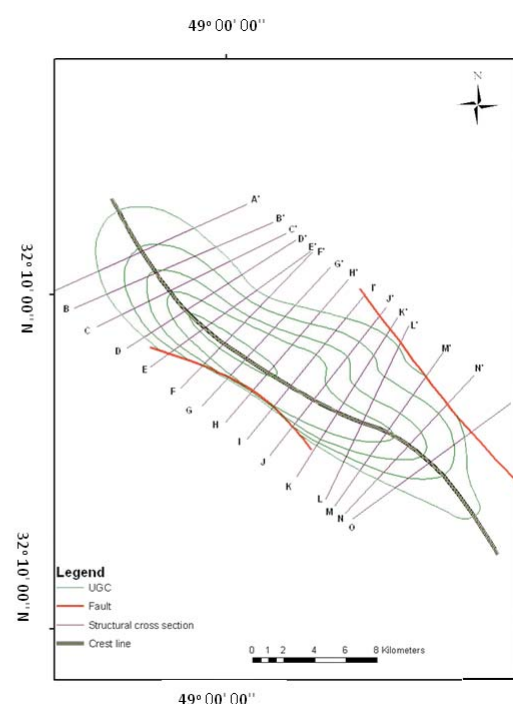
به منظور استفاده از این روش، اقدام به ترسیم مماس‌هایی بر روی آخرین منحنی تراز زیرسطحی بسته تاقدیس در افق مخزنی آسماری گردیده است. سپس محور اولیه<sup>۶</sup>، با رسم خط میانه‌ای که دارای فاصله مساوی از پایانه‌های این دو خط می‌باشد، بازسازی شده و با موقعیت محور کنونی<sup>۷</sup> آن، که با ترسیم خط گذرا از نقاط دارای حداکثر انحناء عرضی بر روی نقشه حاصل از روش دایره محاطی به دست آمده است، مورد مقایسه قرار گرفته تا میزان و جهت جابجایی محور کنونی از حالت اولیه مشخص گردد. محدوده‌های جابجا شده، نواحی مستعد در توسعه شکستگی‌های کششی ناشی از انحناء محوری ساختار را نشان می‌دهند. افزایش فاصله محور کنونی از حالت اولیه بیان‌کننده افزایش استعداد توسعه شکستگی‌های کششی و مساحت محدوده شکسته شده می‌باشد (شکل ۴).



**روش تحلیل دایره محاطی**  
هدف از به کارگیری روش تحلیل دایره محاطی، تعیین محدوده گسترش شکستگی‌های باز ناشی از خمش عرضی چین خوردگی یا شکستگی‌های کششی ساختار تاقدیسی است. اساس این روش بر تغییرات شعاع انحناء تاقدیس و تأثیر آن بر میزان تراکم شکستگی‌ها استوار است. به عبارت دیگر در یک لایه سنگی که تحت خمش غیریکنواخت قرار گرفته است، تغییرات و یا افزایش شیب در آن لایه معرف خمش بیشتر و به تبع آن تراکم بالاتر شکستگی می‌باشد. در این مطالعه پس از ترسیم پانزده برش عرضی بر روی جدیدترین نقشه خطوط تراز زیرسطحی افق آسماری در تاقدیس لالی و رسم دوایر محاطی، محل برخورد این دوایر با سرزون‌های مختلف، بر روی نقشه پایه<sup>۱</sup> تاقدیس پیاده گردیده و نقشه هم‌ارزش حاصل از این نقاط تهیه شده است (شکل ۴).

### روش تعیین میزان و جهت خمش محور ساختاری

با استفاده از این روش می‌توان محدوده شکستگی‌های مرتبط با میزان انحناء محوری ساختار را مشخص نمود. در هر انحناء



شکل ۴. الف) موقعیت برش‌های عرضی تهیه شده بر روی سرسازند آسماری میدان نفتی لالی جهت به‌کارگیری روش دایره محاطی (ب) نقشه حاصل از روش دایره محاطی که نواحی مستعد گسترش شکستگی‌های کششی باز ناشی از چین‌خوردگی (خمش عرضی) را در زون‌های مختلف مخزن آسماری نشان می‌دهد. همچنین مناطق تیره تر معرف نواحی دارای حداکثر خمش و به تبع آن تراکم بالاتر شکستگی می‌باشد (رضانی، ۱۳۸۹).

- 1- Base Map
- 2- Outer Arc
- 3- Tensional Stress
- 4- Inner Arc
- 5- Compressional Stress
- 6- Primary Axis
- 7- Current Axis

درون‌یابی نرم افزاری است، این اختلال‌ها به تمامی ساختمان چین‌تعمیم داده می‌شود. از این رو اگر در نقشه پایه‌ای که پس از رقوم‌سازی به عنوان اطلاعات خام مورد استفاده قرار می‌گیرد، خطوط منحنی تراز تحت تأثیر عملکرد گسلش یا انحناء شدید ناشی از آن باشد نقشه مشتق دوم حاصل از آن دارای خطای فراوان خواهد بود. چگونگی اثر نقش سینوسیته کوچک مقیاس در بروز اختلال فراوان جهت تعیین انحناء ساختارهای ناحیه‌ای بزرگ‌تر طی فرآیند مشتق‌گیری ساختاری در شکل ۶ به خوبی نشان داده شده است.

بر اساس نقشه‌های مشتق اول رأس مخزن آسماری، بیشترین میزان شیب یال‌ها در این مخزن مربوط به یال جنوب باختری و به میزان کمتر، بخش مرکزی یال شمال‌خاوری آن می‌باشد. با توجه به نقشه مشتق دوم، بیشترین آهنگ تغییرات شیب و در نتیجه بالاترین استعداد توسعه شکستگی‌های ناشی از انحناء عرضی ساختار، در مخزن آسماری مربوط به یال جنوب باختری می‌باشد.

