

تحلیل دگرریختی و بررسی سبک چین خوردگی در تاقدیس‌های مارون و کوپال بر پایه داده‌های لرزه‌ای بازتابی، جنوب فروبار دزفول

مهدی توکلی یرکی*^۱؛ سید احمد علوی^۲، محمدرضا قاسمی^۳، ایرج عبدالهی فرد^۴

۱- دانشجوی دکتری تکتونیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳- دانشیار پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور

۴- دکتری تکتونیک، مدیریت اکتشاف، شرکت ملی نفت ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۲۰

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۶/۲۵

چکیده

به دلیل اهمیت هیدروکربوری فروبار دزفول، مطالعات ساختاری این بخش از کمربند زاگرس همواره مورد توجه بوده است. هدف این پژوهش، تحلیل مراحل دگرریختی پیش‌رونده و سبک چین‌خوردگی واحدهای آسماری و ژرف‌تر از آن در میدان‌های نفتی مارون و کوپال است. در این راستا، چندین افق (از راس احتمالی کنگان تا پاره‌سازند ۶ گچساران) بر روی ۱۵ برش لرزه‌ای تفسیر شده‌اند تا الگوی مراحل دگرریختی در ساختمان‌های نامبرده مشخص شود. نتایج نشان می‌دهند که ابتدا چین‌خوردگی به صورت هماهنگ و نامتقارن حداقل از افق احتمالی کنگان تا آسماری روی داده و سپس با افزایش دگرریختی، گسل‌ها شکل گرفته‌اند. افزون بر این، طول موج و شکل چین در واحدهای جوان‌تر از گچساران با واحدهای قدیمی‌تر از این سازند تفاوت دارد. در سیر دگرریختی پیش‌رونده، شکل چین در ابتدا ملایم با منطقه لولای مدور بوده و سپس به تدریج به نوع باز با منطقه لولای زاویه‌دار تبدیل شده است. در خصوص فعالیت سطوح جدایشی میانی، ابتدا واحد تریاس دشتک و افق‌های ژوراسیک و سپس با پیشروی دگرریختی، افق گرو فعال شده است. بر پایه شواهد زیرسطحی موجود، چین‌خوردگی هر دو ساختمان مارون و کوپال مرتبط با گسل و از نوع جدایشی گسل خورده است. سازوکار جنبشی رشد چین در ساختمان مارون، ابتدا چرخش یال و سپس با افزایش دگرریختی، تلفیقی از دو سازوکار چرخش یال و مهاجرت لولا بوده در حالیکه در ساختمان کوپال، رشد چین تنها با سازوکار چرخش یال بوده است. هم‌چنین، یک قطعه‌بندی ساختاری بر پایه توزیع شدت دگرریختی و حضور عناصر ساختاری مشابه در گستره مورد مطالعه پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی: تاقدیس کوپال، تاقدیس مارون، چین جدایشی گسل خورده، زاگرس، فروبار دزفول.

مقدمه

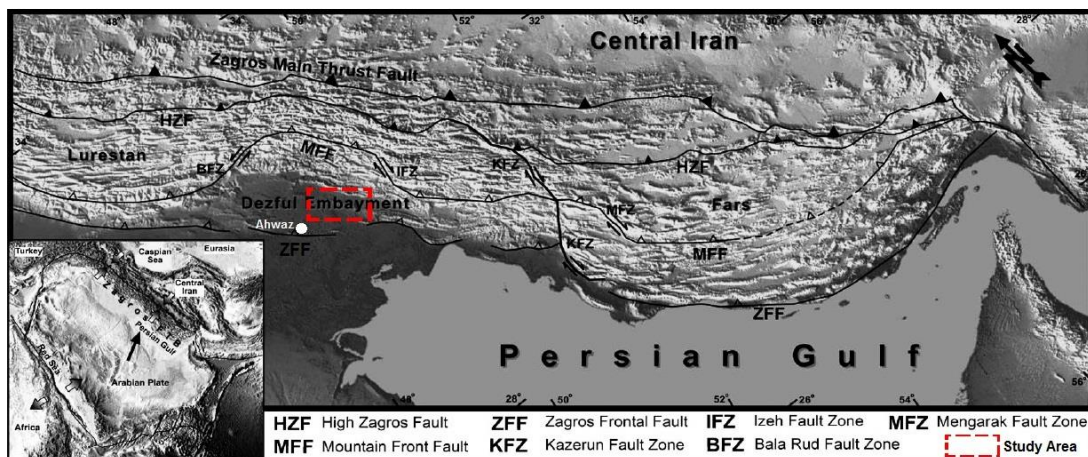
(شرکتی و لتوزه، ۲۰۰۴؛ شرکتی و همکاران، ۲۰۰۵؛ یزدانی و همکاران، ۱۳۸۵؛ خرازی زاده و همکاران، ۱۳۹۱) و گاهی انتشار گسلی (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۱) عنوان نموده‌اند. سپهر و کاسگرو (۲۰۰۴) با ارائه مدلی، تاقدیس‌های فروبار دزفول (زیر افق گچساران) را نتیجه وارون‌شدگی گسل‌های عادی پرمو-تریاس در پی‌سنگ معرفی کردند. در مقابل، برخی دیگر از پژوهشگران، یک لایه جدایشی (نمک یا شیل) در پالئوزوئیک زیرین (معادل سری هرمز) را برای گسل‌های همراه با این چین‌ها پیشنهاد داده‌اند (شرکتی و لتوزه، ۲۰۰۴). شوربختانه، شناخت از هندسه ساختارها در بخش‌های ژرف (برای نمونه افق‌های قدیمی‌تر از ژوراسیک) فروبار دزفول اندک است. بنابراین، هدف اصلی این پژوهش تحلیل دقیق‌تر دگرریختی و بررسی سبک چین خوردگی تاقدیس‌های مارون و کوپال به‌عنوان ساختارهای نمونه بر پایه برش‌های لرزه‌ای (Seismic Profiles) حاصل از اطلاعات لرزه‌نگاری سه بعدی است. هر دو تاقدیس یاد شده جزو میدان‌های اصلی نفتی فروبار دزفول در افق آسماری هستند که شدت دگرریختی متفاوتی دارند. به سبب پوشیده بودن سطح زمین از سازندهای جوان‌تر از میوسن و فعال شدن تبخیری‌های میوسن میانی (سازند گچساران) به‌عنوان سطح جدایشی اصلی، اطلاعات سطح زمین کمک چندانی به درک مساله نمی‌کند. به همین سبب از اطلاعات زیرسطحی خطوط لرزه‌ای و چاه‌های موجود استفاده شده است. افزون بر این، با در نظر گرفتن نبود مطالعات کافی در زمینه‌ی مراحل دگرریختی پیش‌رونده (Progressive Deformation) و همچنین سبک چین خوردگی، سعی شده است تا در این پژوهش به این نیازهای اساسی نیز پاسخ داده شود.

