

تحلیل هندسی و سازوکار چین خوردگی در شمال خاوری فروبار دزفول

احمد لشگری^۱، محمودرضا هیهات^۲، محمدمهدی خطیب^۳، مهدی نجفی^۴ و جاومه ورجس^۵

^۱دانشجوی دکترا، گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

^۲استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

^۳استاد، گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

^۴استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه، زنجان، ایران

^۵استاد، مؤسسه تحقیقات علوم زمین، Jaime Almera، بارسلون، اسپانیا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۳

چکیده

تیمین هندسه و سازوکار چین خوردگی در فروافتادگی دزفول به دلیل دربر گرفتن بخش عمده ذخایر هیدروکربنی ایران و همچنین جایگاه این حوضه در روند تکامل ساختاری کمربند چین-رانده زاگرس، اهمیت حیاتی دارد. در این پژوهش، چگونگی تکامل هندسی تاقدیس جریک واقع در شمال خاوری فروافتادگی دزفول، بر اساس اطلاعات ژئوفیزیکی حاصل از لرزه نگاری سه بعدی، داده های حفاری چاه که توسط شرکت ملی نفت ایران تهیه و در اختیار قرار گرفته، تفسیر تصاویر ماهواره ای و داده های حاصل از برداشت های صحرائی، مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس برش های ساختاری رسم شده، تغییرات هندسی چین در عرض و در راستای امتداد تاقدیس مطالعه شد. تبخیری های سازند گچساران به عنوان افق جدایش بالایی، سبب تغییرات هندسی و سبک دگربرختی در امتداد محور تاقدیس شده است. در منطقه دماغه تاقدیس، سازوکار جدایشی با هندسه متقارن و مدور در سطح دیده می شود و بخش میانی تاقدیس، سازوکار چین خوردگی جدایشی گسلیده (Faulted detachment fold) نشان می دهد.

کلیدواژه ها: کمربند چین-رانده زاگرس، فروافتادگی دزفول، تاقدیس جریک، سازند گچساران، چین خوردگی جدایشی گسلیده.

E-mail: mhayhat@birjand.ac.ir

*نویسنده مسئول: محمودرضا هیهات

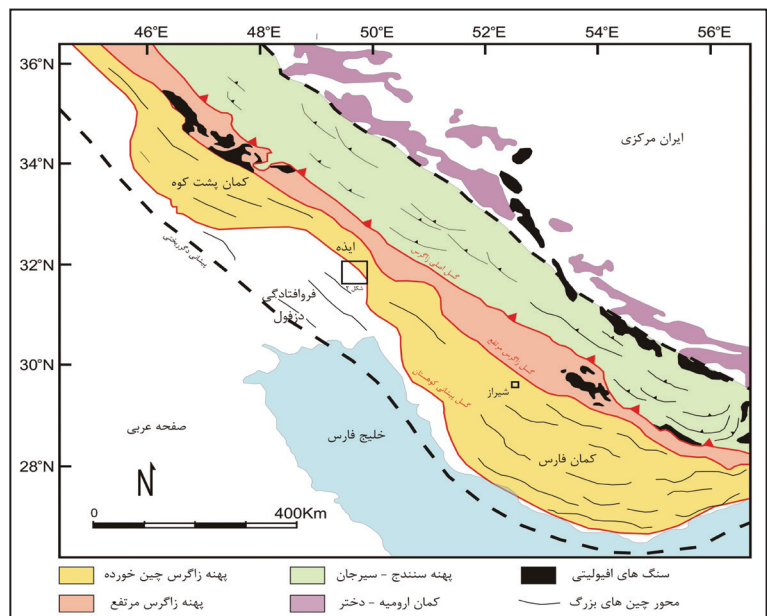
۱- پیش نوشتار

گسل ها بیشترین فعالیت خود را پس از تورونین پسین-کامپاین پیشین نشان می دهند. دوره مذکور با تغییرات اساسی در آرایش حوضه و اولین موج تکنونیک فشارشی همراه بوده است (Murriss, 1989; Koop and Stoneley, 1982). برخی از تغییرات رخساره و ضخامت رسوبی در زاگرس پیش از این دوره تشدید فعالیت تکنونیک نیز با فعالیت گسل های پی سنگی مرتبط هستند (Sherkati and Letouzey, 2004). (Sherkati and Letouzey, 2004; Sepehr and Casgraw, 2004).

نبود فعالیت های آذرین، وجود سنگ منشأهای فراوان و بسیار غنی از مواد آلی و سنگ مخزن های متخلخل و تراوای با سنگ پوش های مناسب، شرایط منحصر به فردی را برای تولید و انباشت هیدروکربن در کمربند چین-رانده زاگرس فراهم کرده اند تا پهنه زاگرس از نفت خیزترین حوضه های رسوبی دنیا باشد (Beydoun et al., 1992) (شکل ۱).

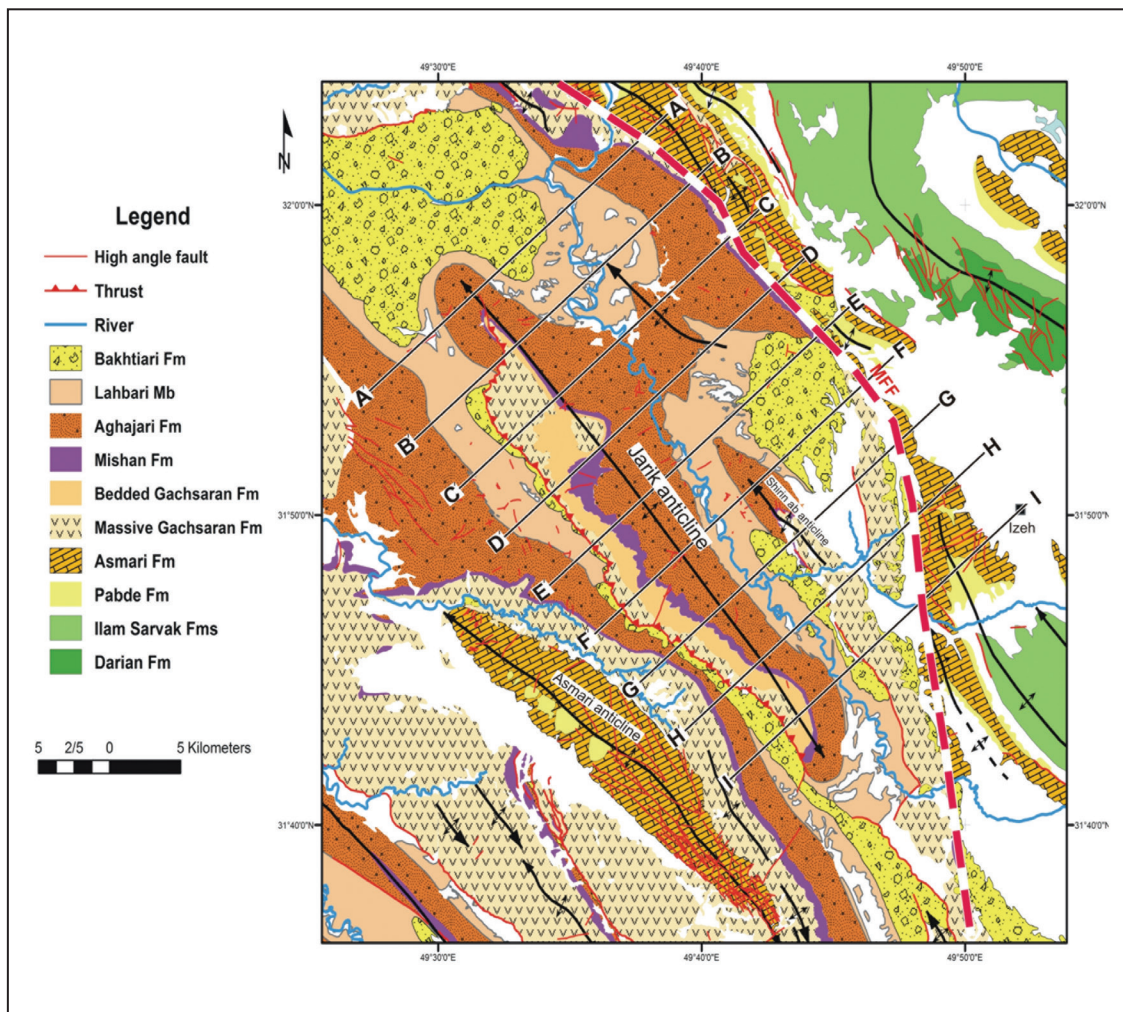
کمربند کوهزایی زاگرس در جنوب باختر ایران یکی از غنی ترین کمربند های چین رانده جهان و دارای حدود ۸ درصد از ذخایر نفت و ۱۵ درصد از ذخایر گاز اثبات شده جهانی است (خرازی زاده و همکاران، ۱۳۹۱). ته نشینت رسوبات و شکل گیری تله ها که موجب تولید و حفظ هیدروکربن شده اند، در ارتباط با تاریخچه تکامل حاشیه شمال خاوری صفحه عربی هستند (Sherkati et al., 2005). تغییرات قابل توجه در ستبرا و رخساره های رسوبی، معرف واکنش به زمین ساخت پیچیده حاشیه صفحه و فعالیت دوباره گسل های پی سنگی است (Koop and Stonly, 1982). گسل های پی سنگی از جمله دیگر عوامل ساختمانی در ورق عربی هستند که رسوب گذاری را تحت تأثیر قرار داده اند. Murriss (1989) معتقد است که گسل های پی سنگی رسوبات موزوویک را در جنوب ورق عربی و بخش مرکزی خلیج فارس تحت تأثیر قرار داده اند. دوره های تشدید فعالیت گسل های مذکور به وسیله دوره های آرامش از یکدیگر جدا می شوند. به طور کلی این

شکل ۱- موقعیت زمین ساختی کمربند چین-رانده زاگرس و محدوده منطقه مورد مطالعه (چهار گوش کوچک).



با توجه به اینکه بخش بیشتری از مخازن هیدروکربنی شناخته شده در نفت گیرهای تاقدیسی متمرکز هستند و از آنجایی که اکتشاف هیدروکربون در زاگرس از افق آسماری به افق‌های ژرف‌تر بنگستان و خامی گسترش یافته است، مطالعات و حفاری‌های صورت گرفته نشان از بروز پیچیدگی‌های ساختاری در افق‌های ژرف مخزنی و ناهماهنگی آن با هندسه تاقدیس‌ها در سطح دارد (Sherkati et al., 2006; Sepehr and Cosgrove, 2004). بنابراین شناخت دقیق‌تر هندسه تاقدیس‌ها و تحلیل دگرختی آنها یکی از مهم‌ترین موضوعات زمین‌شناسی زاگرس به شمار می‌آید. مطالعه هندسه و سازوکار چین‌خوردگی از دیرباز یکی از مباحث اصلی زمین‌شناسی ساختاری بوده است. در میان سه دسته اصلی چین‌ها (چین‌های جدایشی، چین‌های رشد گسلی و چین‌های خمه گسلی) دسته چین‌های جدایشی از لحاظ تکامل ساختاری، کمتر شناخته شده هستند، به دلیل اینکه ارتباط منحصر به فردی میان هندسه موجود و یک سناریو کینماتیکی برای آن وجود ندارد. چین‌خوردگی جدایشی یک الگوی چین‌خوردگی رایج در چندین کمربند چین-رانده در جهان است. کمربند چین-رانده زاگرس یکی از بهترین مناطق در جهان است که ساختمان‌های چین‌خورده جدایشی بزرگ‌مقیاس دارد (Colman-Sadd, 1978). O'Brien (1950 and 1957) اولین کسی بود که بر نقش و اهمیت چینه‌شناسی مکانیکی در زاگرس تأکید کرد. پس از آن، با مطالعات متعددی این طبقه‌بندی را اصلاح و به یک سیستم چین‌خوردگی جدایشی با چند سطح جدایش اصلی و فرعی منجر شده است (Blanc et al., 2003; Sherkati and Letouzey, 2004; Molinaro et al., 2005;).

