

تحلیل جنبشی هندسه چین خوردگی در تاقدیس آغاچاری (فروافتادگی دزفول)، ایران

نسیم خرازی زاده^{۱*}، محمود الماسیان^۲ و شهرام شرکتی^۳

^۱ دانشجوی دکترا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه موناخ، ملبورن، استرالیا.

^۲ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.

^۳ دکتری، مدیریت اکتشاف، شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۶/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۱/۲۱

چکیده

مطالعه الگوی هندسه چین خوردگی‌ها و تحلیل دگربرختی آنها یکی از مهم‌ترین موضوعات زمین‌شناسی کمربند کوهزایی زاگرس به‌شمار می‌آید. علت این امر تمرکز بخش عمده‌ای از مخازن هیدروکربوری شناخته شده در نفت‌گیرهای تاقدیسی این کمربند است. در این پژوهش، چگونگی تکامل هندسی تاقدیس زیرسطحی آغاچاری واقع در فروافتادگی دزفول، بر اساس اطلاعات ژئوفیزیکی حاصل از لرزه‌نگاری سه بعدی و داده‌های حفاری چاه بررسی شده است. بر اساس برش‌های ساختمانی رسم شده، تغییرات هندسی چین خوردگی از پلاتو به سوی میانه تاقدیس مورد توجه قرار گرفته است. همچنین به واسطه عملکرد افق‌های گسسته میانی در امتداد محور تاقدیس و عمود بر آن در امتداد قائم پیچیدگی‌های هندسی دیده می‌شود. روند تکامل تاقدیس معرف عملکرد سازوکار چرخش یال و مهاجرت لولا است و گذر از فرم هندسی جمبه‌ای به فرم جناغی با پیشرفت دگرشکلی را نشان می‌دهد. عملکرد افق‌های گسسته میانی و سازوکار چین خوردگی، امکان شکل‌گیری تله‌های اقماری پیرامون تاقدیس اصلی را محتمل نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: تاقدیس آغاچاری، فروافتادگی دزفول، افق‌های گسسته میانی، چینه‌شناسی مکانیکی، چین جمبه‌ای، چین جناغی

E-mail: n.kharazi@hotmail.com

*نویسنده مسئول: نسیم خرازی زاده

۱- مقدمه

کمربند کوهزایی زاگرس در جنوب باختر ایران یکی از غنی‌ترین کمربندهای چین‌خورده رانده شده جهان و دارای ۸/۶ درصد مخازن نفت و ۱۵ درصد از مخازن گاز اثبات شده جهانی است. ته‌نشست رسوبات و شکل‌گیری تله‌ها که موجب تولید و حفظ هیدروکربور شده‌اند، در ارتباط با تاریخچه تکامل حاشیه شمال خاوری صفحه عربی هستند (Sherkati et al., 2005). تغییرات قابل توجه در ستبرا و رخساره‌های رسوبی، معرف واکنش به زمین‌ساخت پیچیده حاشیه صفحه و فعالیت دوباره گسل‌های پی‌سنگی است (Koop & Stonly, 1982). نبود فعالیت‌های آذرین، وجود سنگ منشأهای فراوان و بسیار غنی از مواد آلی و سنگ مخزن‌های متخلخل و تراوای با سنگ‌پوش‌های مناسب، شرایط منحصر به فردی را برای تولید و انباشت هیدروکربن در کمربند چین‌خورده رانده زاگرس فراهم کرده‌اند تا پهنه زاگرس از نفت‌خیزترین حوضه‌های رسوبی دنیا باشد (Beydoun et al., 1992) (شکل ۱).

با توجه به این‌که بخش بیشتری از مخازن هیدروکربنی شناخته شده در نفت‌گیرهای تاقدیسی متمرکزند و از آنجایی‌که اکتشاف هیدروکربور 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 وضعیت هندسی تاقدیس‌ها در سطح دارد (Sherkati et al., 2006; Sepehr & Cosgrove, 2005). بنابراین شناخت دقیق‌تر هندسه تاقدیس‌ها و تحلیل دگربرختی آنها یکی از مهم‌ترین موضوعات زمین‌شناسی زاگرس به‌شمار می‌آید. در این نوشتار با توجه به اهمیت بیان شده، به بررسی یکی از ساختارهای واقع در فروافتادگی دزفول با عنوان تاقدیس آغاچاری پرداخته می‌شود (شکل ۲). هدف اصلی از مطالعه تاقدیس آغاچاری، بررسی تغییرات هندسی تاقدیس در امتداد آن، شناسایی متغیرهای مؤثر در هندسه چین‌خوردگی و ارتباط هندسه چین‌خوردگی با رفتار مکانیکی واحدهای رسوبی است. تاقدیس آغاچاری یک تاقدیس زیرسطحی است و شواهد زمین‌شناسی زیادی از آن وجود ندارد. به دلیل وجود و عملکرد سازند شکل‌پذیر گچساران در منطقه، هندسه ساختمان سطحی و زیرسطحی این تاقدیس کاملاً متفاوت است. بنابراین برای شناسایی سازوکار چین‌خوردگی در آن از داده‌های ژئوفیزیکی حاصل از لرزه‌نگاری سه‌بعدی به همراه داده‌های حفاری و به‌دست آمده از چاه بهره گرفته شده است. بنابراین با استفاده از

تفسیر خطوط لرزه‌ای جدید و روش‌های موازنه‌سازی مقاطع این امکان فراهم شد تا با ارزیابی تفسیر ژئوفیزیکی و رسم مقاطع ساختمانی متوالی (Serial Cross Section) از پلاتو تاقدیس به سوی مرکز آن، تکامل جنبشی چین‌خوردگی بررسی شود.

۲- جایگاه زمین‌شناسی

کمربند چین‌خورده رورانده زاگرس در ایران به عنوان بخشی از سامانه آلپ - هیمالیا است که 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 کمربند کوهزایی نتیجه برخورد بین صفحه قاره‌ای عربستان و بلوک ایران است که متعلق به اوراسیا است (Takin, 1972; Berberian & King, 1981).

راستای ساختمانی چیره در منطقه به دو بخش قابل تقسیم است. دسته اول ساختمان‌های شمالی - جنوبی که قدیمی‌تر و در ارتباط با گسل‌های پی‌سنگی است و دسته دوم ساختمان‌های شمال باختری - جنوب خاوری که در ارتباط با چین‌خوردگی زاگرس (میوسن میانی) هستند و بر روی ساختمان‌های قدیمی‌تر شکل گرفته‌اند (Talbot & 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 کمربند در کرتاسه پسین آغاز و ناشی از فرارانش افیولیت‌ها بر روی حاشیه شمال خاوری قاره عربی است، 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 ± 2 mm/yr نسبت به صفحه اوراسیا 5 ± 8 N در حال حرکت است (Vernant et al., 2004). این همگرایی در برگرنده کوتاه‌شدگی درون‌قاره‌ای در سرتاسر ایران به جز مکران است. سرعت کوتاه‌شدگی از جنوب زاگرس به سمت شمال کاهش می‌یابد که معرف جابه‌جایی راستالغز راست‌رو در امتداد مرز شمال خاوری کوهستان‌های زاگرس است (Vernant et al., 2004; Talebian & Jackson, 2002).

۴) گروه متحرک بالایی (نمک میوسن یا سازند گچساران) (Upper mobile group)
 ۵) گروه نامقاوم (میوسن تا ملامس‌های اخیر شامل سازندهای میشان، آغا‌جاری 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 (McQuillan, 1974). این ستون چینه‌شناسی اساساً یک سنتز کلی در سرتاسر زاگرس است 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 چین‌خورده رانده زاگرس نیست (Sherkati & Letouzey, 2004).

بررسی‌های صورت گرفته در این نوشتار بر پایه اطلاعات حاصل از چاه‌ها، مطالعات پیشین و خطوط لرزه‌ای منجر به رسم یک ستون چینه‌نگاری مکانیکی در محدوده مورد مطالعه شد (شکل ۳-الف و ب).

در منطقه مورد مطالعه، تناوبی از واحدهای مقاوم و نامقاوم دیده می‌شود که واحدهای شکل‌پذیر نقش سطوح گسستگی را ایفا می‌کنند. اصلی‌ترین سطح جدایش در منطقه، رسوبات پالئوزوئیک زیرین Lower Paleozoic است که با کاهش اصطکاک بین پی‌سنگ و پوشش رسوبی به عنوان سطح گسستگی قاعده‌ای ایفای نقش می‌کند. سطح گسستگی بالایی در منطقه رسوبات سازند گچساران است. سازندهای شکل‌پذیر کژدمی، گرو و گوتیا، سازند دشتک و سرگلو سطوح گسستگی میانی هستند که به علت داشتن ترکیب سنگی نامقاوم بین دیگر واحدهای مقاوم، هندسه و سبک چین خوردگی را با فعالیت خود کنترل می‌کنند.

۴- الگوی چین خوردگی در تاق‌دیس زیرسطحی آغا‌جاری

به منظور شناخت دقیق هندسه چین خوردگی در تاق‌دیس آغا‌جاری، ۹ خط لرزه‌ای عمود بر محور ساختمان از پلاژ جنوب خاوری به سمت مرکز و در ادامه تا پلاژ شمال باختری ساختمان به گونه‌ای انتخاب شدند که کل ساختار را تحت پوشش قرار دادند و با فرض افزایش شدت دگرشکلی از پلاژ تاق‌دیس به سوی مرکز آن می‌توان روند چین خوردگی و نحوه تکامل تاق‌دیس را در طول زمان دنبال کرد (شکل ۴).