### ساز و کار چین خوردگی در تاقدیس زیرسطحی لالی

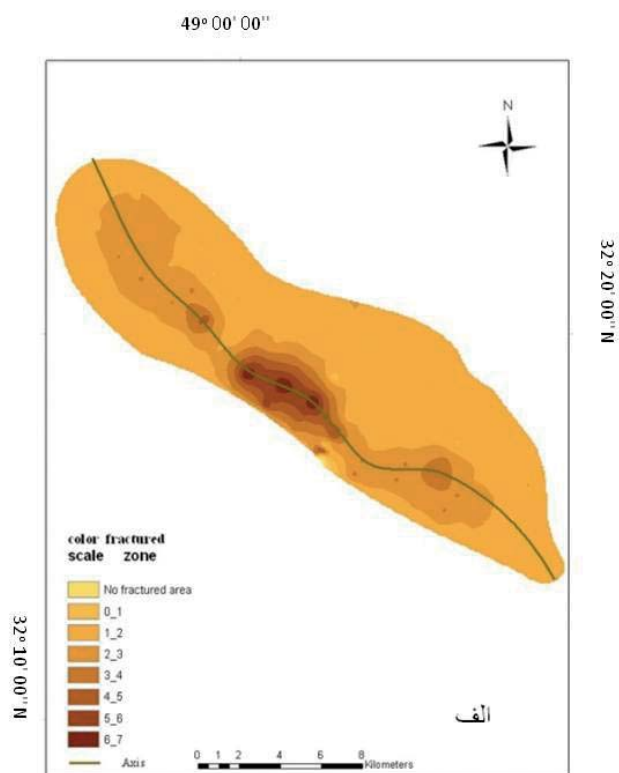
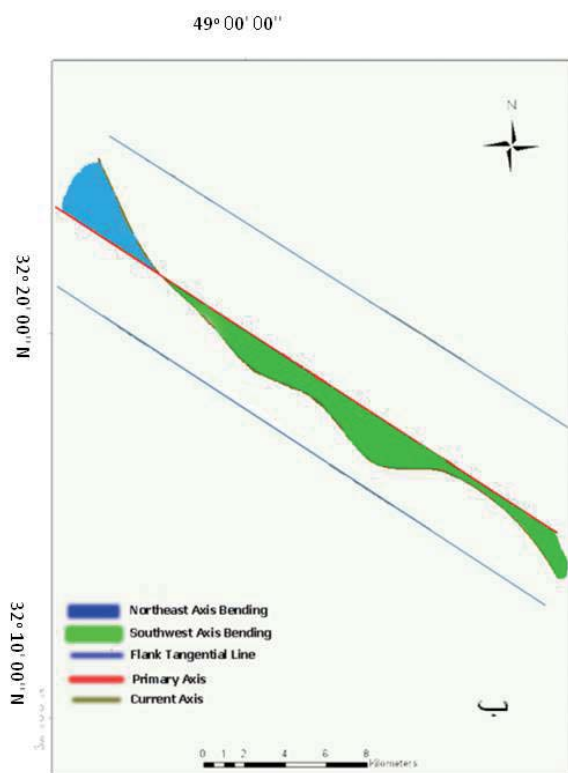
تاقدیس لالی یک تاقدیس زیرسطحی است و شواهد زمین‌شناسی زیادی از آن وجود ندارد و به دلیل وجود و عملکرد سازند شکل‌پذیر گچساران و تفاوت در نحوه عملکرد فازهای چین‌خوردگی در منطقه مورد مطالعه بخصوص آخرین فازهای

محاطی نشان می‌دهد که هر هفت زون مخزنی سازند آسماری در تاقدیس لالی مستعد شکستگی بوده و زون‌های بالایی این مخزن از استعداد توسعه شکستگی بیشتری نسبت به زون‌های عمیق‌تر برخوردار می‌باشند. بر این اساس پهنای محدوده شکستگی‌های عمیق و پرتراکم در محدوده مرکزی مخزن که از انحناء 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. میزان انحناء طولی ساختمان تاقدیس نیز، حکایت از استعداد بالاتر توسعه شکستگی در نیمه جنوب‌خاوری تاقدیس دارد.

### استفاده از مشتق دوم نقشه ساختمانی زیر سطحی

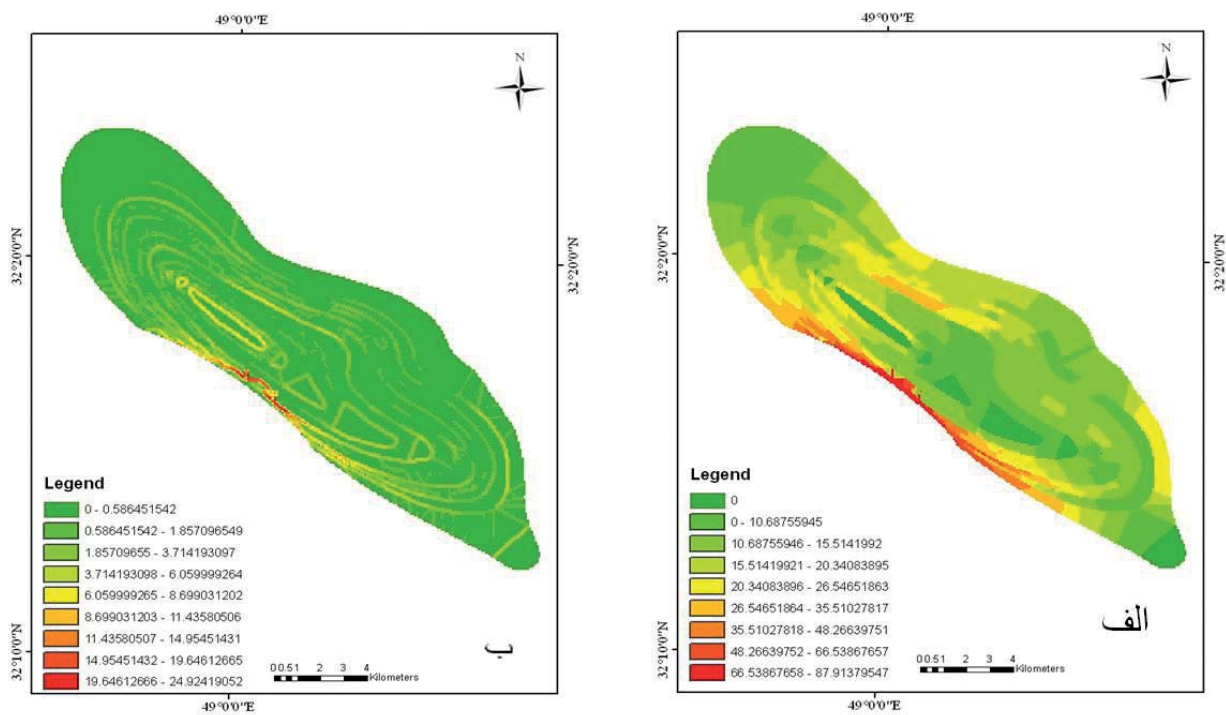
یکی از روش‌های بررسی میزان تغییرات انحناء و شیب سطح لایه بندی تهیه نقشه مشتق دوم از نقشه خطوط تراز زیر سطحی است. در واقع مشتق دوم نقشه خطوط تراز زیر سطحی مناطقی از ساختمان چین را که دارای بیشترین انحناء و خمش هستند، مشخص می‌سازد. چنین مناطقی از بیشترین توسعه و تراکم شکستگی برخوردارند (شکل ۵).

