

تحلیل چین خوردگی مرتبط با گسلش پنهان در میدان نفتی کرنج

احسان عزیزی^۱، محمدمهدی خطیب^۲ و ایرج قربانی قشقایی^۳

۱. دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج، گروه مهندسی نفت، یاسوج، ایران

۲. دانشیار، گروه زمین‌شناسی دانشگاه بیرجند

۳. اداره زمین‌شناسی شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۱۰

چکیده

بر اساس مطالعات صورت گرفته، تاقدیس کرنج یک چین نامتقارن با تمایل به سمت جنوب باختری است. میانگین ضخامت موازی با سطح محوری سازند آسماری در بخش‌های مختلف این تاقدیس، ۵۵۰ متر و ضخامت حقیقی آن ۴۰۳ متر برآورد شده است. در میدان نفتی کرنج، مدل چین جدایشی گسلیده به عنوان سازوکار چین خوردگی پیشنهاد می‌شود. برش‌های زمین‌شناسی و کانون سطحی زمین لرزه‌های دستگاهی در کنار تفسیر نیمرخ‌های لرزه‌ای سه بعدی حکایت از عملکرد دو گسل راندگی در یال‌های شمالی و جنوبی این تاقدیس و یک گسل تراگذر متقاطع با محور تاقدیس، دارد که انحنای محور تاقدیس معلول عملکرد این گسل تراگذر است. مدل سه بعدی تهیه شده از راس سازند آسماری بوسیله نقشه‌های زیرسطحی و اطلاعات حفاری چاه‌ها نشان داد که ریخت‌شناسی سازند آسماری به شدت از عملکرد این گسل‌ها تأثیر پذیرفته است. تحلیل فرکتالی آبراهه‌ها مشخص می‌کند که بخش‌ها مختلف این تاقدیس در طول تاریخ زمین‌شناختی خود، دارای آهنگ زمین‌ساختی متفاوتی بوده است، به گونه‌ای که بخش میانی در یال شمالی بالاترین آهنگ فعالیت زمین‌ساختی را به خود اختصاص می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: نیمرخ لرزه‌ای، چین جدایشی گسلیده، گسل پنهان

مقدمه

در Nahanni کانادا (Berberian, 1995) و زمین‌لرزه ۱۳۸۲/۱۰/۵ بم در ایران بوسیله گسل‌های پنهان موجود ایجاد شده‌اند. لزوم شناخت نقش ساختاری این گسل‌ها در کمربند چین‌خورده - راندگی زاگرس به دلیل حضور ۶۵ درصد ذخائر نفتی ثابت شده و ۳۴ درصد ذخائر گازی دنیا که در خاورمیانه به ویژه در میدان‌های هیدروکربوری زاگرس قرار دارند (Alavi, 2007) از اهمیت دو چندان برخوردار است. به دلیل بالا بودن غیرعادی تراوایی در برخی از چاه‌ها حفاری شده و توزیع غیر عادی برخی از سازندهای خاص در میدان نفتی کرنج، این پژوهش به دنبال بررسی احتمال حضور گسل‌های پنهان و ارتباط آن با پدیده‌های فوق در این تاقدیس است. در ابتدا برای درک بهتر ویژگی‌های ساختاری این تاقدیس عناصر الگوی چین در این تاقدیس با

از مسائل قابل توجه در زاگرس، وجود کانون‌های سطحی زمین لرزه‌های است که نمی‌توان آنها را به هیچ کدام از گسل‌های سطحی در منطقه نسبت داد و بیشتر در ارتباط با گسل‌های زیرسطحی هستند که هنوز نتوانسته‌اند به سطح برسند. بنابراین گسل‌های زیرسطحی فعال می‌توانند به عنوان مسبب بسیاری از دگرشکلی‌های پیچیده در زاگرس به شمار آیند (پورکرمانی و آراین، ۱۳۷۶). پژوهش‌های انجام شده بر روی زمین‌لرزه‌های طبس (۱۶/۹/۱۹۷۶) و الاصنام الاجزایر (۱۰/۱۰/۱۹۸۰) نشان داد که تاقدیس‌های سطحی، وابسته به گسل‌های راندگی می‌باشند (Berberian, 1995). بسیاری از زمین‌لرزه‌ها از جمله زمین‌لرزه ۱۹۶۴ در Niigata ژاپن و زمین‌لرزه‌های ۵/۱۰/۱۹۸۵ و ۲۳/۲/۱۹۸۵

عناصر الگوی چین

روش لرزه‌ای بازتابی به دلیل دقت در تعیین شکل و وضعیت ساختارها در عمق، روشی برتر در اکتشافات منابع بشمار می‌آید، این روش در ردیابی ویژگی‌های زمین‌ساختی و چینه‌شناسی ساختارهای عمقی دارای توانایی بسیار بالایی است.

در این پژوهش به دلیل انعکاس مناسب سازند آسماری بر روی نیمرخ‌های لرزه‌ای بازتابی دوبعدی، عناصر الگوی چین بر روی راس این سازند در دو بخش باختری و خاوری تاقدیس، مورد بررسی قرار گرفت.

تقارن

به دلیل اینکه در این نیمرخ‌ها، لولا و قله در سازند آسماری بر هم منطبق نمی‌شوند و طول یال‌ها در سازند آسماری با هم متفاوت است و از نظر هندسی، صفحه محوری تاقدیس، صفحه تقارن چین نمی‌باشد، تاقدیس کرنج یک چین نامتقارن با تمایل به سمت جنوب باختری است.

الگوی یک سطح چین خورده

نسبت ظاهری

این مقدار که از نسبت دامنه به نصف طول موج بدست می‌آید، در بخش‌های خاوری و باختری تاقدیس کرنج به ترتیب $P - E = 0/2$ و $P - W = 0/13$ است که نشان‌دهند یک چین وسیع است.

استفاده از نیمرخ‌های لرزه‌ای دو بعدی ارزیابی می‌شود و در ادامه با استفاده از اطلاعات مختلف موجود، به بررسی احتمال حضور گسل‌های پنهان در این میدان پرداخته شده است.

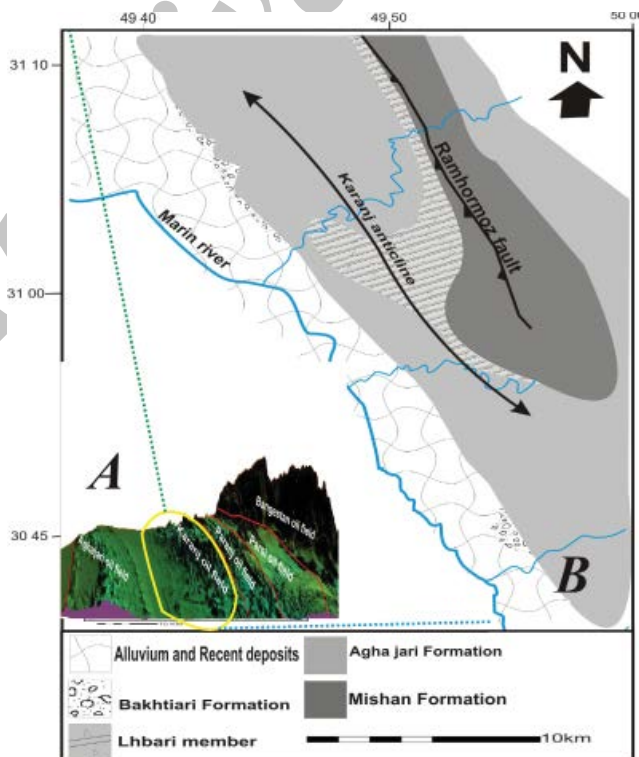
موقعیت زمین‌شناسی

تاقدیس کرنج با روند شمال باختر - جنوب خاور بخشی از کمربند کوهزایی زاگرس است که در جنوب باختری ایران و در ۱۳۰ کیلومتری جنوب خاوری اهواز قرار دارد. سازندهای گروه فارس، واحدهای عمده سنگ‌چینه‌ای این تاقدیس سطحی را تشکیل می‌دهند (مطیعی، ۱۳۷۴).