۵- شناسایی افق‌های زمین‌شناسی و استانداردسازی خطوط لرزه‌ای

با توجه به بررسی خطوط لرزه‌ای، سه افق زمین‌شناسی آسماری، سروک و فهلیان به علت داشتن ترکیب سنگی آهکی و مقاوم بین واحدهای با مقاومت کمتر، بازتابنده‌های (Reflectors) بهتری را نمایش می‌دهند. افق آسماری بی‌فاصله پس از سازند گچساران که از نظر سنگ‌شناسی بیشتر شامل تناوبی از انهدریت، مارن، نمک و باندهای نازک آهک است، بر روی خطوط لرزه‌ای با بازتاب‌پذیری بالا قابل مشاهده است. همچنین بر روی سازند آهکی سروک که پس از شیل‌های سازند گورپی قرار گرفته است، به آسانی می‌توان بازتابنده (رفلکتور) لرزه‌ای را دنبال کرد. سازند آهکی فهلیان نیز به عنوان سومین افق بازتابی در حد جدایش با سازند گدوان، بازتابنده خوبی را نمایش می‌دهد. برای شناسایی موقعیت سرسازندهای بیان‌شده بر روی خطوط لرزه‌ای، کالیبراسیون خطوط ضروری است. هدف از انجام این کار تطابق بین داده‌های به‌دست آمده از چاه و خطوط لرزه‌ای است، بنابراین اطمینان از موقعیت صحیح محل چاه و به دنبال آن مکان سرسازندهای زمین‌شناسی یادشده، میزان خطا در مرحله تفسیر را کاهش می‌دهد. برای انجام کالیبراسیون با در دست داشتن مقدار زمان رفت و برگشت موج لرزه‌ای و ارتفاع سطح زمین در چاه ۱۴۰ آغا‌جاری و به کمک مقادیر عددی سطح مبنا (Datum) و سرعت جایگزین (Replacement Velocity) به‌دست آمده از اطلاعات ژئوفیزیکی، موقعیت سرسازندهای یادشده مشخص شد (شکل ۵).

افزون بر تنوع رخساره‌ای و تغییرات ستبراء، چندین ناپوستگی محلی و ناحیه‌ای مرتبط با همگرایی مداوم و فعالیت دوباره گسل‌های واقع در ژرفای پی‌سنگ زاگرس میان زمان‌های کرتاسه پسین و میوسن پیشین وجود دارد (Berberian & King, 1981; Koop & Stoneley, 1982). Hesami et al. (2002) ناپوستگی‌های محلی پس از ائوسن (Post-Eocene) را مستند دانسته و آنها را به آغاز چین‌خوردگی و برآمدگی در شمال خاور کمر بند زاگرس که به طرز پیش‌رونده‌ای به سمت جنوب-باختر پراکنده شده، نسبت داده‌اند. کمر بند چین‌خورده روانده زاگرس به چندین بخش که از نظر مدل ساختاری و تاریخ رسوبی متفاوتند، تقسیم شده است (Berberian & King, 1981; Falcon, 1974; Stocklin, 1968; مطیعی، ۱۳۷۲) (شکل ۱).

گستره مورد مطالعه (میدان آغا‌جاری) یکی از میدانی عظیم نفتی فروافتادگی دزفول است که در استان خوزستان و ۹۰ کیلومتری جنوب خاوری شهر اهواز قرار گرفته است. تاق‌دیس آغا‌جاری میان میدانی بازنان، رامشیر، مارون، کوپال، کرنج، منصورآباد و در محدوده جغرافیایی ۳۰' ۴۹° تا ۰۰' ۵۰° طول خاوری و ۳۰' ۳۰° تا ۱۰' ۳۱° عرض شمالی واقع شده است (شکل ۲).

فروافتادگی دزفول در جنوب باختری زاگرس در برگیرنده بیشتر میدان‌های نفتی تاق‌دیس ایران است. سامانه لایه‌بندی در این تاق‌دیس‌ها دارای شکستگی‌های فراوان حاصل از چین‌خوردگی نئوژن زاگرس است که موجب افزایش کیفیت مخزنی شده است (Mc Quillan, 1973; Ahmadhadi et al., 2007). از کرتاسه تا میوسن در کمر بند چین‌خورده زاگرس مخازن نفتی بسیاری را به‌ویژه در بخش فروافتادگی دزفول می‌توان تشخیص داد. اصلی‌ترین این مخازن شامل مخازن 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 فروافتادگی دزفول را تعیین می‌کنند. در شمال، منطقه خمشی (Flexure zone) با جهت خاوری-باختری به نام بالارود، در شمال خاوری، پهنه خمشی جبهه کوهستانی که راستایی شمال باختری-جنوب خاوری دارد و در حد خاور و جنوب خاوری یک پهنه پیچیده خمشی و گسلی با امتدادی شمالی-جنوبی به نام زون گسلی کازرون قرار دارد. این فروافتادگی را باید حوضه‌ای رسوبی با فرورفتند تدریجی در جنوب کمر بند چین‌خورده زاگرس دانست (Berberian, 1995) (شکل ۱).

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

تکامل ساختاری سامانه چین‌خوردگی گسلش در کمر بند چین‌خورده-رانده زاگرس به چینه‌شناسی، ویژگی مکانیکی سنگ‌ها و دوام و شدت دگرشکلی بستگی دارد (Sherkati et al., 2005; Sepehr & Cosgrove, 2005; Emami et al., 2010). از این میان ویژگی مکانیکی سنگ‌ها و سطوح جدایش تأثیر بسیار مهمی را بر هندسه نهایی ساختارها و جنبش سامانه گسل‌های رانده دارد (Bahroudi & 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, 1957) اولین کسی بود که نقش و اهمیت چینه‌شناسی مکانیکی را در زاگرس تأکید کرد. وی ستون چینه‌شناسی زاگرس را از دیدگاه ویژگی‌های مکانیکی واحدهای چینه‌ای و رفتار رسوبات حین دگرشکلی به پنج گروه تقسیم‌بندی کرد:
 ۱) گروه پی‌سنگی (پی‌سنگ بلورین پان‌افریکن) (Basement group)
 ۲) گروه متحرک پایینی (نمک هرمز به سن پرکامبرین پسین - کامبرین) (The lower mobile group)
 ۳) گروه مقاوم (کامبرین تا رسوبات سکوی میوسن پایینی) (Competent group)

۶- تفسیر خطوط لرزه‌ای

پس از شناسایی بازتابنده‌های مربوط به رأس سازندهای موجود در منطقه مورد مطالعه (افق‌های زمین‌شناسی گچساران، آسماری، سروک و فهلیان) که با استفاده از داده‌های حفاری و لاگ سونیک چاه‌ها نیز تأیید شده‌اند، فرایند تفسیر خطوط لرزه‌ای آغاز شد. به این ترتیب که در بخش‌هایی که کیفیت خطوط لرزه‌ای خوب است، توسط رنگ‌هایی که هر رنگ معرف یک افق زمین‌شناسی است، با دنبال کردن آنها بر روی مقاطع، افق‌های گفته شده تفسیر شد و در مناطقی از مقطع که کیفیت لرزه‌ای افت پیدا می‌کند، با استفاده از روش مطابقت بازتابنده‌ها (Jump correlation) پدیده‌های مورد نظر ردیابی شد (شکل ۶- الف تا ط).

۷- تحلیل سرعت

سرعت، متغیری مهم در روش لرزه‌ای است که مفسر، از آن برای تشخیص ترکیب سنگی و فرایند تبدیل زمان به ژرفا استفاده می‌کند. روش‌های متفاوتی به منظور محاسبه سرعت برای افق‌های زمین‌شناسی موجود است. در میدان آغاچاری از مدل سرعتی Layer Cake که نتایج دقیق‌تری را نسبت به دیگر روش‌ها ارائه می‌دهد استفاده شده است. سرعت میان لایه‌ای برای سه افق زمین‌شناسی آسماری، سروک و فهلیان که به عنوان افق‌های اصلی در نظر گرفته شده‌اند، محاسبه شده است. بدین منظور ابتدا زمان رفت و برگشت موج از سطح زمین تا افق آسماری، سپس از افق آسماری تا سروک و در پایان از افق سروک تا فهلیان در نظر گرفته شده و با توجه به ستبرای سازندها در چاه‌های موجود در منطقه و نواحی اطراف آن، اعداد سرعت سیر موج برای هر افق محاسبه شد. در این مرحله پس از رسم نمودارهای مسافت-زمان، با توجه به شیب نمودار که معرف سرعت میان لایه‌ای است، مقدار سرعت در هر افق زمین‌شناسی به دست آمده است (شکل ۷- الف تا ج).

۸- تبدیل به ژرفا (Depth Conversion)

مقاطع لرزه‌ای تفسیر شده طی فرایندی به ژرفا تبدیل شدند. پس از محاسبه سرعت میان لایه‌ای و با توجه به مدت زمان رفت و برگشت (Two Way Time) سیگنال‌های لرزه‌ای در هر shot point، ژرفای سراسازندها با استفاده از رابطه $X=VT/2$ مشخص شد (شکل ۸).