فروبار دزفول (Dezful Embayment) در کمربند چین‌راندگی زاگرس، به‌عنوان یک ایالت هیدروکربنی شناخته شده، درواقع یک حوضه پیش بوم (Foreland Basin) فرونشسته در پای گسل فعال پیشانی کوهستان (Mountain Front Fault: MFF) است که نتیجه فرونشینی آن جانمایی تا ۳۰۰۰ متر از رسوبات ضخیم سازندهای آغاچاری و بختیاری پس از الیگوسن بوده است (فالکن، ۱۹۷۴). چین خوردگی کمربند زاگرس و پیرو آن فروبار دزفول، نتیجه‌ی همگرایی و برخورد صفحه‌های عربی و ایران است (تکین، ۱۹۷۲؛ بربریان و کینگ، ۱۹۸۱). این فروبار ویژگی‌های متفاوتی به لحاظ زمین‌ریخت‌شناختی و ساختاری از پهنه‌های مجاور دارد که توسط گسل‌های ژرفی چون گسل پیشانی کوهستان، گسل کازرون و گسل پیش ژرفای زاگرس (Zagros Foredeep Fault: ZFF) از سایر مناطق تفکیک شده است (شکل ۱). در فروبار دزفول تبخیری‌های میوسن میانی (سازند گچساران) به‌عنوان یک افق جدایشی اصلی عمل کرده‌اند و چین‌های بالایی را (که هم اکنون در سطح زمین رخنمون دارند) از چین‌های زیرین خود جدا (Decoupled) نموده‌اند (أبرین، ۱۹۵۷؛ شرکتی و لتوزه، ۲۰۰۴). بیشتر مخازن هیدروکربنی این فروبار از نوع نفت‌گیرهای تاقدیسی بوده و مطالعات لرزه‌ای و حفاری‌های اخیر نیز مبین پیچیدگی ساختاری و عدم تطابق هندسه سطحی با افق‌های مخزنی ژرف هستند (شرکتی و همکاران، ۲۰۰۶)، بنابراین شناخت دقیق‌تر سازوکار چین خوردگی و نحوه تکوین این تاقدیس‌ها در افق مخزنی یکی از موضوع‌های مهم در کمربند چین-راندگی زاگرس به شمار می‌رود. برخی از پژوهشگران، سازوکار چین خوردگی تعدادی از تاقدیس‌های فروبار دزفول را جدایشی گسل خورده

محدوده مورد مطالعه

پرداخته‌اند و چین‌های آن را از انواع کماتی (Buckle Fold)، جدایشی (Detachment Fold)، انتشار گسلی (Fault Propagation Fold) و Forced fold برشمرده‌اند (ستارزاده و همکاران، ۲۰۰۰؛ مولینارو و همکاران، ۲۰۰۴؛ شرکتی و همکاران، ۲۰۰۵؛ سپهر و همکاران، ۲۰۰۶).

در فروبار دزفول یک توالی از رسوبات فلات قاره (Shelf) به ضخامت حدود ۱۲ کیلومتر از پرکامبرین تا پلیوسن نهشته شده‌اند که از میوسن تا حال حاضر تحت چین‌خوردگی قرار داشته‌اند (کلمن - سد، ۱۹۷۸). پژوهشگران مختلفی به بررسی نوع چین‌خوردگی در کمربند زاگرس