نشان داد که چین‌خوردگی در کمربند زاگرس توسط سازوکارهای مختلفی از جمله چین‌خوردگی جدایشی، چین‌خوردگی رشد گسلی، چین‌خوردگی خمه گسلی و یا ترکیبی از این سازوکارها به همراه فعالیت گسل‌های پی‌سنگی رخ داده است. در این نوشتار با توجه به اهمیت بیان شده، به بررسی یکی از ساختارهای واقع در فروبار دزفول با عنوان تاقدیس جریک پرداخته می‌شود (شکل ۲). هدف اصلی از مطالعه تاقدیس جریک، بررسی تغییرات هندسی تاقدیس در امتداد آن، شناسایی متغیرهای مؤثر در هندسه چین‌خوردگی و ارتباط هندسه چین‌خوردگی با رفتار مکانیکی واحدهای رسوبی است. تاقدیس جریک یک تاقدیس سطحی است و به دلیل وجود و عملکرد سازند شکل‌پذیر گچساران در منطقه، هندسه ساختمان سطحی و زیرسطحی آن کاملاً متفاوت است. بنابراین برای شناسایی سازوکار چین‌خوردگی در آن از داده‌های ژئوفیزیکی حاصل از لرزه‌نگاری سه‌بعدی به همراه داده‌های به دست آمده از چاه و حفاری بهره گرفته شده است. مطالعات انجام شده بر اساس اطلاعات نیم‌رخ‌های لرزه‌ای و حفاری‌های انجام شده نشان از وجود پیچیدگی‌های ساختاری در افق‌های ژرف و ناهماهنگی هندسه ساختارهای زیرسطحی با هندسه ساختارها در سطح دارد. با استفاده از تفسیر خطوط لرزه‌ای و روش‌های ترازمندی مقاطع، این امکان فراهم شد تا با ارزیابی تفسیر ژئوفیزیکی و رسم مقاطع ساختمانی متوالی (Serial Cross Section) از دماغه تاقدیس به سوی مرکز آن، تکامل جنبشی چین‌خوردگی تاقدیس جریک بررسی شود.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و نمایش خطوط لرزه‌ای مورد استفاده (تهیه شده با استفاده از تلفیق نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران).

۲- جایگاه زمین‌شناسی

کمر بند چین خورده رورانده زاگرس در ایران به عنوان بخشی از سامانه آلپ- هیمالیاس در حاشیه شمال خاوری صفحه عربی با راستای شمال باختری- جنوب خاوری از ترکیه تا تنگه هرمز به طول بالغ بر ۲۰۰۰ کیلومتر گسترش یافته است (شکل ۱). این کمر بند کوهزایی نتیجه برخورد بین صفحه قاره‌ای عربستان و بلوک ایران است که متعلق به اوراسیاس (Berberian and King, 1981; Takin, 1972). راستای ساختمانی چیره در منطقه به دو بخش قابل تقسیم است. دسته اول ساختمان‌های شمالی- جنوبی که قدیمی‌تر و در ارتباط با گسل‌های پی‌سنگی هستند و دسته دوم ساختمان‌های شمال باختری- جنوب خاوری که در ارتباط با چین خوردگی زاگرس (میوسن میانی) هستند و بر روی ساختمان‌های قدیمی‌تر شکل گرفته‌اند (Talbot and Alavi, 1996). سری ستبر رسوبی در زاگرس (۶ تا ۱۲ کیلومتر) تاریخچه پیچیده زمین‌ساختی این منطقه را در خود حفظ کرده که معرف تمام مراحل تکامل یک حوضه از فلات قاره غیرفعال تا کافت و در نهایت مراحل مختلف تغییر شکل در ارتباط با فرارانش افیولیت‌ها و برخورد قاره‌ای است (Beydoun et al., 1992). زمین‌شناسان اشاره می‌کنند که اولین حرکات فشارشی در امتداد کمر بند در کرتاسه پسین آغاز شده که ناشی از فرارانش افیولیت‌ها بر روی حاشیه شمال خاوری قاره عربی بوده، سپس این حرکات سریع‌تر شده و در زمان میوسن موجب برخورد قاره- قاره شده است (Falcon, 1969; Stocklin, 1968). بر اساس اندازه‌گیری‌های GPS همگرایی بین صفحه‌های قاره‌ای هم‌اکنون نیز فعال است. صفحه عربی با سرعتی معادل $22 \pm 2 \text{ mm/yr}$ نسبت به صفحه اوراسیا $8^{\circ}5' \pm N$ در حال حرکت است (Vernant et al., 2004). این همگرایی در برگرفته کوتاه‌شدگی درون قاره‌ای در سرتاسر ایران به جز مکران است. سرعت کوتاه‌شدگی از جنوب زاگرس به سمت شمال کاهش می‌یابد که معرف جابه‌جایی راستالغز راست‌بر و در امتداد مرز شمال خاوری کوهستان زاگرس است (Vernant et al., 2004; Talebian and Jackson, 2002). افزون بر تنوع رخساره‌ای و تغییرات ستبر، چندین ناپوستگی محلی و ناحیه‌ای مرتبط با همگرایی مداوم و فعالیت دوباره گسل‌های واقع در ژرفای پی سنگ زاگرس میان مان‌های کرتاسه پسین و میوسن پیشین وجود دارد (Berberian and King, 1981; Koop and Stoneley, 1982). Hesami et al. (2002) ناپوستگی‌های محلی پس از ائوسن را مستند دانسته و آنها را به آغاز چین خوردگی و برآمدگی در شمال خاور کمر بند زاگرس که به طرز پیش‌رونده‌ای به سمت جنوب باختر پراکنده شده، نسبت داده‌اند. کمر بند چین خورده رورانده زاگرس به چندین بخش تقسیم شده است که از نظر مدل ساختاری و تاریخ رسوبی متفاوت هستند (Berberian and King, 1981; Stocklin, 1968; Falcon, 1974). مورد مطالعه در مجاورت یکی از میادین نفتی فروبار دزفول (میدان پره سیاه) و در استان خوزستان و ۲۰ کیلومتری خاور شهر مسجد سلیمان قرار گرفته است. این منطقه در محدوده طول‌های جغرافیایی $29^{\circ} 49'$ تا $50^{\circ} 49'$ و عرض‌های جغرافیایی $40^{\circ} 31'$ تا $00^{\circ} 32'$ قرار دارد (شکل ۲).

فروبار دزفول در جنوب باختری زاگرس در برگرفته بیشتر میدان‌های نفتی تاقدیسی ایران است. سامانه لایه‌بندی در این تاقدیس‌ها دارای شکستگی‌های فراوان حاصل از چین خوردگی نئوژن زاگرس بوده که موجب افزایش کیفیت مخزنی شده است (McQuillan, 1973; Ahmadhadi et al., 2007). از کرتاسه تا میوسن می‌توان در کمر بند چین خورده زاگرس مخازن نفتی بسیاری به ویژه در بخش فروبار دزفول تشخیص داد. اصلی‌ترین مخازن شامل کربنات‌های الیگوسن- میوسن آسماری و آهک‌های کرتاسه میانی گروه بنگستان و ژوراسیک- کرتاسه گروه خامی هستند (Beydoun et al., 1992).

سه پدیده مهم ساختاری حدود فروبار دزفول را تعیین می‌کنند. پهنه خمشی (Flexure zone) با جهت خاوری- باختری به نام بالارود در شمال، پهنه خمشی پیشانی کوهستانی با راستایی شمال باختری- جنوب خاوری در شمال خاوری و یک پهنه پیچیده خمشی و گسلی با امتدادی شمالی- جنوبی به نام پهنه گسلی کازرون در حد خاور و جنوب خاوری. این فروبار را باید حوضه‌ای رسوبی با فرونشست تدریجی در جنوب کمر بند چین خورده زاگرس دانست (Berberian, 1995).

۳- چین‌شناسی مکانیکی و نقش افق‌های شکل‌پذیر جدایشی (سطوح گسستگی میانی) در هندسه و سبک چین خوردگی

مفهوم چین خوردگی جدایشی در تعریف ساده و اولیه از مفاهیم break thrust fold (willis, 1893) یا stretch thrust (Heim, 1921) استنباط شده است که در آنها گسلش تراستی نسبت به تکامل چین مؤخر در نظر گرفته می‌شود. اولین تعریف نسبتاً کامل از چین خوردگی جدایشی بر اساس مقاطعی از کوه‌های ژورا به (Buxtorf, 1916) نسبت داده می‌شود. از آن پس چین خوردگی جدایشی از کمر بندهای کوهستانی متعدد دیگری در سرتاسر دنیا گزارش شد. همچنین بر اساس ملاحظات مکانیکی و مدل‌سازی تجربی نیز مورد مطالعه قرار گرفت (Bonini, 2003). تکامل ساختاری سامانه چین خوردگی گسلش در کمر بند چین خورده- رانده زاگرس به چین‌شناسی، ویژگی مکانیکی سنگ‌ها و دوام و شدت دگرشکلی بستگی دارد (Sepehr and Cosgrove, 2004; Sherkati et al., 2005; Emami et al., 2010). سطوح جدایش تأثیر مهمی بر هندسه نهایی ساختارها و جنبش سامانه گسل‌های راندگی دارد (Bahroudi and Koyi, 2003). این جدایش‌ها سری‌های رسوبی را به واحدهای چین‌های ساختاری جدا از هم تقسیم می‌کنند که هر کدام از آنها به شکل متفاوتی تحت تأثیر کوتاه‌شدگی قرار می‌گیرند. (O'Brien, 1950 and 1957) اولین کسی بود که بر نقش و اهمیت چین‌شناسی مکانیکی در زاگرس تأکید کرد. وی ستون چین‌شناسی زاگرس را از دیدگاه ویژگی‌های مکانیکی واحدهای چین‌های و رفتار رسوبات حین دگرشکلی به ۵ گروه تقسیم کرد:

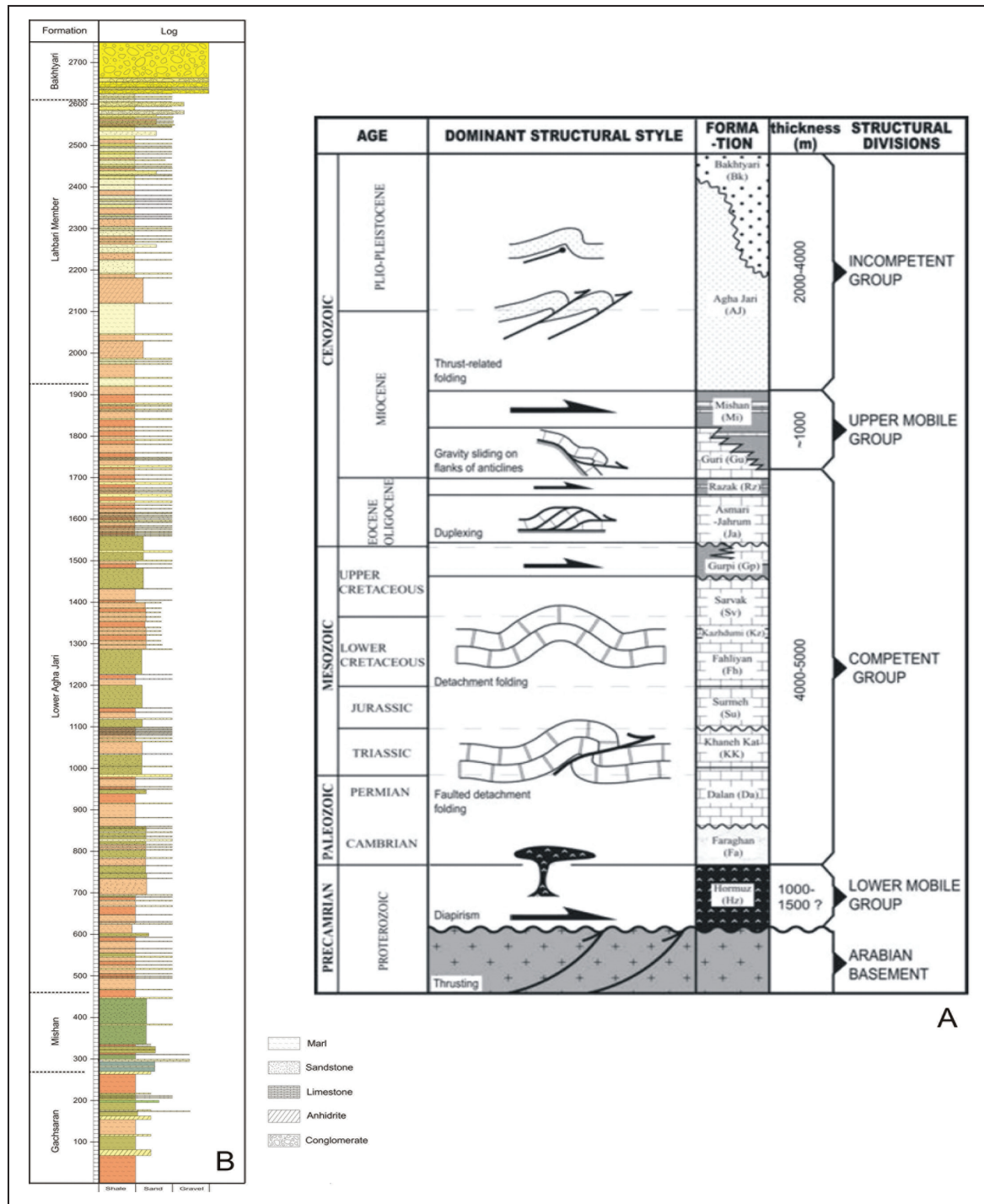
- ۱) گروه پی‌سنگی (Basement group): پی‌سنگ بلورین پان افریکن
 - ۲) گروه متحرک پایینی (The lower mobile group): نمک هرمز به سن پر کامبرین پسین- کامبرین
 - ۳) گروه پرقوام (Competent group): کامبرین تا رسوبات سکویی میوسن پایینی
 - ۴) گروه متحرک بالایی (Upper mobile group): نمک میوسن یا سازند گچساران
 - ۵) گروه کم‌قوام: میوسن تا ماس‌ای اخیر شامل سازندهای میشان، آغاچاری و بختیاری این تقسیم‌بندی اولیه به همراه سبک چین خوردگی هم‌مرکز، در دهه‌های ۵۰ و ۶۰ میلادی اساس کار بسیاری از زمین‌شناسان در رسم مقاطع ساختمانی اولیه در بخش‌های مختلف کمر بند زاگرس قرار گرفت. این ستون چین‌شناسی اساساً یک الگوی کلی در سرتاسر زاگرس بوده و قطعاً پوشش‌دهنده تغییرات موجود در گستره کمر بند نبوده است. بنابراین اطلاعات جدید زمین‌شناسی در زاگرس نشان‌دهنده این مطلب است که این تقسیم‌بندی بر خلاف مفید بودن، قابل تعمیم به تمام بخش‌های کمر بند چین خورده- رانده زاگرس نیست (Sherkati and Letouzey, 2004). ستون چین‌نگاری کلی در فروافتادگی دزفول بر پایه اطلاعات ژئوفیزیکی حاصل از لرزه‌نگاری سه‌بعدی، داده‌های حفاری چاه، تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات حاصل از برداشت‌های صحرایی ارائه شده است (خرازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱؛ مطیعی، ۱۳۷۲؛ Sherkati et al., 2005; Molinaro et al., 2005) (شکل ۳- A). همچنین ستون چین‌نگاری دقیق منطقه مورد مطالعه بر پایه برداشت‌های صحرایی تهیه شده است (شکل ۳- B).
- در منطقه مورد مطالعه، تناوبی از واحدهای پرقوام و کم‌قوام دیده می‌شود که واحدهای شکل‌پذیر نقش سطوح جدایش را بازی می‌کنند. اصلی‌ترین سطح جدایش در منطقه، رسوبات سری هرمز است که با کاهش اصطکاک بین پی‌سنگ و پوشش رسوبی به عنوان سطح جدایش قاعده‌ای نقش بازی می‌کند. سطح جدایش بالایی در منطقه، رسوبات سازند گچساران است. ترکیب و تناوب واحدهای پرقوام و کم‌قوام، هندسه و سبک چین خوردگی را کنترل می‌کنند.

۴- الگوی چین خوردگی در تاقدیس جریک

به منظور شناخت دقیق هندسه چین خوردگی در تاقدیس جریک، ۹ خط لرزه‌ای عمود بر محور ساختمان، از پلانژ شمال باختری به سمت مرکز و در ادامه تا پلانژ جنوب خاوری ساختمان به گونه‌ای انتخاب شدند که کل ساختار را تحت پوشش قرار دهند. در امتداد این خطوط، بر اساس اطلاعات به دست آمده از نیمرخ‌های لرزه‌ای و همچنین داده‌های

سوی مرکز آن، می‌توان روند چین‌خوردگی و نحوه تکامل تاقدیس را در طول زمان دنبال کرد.

حفاری چاه، تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های حاصل از برداشت‌های صحرائی، نیمرخ‌های ساختمانی رسم شد. با فرض افزایش شدت دگرشکلی از پلانژ تاقدیس به



شکل ۳- (A) ستون چینه‌شناسی زمین‌ساختی زاگرس برگرفته از (Molinari et al., 2005)؛ (B) ستون چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

۵- شناسایی افق‌های زمین‌شناسی در خطوط لرزه‌ای و تفسیر آنها

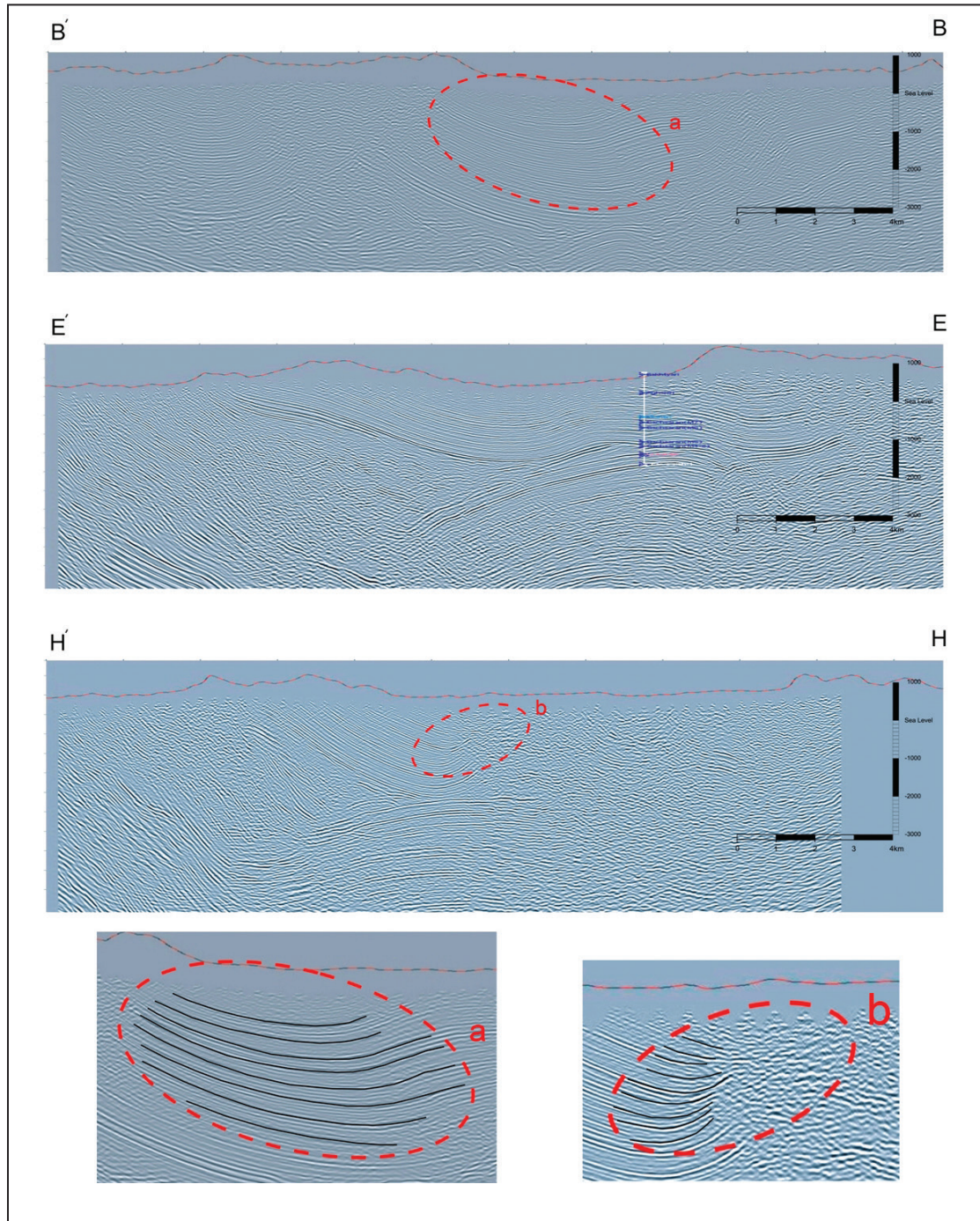
از چاه، دنبال کردن خطوط لرزه‌ای تا سطح، اطلاعات نقشه‌های زمین‌شناسی و همچنین برداشت‌های صحرائی استفاده شده است. پس از شناسایی بازتابنده‌های مربوط به رأس سازنده‌های موجود در منطقه مورد مطالعه که با استفاده از داده‌های حفاری چاه‌ها نیز تأیید شده‌اند، فرایند تفسیر خطوط لرزه‌ای آغاز شد. به این ترتیب که در بخش‌هایی که کیفیت خطوط لرزه‌ای خوب است، رأس سازنده‌ها با رنگ‌های مختلف تفکیک شد و در مناطقی از مقطع که کیفیت لرزه‌ای افت پیدا می‌کند، با استفاده از روش مطابقت بازتابنده‌ها، پدیده‌های مورد نظر ردیابی شد (شکل‌های ۴ تا ۷).