نکته قابل توجه در تفسیر نقشه مشتق دوم این است که حضور بی‌نظمی‌های کوچک مقیاس می‌تواند سبب ایجاد اختلال و خطا در نتایج این روش گردد و از آن جا که نقشه خروجی، نتیجه

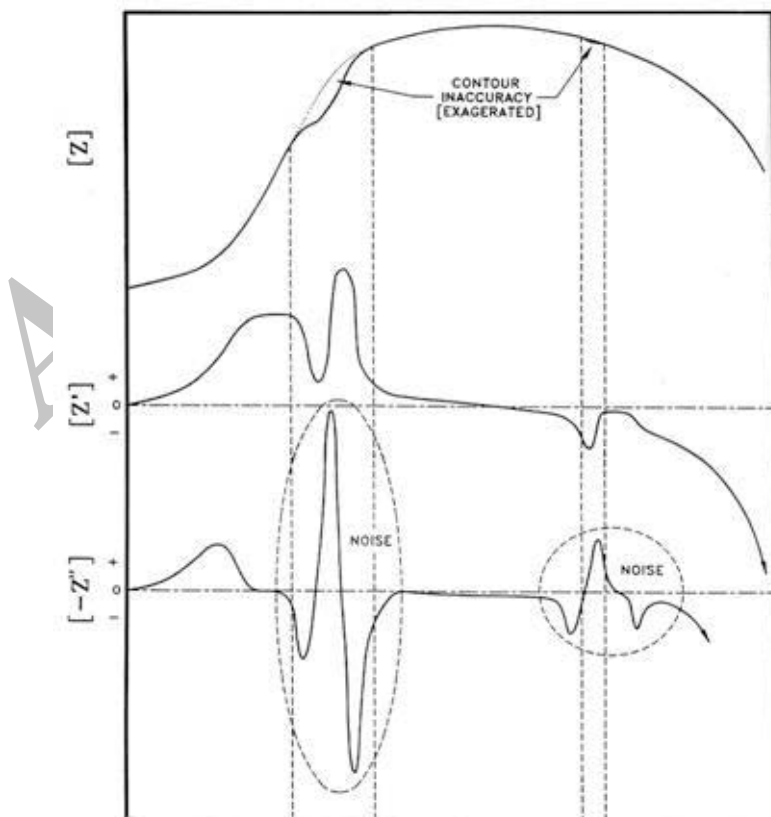


شکل ۵. الف) بازسازی محور اولیه ساختار لالی در مخزنی آسماری با استفاده از نقشه حاصل از روش دایره محاطی. ب) تعیین نواحی مستعد توسعه شکستگی‌های کششی، ناشی از انحناء محوری (طولی) ساختار در افق مخزنی آسماری میباشد (رضانی، ۱۳۸۹).





شکل ۶ الف) نقشه مشتق اول و ب) مشتق دوم از سرسازند مخزن آسماری (رضانی، ۱۳۸۹).

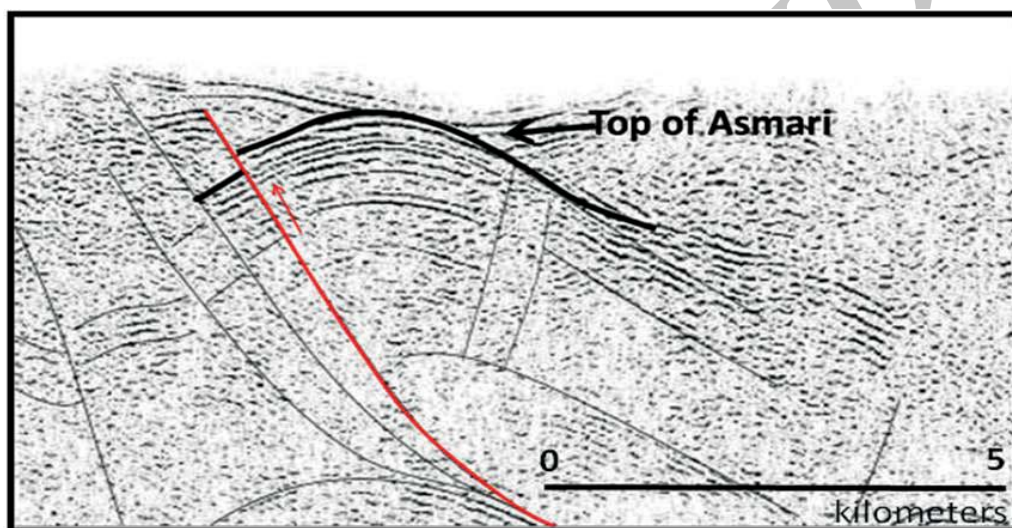


شکل ۷. اثر سینوسیته کوچک مقیاس در بروز اختلال فراوان طی فرآیند مشتق‌گیری از رأس ساختمان مخزن (Intera Company, 1992).

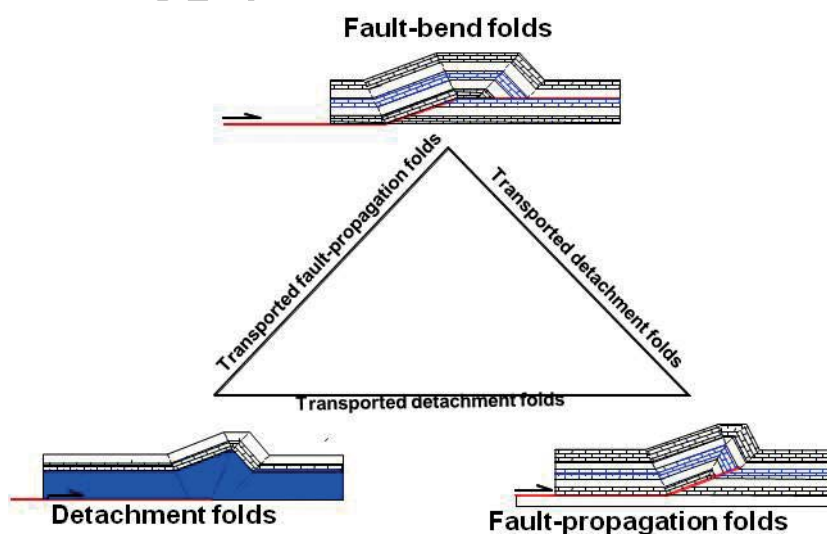
راندگی در یال جنوب باختری تاقدیس به اثبات رسیده است (شکل ۸). بدین ترتیب در یک بیان کلی تاقدیس زیر سطحی لالی را می‌توان یک چین مرتبط با گسل راندگی در نظر گرفت. مقایسه نیم رخ‌های لرزه‌ای مربوط به تاقدیس لالی با مدل‌های ارائه شده برای چین‌های مرتبط با گسل (McClay, 2003)، نشان می‌دهد (شکل ۹) این تاقدیس می‌تواند از نوع چین‌های انتشار گسلی<sup>۱</sup> باشد. همچنین با اندازه‌گیری شیب شیپرانه راندگی ( $\alpha$ ) از روی این نیم رخ‌ها و میانگین زاویه بین یالی ( $\gamma$ ) تاقدیس از روی برش‌های عرضی رسم شده بر رأس مخزن آسماری (شکل ۱۰ و جدول ۲)، و انطباق این مؤلفه‌ها بر روی نیم‌رخ لرزه‌ای (شکل ۸) می‌توان گفت که احتمالاً یال جلویی تاقدیس دچار تغییرات چندان زیادی نشده است. درج مقادیر برداشت شده در نمودار تغییر ضخامت یال جلویی چین‌های انتشار گسلی (Jamison,