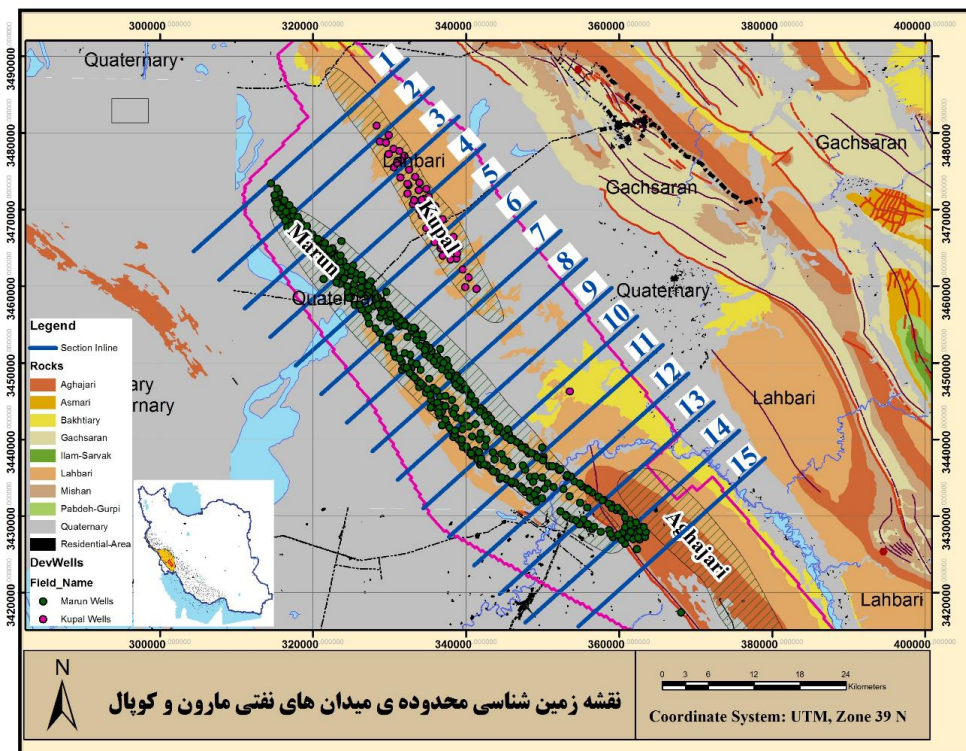


شکل ۱: برجستگی توپوگرافی و نقشه ساختاری کمربند زاگرس به همراه محدوده مورد مطالعه (برگرفته از سپهر و همکاران، ۲۰۰۶)

لرزه‌ای و چاه) امکان‌پذیر است. اگر چه هر کدام از این داده‌ها، محدودیت‌هایی نیز دارند. به‌طور نمونه، اطلاعات چاه تنها در محل چاه معتبرند و یا با پُرشیب شدن لایه‌های زیرسطحی، نمی‌توان تصویر مناسبی از آنها در اطلاعات لرزه‌ای دید. با این حال، با بررسی این داده‌ها می‌توان افزون بر درک مراحل دگرریختی و سبک چین‌خوردگی، به نقش افقی‌های کم‌قوام در تکامل یک چین نیز پی برد. به‌منظور تحلیل دقیق دگرریختی پیش‌رونده و بررسی شکل چین‌خوردگی در میدان‌های مارون و کوپال، تعداد ۱۵ برش لرزه‌ای با فواصل ۵ کیلومتر از یکدیگر، از مکعب لرزه‌نگاری موجود بر روی این ساختمان‌ها استخراج شده است (شکل ۲). سپس ۵ سرسازند شامل راس پاره‌سازند ۶ سازند گچسارن، آسماری، فهلیان، گوتنیا و قاعده‌ی سطح جدایشی (احتمالا

منطقه مورد مطالعه (تاقدیس‌های زیر سطحی مارون و کوپال در جنوب فروبار دزفول) در حدود ۷۰ کیلومتری خاور شهر اهواز واقع شده است (شکل ۱). محور تاقدیس‌های آغاچاری و کوپال تقریباً به صورت خطی و در ادامه یکدیگر به ترتیب از جنوب خاور به سمت شمال باختر قرار دارند. بیشتر رخنمون سطحی منطقه، پاره‌سازند (Member) لهبری از سازند آغاچاری است ولی باریکه‌ای از سازند بختیاری نیز در دماغه‌ی (Nose) شمال باختر ساختمان‌های آغاچاری و کوپال رخنمون دارد. روند محور ساختمان مارون حدود N45W است که در سمت جنوب خاور با چرخش حدود ۲۰ درجه به N65W تغییر می‌کند (شکل ۲). تحلیل دقیق سبک چین‌خوردگی تاقدیس‌های زیر سطحی، تنها با استفاده از داده‌های زیر سطحی

قاعده‌ی سازند دشتک یا به عبارت دیگر راس سازند کنگان) بر روی برش‌های یاد شده تفسیر شده‌اند.



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، موقعیت ساختمان‌ها و چاه‌های نفتی در افق آسماری، شماره برش‌های لرزه‌ای بررسی شده و محدوده‌ی دارای داده‌های لرزه‌ای در هر برش.

مواد و روش‌ها

چینه‌نگاری مکانیکی فروبار دزفول

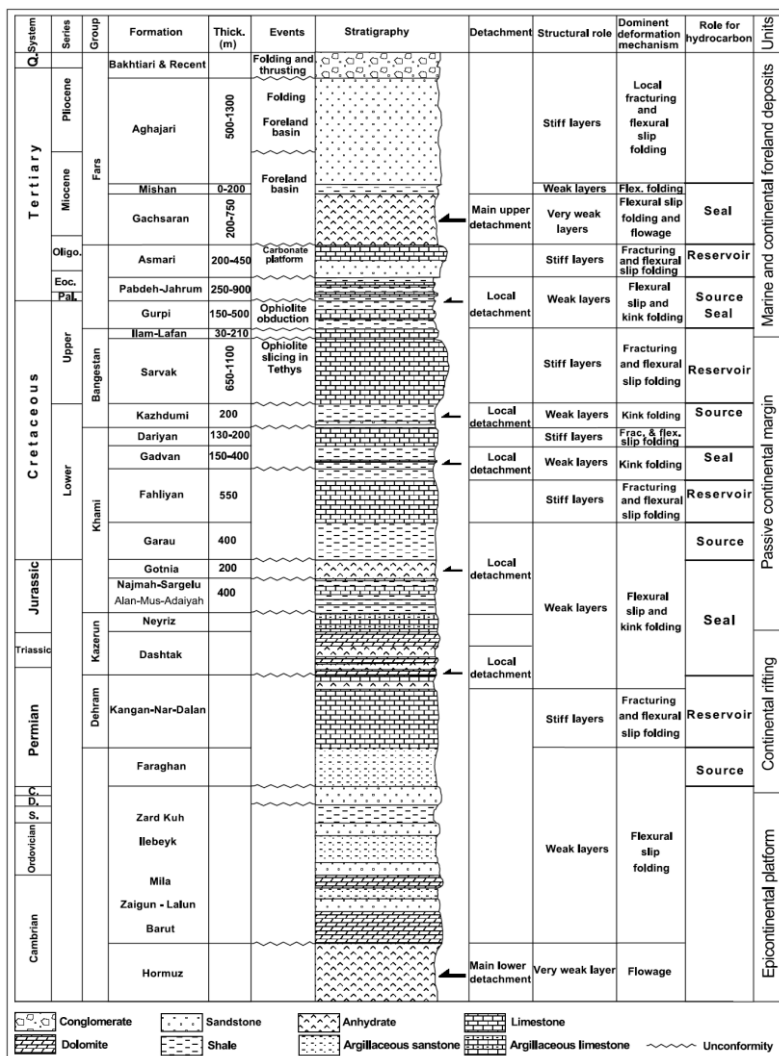
در سال ۱۹۵۰، برای اولین بار نقش و اهمیت رفتار مکانیکی رسوبات ضخیم (۱۰ تا ۱۲ کیلومتر) در پاسخ به چین‌خوردگی در فروبار دزفول مطرح گردید (أبرین، ۱۹۵۰). وی ستون چینه‌شناسی فروبار دزفول را به پنج گروه تقسیم کرد که عبارتند از: ۱) گروه پی سنگی (Basement Group) شامل پی سنگ بلورین پان افریکن، ۲) گروه متحرک پائینی (Lower Mobile Group) شامل نمک هرمز، ۳) گروه پرقوام (Competent Group) شامل کامبرین تا رسوبات فلات قاره‌ای میوسن پائینی، ۴) گروه متحرک بالایی (Upper Mobile Group) شامل سازند گچساران و ۵) گروه کم قوام