مدت زمان رفت و برگشت = T سرعت میان لایه‌ای = V ژرفای سراسازندها = X

۱۱- نتیجه‌گیری

در منطقه مورد مطالعه تناوبی از واحدهای مقاوم و نامقاوم دیده می‌شود که واحدهای شکل‌پذیر نقش سطوح جدایشی را ایفا می‌کنند. اصلی‌ترین سطح جدایش، رسوبات پالئوزوییک زیرین هستند که با کاهش اصطکاک بین پی سنگ و پوشش رسوبی به عنوان سطح گسستگی قاعده‌ای ایفای نقش می‌کنند. سازندهای شکل‌پذیر کژدمی، گرو و گوتیا، سازند دشتک و سرگلو سطوح گسستگی میانی هستند که در شرایط کاهش کارایی سطح گسستگی قاعده‌ای در تعدیل کوتاه‌شدگی ناشی از برخورد، با فعالیت خود هندسه و سبک چین‌خوردگی را کنترل می‌کنند. به‌طور کلی در مناطق پر شیب، سازوکار لغزش لایه‌ها به موازات لایه‌بندی است اما با توجه به نابرابری مقاومت برشی سطوح گسستگی میانی با واحدهای آهکی واقع در بالا و پایین آنها، واحدهای یادشده توان تحمل چین‌خوردگی را نداشته و به دلیل کم بودن مقاومتشان در برابر برش، لغزش میان لایه‌ای زودتر از لایه‌های آهک در آنها رخ می‌دهد. سطوح گسستگی میانی ضمن تغییر شکل هندسه چین‌خوردگی باعث ستبر شدن واحدهای رسوبی نامقاوم شده و در برخی بخش‌ها، تغییر موقعیت محور سطحی و ژرفایی تاقدیس آغاچاری را به همراه دارند.

بررسی نیمرخ‌های لرزه‌ای تفسیر شده نشان می‌دهد که به دلیل فشار حاصل از چین‌خوردگی در رسوبات زیرسازند آسماری که مستقل از رسوبات عضو ۶ سازند

۹- رسم برش‌های ساختمانی

با توجه به اطلاعات و شواهد به دست آمده از داده‌های ژئوفیزیکی حاصل از لرزه‌نگاری سه‌بعدی و داده‌های حفاری چاه که توسط اداره مدیریت اکتشاف (شرکت ملی نفت ایران) در اختیار قرار گرفته است و تفسیر خطوط لرزه‌ای و مراحل تبدیل به ژرفای آنها و وضعیت چینه‌شناسی منطقه، به منظور دنبال کردن مراحل تکامل چین‌خوردگی از پلانژ خاوری به مرکز و سپس به سوی پلانژ باختری تاقدیس آغاچاری، برش‌های زمین‌شناسی ساختمانی رسم شد. در این روش بخش‌هایی از افق‌های زمین‌شناسی آسماری، سروک و فهلیان با توجه به بازتاب‌پذیری (رفلکتیویتی) قوی آنها که بر روی خطوط لرزه‌ای دنبال می‌شوند پس از تبدیل به ژرفا، دقیقاً بر روی برش‌های زمین‌شناسی پیاده شد و در بخش‌هایی که به دلیل کیفیت نامطلوب خطوط لرزه‌ای، اطلاعات لرزه‌ای پاسخگو نبود، با استفاده از تفسیر ساختمانی، مقاطع تکمیل شد (شکل ۹- الف تا ط).

۱۰- بحث

با افزایش شدت چین‌خوردگی از پلانژ تاقدیس به سمت مرکز آن که با افزایش میزان کوتاه‌شدگی همراه است و به منظور تحلیل جنبشی چین‌خوردگی از مراحل اولیه تا

هندسه باز و مدور چین، گسل راندگی در یال جنوبی، حضور ناودیس در فرودیواره و وجود واحدهایی با رفتار دگرشکلی متفاوت در منطقه مورد مطالعه از جمله دلایلی است که سازوکار چین خوردگی چین جدایشی گسل خورده را تأیید کرده است. بررسی مقاطع ساختمانی رسم شده و متغیرهای به دست آمده از آنها نشان می‌دهد که شیب یال‌ها از پلانژ خاوری به سمت مرکز تاقدیس در حال افزایش است و دوباره از مرکز به سمت پلانژ باختری در حال کاهش است. با افزایش شیب، طول یال نیز تا بخش میانی تاقدیس روند افزایشی دارد و با حرکت به سمت پلانژ باختری کاهش می‌یابد.

سپاسگزاری

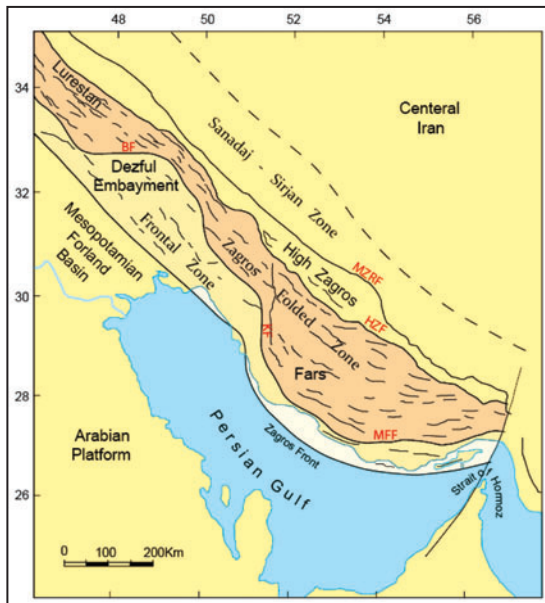
داده‌های استفاده شده در این پژوهش با حمایت‌های مدیریت اکتشاف (شرکت ملی نفت ایران) در اختیار قرار گرفته است. بدین وسیله از تمام عزیزانی که در تدوین این پژوهش ما را یاری کرده‌اند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. از داوران محترم مجله علوم زمین نیز برای پیشنهادات سازنده‌ای که موجب ارتقای سطح علمی مقاله شد، سپاسگزاری می‌شود.

گچساران شروع به چین خوردن کرده‌اند، رسوبات عضوهای ۲ تا ۵ سازند گچساران در حد فاصل بین تاقدیس آغاچاری تا عضو ۶ گچساران شروع به شارش و کنار رفتن می‌کنند. در نتیجه، وجود ساختار گوه‌مانند و ستر شدن رسوبات گچساران در یال‌ها و نازک شدن آن در خط الرأس تاقدیس که باعث ایجاد یک واگرایی (Divergence) بین افق آسماری و گچساران (عضو ۶) شده است، تأیید می‌شود.

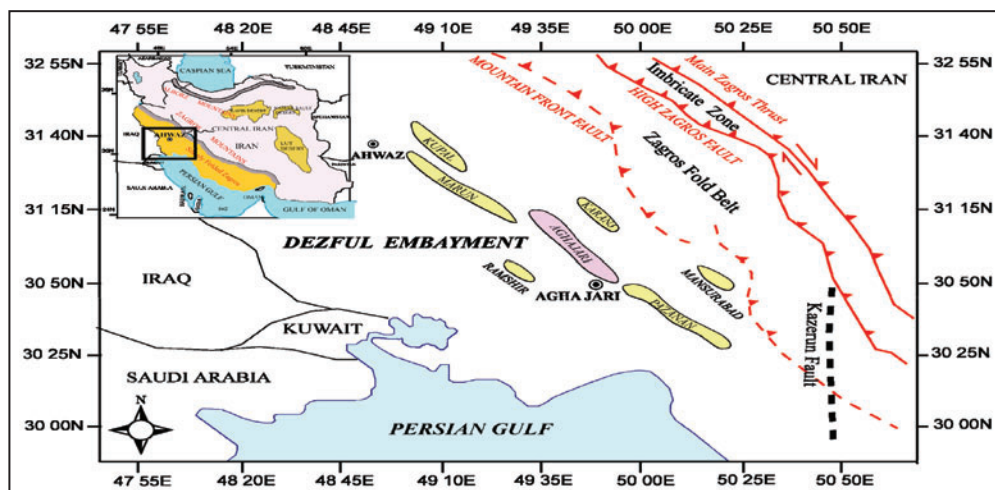
وجود راندگی در یال جنوبی تاقدیس آغاچاری و پرشیب بودن یال جنوبی نسبت به یال شمالی بر روی مقاطع لرزه‌ای به اثبات رسیده است.

تاقدیس در آغاز چین خوردگی کوچک است و در هنگام رشد چین و افزایش شیب بزرگ‌تر می‌شود. تغییر در شیب یال‌های تاقدیس و جابه‌جایی موقعیت لولا در حین رشد چین، فعال بودن دو سازوکار اصلی (چرخش یال‌ها و مهاجرت لولا) را برای رشد چین جدایشی نشان می‌دهد. این نشان می‌دهد که چین در مراحل ابتدایی یعنی در پلانژ خاوری با سازوکار چین جعبه‌ای شروع به رشد می‌کند، در مراحل پیشرفته چین خوردگی که بخش میانی تاقدیس است به چین جناغی تبدیل می‌شود و دوباره به سمت پلانژ باختری به چین جعبه‌ای تغییر می‌یابد.