با توجه به بررسی خطوط لرزه‌ای، افق‌های زمین‌شناسی آجاجاری بخش زیرین لهری و میشان، بازتابنده‌های (Reflectors) خوبی را نمایش می‌دهند. بخشی از سازند گچساران که دارای لایه‌بندی و از نظر سنگ‌شناسی بیشتر شامل تناوبی از انیدریت، مارن، نمک و باندهای نازک آهک است نیز بازتابنده‌های مشخصی دارد؛ اما در مناطقی که دارای حالت توده‌ای است، کیفیت خطوط لرزه‌ای افت می‌کند. همچنین افق آسماری بی فاصله پس از سازند گچساران، بر روی خطوط لرزه‌ای با بازتاب‌پذیری بالا قابل مشاهده است. برای شناسایی موقعیت سرسازنده‌های بیان شده بر روی خطوط لرزه‌ای، از داده‌های حاصل

۶- رسم برش های ساختمانی

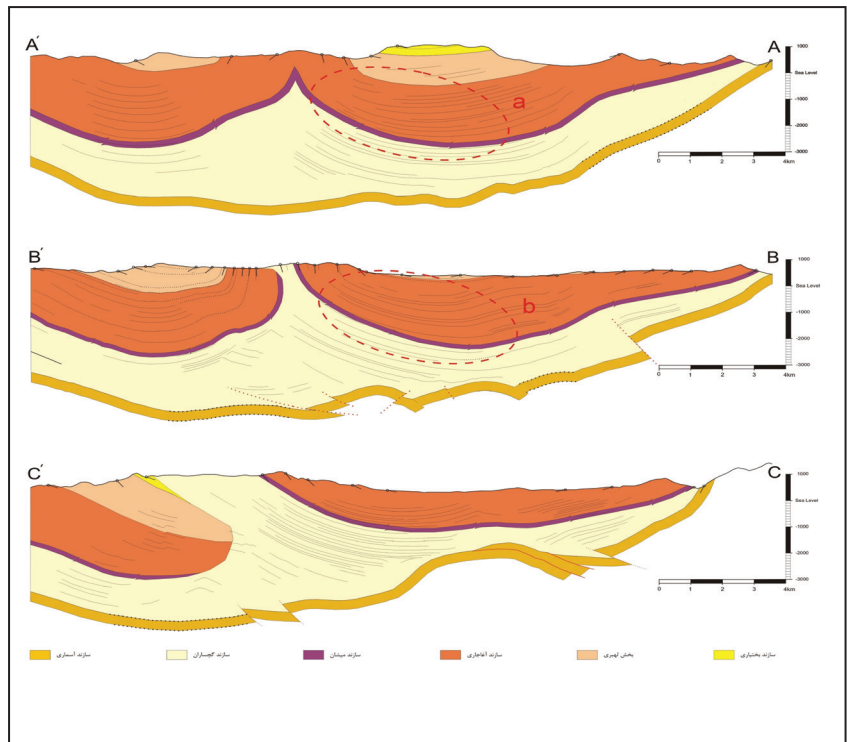
سوی میل جنوب خاوری تاقدیس جریک، برش های زمین شناسی ساختمانی رسم شد. در این روش بخش هایی از افق های زمین شناسی دارای بازتاب پذیری قوی تر بر روی برش های زمین شناسی پیاده شد و در بخش هایی که به دلیل کیفیت نامطلوب خطوط لرزه ای، اطلاعات لرزه ای پاسخگو نبود، با استفاده از تفسیر ساختمانی، مقاطع تکمیل شد (شکل های ۴ تا ۷).

با توجه به اطلاعات و شواهد به دست آمده از داده های ژئوفیزیکی حاصل از لرزه نگاری سه بعدی و داده های حفاری چاه که توسط مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران در اختیار قرار گرفته است و تفسیر نیمرخ های لرزه ای و وضعیت چینه شناسی منطقه، به منظور دنبال کردن مراحل تکامل چین خوردگی از میل شمال باختری به مرکز و سپس به

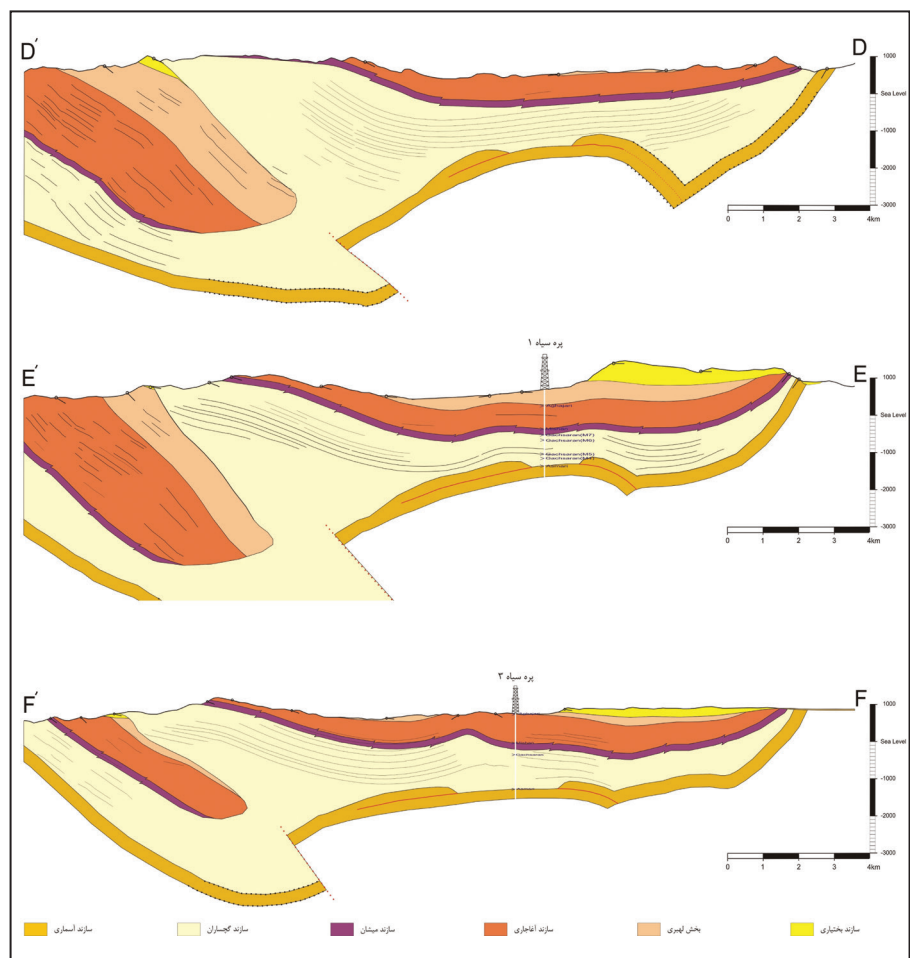


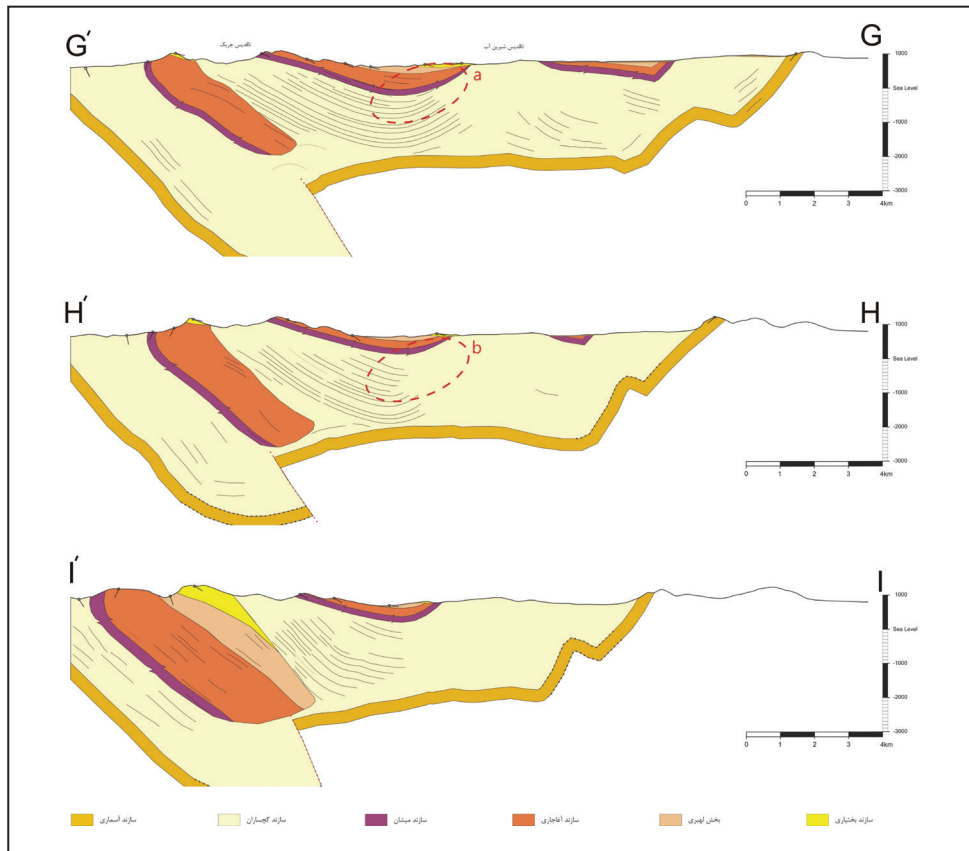
شکل ۴- نیمرخ های لرزه ای BB' و HH' در شکل ۲، کادر a نشان دهنده وجود چینه های رشدی در آغا جاری زیرین به بعد در قسمت شمال باختری تاقدیس نزدیک دماغه تاقدیس است. کادر b نشان دهنده محل چینه های رشدی است که در یال جنوب باختری تاقدیس شیرین آب که مجاور تاقدیس جریک واقع است شکل گرفته اند.

شکل ۵- نیمرخ‌های ساختمانی AA'، BB' و CC' در شکل ۲ که بر اساس نیمرخ‌های لرزه‌ای و نیز اطلاعات سطحی رسم شده‌اند. این نیمرخ‌ها عمود بر محور تاقدیس هستند و هندسه یک سوم شمال باختری تاقدیس جریک را نشان می‌دهند. کادرهای a و b وجود چین‌های رشدی را از آغاچاری زیرین به بعد در این قسمت از تاقدیس نشان می‌دهند. در نیمرخ‌های AA و BB هندسه کاسپیت تا فشرده در هسته تاقدیس قابل مشاهده است که در دو سمت شمال خاور و جنوب باختر توسط ناودیس‌های پهن احاطه شده است. همچنین قرارگیری نسبی لولای تاقدیس سطحی بر روی لولای ناودیس گروه مقاوم و بلعکس نمایانگر چین‌خوردگی با هندسه ناهمگون است. در نتیجه هندسه این تاقدیس کاملاً بر نیمه پایینی الگوی ارائه شده توسط Dahlstrom (1969) منطبق است. در نیمرخ CC' شکل‌گیری تاقدیس گروه مقاوم و نازک‌شدگی سازند آغاچاری در بالای آن دیده می‌شود. از نیمرخ CC' به بعد تا دماغه جنوب خاوری تاقدیس جریک، سازند گچساران به دلیل گرایش پیدا کردن تاقدیس به سمت جنوب باختر با عملکرد دیابیری به سوی سطح که دارای گرایش به سمت جنوب باختر است، یال جنوب باختری تاقدیس جریک رافطع کرده، جایگزین سازندهای میشان، آغاچاری و بختیاری شده و بر روی یال شمال خاوری تاقدیس مجاور (تاقدیس آسماری) قرار گرفته است.