Hajjalibeigi et al., 2011)، هندسه ساختمان سطحی و زیر سطحی این تاقدیس کاملاً متفاوت می‌باشد. جهت شناسایی سازوکار چین خوردگی در تاقدیس لالی از داده‌های ژئوفیزیکی حاصل از لرزه نگاری دو بعدی به همراه داده‌های حفاری بهره گرفته شده است.

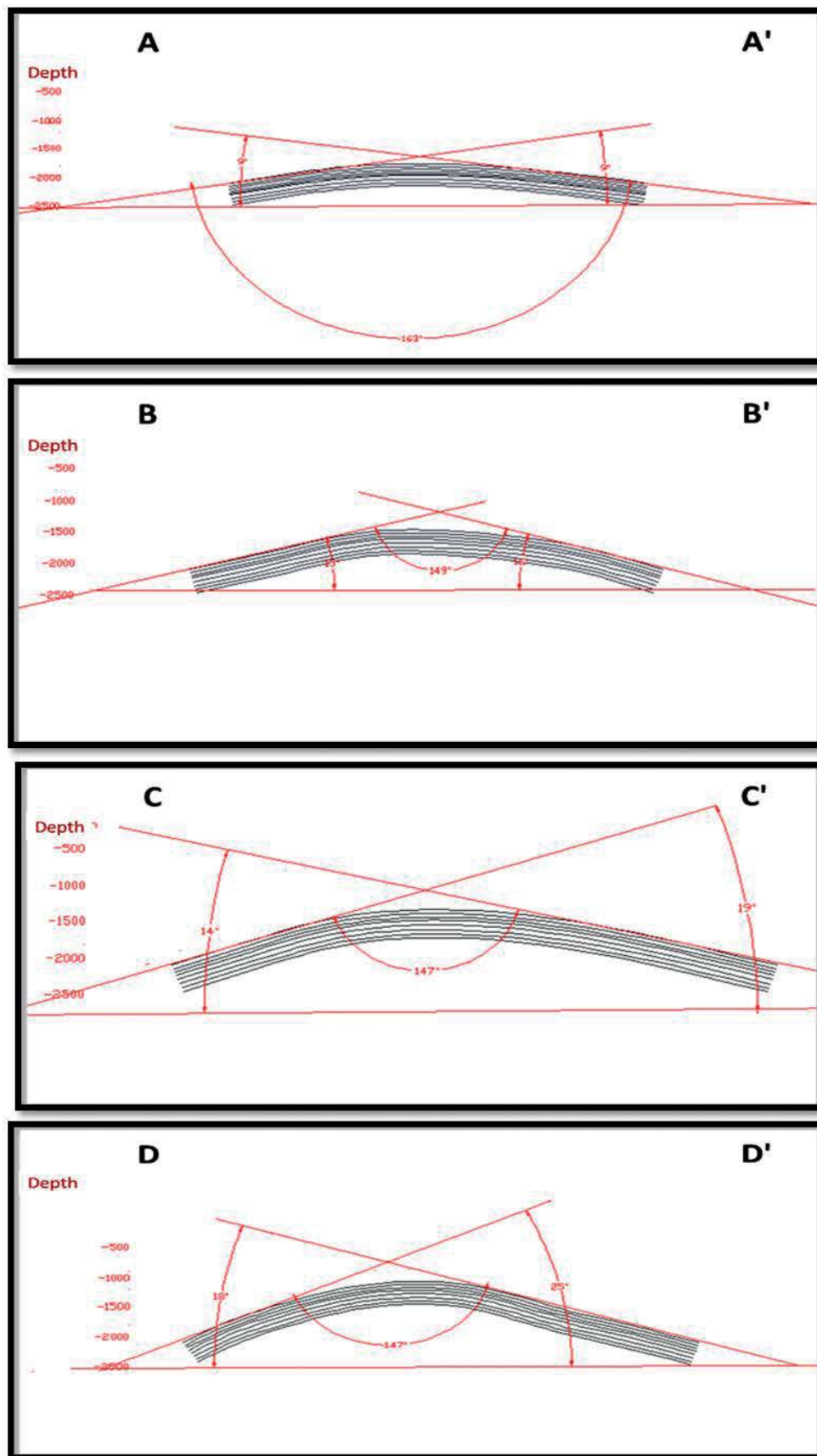
در نیم‌رخ‌های لرزه‌ای تفسیر شده از تاقدیس لالی محدوده‌ای به هم ریخته و مبهم در یال جنوب باختری مشاهده می‌شود (شکل ۸). تفسیر ژئوفیزیکی چین محدوده‌هایی بدین گونه می‌باشد که یا یال جنوبی بسیار پر شیب شده و به حالت قائم تا برگشته نزدیک شده است و یا اینکه در اثر عملکرد گسلش راندگی در امتداد یال جنوبی، گسیختگی رخ داده است. یال شمال خاوری این تاقدیس چندان پر شیب نیست و شیب قائم و برگشتگی نیز هرگز در آن مشاهده نمی‌شود. وجود گسل