بررسی و مقایسه نتایج به دست آمده از مجموعه روش‌های کاربردی نشان می‌دهد،



شکل ۱- موقعیت زمین‌ساختی کمربند چین‌خورده- رانده زاگرس. کمربند زاگرس با توجه به ویژگی‌های فیزیوگرافیک، میزان کوتاه‌شدگی و تغییرات رخساره رسوبی به بخش‌هایی تقسیم شده است مانند زاگرس مرتفع (HZ)، کمربند به‌سادگی چین‌خورده (SFB)، فروافتادگی دزفول (DE)، فارس (F) و لرستان (L). مرز میان این نواحی تقریباً به وسیله گسل‌های اصلی مشخص شده است مانند گسل کازرون (K)، گسل بالارود (BL)، گسل زاگرس مرتفع (HZF)، گسل اصلی زاگرس (MZRF) و گسل جبهه پیشانی کوهستان (MFF).



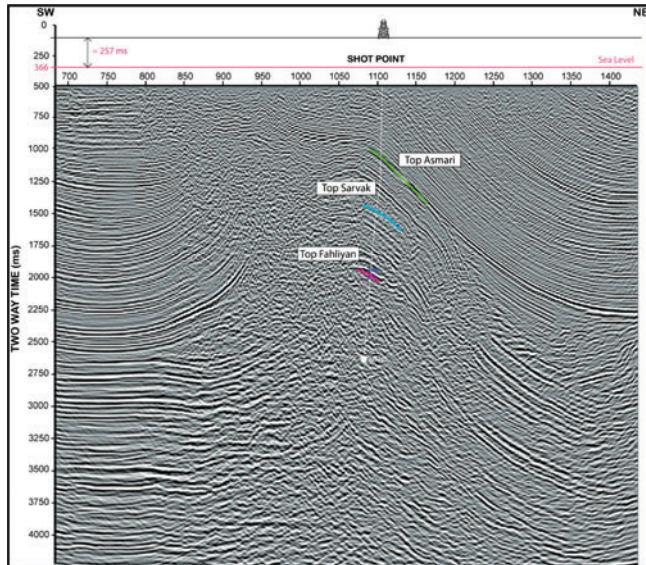
شکل ۲- موقعیت میدان نفتی آغاچاری و میداین مجاور آن در فروافتادگی دزفول.

AGE	CENOZOIC		MESOZOIC		
	NEOGENE	PALEOGENE	CRETACEOUS	JURASSIC	TRIASSIC
CHARACTERISTIC STRUCTURAL FEATURES			 		
	<p>Terrestrial, massive conglomerate, sandstone, limestone, calcareous shale and siltstone, sometimes conglomerate</p> <p>Gray marl with intercalations of argillaceous limestone</p> <p>Marl, anhydrite, few salts, sometimes sandstone and limestone</p> <p>Cream to gray Limestone, Dolomite limestone and dolomite</p>	<p>Gray marl and calcareous shale, with intercalations of argillaceous Limestones</p>	<p>limestones, sometimes gray shales</p> <p>Gray marl and shale with interbedded argillaceous limestone</p> <p>Gray to brown limestone</p> <p>Alternation of gray to green marl and limestones</p> <p>Massive to thick bedded limestone</p> <p>Anydrite and gray shale</p> <p>Limestone</p> <p>Alternation of limestone and gray shale</p> <p>Alternation of anhydrite and limestone</p> <p>Limestone</p> <p>Alternation of anydrite and dolomite, sometimes gray shale</p> <p>Dolomite, sandy Dolomite, Shale and Argillaceous Limestone</p>	<p>Evaporite deposits, Anhydrite, Dolomite and Shale</p>	<p>Thin to medium bedded gray to cream Limestones and dolomite</p>
FORMATION	<p>Alibabum</p> <p>Bakhtiari</p> <p>Agha jari</p> <p>Mishan</p> <p>Chahbazan</p> <p>Asmari</p>	<p>Pabdeh</p>	<p>Gurpi & Ilam</p> <p>Sarvak & Kazhdumi</p> <p>Darian</p> <p>Gadvan & Fahlian</p> <p>Gomia</p> <p>Naimah</p> <p>Sargelu</p> <p>Alan</p> <p>Mus</p> <p>Adalyeh</p> <p>Neyriz</p>	<p>Dashtak</p>	<p>Kangan</p>
LITHOTYPE					

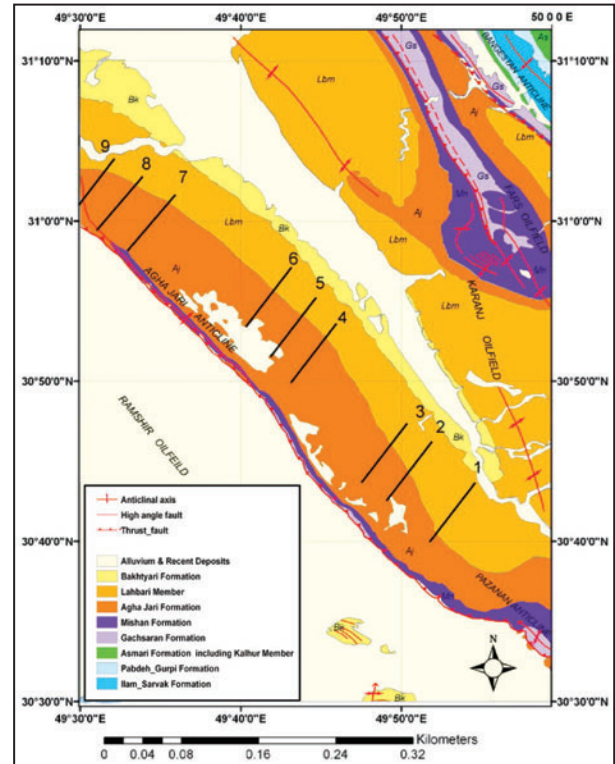
Stratigraphic gap

AGE	PALEOZOIC				
	PERMIAN	CARBONIFEROUS	DEVONIAN	SILURIAN	ORDOVICIAN
CHARACTERISTIC STRUCTURAL FEATURES					
	<p>Massive bedded fossiliferous carbonates with minor evaporites</p>	<p>Coarse grained, cross bedded quartz arenites interbedded with varicoloured shales. Contact with the overlying carbonates is gradational.</p>		<p>Ordovician and Silurian Shales, Olive green Shales with intercalations of Sandstone, Seyahou and sarchahan equivalents</p>	<p>Thick salt layers interbedded with dolomites</p>
FORMATION	Dalan	Faraghan	Zakeen	Sarchahan	Seyahou
LITHOTYPE					
الف	<p><i>Neo-Tethys rift unconformity</i></p> <p><i>Hercynian unconformity</i></p>				
	<p>Lower Paleozoic Shales</p> <p>Lower Pz</p> <p>Mila, Lalun, Zaijuni & Bani</p> <p>ARABIAN BASEMENT</p>				

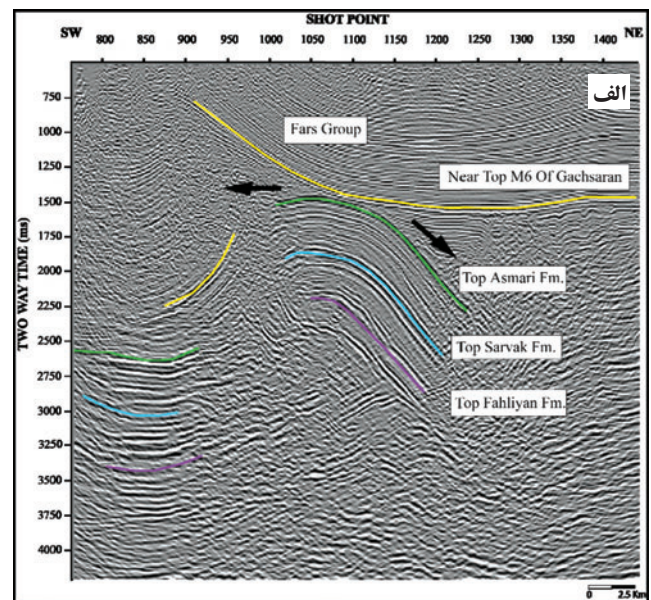
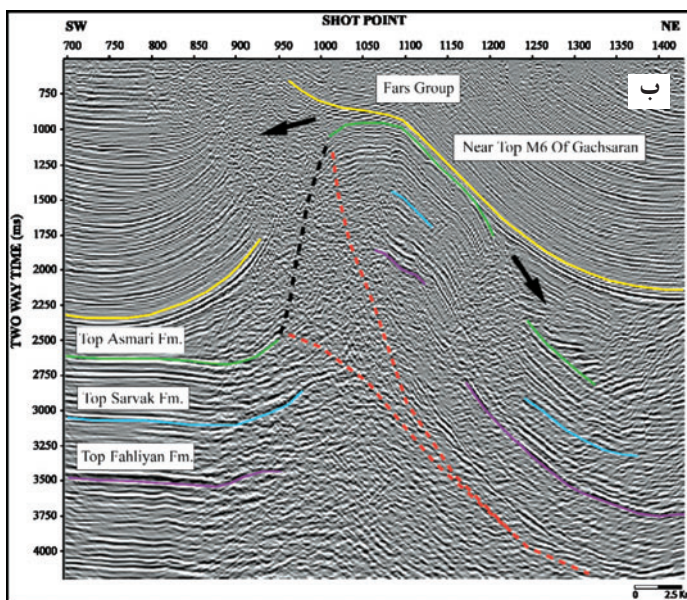
شکل ۳- الف) ستون چینه‌شناسی زاگرس در زمان پالئوزوئیک (فروافتادگی زاگرس) (برگرفته از مطیعی (۱۳۷۲)؛ Molinaro (2005)؛ ب) ستون چینه‌شناسی زمین‌ساختی زاگرس در فروافتادگی ذرفول.