شکل ۶- نیمرخ‌های ساختمانی EE'، DD' و FF' در شکل ۲ که بر اساس نیمرخ‌های لرزه‌ای و نیز اطلاعات سطحی رسم شده‌اند. این نیمرخ‌ها عمود بر محور تاقدیس هستند و هندسه یک سوم میانی تاقدیس جریک را نشان می‌دهند. در این قسمت مشاهده می‌شود که با توسعه دگرریختی و پیشرفت چین‌خوردگی در بخش میانی، یال شمال خاوری تاقدیس به سمت جنوب باختر حرکت کرده و با رانده شدن روی یال جنوب باختری بر روی آن قرار گرفته و بخش برگشته یال جنوب باختری از میان رفته و توسط یال شمال خاوری جایگزین شده است. هندسه این تاقدیس در قسمت میانی بر الگوی ارائه شده توسط Mitra (2002) منطبق است. همچنین در نیمرخ‌های DD' و EE' نازک‌شدگی سازند آغاچاری در یال شمال خاورری تاقدیس جریک بالای تاقدیس گروه مقاوم دیده می‌شود.





شکل ۷- نیمرخ‌های ساختمانی GG' و II' در شکل ۲ که بر اساس نیمرخ‌های لرزه‌ای و نیز اطلاعات سطحی رسم شده‌اند. این نیمرخ‌ها عمود بر محور تاقدیس هستند و هندسه یک سوم جنوب باختری تاقدیس جریک را نشان می‌دهند (نیمرخ‌های لرزه‌ای کالیبره شده‌اند). همان‌طور که در کادرهای a و b مشاهده می‌شود، چینه‌های رشدی در یال جنوب باختری تاقدیس شیرین‌آب شکل گرفته‌اند که در مجاورت تاقدیس جریک واقع است. در این قسمت چینه‌های رشدی در بخش بالایی گچساران دیده می‌شوند که نشان‌دهنده آن است که تاقدیس جریک بعد از چین خوردگی تاقدیس شیرین‌آب شکل گرفته و از آن جوان‌تر است. در این بخش از تاقدیس جریک مشاهده می‌شود که یال شمال‌خاوری تاقدیس به سمت جنوب باختر حرکت کرده و بر روی یال جنوب باختری رانده شده است.

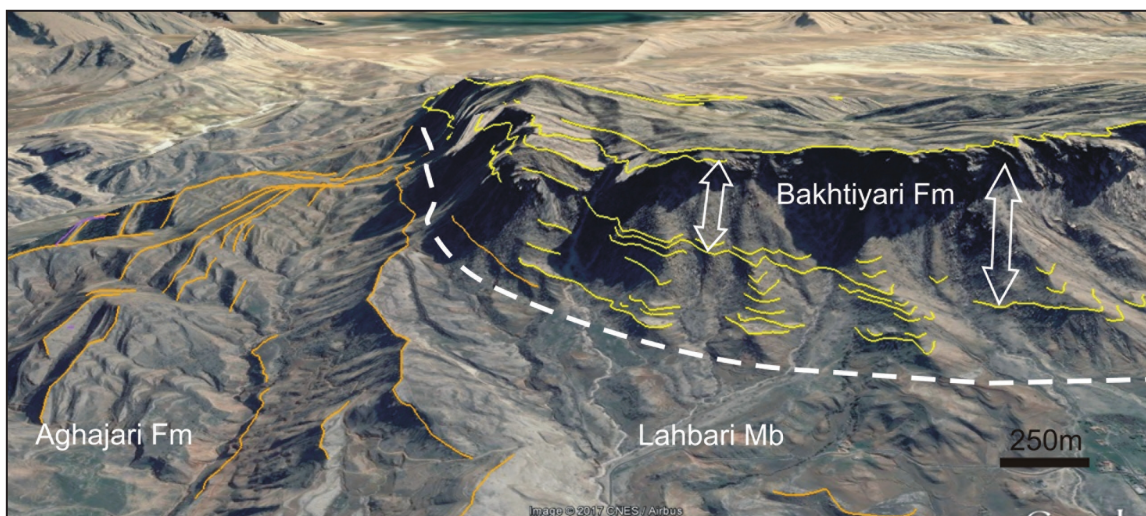
۷- بحث

جریک دارد. تغییر ضخامت و تغییر شیب لایه‌ها در نیمرخ‌های لرزه‌ای و همچنین مشاهده تغییر شیب و ضخامت واقعی آغاچاری زیرین به بعد در سطح زمین در یال شمال‌خاوری تاقدیس جریک که موجب ایجاد هندسه واگرا در اثر سطحی لایه‌ها شده، نمایانگر رسوب‌گذاری همزمان با چین خوردگی (چینه‌های رشد) این بخش است (شکل‌های ۸ تا ۱۰).

تاقدیس جریک یک تاقدیس نامتقارن است که شیب یال شمال‌خاوری آن از شیب یال جنوب باختری کمتر بوده و شیب صفحه محوری به سمت شمال خاور است. افزایش شدت چین خوردگی از میل تاقدیس به سمت مرکز آن با افزایش میزان کوتاه‌شدگی همراه است. مقاطع لرزه‌ای نمایانگر تغییر ضخامت چشمگیر سازند گچساران در ناحیه لولا نسبت به یال‌هاست که نشان از مهاجرت این واحد متحرک به سمت هسته تاقدیس



شکل ۸- تغییر ضخامت لایه‌ها در یال شمال‌خاوری تاقدیس جریک (دید به سمت شمال خاور).



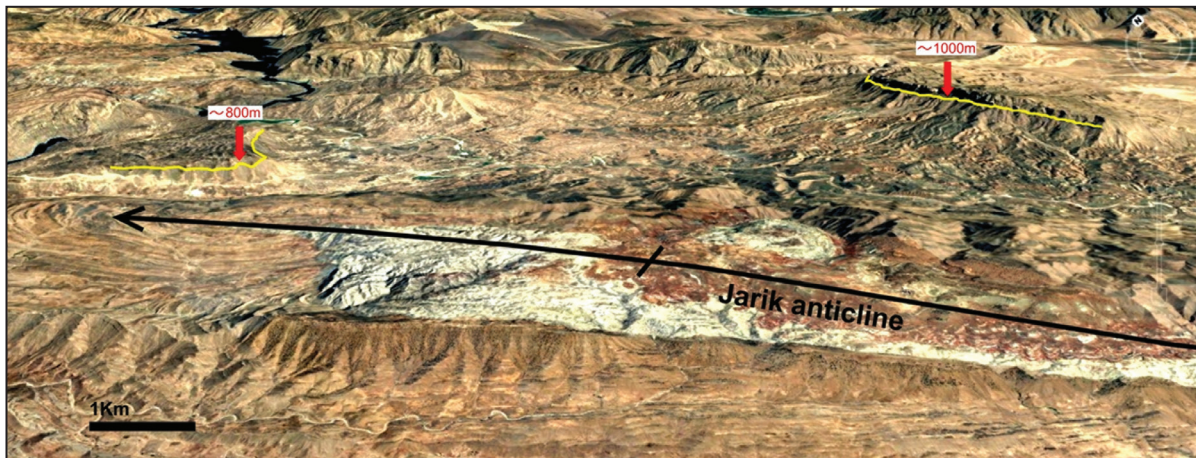
شکل ۹- تصویر ماهواره‌ای نشان‌دهنده تغییر ضخامت و تغییر شیب لایه‌ها (چینه‌های رشدی) در یال شمال خاوری تاقدیس جریک، خط چین سفید رنگ مرز بین آغاچاری و لهبری را نشان می‌دهد. تغییر ضخامت و شیب بیشتر در سازند بختیاری مشهود است. همچنین کاهش شیب لایه‌ها از سمت چپ تصویر (در سازند آغاچاری) به سمت وسط (بخش لهبری) نیز دیده می‌شود (دید به سمت جنوب خاور)



شکل ۱۰- تغییر ضخامت و گوه‌ای شدن لایه‌ها (چینه‌های رشد) در بخش لهبری در یال شمال خاوری تاقدیس جریک، (A و B) دید به سمت جنوب خاور؛ (C) دید به سمت خاور؛ (D) دید به سمت شمال باختر.

حدود ۲۰۰ متری کف سازند بختیاری در بخش شمال خاوری نسبت به بخش جنوب باختری نمایانگر بالاآمدگی نسبی یال شمال خاوری نسبت به یال جنوب باختری تاقدیس جریک است (شکل ۱۱).

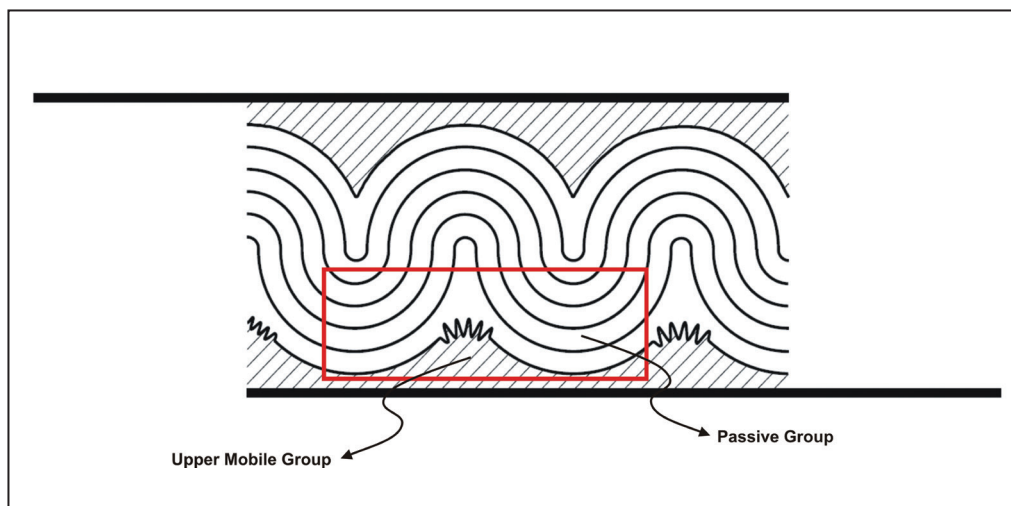
بنابراین شروع چین خوردگی تاقدیس جریک از زمان رسوب گذاری آغاچاری زیرین به بعد اتفاق افتاده است. همچنین مشاهده تغییر و افزایش ضخامت سازند آغاچاری در یال جنوب باختری نسبت به یال شمال خاوری در نیمرخ‌های لرزه‌ای و نیز افزایش ارتفاع



شکل ۱۱- افزایش ارتفاع حدود ۲۰۰ متری قاعده سازند بختیاری (خط زرد رنگ) نمایانگر بالاآمدگی نسبی یال شمال خاوری تاقدیس جریک، در نتیجه عملکرد و رشد تاقدیس زیرسطحی گروه مقاوم است.