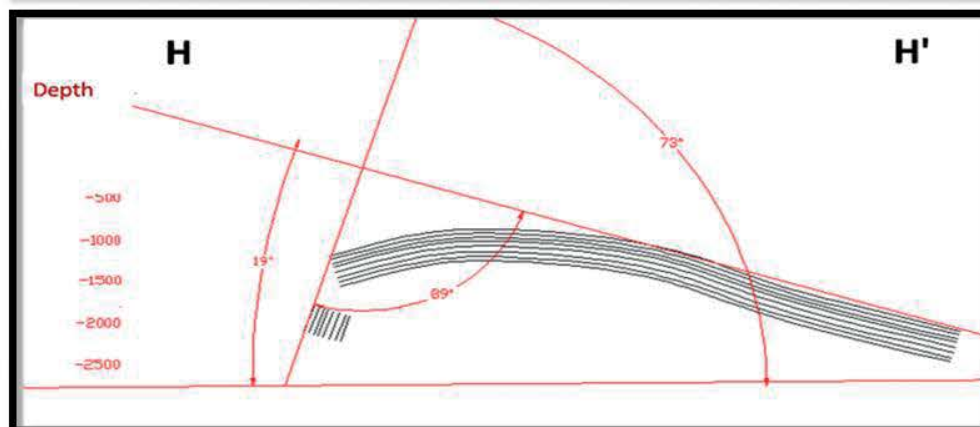
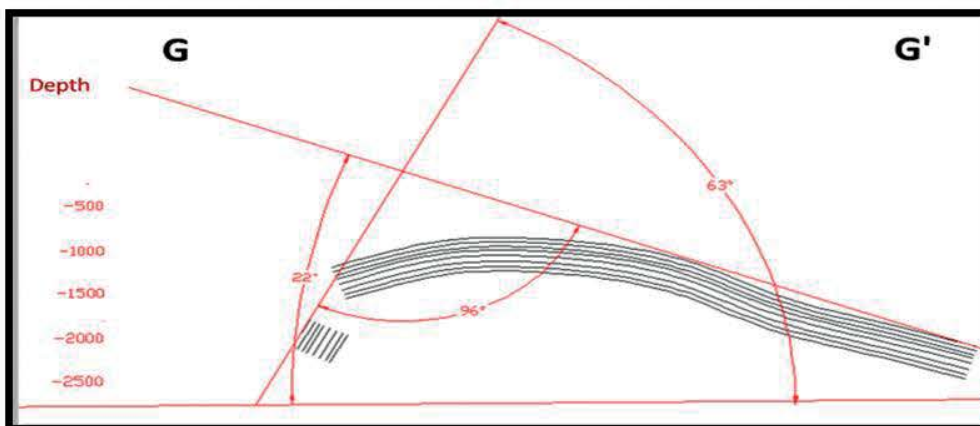
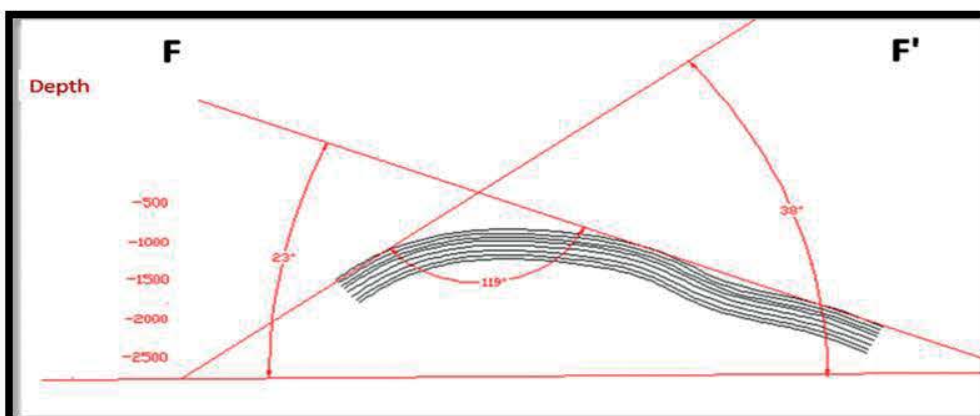
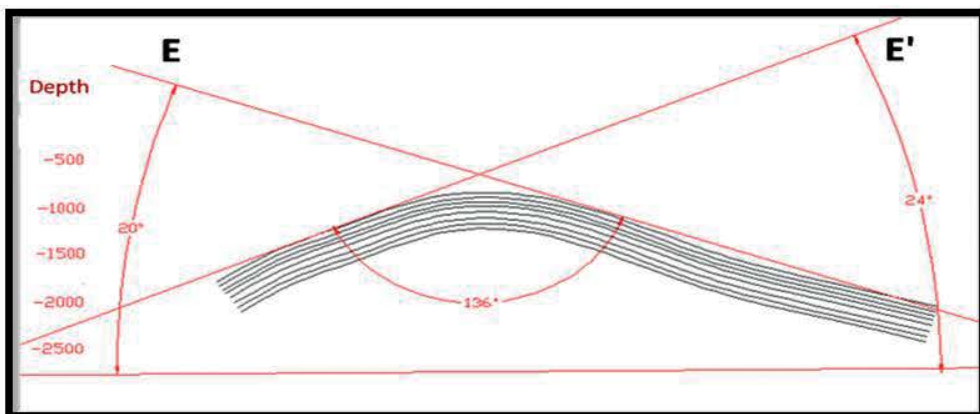
شکل ۸. نیم‌رخ لرزه‌ای مربوط به میدان نفتی لالی که راندگی در هسته تاقدیس در آن دیده می‌شود.