(Incompetent Group) شامل میشان، آجاجاری و بختیاری. این تقسیم‌بندی در همان دهه‌ها بسیار کاربردی بود و به مرور زمان و با برداشت داده‌های بیشتر (به ویژه لرزه‌ای دو و سه بعدی)، فعالیت دیگر افق‌های کم قوام جدا کننده چون دشتک، سرگلو، گوتنیا، گرو، کژدمی، گورپی و پابده نیز به وسیله پژوهشگران دیگر مطرح شد (به‌طور نمونه، ستارزاده و همکاران، ۲۰۰۰؛ مولینارو و همکاران، ۲۰۰۴؛ شرکتی و لتوزه، ۲۰۰۴؛ شرکتی و همکاران، ۲۰۰۵؛ سپهر و همکاران، ۲۰۰۶؛ عبدالهی فرد و همکاران، ۲۰۰۶). ستون چینه‌نگاری مکانیکی فروبار دزفول و دشت آبادان (که منطقه مورد مطالعه نیز در آن قرار دارد) همراه با سن و ستبرای تقریبی سازندها و

سیستم نفتی منطقه در شکل ۳ نشان داده شده منطقه مورد مطالعه نیز براساس داده چاه مارون- است. ضمن آنکه ستبرای دقیق تر سازندها در ۲۲۲ به قرار جدول ۱ است.

جدول ۱: ستبرای سازندها در ناحیه مورد مطالعه براساس داده چاه مارون-۲۲۲

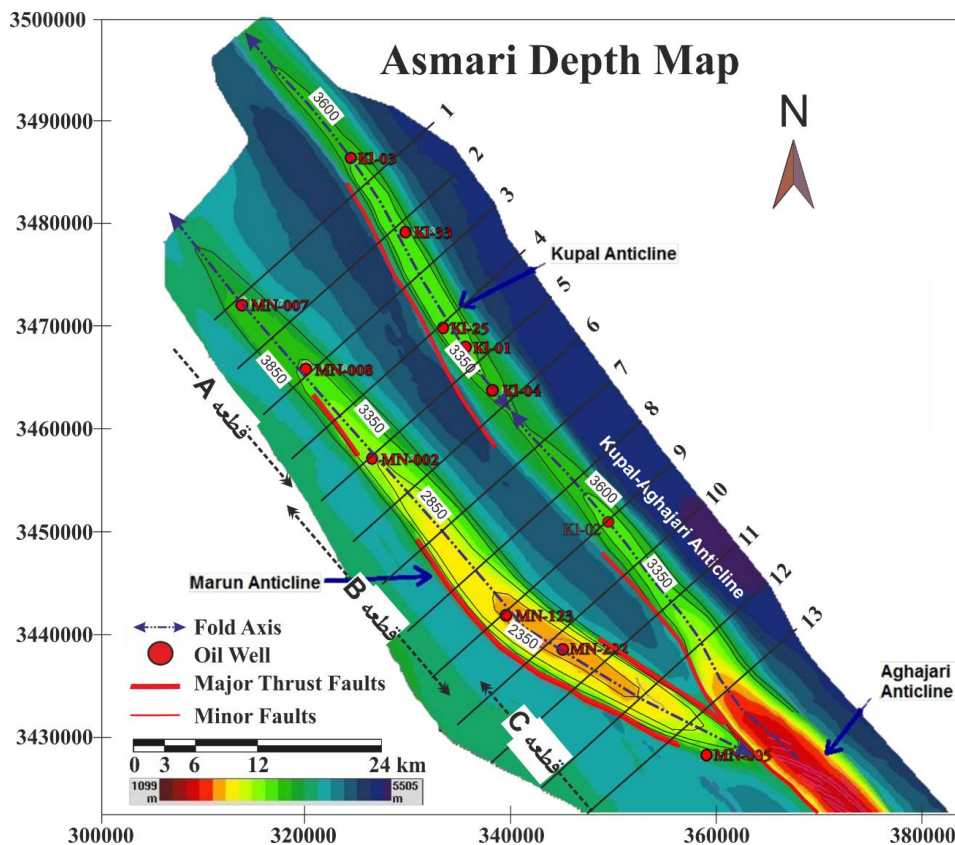
ردیف	نام سازند	ضخامت (متر)	ژرفای سازند (از سطح دریا)	ردیف	نام سازند	ضخامت (متر)	ژرفای سازند (از سطح دریا)
۱	آغاجاری	۱۷۰۳٫۸	+۵۸۸٫۸	۷	ایلام	۴۱	-۳۱۲۶
۲	میشان	۳۰۲	-۱۶۴۵	۸	سروک	۱۰۷۰	-۳۱۶۷
۳	گچساران	۲۹۴	-۱۹۴۷	۹	کزدیمی	۲۳۳	-۴۲۳۷
۴	آسماری	۴۶۳	-۲۲۴۳	۱۰	داریان	۵۶	-۴۴۷۰
۵	پابده	۲۱۵	-۲۷۰۶	۱۱	گدوان	۱۲۰	-۴۵۲۶
۶	گوربی	۲۰۵	-۲۹۲۱	۱۲	فهلپیان	>۴۸۵	-۴۶۴۶



شکل ۳: ستون چینه‌نگاری مکانیکی و سیستم نفتی فروبار دزفول و دشت آبادان (برگرفته از عبدالمهدی فرد و همکاران، ۲۰۰۶ همراه با اندکی تغییر).