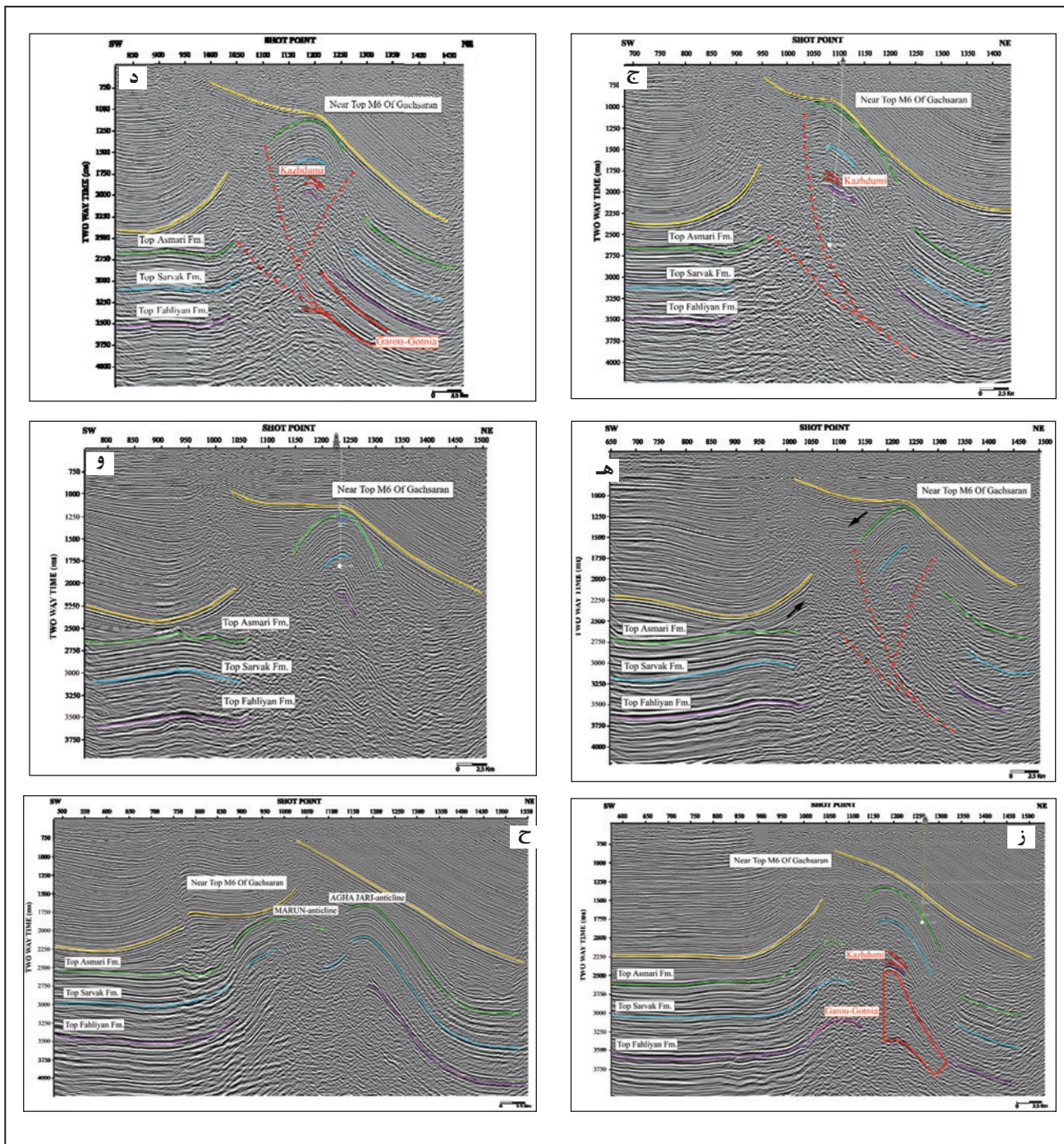
شکل ۵- شناسایی افق‌های لرزه‌ای سر سازندهای آسماری، سروک و فهلیان بر روی مقطع لرزه‌ای پس از انجام استانداردسازی با استفاده از اطلاعات چاه ۱۴۰.



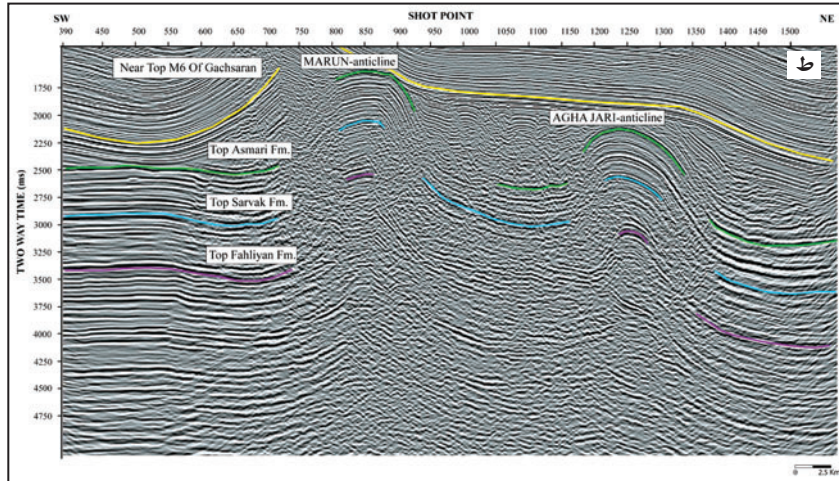
شکل ۴- نقشه زمین شناسی محدوده تاقدیس آغاچاری و نمایش موقعیت خطوط لرزه‌ای مورد استفاده.



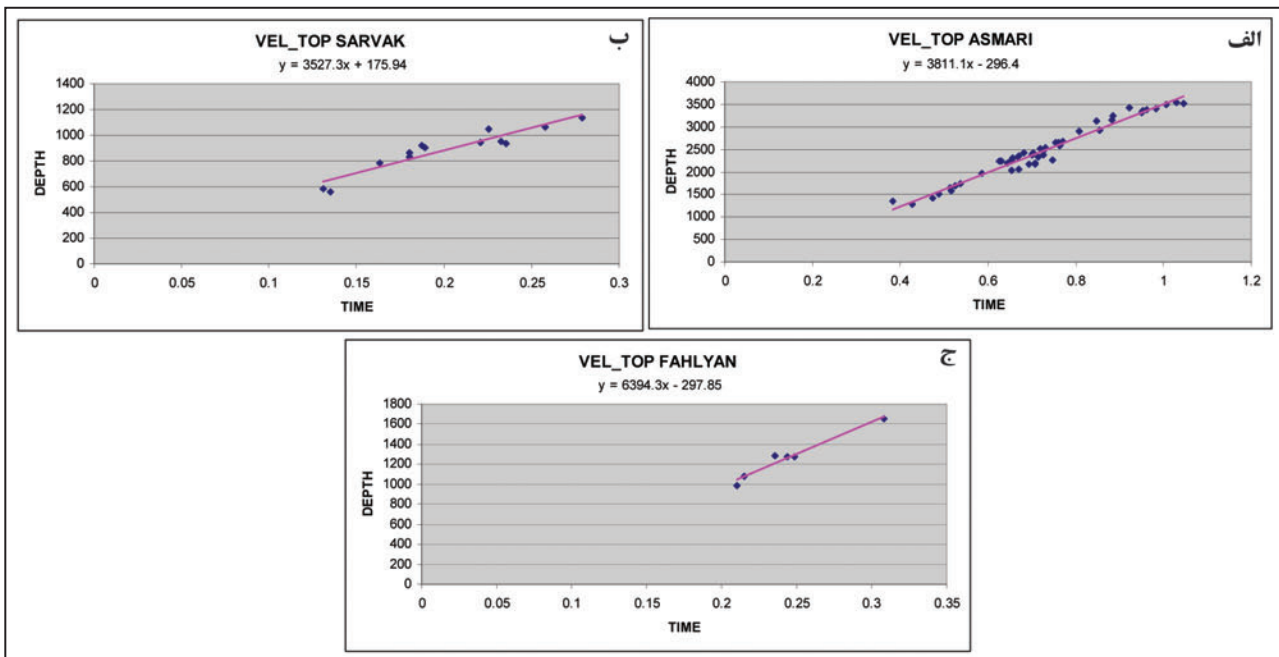
شکل ۶- الف) مقطع لرزه‌ای زمانی تفسیر شده (برای موقعیت خط شماره ۱ به شکل ۴ مراجعه فرمایید). در مقطع شماره ۱ اولین مراحل چین خوردگی در محدوده پلاژ جنوب خاوری تاقدیس آغاچاری نشان داده شده است. روی هم قرار گرفتن ساختمان ناودیس گروه فارس و ساختمان تاقدیسی در رسوبات زیر سرسازند آسماری در این مقطع به خوبی دیده می‌شود. در اینجا چین خوردگی رسوبات در زیر سرسازند آسماری، تأثیری روی رسوبات گروه فارس ندارد. رسوبات عضوه‌های ۲ تا ۵ سازند گچساران در خط‌الرأس تاقدیس آغاچاری شروع به شارش و کنار رفتن می‌کنند. فرار رسوبات توسط پیکان‌های مشکی نمایش داده شده است. در نتیجه، ساختار گوه‌مانند و ستبر شدن رسوبات گچساران در یال‌ها و نازک شدن آنها در خط‌الرأس تاقدیس به خوبی دیده می‌شود که باعث ایجاد یک واگرایی (Divergence) بین افق آسماری و گچساران (عضوه ۶) شده است. ب) مقطع لرزه‌ای زمانی تفسیر شده (شماره ۲ در شکل ۴). با پیشرفت دگرشکلی و افزایش کوتاه‌شدگی، دامنه چین افزایش یافته است. در اثر برخورد بین سازند گچساران (عضوه ۶) و سرسازند آسماری، رسوبات گروه فارس شروع به چین خوردن می‌کنند. احتمالاً "تصویرسازی نامناسب از یال جنوب باختری تاقدیس آغاچاری به دلیل وجود یک راندگی در زیر ساختمان آغاچاری است که به سمت شمال خاور شیب دارد و بر پرشیب شدن یال جنوب باختری تأثیر گذاشته است (یال جنوب باختری تاقدیس به صورت نقطه چین مشکی رنگ نمایش داده شده است).