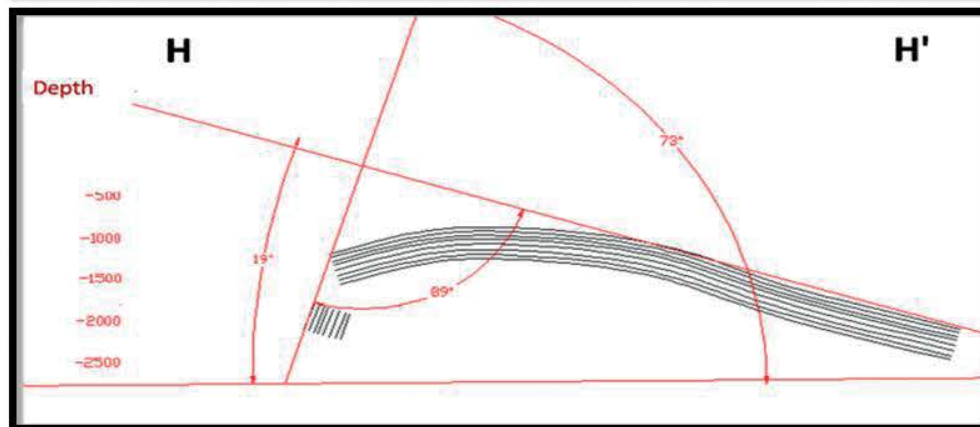
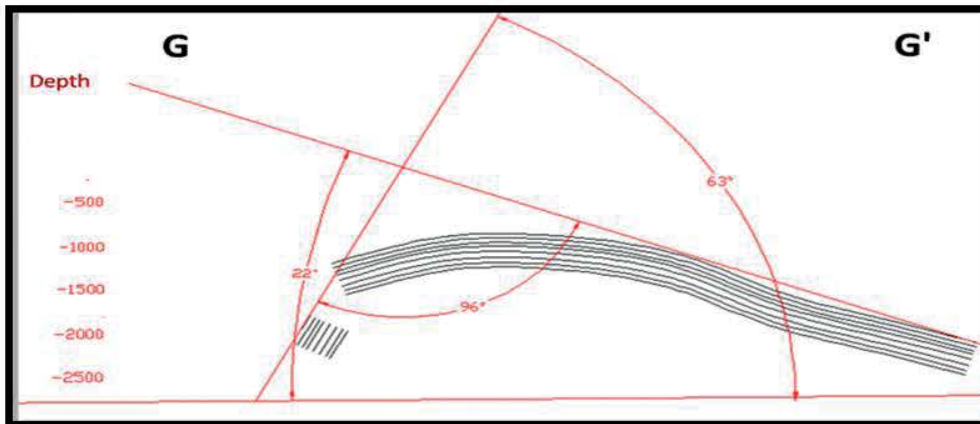
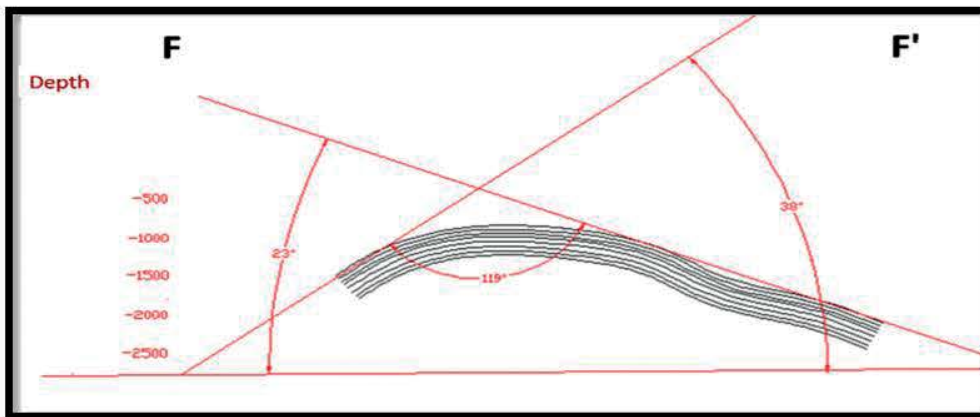
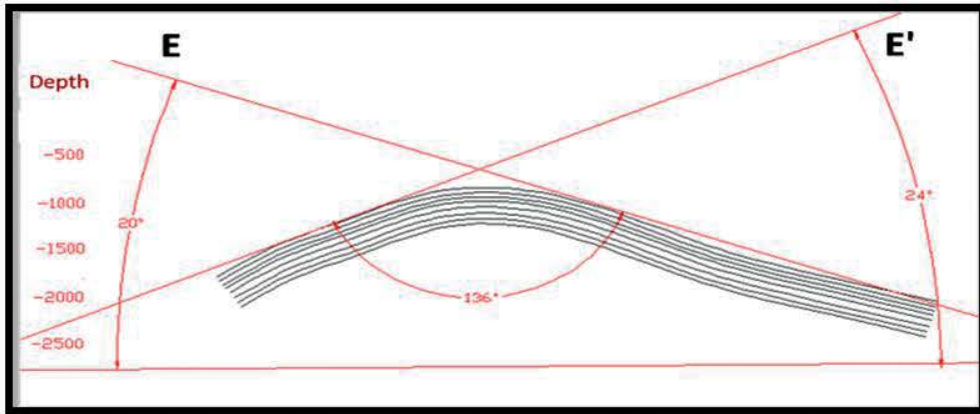
شکل ۹. تقسیم‌بندی سه گانه چین‌های مرتبط با گسل (McClay, 2003)



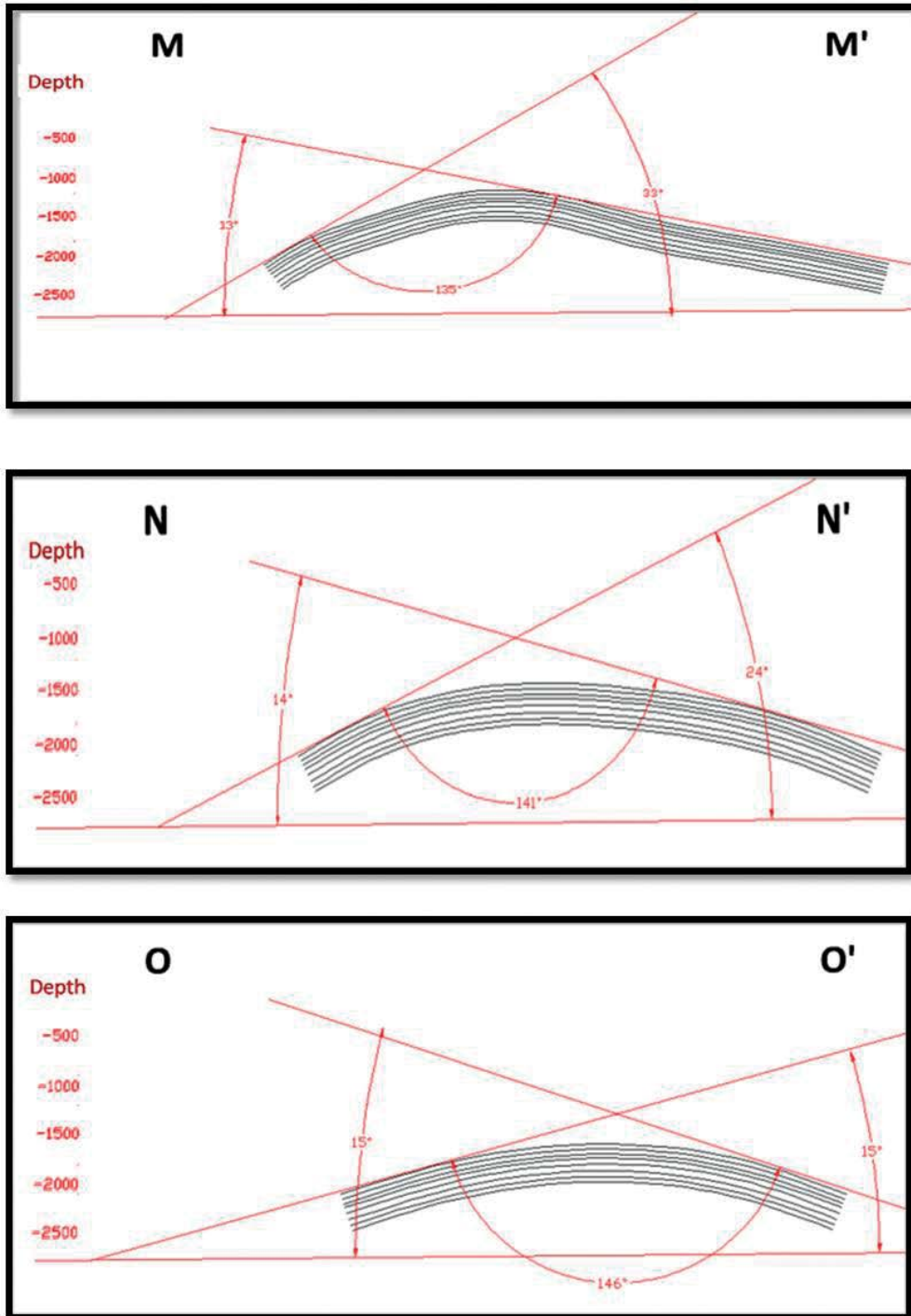
شکل ۱۰. برش‌های عرضی رسم شده بر روی رأس مخزن آسماری و محاسبه زوایای شیب یال شمال‌خاوری، جنوب‌باختری و زاویه بین یالی در این برش‌ها (رضانی و همکاران، ۱۳۸۸).