مستقیم است و راس سازند آسماری آن در ژرفای بیشتری نسبت به میدان مارون قرار دارد. در مقابل، ابعاد هندسی میدان مارون بزرگ‌تر بوده و محور این ساختمان در سمت جنوب خاور، کمی به سمت خاور انحراف یافته و ارتباط آن با میدان آغاجاری گسلی است. این موارد، نشان دهنده دگرریختی (Deformation) و کوتاه‌شدگی (Shortening) بیشتر میدان مارون نسبت به میدان کوپال است. از شباهت‌های بارز هر دو ساختار، کشیده بودن شکل چین (نسبت بالای طول به عرض به‌طور نمونه در مارون ۶۵ به ۷ کیلومتر) و کوتاه‌تر بودن طول محور در سمت جنوب خاور آنهاست. به نظر می‌رسد که وجود ساختمان آغاجاری به‌عنوان مانعی برای رشد هر دو چین به سمت جنوب خاور عمل کرده و سبب عدم تقارن رشد چین‌ها از دو جهت شده است. در این پژوهش، با فرض این‌که تغییرات در بُعد مکانی (در طول یک چین) با تغییرات در بُعد زمانی (در طول زمان رشد یک چین) هم‌ارز هستند (اگر چه ممکن است یک ساختار، در طول خود به دو سبک متفاوت تشکیل و رشد کرده باشد)، به منظور تعیین دگرریختی پیش‌رونده و نحوه رشد چین‌های یاد شده از مراحل ابتدایی به پیشرفته (دگرریختی کمتر به بیشتر)، خطوط لرزه‌ای تفسیر شده از دماغه‌ی شمال باختری به سمت جنوب خاور بررسی و مرور خواهند شد (شکل‌های ۵ تا ۸). موقعیت هر برش لرزه‌ای و محدوده‌ای که برش یاد شده دارای اطلاعات لرزه‌نگاری است بر روی شکل ۲ نشان داده شده است. سه برش لرزه‌ای شماره‌های ۱، ۲ و ۳ در شکل ۵ (به ترتیب الف، ب و ج) نمایش داده شده‌اند. در این برش‌های لرزه‌ای، دماغه‌ی محور مارون (ساختمان جنوب باختری) و بخشی از ساختمان کوپال (ساختمان شمال خاوری) مشخص است.

بررسی دگرریختی پیش‌رونده و سبک چین خوردگی در برش‌های لرزه‌ای: بر روی میدان‌های نفتی مارون و کوپال، بیش از ۵۰۰ حلقه چاه اکتشافی و تولیدی از مخزن آسماری حفاری شده که حدود ۹۰ درصد آنها تنها بر روی میدان بزرگ مارون قرار دارند. ژرف‌ترین چاه‌های حفاری شده در این میدان‌ها، مارون-۱۲۳ و مارون-۲۲۲ هستند که با هدف ارزیابی گروه خامی، به ترتیب تا افق‌های فهلیان و گرو حفاری شده‌اند. برای پیدا کردن سر سازندها بر روی برش‌های لرزه‌ای، از داده‌های این دو چاه به همراه چاه‌های آغاجاری-۱۴۰ بهره برده شده است. چاه اخیر نیز با هدف ارزیابی خامی تا سازند فهلیان حفاری شده است. هم‌چنین برای پیدا نمودن موقعیت راس سازند گوتنیا، از چاه‌های جفیر-۴ و آزادگان-۱۰ در دشت آبادان استفاده شد. ژرف‌ترین افقی که در چاه‌های جنوب فروبار دزفول و دشت آبادان حفاری شده است، افق نیریز در چاه آزادگان-۱۰ بوده است. بنابراین، شوربختانه سازند دشتک در این مناطق حفاری نشده و برآورد دقیقی نیز از ضخامت آن در ناحیه مورد مطالعه وجود ندارد ولی با توجه به چینه‌نگاری مکانیکی و رفتار شکل‌پذیر این سازند، می‌توان تا حدودی قاعده‌ی آن یا به عبارت دیگر، راس سازند کنگان (؟) را بر روی برش‌های لرزه‌ای پیشنهاد داد. در نقشه عمقی راس سازند آسماری، میدان کوپال در افق آسماری در ادامه‌ی دماغه‌ی شمال باختر میدان آغاجاری دیده می‌شود و تقارن نسبی بیشتری به لحاظ شیب یال-های جلویی و عقبی نسبت به میدان مارون از خود نشان می‌دهد (شکل ۴). در محدوده‌ی بین دو تاقدیس کوپال و آغاجاری تفکیک این دو از همدیگر علی‌رغم حفاری یک چاه تحت عنوان کوپال-۲، عملاً میسر نبوده و بنابراین در این نوشتار از این بخش به‌عنوان کوپال-آغاجاری یاد می‌شود (شکل ۴). محور این ساختمان نیز کم و بیش