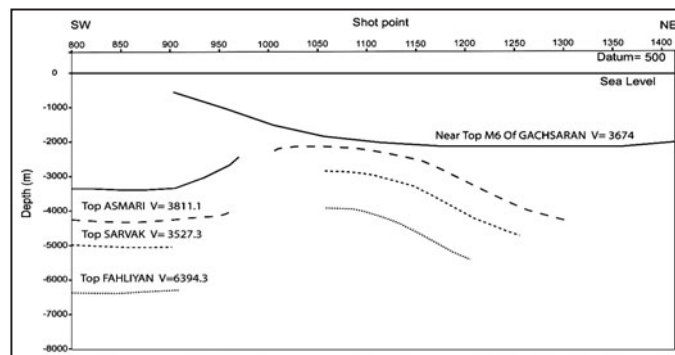
شکل ۶-ج) مقطع لرزه‌ای زمانی تفسیر شده (شماره ۳ در شکل ۴). سازند شیلی کزدمی که میان دو افق آهکی و مقاوم سروک و فهلیان قرار گرفته به عنوان یک دکولمان میانی عمل کرده و باعث افزایش ستبرای رسوبات در این بخش شده است (به واگرایی بازتابنده‌های سرسازنده‌های سروک و فهلیان توجه شود). د) مقطع لرزه‌ای زمانی تفسیر شده (شماره ۴ در شکل ۴). افزون‌بر نقش سازند شیلی کزدمی که باعث جدایش میان گروه‌های مقاوم و نامقاوم و افزایش ستبرای رسوبات می‌شود، در گروه خامی نیز با توجه به عملکرد افق‌های گرو و گوتنیا که زیر افق فهلیان قرار گرفته‌اند، جدایش و افزایش ستبرای قابل مشاهده است. ه) مقطع لرزه‌ای زمانی تفسیر شده (شماره ۵ در شکل ۴). تمایل تاقدیس به سمت شمال تغییر یافته که احتمالاً "مرتب با مقاومت حاصل از حضور ساختار تاقدیس در جنوب تاقدیس آجاجاری است. احتمالاً" پیچش محوری تاقدیس در نقشه زمین‌شناسی شکل ۴ نیز مرتبط با تغییر در تمایل (vergence) ساختار است. و) مقطع لرزه‌ای زمانی تفسیر شده (شماره ۶ در شکل ۴). از شدت فشردگی تاقدیس آجاجاری کاسته شده است به گونه‌ای که نسبت به مقاطع پیشین، دامنه تاقدیس کاهش یافته است و تاقدیس بازتر به نظر می‌رسد. ز) مقطع لرزه‌ای زمانی تفسیر شده (شماره ۷ در شکل ۴). واگرایی افق‌های نامقاوم کزدمی گرو و گوتنیا معرف عملکرد این افق‌ها به عنوان سطوح گسسته میانی است که با توجه به کاهش میزان کوتاه‌شدگی نسبت به بخش‌های میانی تاقدیس و تصویرسازی ژرفایی بهتر ژئوفیزیکی قابل مشاهده هستند. ح) مقطع لرزه‌ای زمانی تفسیر شده (شماره ۸ در شکل ۴). افزون‌بر ساختمان آجاجاری، ساختمان تاقدیسی مارون در جنوب تاقدیس آجاجاری دیده می‌شود. این دو ساختار به صورت نردبانی در کنار هم قرار گرفته‌اند.



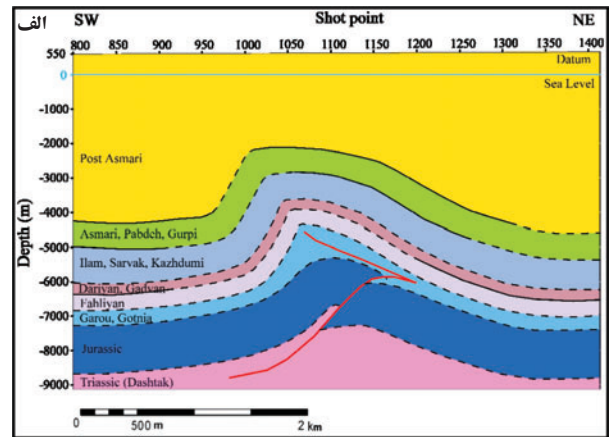
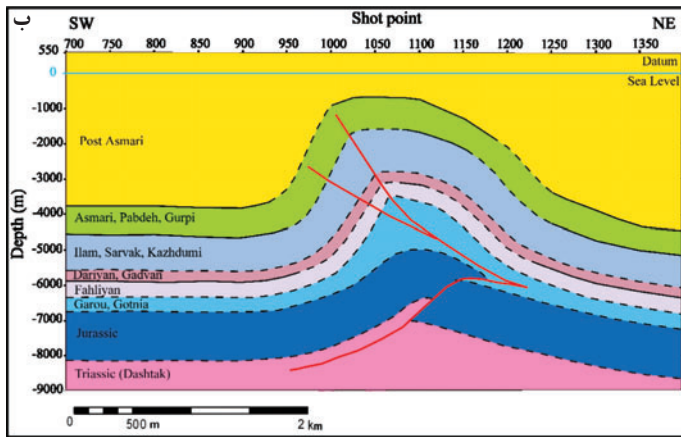
شکل ۶- ط) مقطع لرزه‌ای زمانی تفسیر شده (شماره ۹ در شکل ۴). در این تصویر ساختمان تاق‌دیزی مارون کامل تر شده و در مقایسه با مقاطع پیشین شدت چین خوردگی در تاق‌دیس آغا‌جاری به شدت کاهش یافته است.



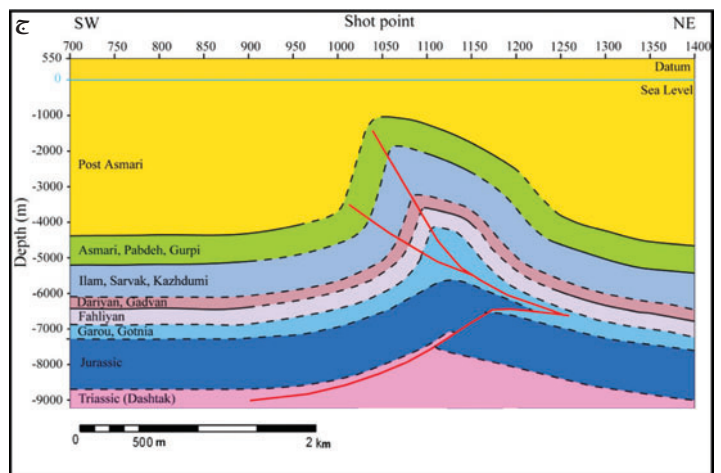
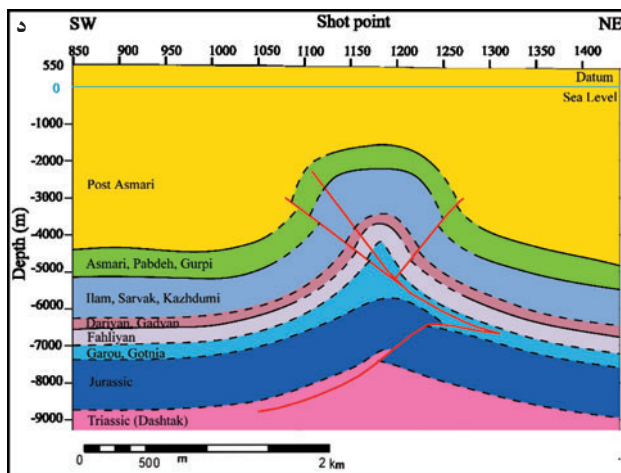
شکل ۷- الف) نمودار مسافت- زمان. شیب نمودار معرف سرعت میان‌لایه‌ای افق آسماری است، ب) نمودار مسافت- زمان. شیب نمودار معرف سرعت میان‌لایه‌ای افق سروک است. ج) نمودار مسافت- زمان و شیب نمودار معرف سرعت میان‌لایه‌ای افق فهلیان است.