این میدان در کمربند ساده چین‌خورده از تقسیم‌بندی Falcon (1961) و فروافتادگی دزفول از تقسیم‌بندی Faver (1975) و در کمربند چین‌خورده از تقسیم‌بندی مطیعی (۱۳۷۴) و در بین عرض $31^{\circ} 16' N$ تا $31^{\circ} 38' N$ و طول‌های $49^{\circ} 39' E$ تا $49^{\circ} 45' E$ قرار می‌گیرد. (مطیعی، ۱۳۷۴)

این میدان نفتی در سال ۱۹۶۳ کشف شد. ذخائر قابل بازیافت این میدان ۱/۶۵ میلیارد بشکه نفت و حدود ۳/۵ تریلیون فوت مکعب گاز برآورد شده است (مطیعی، ۱۳۷۴). در حال حاضر، سطح آب و نفت (O.W.C) در این میدان ۲۶۴۸- و سطح نفت و گاز (G.O.C) در ۲۱۸۰- قرار گرفته است. نفت خام این میدان دارای درجه ای.پی.آی ۵/۳۴ است.

سنگ منشاء در این میدان سازند گورپی و سنگ مخزن نیز سازند آسماری با سن اولیگو - میوسن است (Alshahrani and Nairan 1997).



شکل ۱- تصویر سه بعدی بخشی از جنوب غرب ایران که موقعیت جایگاه میدان نفتی کرنج نسبت به سایر میدان‌ها مشخص شده (A)، نقشه زمین‌شناسی میدان نفتی کرنج (B)

نسبت لولا به یال

این نسبت در سال (۱۹۸۷) توسط رمزی به شکل زیر پیشنهاد شد:

$$P = \frac{\text{طول تصویر یال بر روی اثر سطح میانی}}{\text{طول تصویر منطقه لولا بر روی اثر سطح میانی}}$$

مقدار این پارامتر در بخش خاوری ۶/۲۵ و در بخش باختری ۱/۷۵ است، به عبارتی در بخش خاوری، چین از نوع زاویه دار و دارای منطقه لولای باریک است و در بخش باختری تاقدیس کرنج، چین از نوع نیمه مدور می باشد.

که در این پژوهش ضرایب فوریه (ضرایب b_1, b_3) (شکل ۳) بر اساس شکل موج سازند آسماری در نیمرخ های لرزه ای دوبعدی در دو بخش خاوری و باختری تاقدیس مطابق جدول (۱) برآورد شده است.

جدول ۱- ضرایب b_1 و b_3 از تحلیل فوریه در دو بخش باختری و خاوری تاقدیس

بخش باختری	$b_1 = 0/7$	$b_3 = 0/4$
بخش خاوری	$b_1 = 1/1$	$b_3 = 0/37$

نوک دار بودن

این پارامتر انحنای نسبی چین در محل بستگی آن را مورد بررسی قرار می دهد (Twiss and Moores, 1992) و از رابطه $B = Ro/Rc$ حاصل می شود. در این رابطه Rc شعاع انحنا در محل بستگی تاقدیس و Ro شعاع دایره مماس بر یال های تاقدیس در محل نقاط عطف آن می باشد. مقدار این پارامتر برای بخش باختری و خاوری به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۵ می باشد که نشان دهنده یک چین نیمه مدور است.

الگوی یک لایه چین خورده انحنای نسبی (شیب ایزوگون)

برای بررسی انحنای نسبی، با رسم مقطع چین در سازند آسماری از روی نیمرخ های لرزه ای الگوی شیب ایزوگون ها در دو سمت باختری و خاوری تاقدیس مورد بررسی قرار گرفت. ایزوگون های این سازند در بخش باختری الگوی همگرا با همگرایی ضعیف را نشان می دهد که در رده IC از رده بندی رمزی و در بخش خاوری الگوی IB از این تقسیم بندی را نشان می دهد. (شکل ۴)

تحلیل فوریه

با استفاده از روش Stebler (1968) برای تعیین ضرایب فوریه یک سطح چین خورده، ربع طول موج را به سه قسمت مساوی تقسیم می کنند (شکل ۲) و بر اساس روابط (۱) و (۲) ضرایب فوریه محاسبه می شود (پورکرمانی و آرین، ۱۳۸۵).

ضخامت حقیقی (ta)

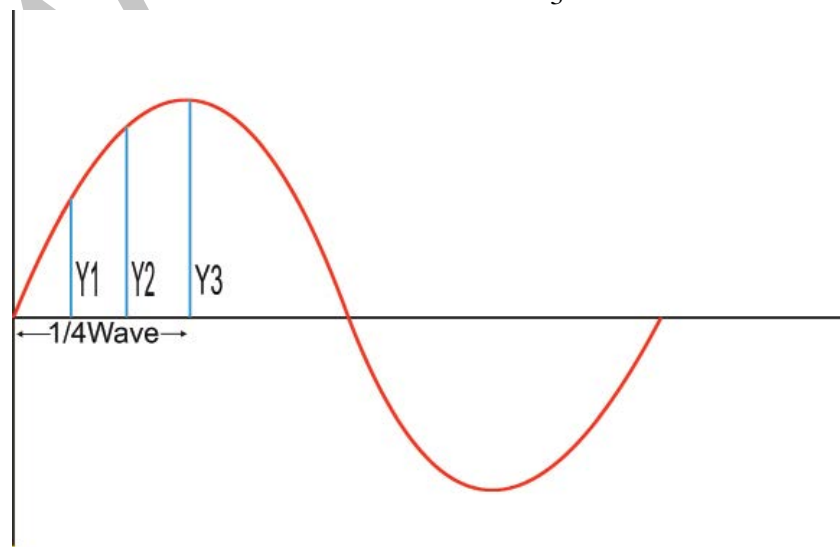
میانگین ضخامت حقیقی سازند آسماری در نیمرخ های لرزه ای دوبعدی در بخش های مختلف تاقدیس کرنج ۴۰۳ متر محاسبه شده است.