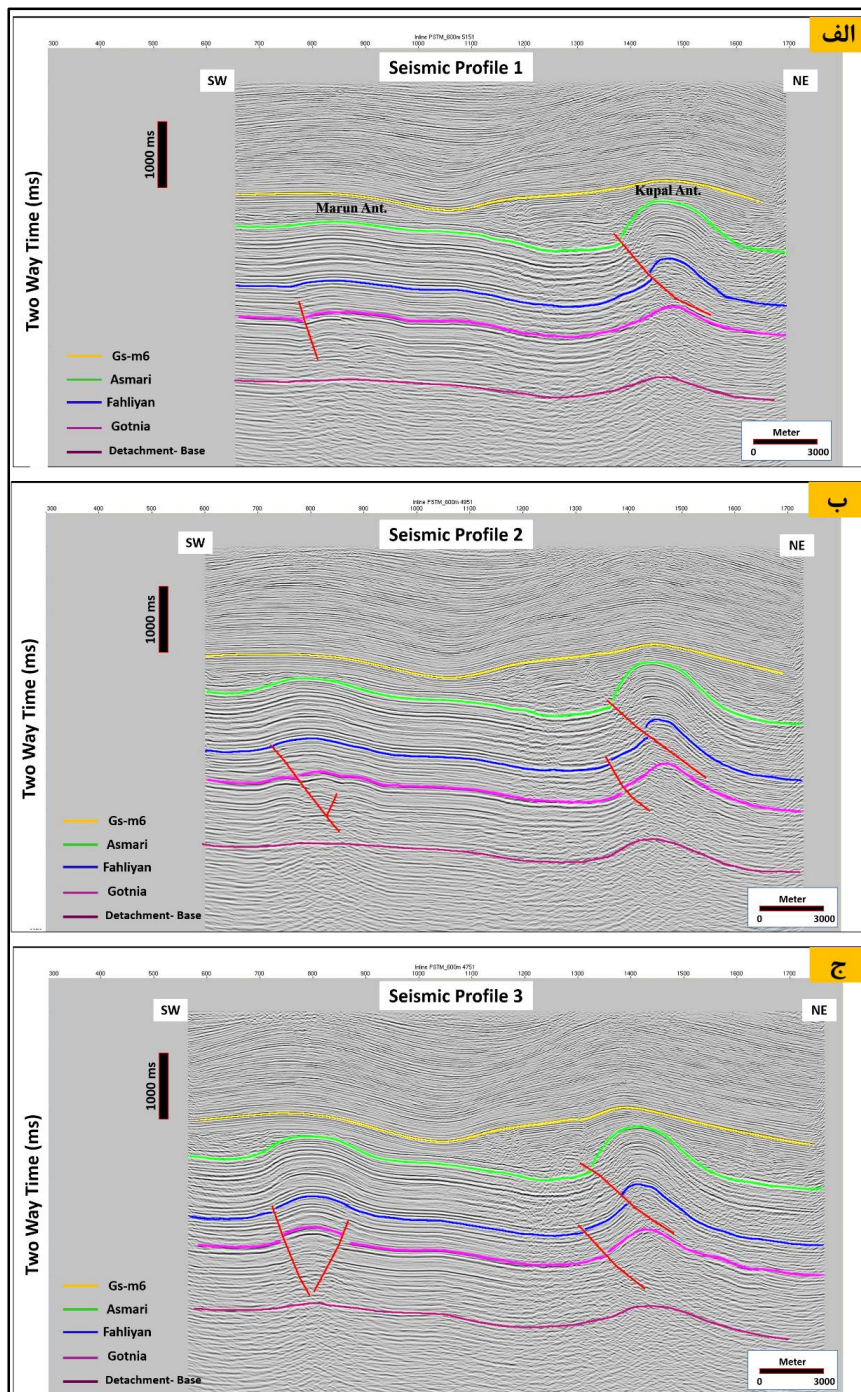


شکل ۴: نقشه عمقی راس سازند آسماری از سطح اساس دریا (تهیه شده در مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت) با خطوط هم‌تراز ۲۵۰ و ۵۰۰ متر همراه با موقعیت گسل‌ها، برخی از چاه‌های بهره‌برداری و برش‌های لرزه‌ای. توضیح قطعه‌بندی A تا C در بخش بحث آورده شده است.

شامل سازندهای عدایه، علن و گوتنیا؛ شکل ۳، دو چین قابل تشخیص هستند که مجموع طول موج آن‌ها برابر با طول موج چین در قاعده‌ی دشتک (؟) راس سازند کنگان) است. در ساختمان کوپال، افزون بر موارد یاد شده، افق گرو نیز به عنوان سطح جدایشی دیگری فعال بوده است چرا که این برش لرزه‌ای از میانه‌های این ساختمان عبور می‌کند. افق آسماری این ساختمان، یک چین متحدالمرکز (Concentric fold) با یال جلویی کوتاه‌تر ولی پرشیب‌تر نسبت به یال عقبی است در حالی که راس کنگان کوپال، چین خوردگی با دامنه کوتاه‌تر و تقارن نسبی بیشتری را نشان می‌دهد. چین کوپال در افق آسماری، از نوع باز (Open)، نسبتاً متقارن

در برش لرزه‌ای شماره ۱ (شکل ۵ الف)، ساختمان مارون در قاعده‌ی سطح جدایشی دشتک (بازتابنده‌ی قرمز تیره، ؟ احتمالاً راس کنگان) یک چین نامتقارن (Asymmetric Fold) با یال عقبی کم شیب و طویل (حدود ۱۰ کیلومتر) و یال جلویی کم شیب و کوتاه (حدود ۳/۵ کیلومتر) است که طول موج زیاد و دامنه خیلی کمی دارد. دلیل اصلی شیب کم یال جلویی و دامنه خیلی کم چین در افق یاد شده، شیب ناحیه‌ای (Regional Slope) لایه‌های زمین‌شناسی فروبار دزفول است که دائماً به سمت جنوب باختر از ژرفای قرارگیری سازندها می‌کاهد. در افق‌های گوتنیا تا آسماری، به علت عملکرد افق‌های جدایشی دشتک و ژوراسیک

با منطقه لولای (Hinge area) گسترده و مدور (Rounded) است.