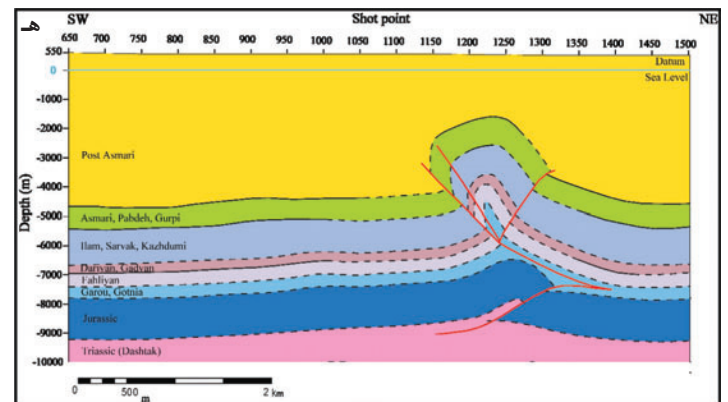
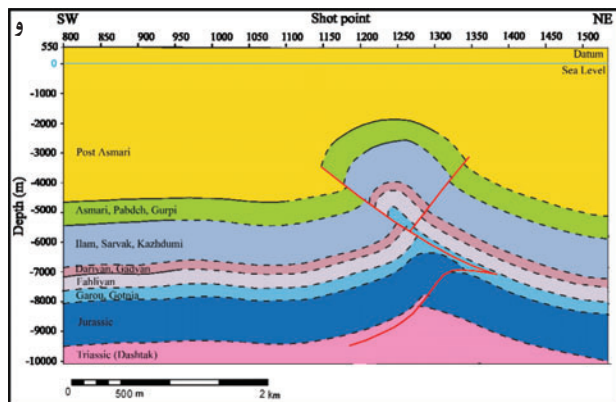
شکل ۸- مقطع لرزه‌ای زمانی تفسیر شده (شماره ۱ در شکل ۴) به ژرفا تبدیل شده است.



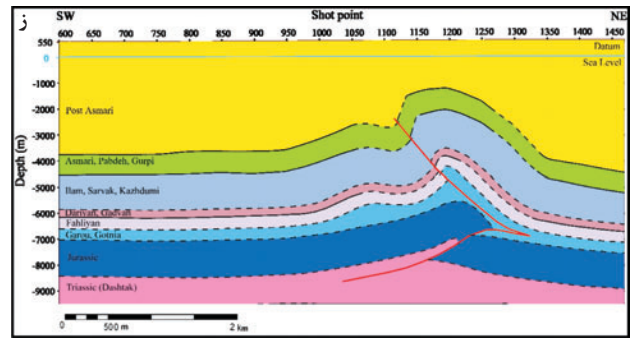
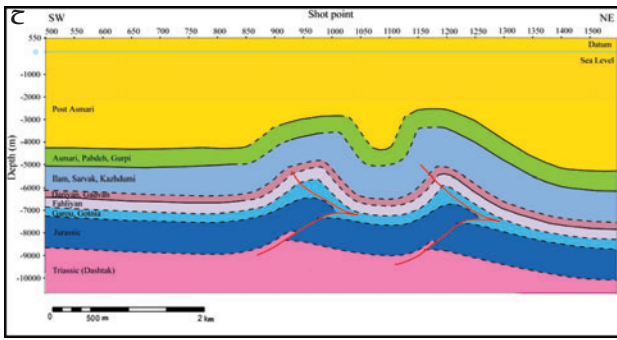
شکل ۹-الف) مقطع ساختمانی منطبق با خط شماره ۱ در شکل ۴. تصویر نشان دهنده اولین مراحل چین خوردگی تاقدیس آغاچاری است. در این مقطع، شیب یال جنوب باختری بیشتر از یال شمال خاوری است و همان گونه که در شکل نمایان است، ساختار تاقدیس به سمت جنوب باختر نامتقارن است و از افق آسماری تا فهلیان چین خوردگی به موازات هم صورت گرفته است. گسلش دست کم در افق های آسماری تا فهلیان به چشم نمی خورد. واگرایی سرسازندها در زیر سازند فهلیان نشان از گسلش و ستبر شدگی در افق گرو-گوتنیا به عنوان افق های گسسته میانی است. (ب) مقطع ساختمانی منطبق با خط شماره ۲ در شکل ۴. در این مقطع تاقدیس رشد بیشتری کرده که با افزایش بیشتر شیب یال ها همراه است. مرکز انحنا (Center of curve) در این بخش در رسوبات گرو و گوتنیا قرار دارد. رسوبات گرو و گوتنیا با توجه به ترکیب سنگی نامقاومی که دارند به عنوان یک دکولمان میانی عمل کرده و باعث افزایش ستبرای رسوبات در این بخش شده اند. در این مقاطع شکل چین شبیه به چین جمعی است.



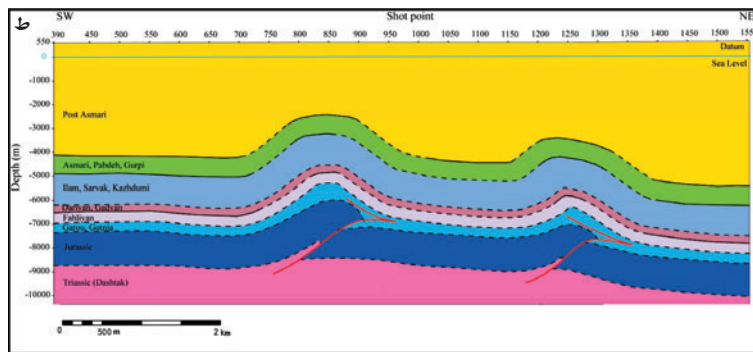
شکل ۹-ج) مقطع ساختمانی منطبق با خط شماره ۳ در شکل ۴. افزایش دامنه و شیب یال ها از جمله نکات مهم در این مقطع است که با افزایش کوتاه شدگی همراه بوده است. تغییر شکل هندسی چین و تمایل آن به شکل جناغی قابل ملاحظه است. (د) مقطع ساختمانی منطبق با خط شماره ۴ در شکل ۴. در این مقطع با افزایش دگرشکلی، گسلش در سازندهای آسماری تا فهلیان قابل انتظار است. شکل گیری گسلش در یال های شمالی و جنوبی موجب پدید آمدن هندسه Pop Up شده است. طول یال نیز به طور پیوسته افزایش یافته که معرف کارسازی مهاجرت لولا همراه با چرخش یال در تکامل چین است.



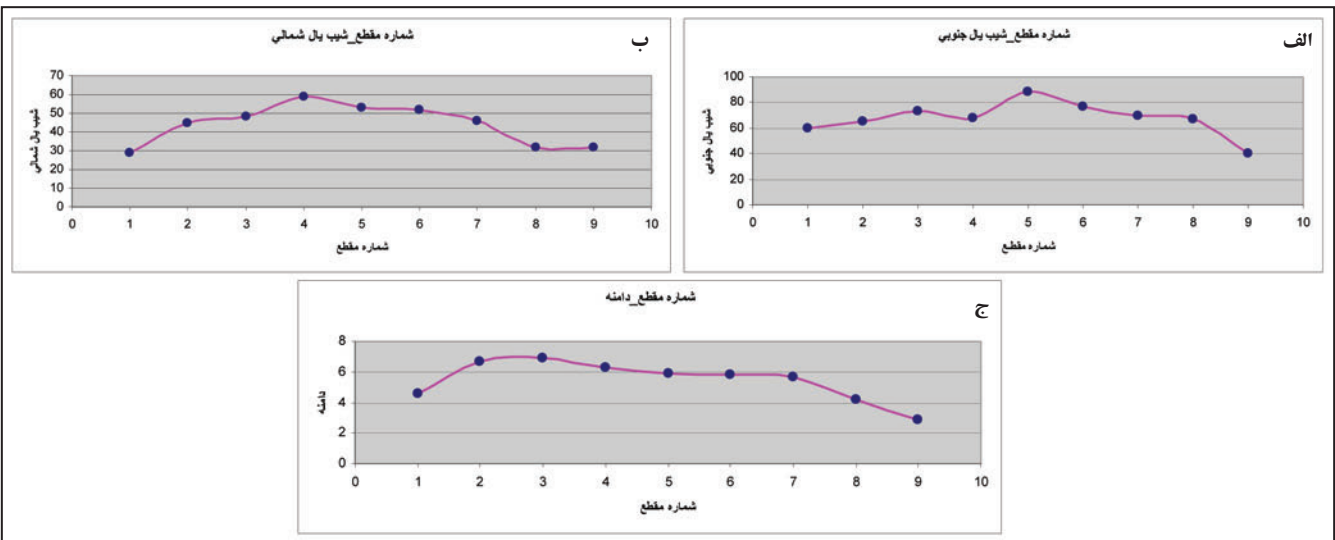
شکل ۹-ه) مقطع ساختمانی منطبق با خط شماره ۵ در شکل ۴. بیشینه کوتاه شدگی در این مقطع دیده می شود به گونه ای که تاقدیس در بخش میانی فشرده تر شده و طول موج به شدت کاهش یافته است و هسته تاقدیس به شکل کاملاً جناغی در آمده است. (و) مقطع ساختمانی منطبق با خط شماره ۶ در شکل ۴. میزان کوتاه شدگی با گذر از این مقطع دوباره شروع به کم شدن می کند که با کاهش شیب و طول یال ها همراه است. شدت شکل جناغی تاقدیس در مقطع پیشین نیز در این مقطع کمتر شده است.