ضخامت موازی سطح محوری (Ta)

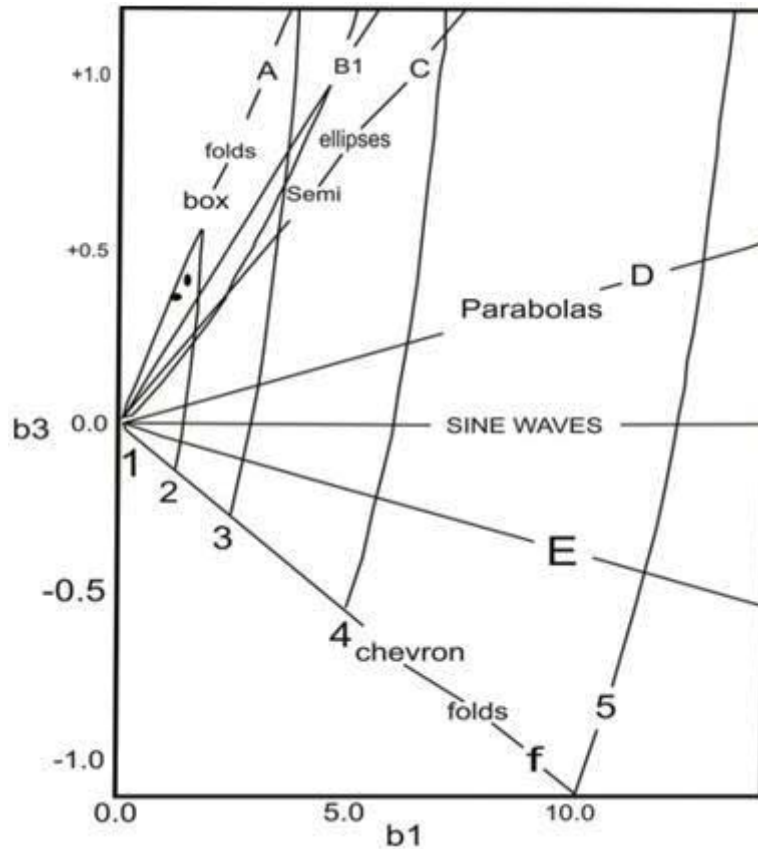
ضخامت موازی سطح محوری، بر اساس روش انجام شده برای ضخامت حقیقی در سازند آسماری ۵۵۰ متر اندازه گیری شده است.

$$b_3 = \frac{2y_1 - \sqrt{3}y_2 + y_3}{3} \quad (1)$$

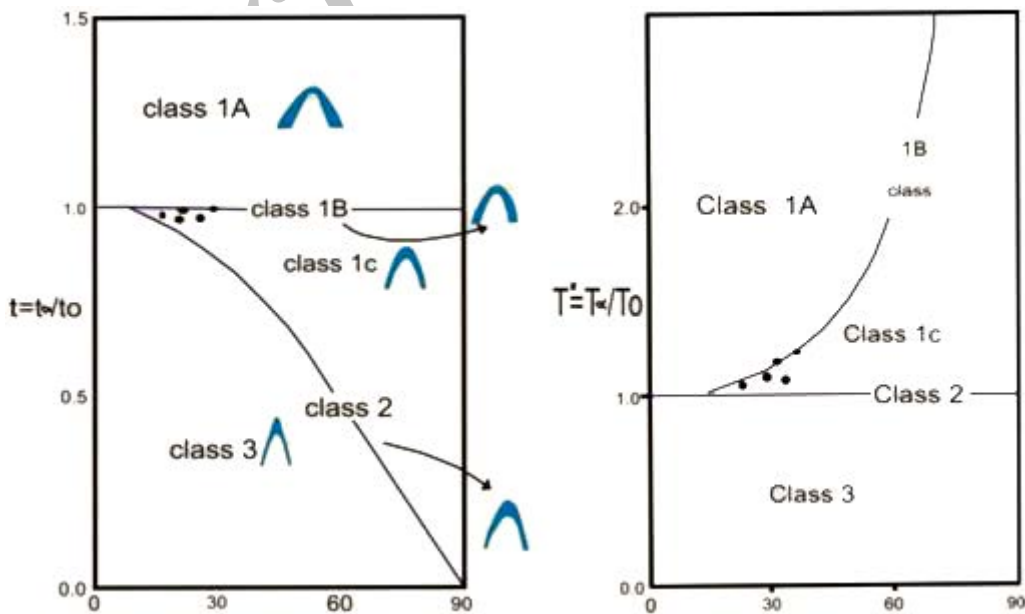
$$b_3 = \frac{2y_1 - y_3}{3} \quad (2)$$



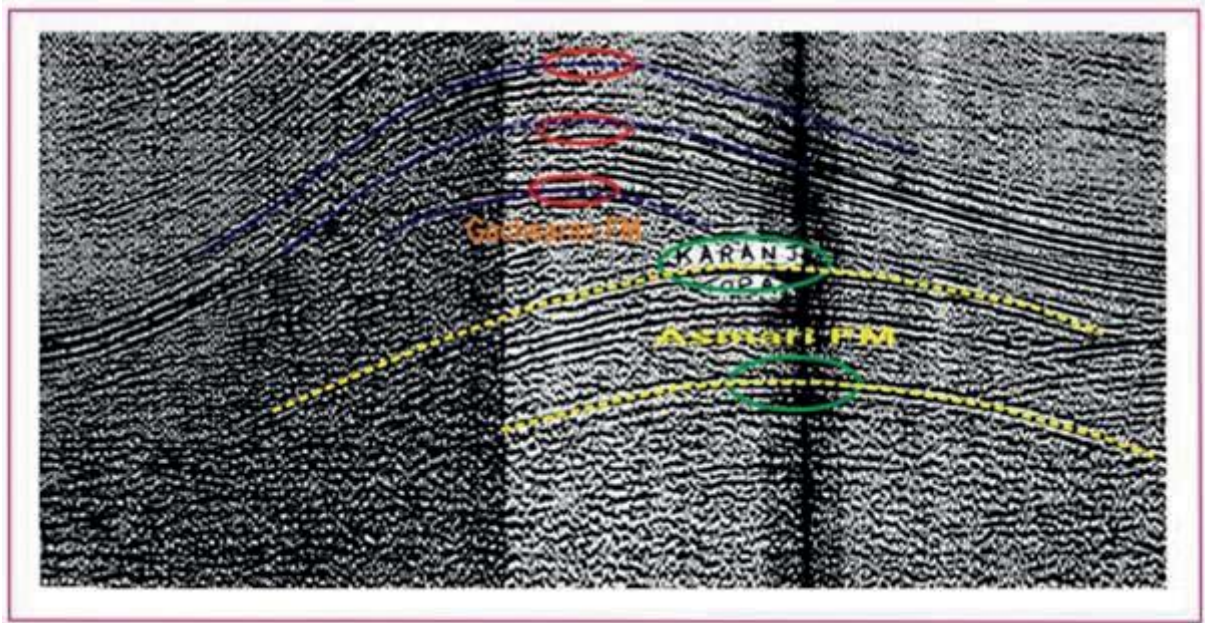
شکل ۲- محاسبه ضرایب فوریه با استفاده از شکل چین اقتباس از (Marshak and Mitra, 1988)



شکل ۳- روش ترسیمی برای پیاده کردن شکل چین ها بر اساس ضرایب فوریه (Marshak and Mitra, 1988). خطوط ۱ تا ۵ مربوط به دامنه چین هستند و نقاط در جدول ۱ معرفی شده اند.