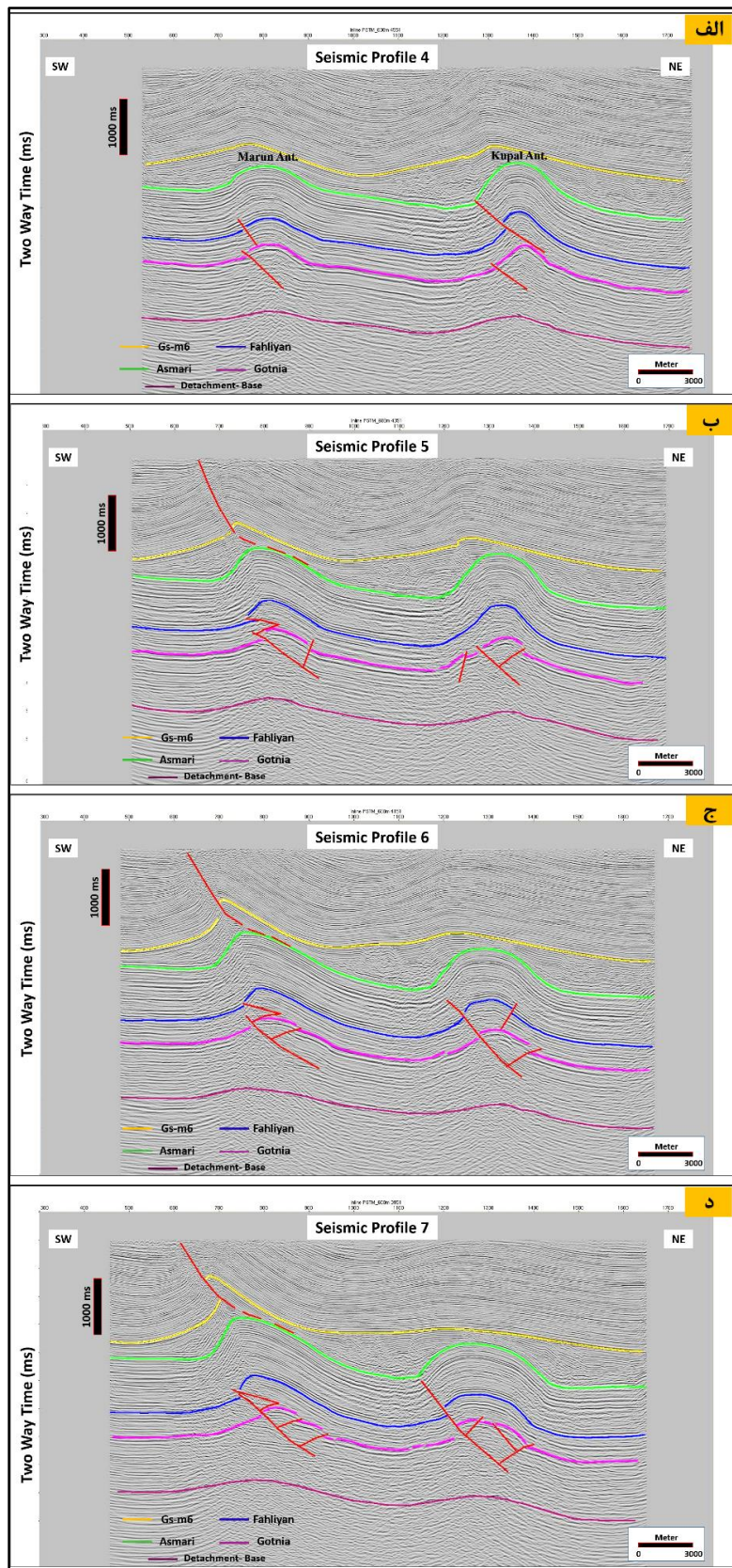
شکل ۵: برش‌های لرزه‌ای شماره الف) ۱، ب) ۲ و ج) ۳. موقعیت برش‌ها در شکل ۲ مشخص است.

و بختیاری رسیده که نتیجه آن ایجاد یک چین ملایم (Gentle) تقریباً متقارن است که در سطح

به سبب رشد این چین و افزایش دامنه آن در افق آسماری، دگرریختی به سازندهای میشان، آغاچاری

زمین نیز دیده می‌شود. همین تفاوت شکل چین در افق‌های آسماری و جوان‌تر از آن، نشان دهنده‌ی نقش قابل توجه و عملکرد افق جدایشی گچساران در ساختمان کوپال است. در ساختمان کوپال نیز به مانند تاقدیس مارون، طول موج چین در افق کنگان برابر با طول موج آن در افق آسماری است. در برش لرزه‌ای شماره ۲ (شکل ۵ ب)، دگرریختی و کوتاه‌شدگی هر دو ساختمان مارون و کوپال بیشتر شده است. شیب یال‌ها و دامنه چین‌ها در تمامی افق‌ها بیشتر از برش ۱ (شکل ۵ الف) است. افق‌های جدایشی دشتک، ژوراسیک و گرو نیز فعال‌تر شده‌اند به نحوی که در ساختمان مارون، چین‌خوردگی ناهماهنگ (Disharmonic Folding) دیده می‌شود و ۳ کوهان کوچک موجود در افق گوتنیا به یک چین با طول موج بزرگ‌تر در افق‌های بالاتر (فهلپیان تا آسماری) تبدیل شده است. در هر دو ساختمان، افزایش فعالیت و جابجایی گسل‌هایی که از سطوح جدایشی یاد شده منشاء گرفته و افق‌های جوان‌تر را قطع می‌کنند، مشهود است. در برش لرزه‌ای شماره ۳ (شکل ۵ ج)، با افزایش دگرریختی در ساختمان مارون، بر شیب یال‌ها و دامنه چین در تمامی افق‌ها افزوده می‌شود. با توسعه یک پس‌راندگی (Back-thrust) در یال عقبی چین در افق‌های گوتنیا و گرو، شکل چین به‌طور محلی (Local) تقارن بیشتری یافته و بخشی از آن به صورت ساختار بالاارنده (Pop-up) در می‌آید. تا این برش لرزه‌ای، نوع چین در افق آسماری ساختمان مارون، ملایم است که با رشد چین و افزایش دامنه آن در افق یاد شده، دگرریختی از بخش‌های کم‌قوام سازند گچساران عبور نموده و به پاره‌سازند ۶ آن و سازندهای میشان، آغاچاری و بختیاری رسیده است. در این