ادامه شکل ۱۰



ادامه شکل ۱۰



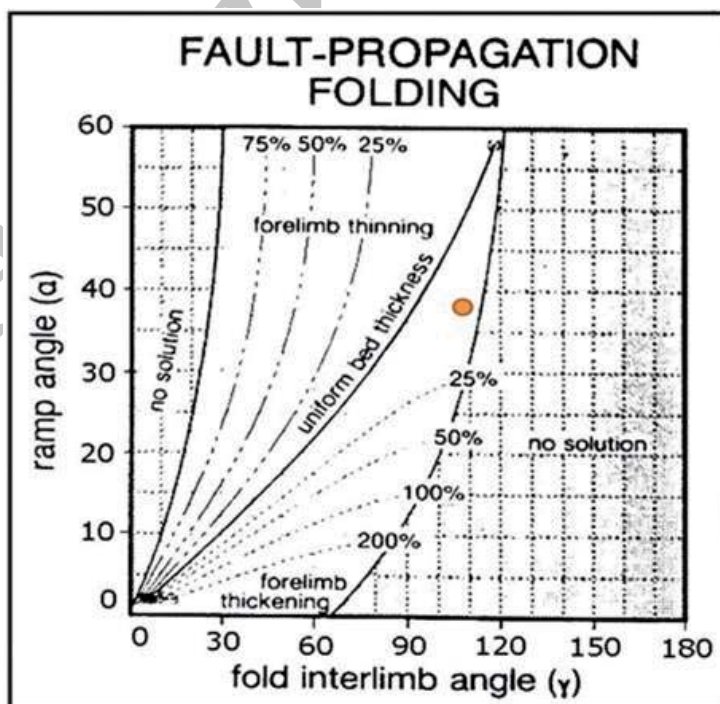
ادامه شکل ۱۰

پی‌سنگی و بلنداهای قدیمی، سازوکار چین‌خوردگی متفاوتی را متحمل شده باشد. همچنین احتمال دارد که یال‌های این تاقدیس در طول ساختار، نرخ‌های متفاوتی از نازک‌شدگی یا ضخیم‌شدگی را نیز نشان دهند. برای رفع این مشکل، تهیه نیم‌رخ‌های لرزه‌ای سه‌بعدی یا دوبعدی متعدد در سرتاسر تاقدیس ضروری می‌باشد. باید توجه داشت که، چین‌های پیچیده می‌توانند در برگرفته اجزایی از هر سه نوع اصلی چین‌خوردگی مرتبط با گسل، یعنی

(1987)، نیز نشان می‌دهد که نازک‌شدگی یا ضخیم‌شدگی چندانی در یال جلویی این تاقدیس صورت نگرفته است (شکل ۱۱). لازم به ذکر است، اطلاعات ارائه شده در این پژوهش تنها بر اساس سه نیم‌رخ لرزه‌ای دو بعدی است (که تنها بخشی از یکی از آنها در این پژوهش نشان داده شده است، شکل ۸) از این‌رو، تعمیم نتایج حاصل از بررسی این نیم‌رخ‌ها به سرتاسر تاقدیس خالی از اشکال نیست، چرا که این تاقدیس در طول خود، می‌تواند در اثر عوامل مختلفی همچون عملکرد گسل‌های

جدول ۲. محاسبه زوایای شیب یال شمال خاوری، جنوب باختری و زاویه بین یالی در برش‌های عرضی رسم شده بر رأس مخزن آسماری که در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

برش عرضی	زاویه یال شمال خاوری (درجه)	زاویه یال جنوب باختری (درجه)	زاویه بین یالی (درجه)
A-A'	۹	۹	۱۶۳
B-B'	۱۵	۱۶	۱۴۹
C-C'	۱۴	۱۹	۱۴۷
D-D'	۱۸	۲۵	۱۴۷
E-E'	۲۰	۲۴	۱۳۶
F-F'	۲۳	۳۸	۱۱۹
G-G'	۲۲	۶۳	۹۶
H-H'	۱۹	۷۳	۸۹
I-I'	۱۸	۷۱	۹۲
J-J'	۱۶	۶۹	۹۶
K-K'	۱۲	۵۷	۱۱۳
L-L'	۱۲	۳۶	۱۳۳
M-M'	۱۳	۳۳	۱۳۵
N-N'	۱۴	۲۴	۱۴۱
O-O'	۱۵	۱۵	۱۴۶



شکل ۱۱. انطباق مؤلفه‌های لازم جهت تحلیل نازک‌شدگی و ضخیم‌شدگی یال جلویی تاقدیس لالی بر روی نمودار نازک‌شدگی و ضخیم‌شدگی یال جلویی چین‌های انتشار گسلی (Jamison, 1987).

شده بر روی جدیدترین نقشه خطوط تراز زیرسطحی، می‌توان دریافت که تاق‌دیس زیرسطحی لالی یک چین غیر استوانه‌ای و نامتقارن است. مقایسه نیم رخ‌های لرزه‌ای مربوط به تاق‌دیس لالی با مدل‌های ارائه شده برای چین‌های مرتبط با گسل، نشان می‌دهد این تاق‌دیس می‌تواند از نوع چین‌های انتشارگسلی باشد. همچنین می‌توان گفت که احتمالاً یال جلویی تاق‌دیس دچار تغییر ضخامت چندان زیادی نشده است. درج مقادیر برداشت شده در نمودار تغییر ضخامت یال جلویی چین‌های انتشارگسلی، نیز نشان می‌دهد که نازک‌شدگی یا ضخیم‌شدگی چندان در یال جلویی این تاق‌دیس صورت نگرفته است.