شکل ۴- رده بندی هندسی سازند آسماری در تقادیس کرنج بر اساس الگوی شیب ایزوگون اقتباس از (Twiss and Moores, 1992)



شکل ۵- جابجایی در ناحیه لولا در طول سکانس رسوبی در بخشی از یک نیمرخ لرزه‌ای دوبعدی که عمود بر محور چین برداشت گردیده و چین خوردگی متفاوت را در این تاقدیس نشان می‌دهد (شکل بدون مقیاس می‌باشد)

بحث

از مسائل قابل توجه و سوال برانگیز در تاقدیس کرنج توزیع غیر عادی سازند آجاجاری و عضو لهری در این تاقدیس است. این توزیع غیر عادی به خوبی در نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب منعکس شده است. در این پژوهش برش‌های زمین‌شناسی (شکل ۶) (Ragan, 1985) به گونه‌ای که، عمود بر محور تاقدیس باشند، از منطقه رسم شدند. رسم برش‌های زمین‌شناسی بویژه برش‌های 'C-C' و 'B-B' عملکرد یک فراخاست غیرعادی در این تاقدیس را به عنوان یک احتمال که بصورت فعال سبب اوج‌گیری و رخنمون غیرعادی این سازندها و فرسایش سازندهای جوان‌تر می‌شوند، را ایجاد می‌نماید.

مکان‌یابی مراکز سطحی زمین لرزه‌های دستگاهی و بررسی ارتباط آنها با گسل‌های شناخته شده در منطقه نشان داد، که تعدادی از این زمین‌لرزه‌ها با توجه به عمق کانونی زمین‌لرزه و شیب گسل‌های سطحی منطقه قابل انتساب به فعالیت‌های زمین‌ساختی هیچ یک از گسل‌های سطحی نیست. نکته قابل توجه در این مرحله، قرارگیری تعدادی کانون سطحی از این زمین‌لرزه‌ها در محدوده میدان نفتی کرنج است که موقعیت کانون سطحی زمین‌لرزه‌های دستگاهی (شکل ۷) در دو یال شمالی و جنوبی تاقدیس به گونه‌ای است که احتمال وجود عملکرد گسل‌های پنهان را تقویت می‌کند.

گسلش پنهان

مطالعات لرزه‌خیزی هر ناحیه تنها با توجه به سرچشمه‌های لرزه‌ای آشکار شده در سطح، بدون در نظر گرفتن نقش جنبشی گسل‌هایی که هنوز نتوانستند به سطح برسند، به طور یقین

الگوی یک توالی چین خورده هندسه سطح محوری

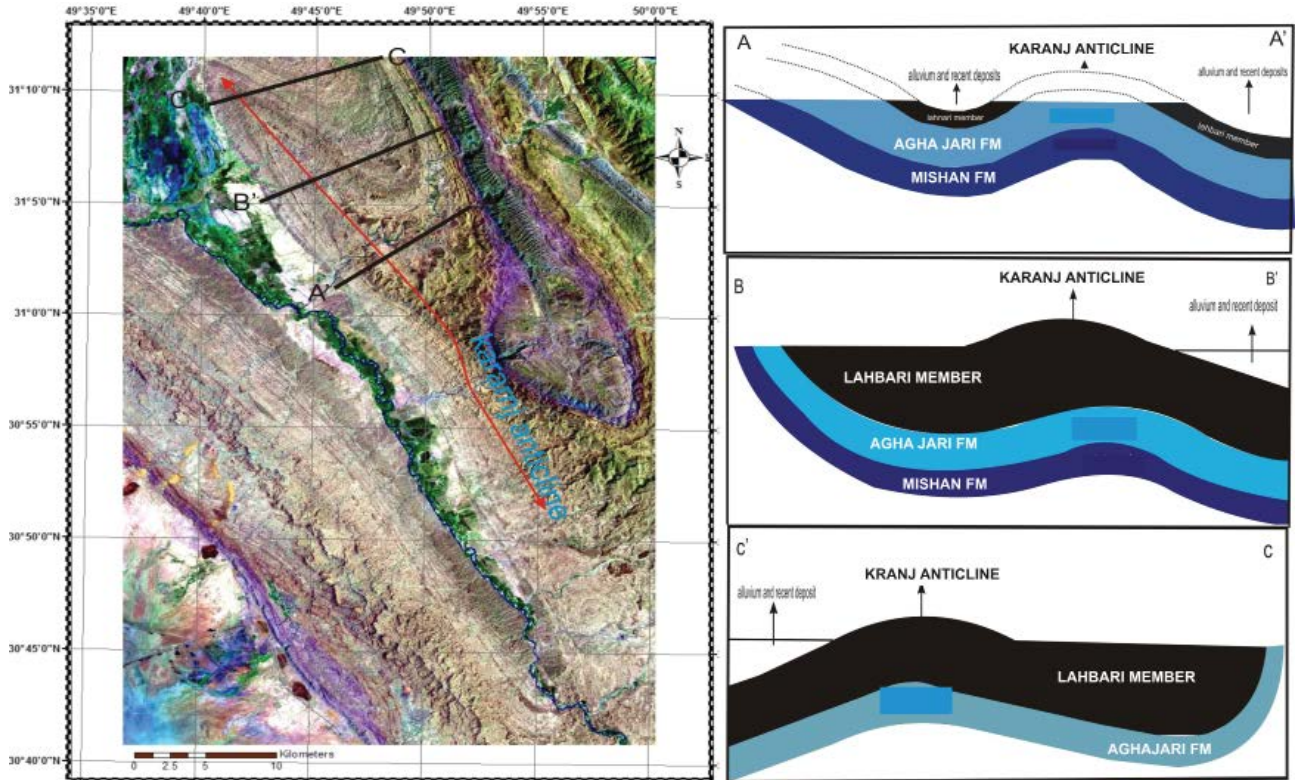
انطباق فضایی نیمرخ‌های لرزه‌ای بر روی محور تاقدیس و محاسبه میل (براساس تعیین عمق راس سازند آسماری در چند نیمرخ موازی و با فاصله مشخص) و تعیین شیب صفحه محوری مشخص شد که هندسه سطح محوری تاقدیس کرنج از نوع مسطح و شیب از ۶۴ درجه در بخش خاوری تا ۸۰ درجه بخش باختری در نوسان است. انتقال این داده‌ها بر روی نمودارهای مثلی نشان می‌دهد که تاقدیس کرنج در بخش باختری تا خاوری، به ترتیب از یک چین ایستاده مایل تا یک چین خمیده مایل در تغییر است.