به دلیل قرارگیری نسبی لولای تاقدیس جریک بر روی لولای ناودیس گروه پرقوام و همچنین قرارگیری نسبی لولای ناودیس مجاور آن بر روی لولای تاقدیس گروه پرقوام، چین خوردگی دارای هندسه ناهماهنگ است. عموماً سه نوع چین در ارتباط با گسلش شکل می‌گیرند که عبارتند از چین خمه گسلی (Fault bend folding)، چین پیشروی گسلی (Fault propagation folding) و چین جدایشی (Detachment folding). چین‌های جدایشی اغلب دارای هندسه متقارن و مدور در سطح، همراه با طول موج‌های بزرگ علیرغم مقدار کم کوتاه‌شدگی هستند. (Dahlstrom (1969) متذکر شده که در رژیم چین خوردگی هم‌مرکز (Concentric folding) که قابل بسط دادن به چین خوردگی جدایشی است، یک مجموعه چین خورده الزاماً باید به وسیله سطوح جدایش فوقانی و تحتانی احاطه شود. سطوح جدایش تحتانی همواره وجود دارد. اما گاهی اوقات سطح گسستگی فوقانی می‌تواند سطوح تماس سنگ و هوا یا آب باشد. همچنین خواص فیزیکی واحد غالب پرقوام‌تر در سری رسوبی، اثر تعیین‌کننده‌ای بر روی اندازه نهایی ساختمان دارد (شکل ۱۲).

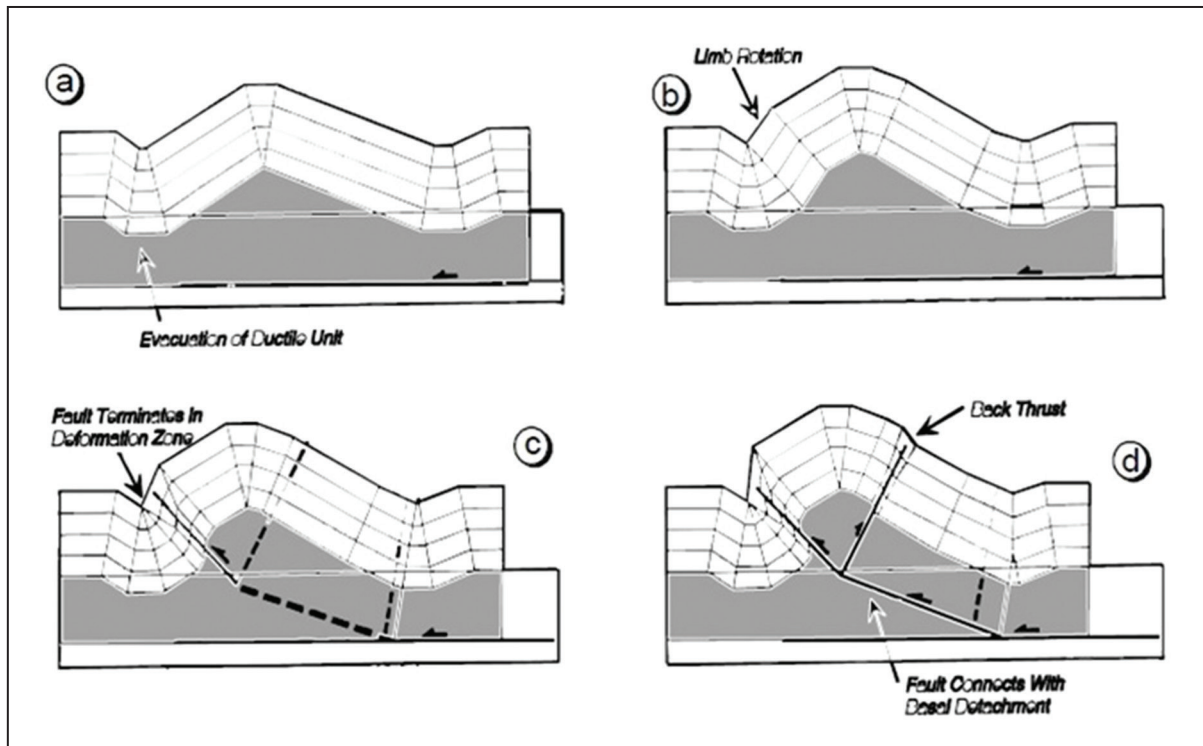
به نظر می‌رسد این بالاآمدگی، در نتیجه عملکرد و رشد تاقدیس زیر سطحی گروه پرقوام در زیر یال شمال خاوری تاقدیس جریک است. (Sherkati et al. (2005) بر این باورند که در تاقدیس‌های فروبار دزفول، مهاجرت گچساران در دو مرحله رخ داده است: مرحله اول همزمان با چین خوردگی گروه پرقوام و مهاجرت همزمان نمک به سمت ناودیس‌ها طی ته‌نشست بخش بالایی سازند گچساران و مرحله دوم حرکات دیاپیر گچساران همزمان با چین خوردگی و ته‌نشست بخش بالایی سازند آغاچاری است. موازی بودن بازتابنده‌ها در بخش بالایی گچساران و عدم مشاهده چین‌های رشدی در این قسمت نمایانگر آن است که در زمان رسوب گذاری گچساران روند چین خوردگی در این محل متوقف بوده است و بنابراین مهاجرت گچساران بعد از رسوب گذاری آن اتفاق افتاده است. لازم به ذکر است که در تاقدیس شیرین‌آب که در مجاورت تاقدیس جریک و در شمال خاور آن قرار گرفته است چین‌های رشدی در بخش بالایی گچساران مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تشکیل تاقدیس جریک بعد از چین خوردگی تاقدیس شیرین‌آب است.



شکل ۱۲- الگوی چین خوردگی هم‌مرکز و جدایشی ارائه شده توسط (Dahlstrom (1969) و قسمتی از آن که با هندسه چین خوردگی تاقدیس جریک در قسمت نزدیک دماغه مطابقت دارد (کادر قرمز رنگ).

پایینی مدل ارائه شده توسط (Dahlstrom 1969) مطابقت دارد (شکل‌های ۱۲ و ۱۴). به همین دلیل بر اساس هندسه تاقدیس و همچنین عملکرد سازند متحرک گچساران به عنوان سطح گسست، می‌توان سازوکار چین‌خوردگی جدایشی را برای بخش شمال باختری این تاقدیس پیشنهاد کرد. مرحله نهایی تکامل یک چین جدایشی عموماً گذر از چین‌های متقارن یا نامتقارن به مرحله شکل‌گیری و انتشار گسل در پیش‌یال طی افزایش میزان کوتاه‌شدگی و شکل‌گیری چین‌گیری چین جدایشی گسلیده (Faulted detachment fold) است (Mitra, 2002) (شکل ۱۳).

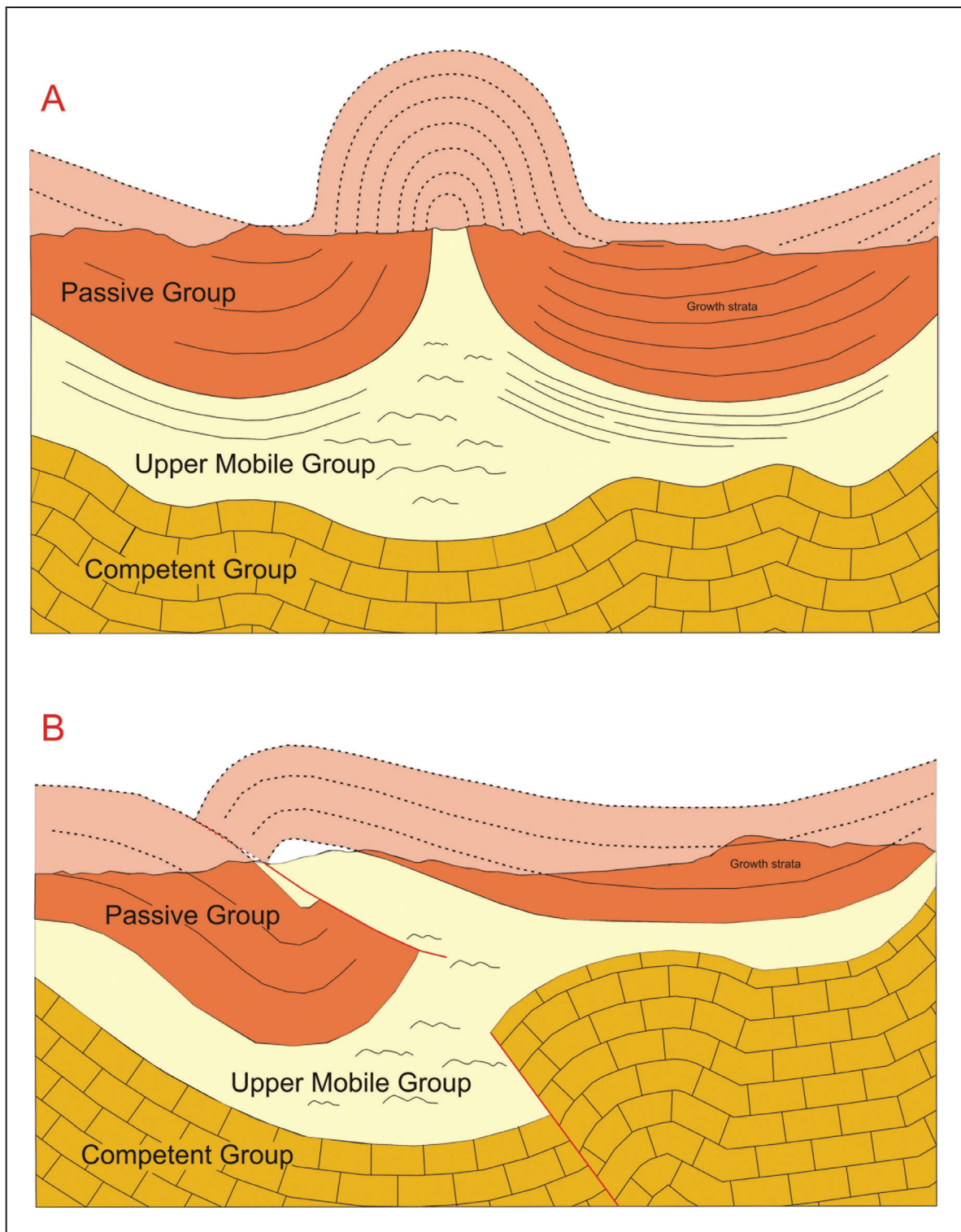
با توجه به شکل ۱۲، هندسه‌های متفاوتی از چین بسته به سطح فرسایش در سطح زمین قابل مشاهده است. نزدیک سطح جدایش تحتانی تاقدیس‌ها معمولاً فشرده، تنگ و همراه با چین‌خوردگی‌های ناهمگون هستند و به وسیله ناودیس‌های پهن از یکدیگر جدا می‌شوند. در حالی که در سمت سطح جدایش فوقانی شرایط کاملاً برعکس است. تاقدیس جریک در بخش شمال باختری در هسته خود هندسه فنجان‌ی (Cuspate) تا فشرده دارد و در دو سمت شمال خاور و جنوب باختر توسط ناودیس‌های پهن احاطه شده و همچنین همان‌طور که گفته شد دارای هندسه ناهمگون است. به همین دلایل هندسه آن با بخش