### منابع

- شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، ۱۳۸۷. مطالعه زمین‌شناسی مخزن آسماری میدان نفتی لالی. شماره پ. (گزارش منتشر نشده)، ۳۴۵.
- شرکتی، ش.، ۱۳۸۴. تکنونیک پوشش رسوبی و پی‌سنگ در کمر بند کوهزایی زاگرس، نکاتی در زمینه مدل‌سازی هندسی دگرشکلی. شرکت ملی نفت ایران، مدیریت اکتشاف، گزارش زمین‌شناسی شماره GR-۲۰۶۷ (گزارش منتشر نشده)، ۶۵.
- شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۸۳. نقشه ساختاری زاگرس. مدیریت اکتشاف.
- رضایی، ع.، ۱۳۸۸. تحلیل شکستگی‌های زیرسطحی میدان نفتی لالی در افق مخزنی آسماری و تعیین نواحی با تراکم شکستگی بالا در این مخزن. بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین - سیزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران.
- رضایی، ع.، علوی، س. ا.، حاجی علی بیگی، ح. و طالبی، ح.، ۱۳۸۹. تحلیل ساختاری و شکستگی‌های میدان نفتی لالی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته تکنونیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۴۰.
- مطیعی، همایون، ۱۳۷۴. زمین‌شناسی نفت زاگرس. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، جلد اول، ۵۸۹.

- Abdollahie Fard, I., Sherkati, S. and Letouzey, J., 2006. Neogene salt in southwest Iran and its interaction with Zagros folding. American Association of Petroleum Geologists Geo 2006 Middle East Conference and Exhibition, Bahrain.

- 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, 47, 717- 755.

- Hajjalibeigi, H., Alavi, S.A., Eftekharneshad, J., Mokhtari, M. and Adabi, M.H., 2011. Signatures of the Balarud deep seated fault zone in Khushab anticline, SW Iran, An integrated study. Journal of Sciences, Islamic Re-

چین‌های جدایشی، انتشارگسلی و خمش‌گسلی باشند (Mitra, 1990). همچنین اعتقاد بر این است که این مدل‌ها را می‌توان به عنوان مراحل مختلف یک جریان پیوسته چین‌خوردگی در نظر گرفت، به عبارت دیگر، این امکان وجود دارد که چین‌ها در مرحله نهایی تکامل خود تمام این مراحل را پشت سر گذاشته باشند که با خمش ساده بر روی یک لایه انعطاف‌پذیر آغاز شده و با اتصال راندگی به سکوی بالایی (که ممکن است سطح توپوگرافی باشد) و تشکیل چین‌های خمش‌گسلی خاتمه می‌یابد (شرکتی، ۱۳۸۴)، که به نظر می‌رسد تاق‌دیس لالی در حال حاضر سازوکار چین‌های انتشارگسلی را از خود نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

بر اساس روش RFF مناطقی از ساختار تاق‌دیس که با عملکرد توأم انحناء مرتبط با چین‌خوردگی (خمش عرضی) و انحناء ناشی از پیچش محور ساختمانی (خمش طولی) همراه هستند، مستعد تراکم بالای شکستگی شناخته می‌شوند (زون‌های ۱ تا ۴). مناطق عمیق‌تر مخزن آسماری (زون‌های ۵ تا ۷) به علت عبور از سطح خنثی که افزایش نیروهای فشارشی و ایجاد شکستگی‌های برشی بسته را به دنبال دارد از گسترش و تراکم شکستگی کمتری نسبت به مناطق کم‌عمق‌تر برخوردار می‌باشند. بنابراین بر اساس این روش، حداکثر تراکم شکستگی مربوط به مناطق با عمق کمتر، در یال جنوب‌باختری چین و منطبق با یال محدب خمش محوری تاق‌دیس می‌باشد. همچنین از سرسازند آسماری به سمت مناطق عمیق‌تر از نقش خمش عرضی در ایجاد شکستگی‌ها کاسته شده و خمش محوری (طولی) که خود می‌تواند متأثر از عملکرد گسل‌های پی‌سنگی احتمالی و همچنین چین‌خوردگی همزمان فشارشی و برشی تاق‌دیس باشد، نقش پررنگ‌تری پیدا می‌کند. میزان انحناء طولی ساختمان نیز، حکایت از استعداد بالاتر توسعه شکستگی در نیمه جنوب‌باختری تاق‌دیس دارد. بررسی‌های انجام شده با استفاده از روش دایره محاطی نشان می‌دهد که هر هفت زون مخزنی به ویژه زون‌های بالایی سازند آسماری در میدان نفتی لالی مستعد توسعه شکستگی بوده و بالاترین تراکم شکستگی را در مناطقی که هر هفت زون دارای شکستگی هستند می‌توان مشخص نمود. همچنین به دلیل شیب بیشتر یال جنوب‌باختری، توسعه شکستگی‌ها بیشتر متمایل به جنوب‌باختری تاق‌دیس می‌باشد. میزان انحناء طولی ساختمان تاق‌دیس نیز، حکایت از استعداد بالاتر توسعه شکستگی در نیمه جنوب‌خاوری تاق‌دیس دارد. با توجه به مشتق دوم نقشه خطوط تراز زیر سطحی به نظر می‌رسد که یال جنوب‌باختری دارای بیشترین انحناء و خمش است و مشخص می‌سازد که این منطقه از بیشترین توسعه و تراکم شکستگی برخوردار است. این مسأله منطبق بر نتایج حاصل از روش‌های تحلیلی دایره محاطی و RFF می‌باشد. این مسأله، نشان‌دهنده بالا بودن نرخ دگرشکلی در نیمه جنوب‌باختری تاق‌دیس نسبت به نیمه شمال‌خاوری آن است. با استفاده از نیم‌رخ‌های لرزه‌نگاری دو بعدی و همچنین برش‌های عرضی تهیه



public of Iran, 22, 33-49.

- Intera Company, 1992. Asmari reservoir fracture study in Marun Oil Field. Unpublished No. 65.

- Jamison, W.R., 1987. Geometric analysis of fold development in overthrust terranes. *Journal of Structural Geology*, 9, 207-219.

- McClay, K.R., 2003. *Structural Geology for Petroleum Exploration*. Lecture Notes, 503.

- Mitra, S., 1990. Fault propagation folds: geometry, kinematics and hydrocarbon traps. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 74, 921-945.

- Nelson, R.A., 2001. *Geologic Analysis of Naturally*

*Fractured Reservoirs*. Gulf publishing, Houston, Texas, Contribution In *Petroleum Geology and Engineering*, 2nd ed., 332.

- Nemati, M. and 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*, 14, 305-316.

- Park, R.G., 1989. *Foundation of Structural Geology*. 2nd ed., 358.

- Stearns, D.W. and Friedman, M., 1972. Reservoirs in fractured rock. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 16, 82- 100.

Archive of SID