سازوکار چین خوردگی

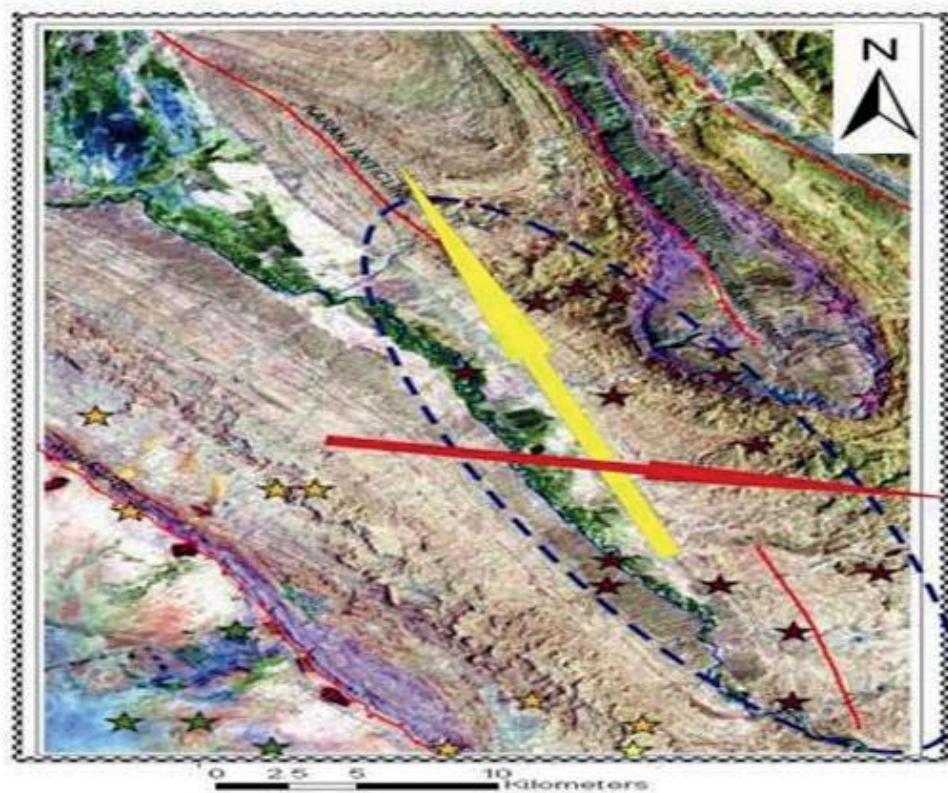
بر اساس تغییرات عمقی لایه‌ها و وضعیت عمومی متفاوت لایه‌های چین‌خورده در بالا و پایین توالی چین‌خورده و بر اساس شواهد حاصل از نیمرخ‌های لرزه‌ای از بخش‌های مختلف این میدان (شکل ۵)، تاقدیس کرنج یک تاقدیس ناهماهنگ است که سازند گچساران به صورت کاملاً مشخص، نقش مرز این ناهماهنگی و تغییر در چین‌خوردگی را ایفا می‌کند.

(Sherkati and Letouzey 2004) معتقد است که حضور ناودیس‌های فرودیواره، تنگ‌شدگی چین‌ها به واسطه چرخش پهلوها و مهاجرت لولا مشخصه انتقال رفتار دگرشکلی از چین‌خوردگی جدایشی به چین‌خوردگی پیشرونده انتشار گسلی همراه با افزایش کوتاه شدگی است.

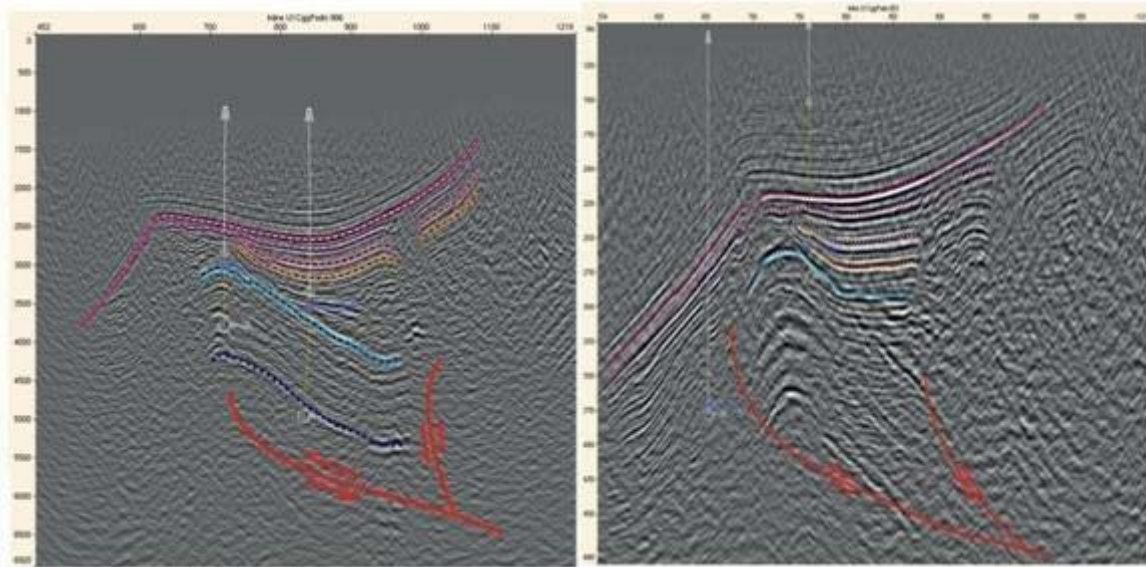
این کلاس از چین‌خوردگی مشابه چین‌های جدایشی گسلیده است که توسط (Mitra 2002) ارائه شده است. این چین‌ها در واحدهای با اختلاف مقاومت زیاد تشکیل می‌شود.



شکل ۶- برش‌های زمین‌شناسی تهیه شده از تاقدیس کرنج (سمت راست تصویر)، مسیرهای تهیه برش‌های زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه بر روی Land sat TM image (سمت چپ)



شکل ۷- کانون لرزه‌های دستگاهی رخ داده از ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۰ در منطقه مورد مطالعه بر گرفته از www.iiees.ir