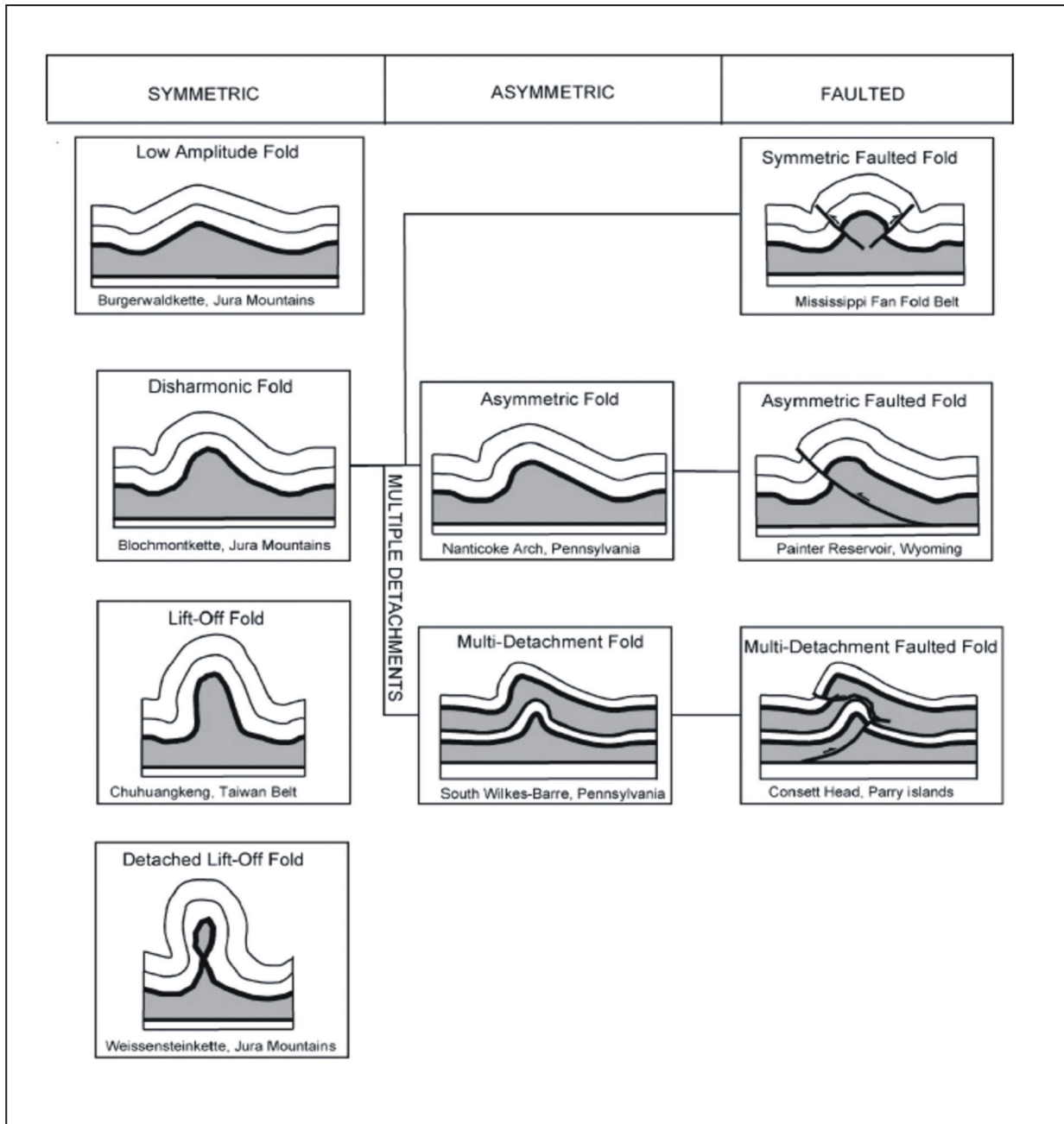
شکل ۱۳- تکامل یک چین جدایشی و گذر از چین‌های متقارن یا نامتقارن و شکل‌گیری و انتشار گسل در پیش‌یال طی افزایش میزان کوتاه‌شدگی و شکل‌گیری چین‌گیری چین جدایشی گسلیده (Faulted detachment fold) ارائه شده توسط (Mitra 2002) که مرحله نهایی آن (مرحله d) با هندسه چین‌خوردگی تاقدیس جریک در قسمت مرکزی مطابقت دارد.

و ترتیب توالی وابسته است. الگوهای مختلف چین‌خوردگی جدایشی در کمربند های چین خوده متعددی در جهان مشاهده و مطالعه شده است مانند کوه‌های ژورا (Buxtorf, 1916; Laubscher, 1962)، آلپ (Goguel, 1962)، کمربند جزایر پری (Harrison and Bally, 1988; Harrison, 1995)، گستره بروکس در کوه‌های راکی (Namson and Wallace, 1986)، کوه‌های آپالاش مرکزی (Gwinn, 1964; Wiltschko and Chapple, 1977)، آند جنوبی (Belotti et al., 1995) و کمربند چین خوده تایوان (Namson, 1981). که مثال‌هایی از آنها در شکل ۱۵ نشان داده شده است. چین‌های جدایشی را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: چین‌های جدایشی ناهماهنگ (Disharmonic detachment folds) و چین‌های جدایشی برخاسته (Lift-off detachment folds) این دو هندسه مختلف همچنین می‌توانند در مراحل تکامل شکل‌گیری یک ساختمان چین‌خوردگی نیز ایجاد شوند (Mitra, 2003) (شکل ۱۵). چین‌های جدایشی گسلیده یکی از زیرمجموعه‌های چین‌های جدایشی ناهماهنگ هستند. همچنین هندسه و تکامل چین‌خوردگی تا حد زیادی به چینه‌شناسی مکانیکی، از جمله ضخامت، انعطاف‌پذیری، و ترتیب توالی وابسته است (Mitra, 2003).

بررسی هندسه تاقدیس جریک در بخش میانی بر مبنای اطلاعات حاصل از نیم‌رخ‌های لرزه‌ای و نیم‌رخ‌های ساختاری رسم شده و همچنین اطلاعات سطحی، نمایانگر آن است که در بخش میانی با پیشرفت چین‌خوردگی، یال شمال خاوری تاقدیس به سمت جنوب باختر حرکت کرده و با رانده شدن روی یال جنوب باختری بر روی آن قرار گرفته است و هندسه بخش میانی این تاقدیس با مدل ارائه شده توسط (Mitra 2002) مطابقت دارد (شکل ۱۴). بنابراین تحلیل جنبشی چین‌خوردگی در تاقدیس جریک با کمک اطلاعات زیرسطحی موجود و داده‌های سطحی نشان می‌دهد که در تاقدیس جریک الگوهای مختلف دگرشکلی قابل مشاهده است. یعنی از میل شمال باختری به سمت مرکز تاقدیس، از هندسه هم‌شیب و جدایشی در قسمت شمال باختری به هندسه جدایشی گسلیده در قسمت میانی و جنوب خاوری دیده می‌شود و یال جنوب باختری در قسمت‌های مرکزی و جنوب خاوری توسط راندگی یال شمال خاوری، پوشیده شده است (شکل ۱۴). به نظر می‌رسد که تغییر در واقع کاهش ضخامت واحد کم‌قوام روی سطح گسست از میل شمال باختری به سمت مرکز تاقدیس بر الگوی هندسی نهایی تأثیر چشمگیری داشته و موجب تغییر هندسه تاقدیس در نقاط مختلف شده است. هندسه و تکامل چین‌خوردگی تا حد زیادی به چینه‌شناسی مکانیکی، از جمله ضخامت، انعطاف‌پذیری



شکل ۱۴- الگوی شماتیک روند شکل گیری و تکامل تاقدیس جریک (گروه پرقوام Competent Group، گروه متحرک بالایی: Upper mobil Group، گروه کم قوام (منفعل): Passive Group). A) هندسه چین خوردگی قابل مشاهده در بخش شمال باختری و نزدیک دماغه تاقدیس که در آن تاقدیس جریک، دارای هندسه فنجانی تا فشرده در هسته خود بوده و در دو سمت توسط ناودیس های پهن احاطه شده است و همچنین همان طور که گفته شد هندسه ناهمگون دارد. این قسمت از تاقدیس منطبق بر نیمه پایینی الگوی ارایه شده توسط (Dahlstrom ۱۹۶۹) است؛ B) هندسه چین خوردگی قابل مشاهده در بخش میانی تاقدیس جریک که در آن با پیشرفت چین خوردگی بال شمال خاوری تاقدیس به سمت جنوب باختر حرکت کرده و با رانده شدن روی بال جنوب باختری بر روی آن قرار گرفته و یک چین جدایشی گسلیده را شکل داده است. این قسمت از تاقدیس منطبق بر مرحله نهایی الگوی چین خوردگی ارایه شده توسط (Mitra 2002) است.



شکل ۱۵- الگوی شماتیک هندسه‌های مختلف چین‌های جدایشی در نقاط مختلف جهان (Mitra, 2003).

۸- نتیجه‌گیری

بررسی‌های رشدی در بخش میانی سازند گچساران در تاقدیس مجاور شمال خاوری (تاقدیس شیرین آب)، روند توسعه دگرریختی از شمال خاور به سمت جنوب باختر بوده است. شناخت هندسه این تاقدیس و بررسی نتایج آن در موارد مشابه در فروبار دزفول، می‌تواند کمک قابل توجهی به شناخت روند تکامل زمین‌شناسی و زمین‌ساختی فروبار دزفول کند.