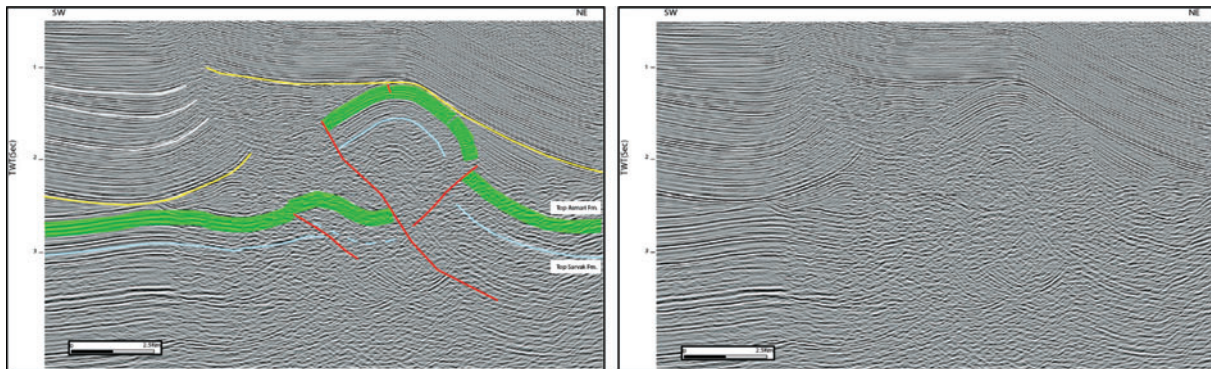
شکل ۹- ز و ح) مقطع ساختمانی منطبق با خط شماره ۷ و ۸ در شکل ۴. در این مقاطع روند کاهش کوتاه‌شدگی و کاهش شیب و طول یال‌ها همچنان ادامه دارد. ضمن این که اثر گسلس در یال جنوبی به تدریج محو می‌شود. در این مقطع به تدریج ساختمان تاقدیسی مارون در جنوب تاقدیس آغاچاری نمایان می‌شود.



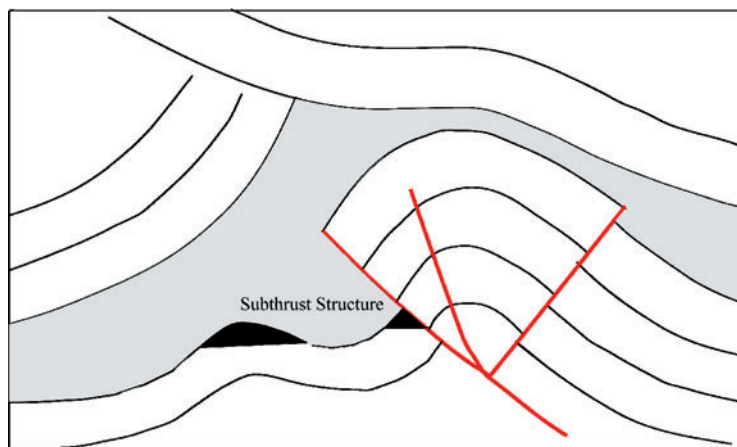
شکل ۹- ب) مقطع ساختمانی منطبق با خط شماره ۹ در شکل ۴. در این تصویر افزون بر ساختمان آغاچاری، ساختمان تاقدیسی مارون دیده می‌شود. این دو ساختار به صورت نردبانی در کنار هم قرار گرفته‌اند. در مقایسه با مقاطع پیشین شدت چین خوردگی در تاقدیس آغاچاری کاهش یافته است و در مقابل، تاقدیس مارون شدت چین خوردگی بیشتری دارد.



شکل ۱۰- الف و ب) نمودارهای میزان تغییرات شیب یال‌های شمالی و جنوبی بر روی مقاطع. همان‌گونه که در شکل‌ها مشخص است در مجموع روند تغییرات شیب یال‌ها با روند میزان تغییرات کوتاه‌شدگی رابطه مستقیم دارد. نوسانات موجود، احتمالاً "مرتبط با ضعف تصویرسازی ژرفایی لرزه‌ای ناشی از پیچیدگی ساختاری و عدم قطعیت در رسم مقطع ساختمانی است. ج) نمودار میزان تغییرات دامنه چین بر روی مقاطع. در این تصویر نیز ارتباط مستقیمی میان دو متغیر کوتاه‌شدگی و دامنه به چشم می‌خورد.



شکل ۱۱- مقطع لرزه‌ای زمانی از مکعب لرزه‌ای سه بعدی تاقدیس آغاچاری که گسترش ساختارهای اقماری پیرامون تاقدیس اصلی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- تصویری نمادین از الگوهای احتمالی در بخش‌های میانی تاقدیس که افزایش کوتاه‌شدگی و کاهش کیفیت خطوط لرزه‌ای مانع از تصویرسازی ژرفایی دقیق می‌شود. خطوط جدید سه‌بعدی بر روی تاقدیس آغاچاری (شکل ۱۱) تا حدودی احتمال گسترش ساختارهای اقماری مانند Footwall anticline و Subthrust structures را تأیید می‌کند که این ساختارها می‌توانند از دید ایجاد تله‌های هیدروکربوری ثانویه دارای اهمیت باشند.

جدول ۱- متغیرهای اندازه‌گیری شده برای بررسی میزان دگرشکلی تاقدیس آغاچاری

شماره مقطع	شیب یال شمالی	شیب یال جنوبی	دامنه	طول چین خوردگی	میزان کوتاه‌شدگی
۱	۲۹	۶۰	۴/۶	۲۸/۷	۲/۹
۲	۴۵	۶۵	۶/۷	۲۹/۶	۵/۴
۳	۴۸	۷۳	۶/۹	۳۲/۸	۵/۷
۴	۵۹	۶۸	۶/۳	۲۸/۳	۴/۶
۵	۵۳	۸۸	۵/۹	۲۶	۴/۵
۶	۵۲	۷۷	۵/۸	۲۶/۸	۴/۱
۷	۴۶	۷۰	۵/۷	۳۲/۶	۳/۶
۸	۳۲	۶۷	۴/۲	۲۱/۹	۳/۱
۹	۳۲	۴۰	۲/۹	۱۹/۷	۱/۲

References

- Ahmadhadi, F., Lacombe, O. & 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. & Roure, F. (eds) Thrust Belts and Foreland Basins: From Fold Kinematics to Hydrocarbon Systems. Springer, Berlin, 205-228.
- Bahroudi, A. & 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, p. 1-15.
- Berberian, M., 1995- Master Blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics* 241, 193-224.
- Berberian, M. & King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 210-265.
- Beydoun, Z. R., Hughes Clarke, M. W. & 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.
- Emami, H., Verges, J., Nalpas, T., Gillespie, P., Sharp, I., Karpuz, R., Blanc, E. P. & 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, & A. M. Spencer (Eds.), *Time and place in Orogeny* (pp. 9-22). London: Geological Society.
- Falcon, N., 1974- Southern Iran: Zagros mountains. In A. Spencer (Ed.), *Mesozoic-Cenozoic orogenic belts*. Geological Society of London, Special Publication 4, P. 199-211.
- Hesami, K., Koyi, H. A., Talbot, C. J., Tabasi, H. & 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. & Stoneley, R., 1982- Subsidence history of the Middle East Zagros Basin, Permian to Recent: *Phil. Trans. R. Soc. London, A* 305, p. 149-168.
- McQuillan, H., 1974- Fracture patterns on Kuh-e-Asmari anticline, Southwest Iran. *AAPG*, V. 58, No. 2, P. 236-246.
- 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.
- 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. & Cosgrove, J. W., 2005- Role of the Kazerun Fault Zone in the formation and deformation of the Zagros fold-thrust belt, Iran, *Tectonics*, 24, TC5005, doi: 10.1029/2004 TC001725.
- Sherkati, S. & 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, No. 5, p. 535-554.
- Sherkati, S., Molinaro, M., Frizon de Lamotte, D. & 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.
- Sherkati, S., Letouzey, J. & 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.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran. A review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52, 1229-1258.
- Talbot, C. & 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*, v. 235, p. 147-150
- Talebian, M. & 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.
- Vernant, Ph., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. & 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.