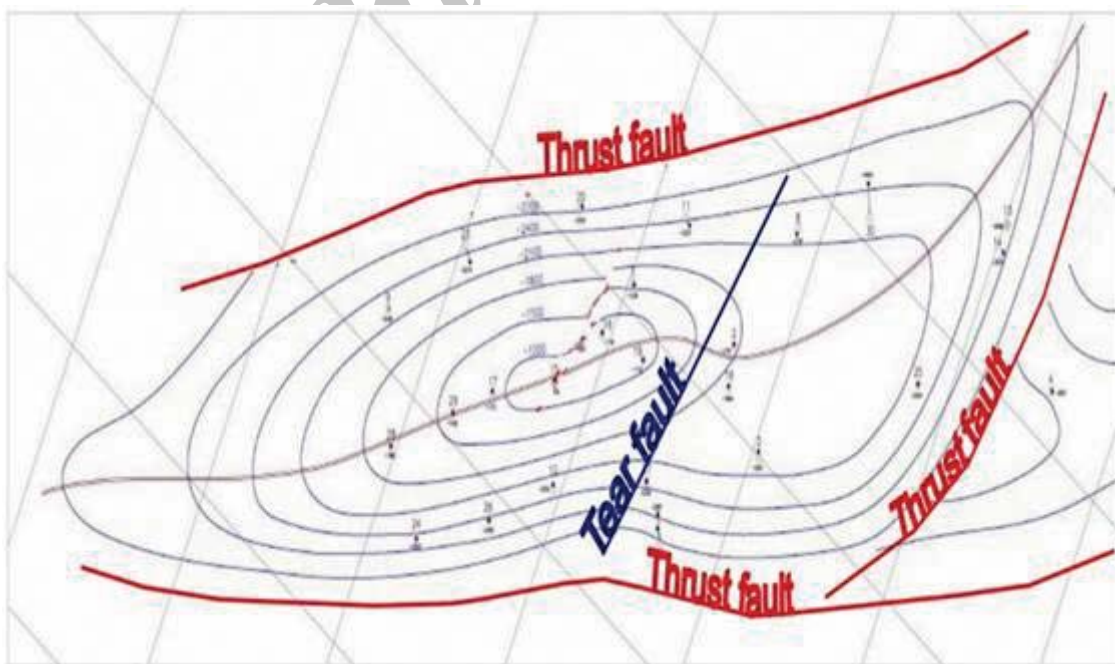


شکل ۸- نیمرخ‌های لرزه‌ای سه بعدی تفسیر شده از تاق‌دیس کرنج که در این پروفیل‌ها مناطق گسلی با خطوط ممتد قرمز مشخص گردیده‌اند.

و تاثیر آنها بر ریخت شناسی سازند آسماری از نیمرخ‌های لرزه‌ای بازتابی وضوح بالا استفاده شد. نیمرخ‌های لرزه‌ای بازتابی وضوح بالا برای مطالعه گسل‌های پنهان فعال که سیمای سطحی قابل نقشه‌برداری نداشته باشند، و یک ناحیه دگرشکلی وسیع در زیر سطح ایجاد کرده باشند ابزاری مفید به شمار می‌آیند. (Sugiyama et al., 2003).

از این نیمرخ‌ها می‌توان برای به دست آوردن اطلاعاتی درباره آهنگ فراخاست یک ناحیه، استفاده کرد (Sugiyama et al., 2003). نیمرخ‌های لرزه‌ای بازتابی در هنگام عبور از مناطق گسلی

نمی‌تواند درک صحیحی از میزان لرزه‌خیزی آن ناحیه ارائه دهد. (Shaw and Suppe (1996) در زیر حوضه لوس‌آنجلس آمریکا چندین گسل پنهان را شناسایی و تاکید کرد که این گسل‌ها توانایی ایجاد زمین‌لرزه‌های با بزرگی $M = 7/3$ را دارند. (Johnson and Furlong (2009) در سان فرانسیسکو گسل‌های پنهانی را معرفی می‌کند که سبب فراخاست غیرعادی و شدید واحدهای سنگی در برخی از مناطق این ناحیه شده است. این گسل‌ها توانایی تولید زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی $Mw = 6/3$ را دارند. به منظور بررسی احتمال حضور گسل پنهان در تاق‌دیس کرنج



شکل ۹- موقعیت گسل‌های پنهان بر روی U.G.C.Map سازند آسماری. گسل یال شمالی احتمالاً به عنوان پس راندگی گسل یال جنوبی عمل می‌کند گسل عرضی برشی که سبب جابجایی محور تاق‌دیس شده است بر اثر تغییر نرخ رشد در طول صفحه گسل راندگی در یال جنوبی بوجود آمده است.

کوتاه شدگی در صفحه راندگی یا تغییر جانبی در رشد صفحه راندگی بوجود می‌آید (Twiss and Moores, 1992).

در این تاقدیس در توالی‌های رسوبی جوان‌تر از سازند آسماری، تعداد این گسل‌ها بیشتر می‌شوند و تشکیل ساختارهای سورتمه‌ای را می‌دهند، اما این گسل‌ها در اعماق پایین‌تر با کاهش شیب صفحه گسلی به یکدیگر می‌پیوندند، به گونه‌ای که در بیشتر بخش‌های تاقدیس، سازند آسماری تنها حاوی دو شاخه گسلی است.

مدل سه بعدی شاهدی دیگر بر گسلش پنهان

برای تهیه مدل سه بعدی از سازند آسماری و میزان تاثیر گسل‌ها بر ریخت شناسی آن، از نقشه‌های زیرسطحی سازند آسماری و اطلاعات حفاری چاه‌ها استفاده شد (شکل ۱۰). این مدل ضمن تأیید وجود دو سامانه گسلی در یال‌های شمالی و جنوبی تاقدیس در سازند آسماری، از تاثیرپذیری ریخت شناسی سازند آسماری از عملکرد این دو گسل حکایت دارد.

تحلیل فرکتالی

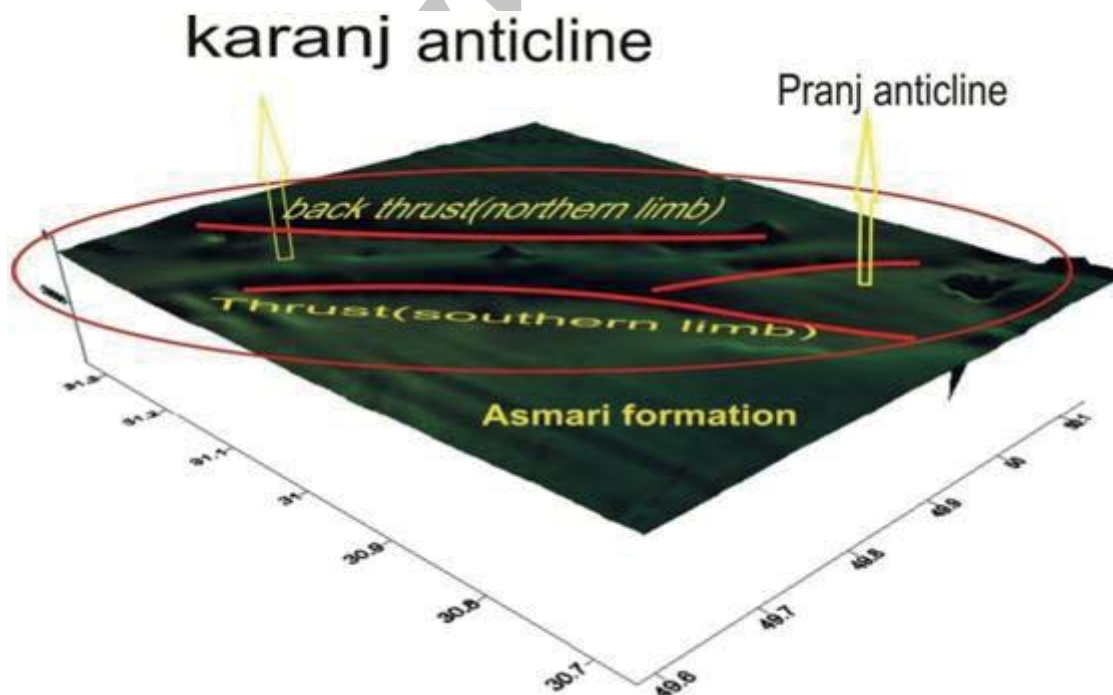
بمنظور بررسی آهنگ فعالیت‌های زمین‌ساختی متأثر از فعالیت گسل‌های پنهان در تاقدیس کرنج از روش حل معکوس با استفاده از هندسه فرکتالی استفاده شد. از ویژگی هندسه فرکتالی اینست که مبتنی بر تحلیل گذاره‌های خاصی است که در آن از تغییرات نسبی نمایی کمیت‌های مستقل به منظور تعیین هویت متغیرهای وابسته در قالب توابع لگاریتمی استفاده می‌شود (Mandelbort, 1987). بنابراین معادلات فرکتالی، توابع متعارفی هستند که در

به دلیل خردشدگی و از بین رفتن مرز لایه‌ها دچار آشفتگی و ناهنجاری‌هایی در انعکاس لایه‌ها می‌شوند (شکل ۸) که با عبور از این نواحی لایه‌ها قابل پیگیری هستند.