سپاسگزاری

بخشی از داده‌های استفاده شده در این پژوهش با حمایت‌های مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران در اختیار قرار گرفته است. بدین وسیله از تمام عزیزانی که به تدوین این پژوهش کمک کرده‌اند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

بررسی هندسی و تحلیل جنبشی چین‌خوردگی در تاقدیس جریک نشان می‌دهد که این تاقدیس یک تاقدیس نامتقارن با گرایش به سمت جنوب باختر و دارای هندسه ناهمگون است. این هندسه ناشی از اندرکنش میان لایه‌های کم‌قوام رویی (سازندهای میشان، آغاچاری و بختیاری) و سطح جدایش بالایی (گچساران) است. در این تاقدیس مراحل و هندسه‌های متفاوت چین‌خوردگی جدایشی در مناطق مختلف قابل مشاهده است. در میانه تاقدیس هندسه جدایشی گسلیده و در دماغه تاقدیس هندسه جدایشی و هم‌مرکز قابل مشاهده است. بنابر بررسی‌های انجام شده سازوکار چین‌خوردگی در میل شمال باختری از نوع جدایشی و در بخش میانه تاقدیس از نوع جدایشی گسلیده است. به دلیل مشاهده چینه‌های رشد در آغاچاری زیرین در این تاقدیس، شروع چین‌خوردگی آن همزمان با رسوب‌گذاری بخش زیرین سازند آغاچاری بوده است و نیز به دلیل مشاهده

کتابنگاری

خرازی‌زاده، ن.، الماسیان، م. و شرکتی، ش.، ۱۳۹۱- تحلیل جنبشی هندسه چین خوردگی در تاقدیس آغا‌جاری (فروافتادگی دزفول)، ایران، فصلنامه علوم زمین، شماره ۸۶، صص. ۲۶۱ تا ۲۷۲. مطبعی، ه.، ۱۳۷۲- چینه‌شناسی زاگرس، انتشارات سازمان سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Ahmadhadi, F., Lacombe, O. and Daniel, J. M., 2007- Early reactivation of basement faults in Central Zagros (Sw Iran): evidence from pre-folding fracture populations in Asmari Formation and Lower Tertiary Paleogeography. In: Lacombe, O., Lav, J., Verges, J. and Roure, F. (eds) Thrust Belts and Foreland Basins: From Fold Kinematics to Hydrocarbon Systems. Springer, Berlin, 205-228.
- Bahroudi, A. and Koyi, H., 2003- Effect of spatial distribution of Hormuz salt on deformation style in the Zagros fold and thrust belt: an analogue modeling approach. *Journ. of Geol. Soc of London*, 160, p1-15.
- Belotti, H. J., Saccavino, L. L. and Schachner, G. A., 1995- Structural styles and petroleum occurrence in the sub-Andean fold and thrust belt of northern Argentina. In: Tankard, A.J., Suarez, R., Welsink, H.J. (Eds.), *Petroleum basins of South America*, 62. American Association of Petroleum Geologists Memoir, pp. 545–555.
- Berberian, M. and King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 210- 265.
- Berberian, M., 1995- Master Blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics* 241, 193-224.
- Beydoun, Z. R., Hughes Clarke, M. W. and Stonely, R., 1992- Petroleum in the Zagros Basin: a late Tertiary Foreland Basin overprinted on to the outer edge of a vast hydrocarbon-rich Paleozoic-Mesozoic Passive-margin shelf, in Macqueen, R. W., and Leckie, D. A., editors, *Foreland basins and fold belts: American Association of Petroleum Geologist Memoir* 55, P.309-339.
- Blanc, E. J. P., Allen, M. B., Inger, S. and Hassani, H., 2003- Structural styles in the Zagros simple folded zone, Iran", *Journal of the Geological Society, London*, 160, p. 401- 412.
- Bonini, M., 2003- Detachment folding, fold amplification, and diapirism in thrust wedge experiments. *Tectonics* 22 (6).
- Buxtorf, A., 1916- Prognosen und befunde beim Hauesensteinbasis und Grenchenberg-tunnel und die geologie des Juragebirges. *Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel* 27, 184-205.
- Colman-Sadd, S. P., 1978- Fold development in Zagros simply folded belt, Southwest Iran, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 62, p. 984- 1003.
- Dahlstrom, C. D. A., 1969- The upper detachment in con centric folding: *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, v. 17, p. 326–346.
- Emami, H., Verges, J., Nalpas, T., Gillespie, P., Sharp, I., Karpuz, R., Blanc, E. P. and Goodarzi, M. G. H., 2010- Structure of the Mountain Front Flexure along the Anaran anticline in the Pusht-e-Kuh Arc (NW Zagros, Iran): insights from sand box models. *Geological Society of London, Special Publications* 2010. V. 330, P. 155-178.
- Falcon, N., 1969- Problems of the relationship between surface structure and deep displacements illustrated by Zagros range. In P. E. Kent, G. E. Satterthwaite, and A. M. Spencer (Eds.), *Time and place in Orogeny* (pp. 9-22). London: Geological Society.
- Falcon, N. L., 1974- Southern Iran: Zagros Mountains. In: *Mesozoic-Cenozoic Orogenic Belts* (Ed. by Spencer, A.), Special Publication. Geological Society of London, V.4: p.199- 211.
- Goguel, J., 1962- *Tectonics*, Freeman, San Francisco, p. 348.
- Gwinn, V. E., 1964- Thin-skinned tectonics in the Plateau and northwestern Valley and Ridge provinces of the central Appalachians. *Geological Society of America Bulletin* 75, 863–900.
- Harrison, J. C., 1995- Tectonics and kinematics of a foreland folded belt influenced by salt, Arctic Canada. In: Jackson, M.P.A., Roberts, D.G., Snelson, S. (Eds.), *Salt tectonics: A global perspective*, American Association of Petroleum Geologists Memoir 65, pp. 379–412.
- Harrison, J. C. and Bally, A. W., 1988- Cross sections of the Parry Islands fold belt on Melville Island. *Canadian Petroleum Geology Bulletin* 36, 311– 332.
- Heim, A., 1921- *Geologie der Schweiz II. Die Schweizer Alpen*. Tauchniz, Leipzig.
- Hesami, K., Koyi, H. A., Talbot, C. J., Tabasi, H. and Shabanian, E., 2002- Progressive unconformities within an evolving foreland fold-thrust belt, Zagros Mountains. *Journal of Geological Society, London*, 158, 969-981.
- Koop, W. J. and Stoneley, R., 1982- Subsiden history of the Middle East Zagros Basin, Permian to Recent: *Phil. Trans. R. Soc. London*, A 305, p. 149-168.
- Laubscher, H. P., 1962- Die Zweiphasenhypothese der Jurafaltung. *Ecogae Geol. Helvetiae* 55, 1–22.

- McQuillan, H., 1973- Small-scale fracture density in Asmari Formation of SW Iran and its relation to bed thickness and structural setting. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 57, 2367-2385.
- Mitra, S., 2002- Fold-accommodation faults: *AAPG Bulletin*, v. 86, p. 671–693.
- Mitra, S., 2003- A unified kinematic model for the evolution of detachment folds", *J. Struct. Geol.* Vol. 25(10), p. 1659-1673.
- Molinaro, M., Leturmy, P., Guezou, J. C. and Frizon de Lamotte, D. and S. A. Eshraghi, 2005- The structure and kinematic of the south-eastern Zagros fold-thrust belt, Iran: from thin skinned to thick skinned tectonics. *Tectonics*, v. 24, p. TC3007.
- Murriss, R. J., 1989- Middle East: Stratigraphic evolution and oil habitat", *AAPG Bull.* V. 64, No. 5, p. 597- 618.
- Najafi, M., Yassaghi, A., Bahroudi, A., Vergés, J. and Sherhati, S., 2014-Impact of the late Triassic dashtak intermediate detachment horizon on anticline geometry in the central frontal Fars, SE Zagros Fold belt. *Iran. Mar. Pet. Geol.* 54, pp 23–36.
- Namson, J. S., 1981- Detailed structural analysis of the western foothills belt in the Miaoli–Hsinchu area. Taiwan: I. Southern part. *Petroleum Geology of Taiwan* 18, 31–51.
- Namson, J. S. and Wallace, W. K., 1986- A structural transect across the Brooks Range. Alaska, *Geological Society of America Abstracts with Programs* 16, 163.
- O'Brien, C. A. E., 1950- Tectonic problems of the oil field belt of southwest Iran *Proceeding of 18th International of Geological Congress*, Great Britain, part 6, pp. 45-58.
- O'Brien, C. A. E., 1957- Salt diapirism in south Persia. *Geologie en Mijnbouw*, 19, 357-376.
- Sepehr, M. and Cosgrove, J. W., 2004- Structural framework of the Zagros fold–thrust belt, Iran. *Marine and Petroleum Geology*, V.21: p.829-843.
- Sepehr, M., Cosgrove, J. W. and Moieni, M., 2006- The impact of cover rock rheology on the style of folding in the Zagros fold-thrust belt. *Tectonophysics*, 427, p.265- 281.
- Sherhati, 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*, V.21: p.535–554.
- Sherhati, S., Letouzey, J. and Frizon de Lamotte, D., 2006- Central Zagros fold-thrust belt (Iran): New insights from seismic data, field observation, and sandbox modeling: *Tectonics*, v. 25, TC 4007, doi: 10.1029/2004TC001766.
- Sherhati, S., Molinaro, M., Frizon de Lamotte, D. and Letouzey, J., 2005- Detachment folding in the Central and Eastern Zagros fold-belt (Iran): salt mobility, multiple detachments and late basement control, *Journal of Structural Geology*, 27, 1680-1696.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran. A review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52, 1229-1258.
- Talbot, C. and Alavi, J. M., 1996- The past of a future syntaxis across the Zagros: In *Alsope, G.L., D.L. Blundell, I. Davison, (Eds) Salt Tectonics. Geol. Soc. of London Special Publication. 100, p.129-151.*
- Takin, M., 1972- Iranian geology and continental drift in the Middle East, *Nature*. 235, p.147 – 150.
- Talebian, M. and Jackson, J., 2002- Offset on the main Recent Fault of NW Iran and implication for the Late Cenozoic tectonics of the Arabia-Eurasia collision zone, *Geophys. J. Int.*, 150, 422-439.
- Vergés, J., Goodarzi, M. G. H., Emami, H., Karpuz, R., Efstathiou, J. and Gillespie, P., 2011- Multiple detachment folding in Pusht-e Kuh arc, Zagros: role of mechanical stratigraphy. In: *Thrust Fault Related Folding* (Ed. by McClay, K. R., Shaw, J. and Suppe, J.). *American Association of Petroleum Geologists, Memoir 94*, p. 69–94.
- Vernant, Ph., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chery, J., 2004- Present-day crustal deformation and plate kinematics in the middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophys. J. Int.*, 157, 381-398.
- Willis, B., 1893- The mechanics of appalachian structure. *13th Annual Rep. US Geol. Surv.* 13(2), 211-282.
- Wiltschko, D. V. and Chapple, W. M., 1977- Flow of weak rocks in Appalachian Plateau folds. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 61, 653–670.

Geometric analysis and folding mechanism in the Northeast of Dezful embayment

A. Lashgari¹, M. R. Hayhat^{2*}, M. M. Khatib³, M. Najafi⁴ and J. Vergés⁵

¹Ph.D. Student, Department of Geology, University of Birjand, Birjand, Iran

²Assistant Professor, Department of Geology, University of Birjand, Birjand, Iran

³Professor, Department of Geology, University of Birjand, Birjand, Iran

⁴Assistant Professor, Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran

⁵Professor, Institute of Earth Sciences 'Jaume Almera', Barcelona, Spain

Received: 2017 July 20

Accepted: 2017 November 04

Abstract

Determining the geometry and folding mechanism in Dezful embayment due to the inclusion of a large amount of Iran's hydrocarbon reserves, also its role in the process of structural evolution of Zagros fold- belt, is important. In present study, structural evolution of Jarik anticline in the northwest of Dezful embayment have been studied based on 3D seismic data, drilling data, remote sensing, and the field observations. According to the provided structural cross sections, geometric variations of Jarik anticline across and along the anticline axis, has been investigated. Gachsaran formation as an upper detachment horizon, causes geometric and structural changes along the anticline axis. It seems that, in the nose of anticline, occurred the detachment folding mechanism associated with concentric geometry. And in the middle section of the anticline, faulted detachment folding mechanism has acted.

Keywords: Zagros fold-thrust belt, Dezful embayment, Jarik anticline, Gachsaran formation, Faulted detachment folding.

For Persian Version see pages 29 to 42

*Corresponding author: M. R. Hayhat; E-mail: mhayhat@birjand.ac.ir