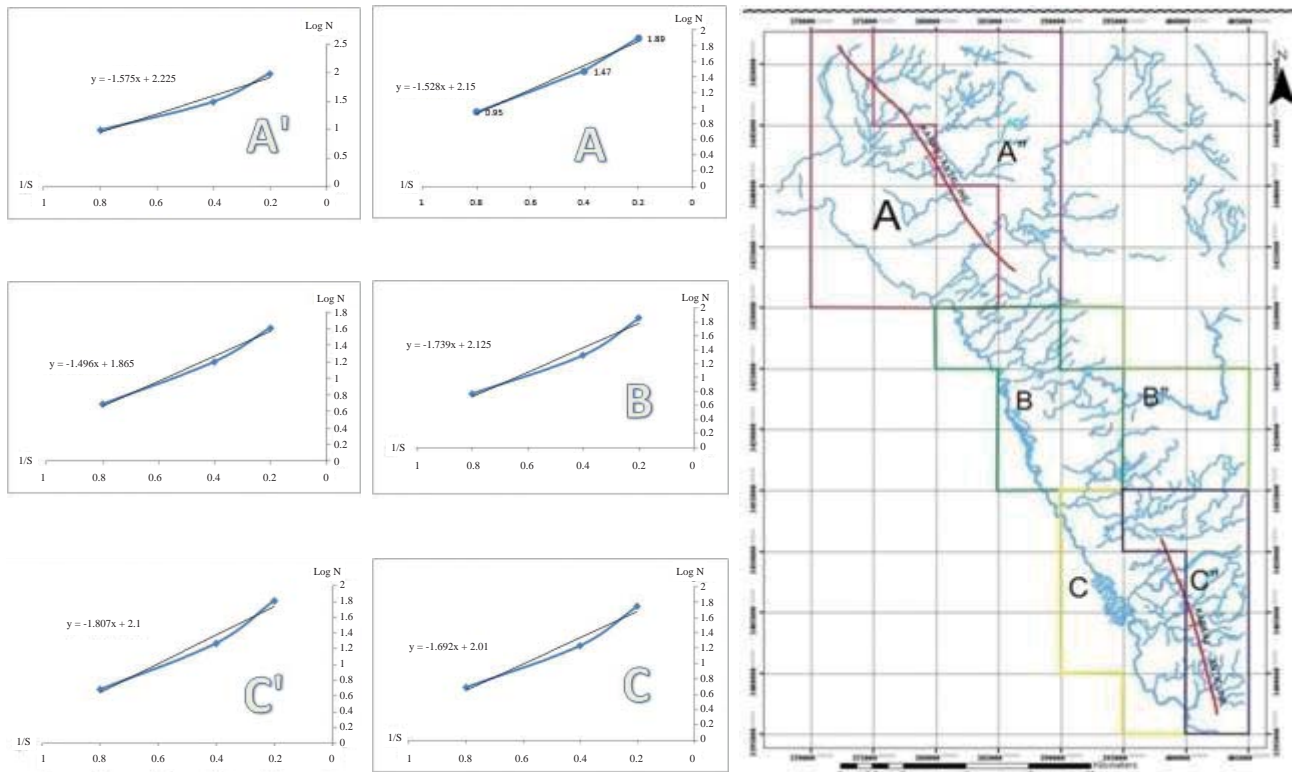
سازوکار و شیب گسل‌ها را می‌توان با توجه به موقعیت بخش‌های جدا شده از یک لایه راهنما (مانند راس سازند آسماری) نسبت به هم محاسبه کرد.

بررسی‌های انجام شده، بر روی دوازده نیمرخ لرزه‌ای سه‌بعدی تهیه شده از این میدان و تعیین موقعیت گسل‌ها بر روی نقشه‌های زیرسطحی نشان‌دهنده دو زون گسلی در سازند آسماری در یال‌های شمالی و جنوبی این تاقدیس است (شکل ۹). گسل واقع شده در یال جنوبی در بخش خاوری چین به دو شاخه تقسیم که یکی از این شاخه‌ها به صورت هماهنگ با محور چین دچار انحناء شده و با روندی موازی با محور چین ادامه می‌یابد، و شاخه دیگر با همان روند اولیه نیز در بخش خاوری ادامه می‌یابد (شکل ۹). بخش قرار گرفته در بین این دو شاخه گسل در یال جنوبی، تاقدیس کوچک پرنج را ایجاد می‌کند. در عملکرد گسل‌های واقع شده در یال‌ها، مولفه راندگی غالب و میانگین جدایش حقیقی برای گسل واقع شده در یال شمالی ۲۵ متر و این مقدار برای گسل یال جنوبی ۶۲ متر است.

از دیگر ویژگی‌های این تاقدیس پیچش محور این تاقدیس در نقشه‌های زیرسطحی سازند آسماری است. نیمرخ‌های لرزه‌ای که از محل این پیچش می‌گذرد یک زون گسلی را نشان می‌دهند که از عرض این تاقدیس عبور می‌کند. این گسل به احتمال زیاد به عنوان یک گسل تراگذر عمل می‌کند. این گسل‌ها بر اثر تفاوت



شکل ۱۰- مدل سه‌بعدی از راس سازند آسماری (عمق ۱۲۰۰ تا ۴۸۰۰) در تاقدیس کرنج که گسل‌های پنهان در آن نشان داده شده است. اعداد پایین شکل طول و عرض تاقدیس را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- شبکه بندی آبراهه‌های تاقدیس کرنج با ابعاد ۵۰۰ متر (سمت راست) نمودارهای log-log برای نواحی ششگانه تاقدیس که محور افقی شامل (S/1)، محور عمودی شامل Log N می‌باشد (سمت چپ).

مطالعات فرکتالی آبراهه‌ها در تاقدیس کرنج نشان داد که بیشترین آهنگ فعالیت‌های زمین‌ساختی این تاقدیس در بخش میانی از یال شمالی (B) و کمترین آهنگ فعالیت‌های زمین‌ساختی در بخش خاوری از یال شمالی (C) دیده می‌شود.

نتیجه‌گیری

بر اساس مجموع مطالعات انجام شده بر روی نیمرخ‌های لرزه‌ای دوبعدی مشخص شد که تاقدیس کرنج در جنوب خاوری خوزستان یک چین نامتقارن با تمایل به سمت جنوب باختری است که در بخش خاوری در رده IB و بخش باختری در رده IC از رده‌بندی رمزی قرار می‌گیرد. بر اساس هندسه سطح محوری، از یک چین ایستاده مایل در بخش باختری تا یک چین خمیده مایل در بخش خاوری در تغییر است. این تاقدیس یک چین جدایشی گسلیده است که میانگین ضخامت حقیقی سازند آسماری در این تاقدیس ۴۰۳ متر و ضخامت موازی سطح محوری این سازند ۵۵۰ متر اندازه‌گیری شده است. تهیه مقاطع زمین‌شناسی سازندهای سطحی و مطالعه کانون سطحی زمین‌لرزه‌های دستگاهی در کنار تفسیر نیمرخ‌های لرزه‌ای سه‌بعدی نشان می‌دهد که هندسه یال‌های شمالی و جنوبی این تاقدیس توسط گسل‌های پنهان راندگی کنترل می‌شود. بیشترین میزان جابجایی حقیقی در نتیجه عملکرد این گسل‌ها در یال جنوبی با ۱۲۵ متر جابجایی مشاهده گردید. ادامه مطالعه و تفسیر نیمرخ‌های لرزه‌ای عملکرد یک گسل تراگذر را در میانه این تاقدیس به

آنها تغییر یک کمیت مانند آهنگ فعالیت‌های زمین‌ساختی از ویژگی‌های قابل سنجش دیگری مانند الگوی آبراهه‌ها پیروی می‌کند. اساس این روش رسم نمودارهای Log-Log است که در آن لگاریتم تعداد مربعات حاوی آبراهه (Log Ns) محور قائم و لگاریتم عکس اندازه شبکه‌ها (Log 1/S) محور افقی این نمودارها را تشکیل می‌دهد (شهریاری و همکاران، ۱۳۷۶). همواره برای هر کدام از این نمودارها رابطه زیر برقرار است:

$$\text{Log}(N_s) = a + D \text{Log}(1/S)$$

در این رابطه D شیب خط و نشان دهنده بعد فرکتالی است و همواره بین ۱ تا ۲ در تغییر است (Mandelbort, 1983). فرض اساسی در این رهیافت توجه به این نکته است که در یک منطقه هر چه میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی و آهنگ فراخاست بیشتر باشد به همان اندازه طرح آبراهه‌ها به خطی بودن تمایل می‌یابد و بعد فرکتالی به یک نزدیک می‌شود. در این پژوهش این تاقدیس به شش ناحیه تقسیم و سپس با مربعاتی با ابعاد ۵۰۰۰، ۲۵۰۰، ۱۲۵۰ متر شبکه‌بندی شد (شکل ۱۱، سمت راست) و سپس با استفاده از نمودارهای Log-Log (شکل ۱۱، سمت چپ) مطابق جدول ۲، بعد فرکتالی هر یک از نواحی شش گانه محاسبه شد.

جدول ۲- ابعاد فرکتالی در بخش‌های مختلف تاقدیس کرنج

DA	'DA	DB	'DB	DC	'DC
۱/۵۲۸	۱/۵۷۵	۱/۷۳۹	۱/۴۹۶	۱/۶۹۲	۱/۸۰۸

- Marshak S. and Mitra G., 1988. Basic Methods of Structural Geology, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 213-247.

- Ragan, D.M., 1985, Structural geology : an introduction to geometrical techniques, 3rd ed, John Wiley and Sons, New York, 393.

- Ramsay J.G., 1967, Folding and Facturing Rocks, McGraw-Hill, New York, 568.

- Shaw, J. H., and J. Suppe, 1996, Earthquake hazards of active blind-thrust faults under the central los angeles basin, California, Journal of Geophysical Research, 101, 8623- 8642.

- 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, 21, 5, 535-554.

- Sugiyama, Y. and Mizuno, K., Nanayama, F., Sugai, T., Yokota, H., Hosoya, T., Miura, K., Takemura, K., Kitada, N., 2003, Study of blind thrust faults underlying tokyo and osaka urban areas using a combination of high-resolution seismic reflection profiling and continuous coring, of geophysics, 46, 1071-1085.

- Twiss. R.J., and Moores. E.M., 1992, Structural Geology, W.H, Freeman and Company.

اثبات رساند که سبب انحنای محور تاقدیس شده است. در نتیجه تحلیل فرکتالی مشخص شد که بخش میانی در یال شمالی با بعد فرکتالی ۱/۴۹۶ دارای بیشترین آهنگ فعالیت‌های زمین‌ساختی و بخش جنوبی در یال شمالی با بعد فرکتالی ۱/۸۰۸ دارای کمترین آهنگ فعالیت‌های زمین‌ساختی می‌باشد. بالابودن آهنگ فعالیت زمین‌ساختی در بخش میانی از یال شمالی احتمالاً بدلیل برهم کنش پایانه گسل تراگذر با گسل راندگی در این بخش می‌باشد. از طرفی رخنمون غیر عادی بعضی از سازندهای گروه فارس در این میدان نتیجه، ایجاد و توسعه گسل‌های پنهان و اوج‌گیری تاقدیس و در نهایت فرسایش سازندهای سطحی است.

منابع

- پورکرمانی، م. و آراین، م.، سایز مونتکتونیک، شرکت مهندسی دز آب، زمستان ۷۶.

- پورکرمانی، م.، آراین، م.، زمین‌شناسی ساختمانی کاربردی، یکان، ۱۳۸۵.

- مطیعی، ه.، زمین‌شناسی ایران زمین‌شناسی نفت زاگرس، سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۷۴.

- شهریار، س.، خطیب، م.، تحلیل فرکتالی سیستم گسل نهندان، فصل‌نامه علوم زمین، شماره ۲۳-۲۴، ۳۳-۴۰، ۱۳۷۶.

- Alavi, M., 1994, Tectonics of the zagros orogenic belt of iran; new data and interpretations, tectonophysics, 229, 211-238.

- Alvai, M., 2007, Structures of zagros fold - thrust belt in iran, American journal of Science, 307, 1064-1095

- Alshahrhan, A.S. and Nairan, A.E.M., 1997, Sedimentary basins and petroleum geology of the middle East: Amsterdam, Elsevier, 843.

- Berberian, M., 1995, Master blind thrust faults hidden under the zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, tectonophysics, 241, 193-224.

- Falcon, N.L., 1961. Major earth-flexing in the zagros mountains of southwest iran, Geological Society of London, 117, 367-376.

- Johnson, B., Furlong, P., 2009, Integrated geomorphic and geodynamic modeling of a potential blind thrust in the san francisco bay area, california, Tectonophysics, 471, 319-328

- Mandelbort, B., 1983, The Fractal Geometry of Nature., W.H. Freeman New York.

- Mandelbrot, B., 1987, Principle of Fractals in Nature, Paris Univ., 2 nd Edition, France.

- Mitra, S., 2002- Structural models of faulted detachment folds, AAPG Bull, 86(9), 1673-1694.