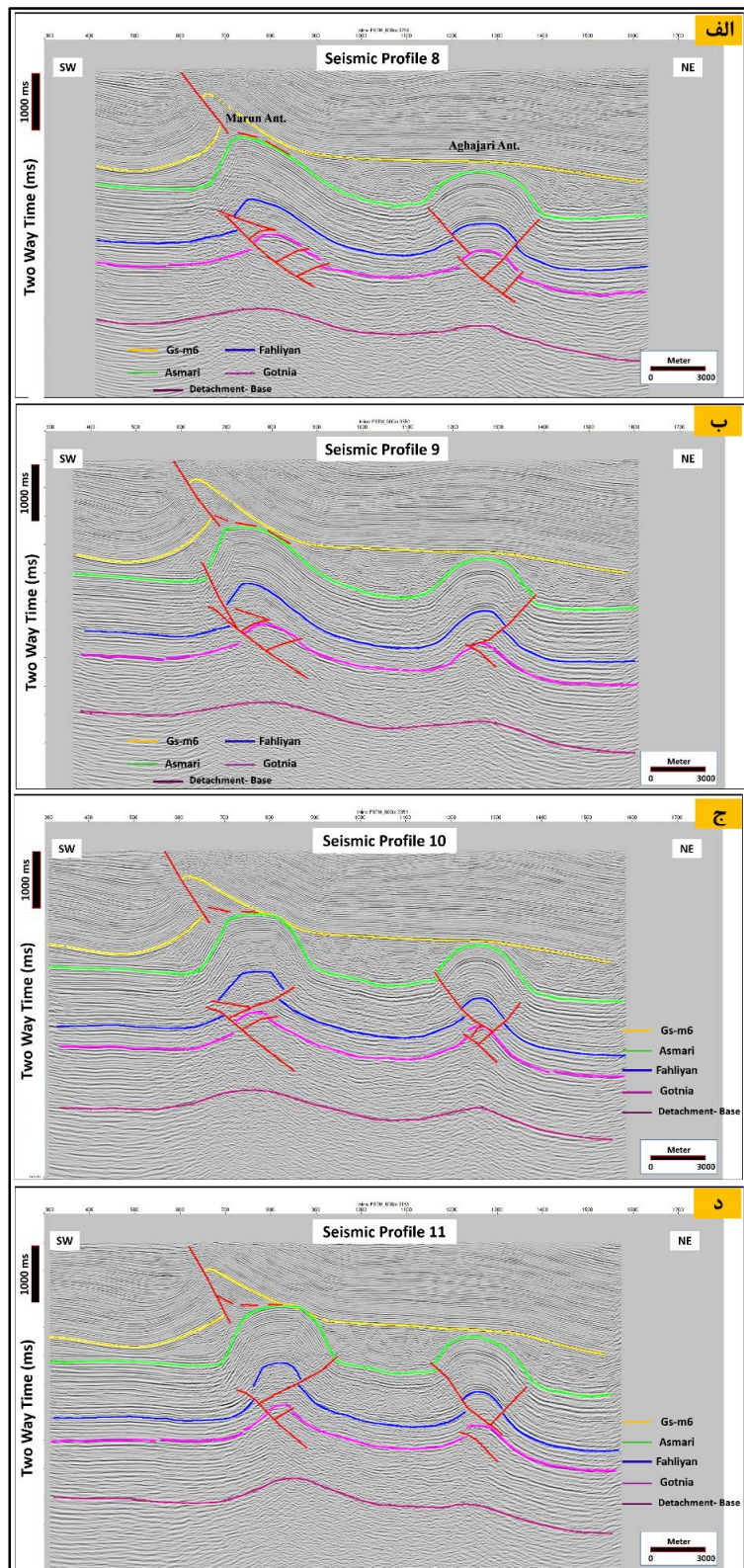
افق‌های جوان نیز یک چین ملایم تشکیل شده است که در سطح زمین نیز دیده می‌شود. در چین یاد شده نیز یال جلویی از یال عقبی کمی پرشیب‌تر است. در ساختمان کوپال، تغییر قابل توجهی نسبت به برش‌های قبلی دیده نمی‌شود. چهار برش لرزه‌ای شماره‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ در شکل ۶ (به ترتیب الف تا د) نشان داده شده‌اند. در برش لرزه‌ای شماره ۴ (شکل ۶ الف)، ساختمان مارون در افق آسماری یک چین باز نسبتاً متقارن با منطقه لولای گسترده و مدور است. به مانند برش‌های قبلی، افزایش دگرریختی به شکل افزایش شیب یال‌ها و دامنه چین تکرار شده است و شیب یال‌های جلویی و عقبی چین از افق‌های ژرف‌تر به کم‌عمق‌تر به‌صورت پیوسته افزایش می‌یابد. این موضوع نشان دهنده‌ی نقش و عملکرد افق‌های جدایشی دشتک، ژوراسیک و گرو است. بر خلاف برش‌های قبلی ساختمان مارون، با افزایش دگرریختی و فعال‌شدن افق جدایشی گرو، یک گسل راندگی به‌طور مستقل از آن منشا گرفته که فعالیت اندکی به‌صورت جابجایی یال جلویی در افق فهلپیان از خود نشان داده است. در ساختمان کوپال (به مانند برش‌های قبلی)، شکل چین تقریباً متقارن و مدور است که شیب یال جلویی آن اندکی بیشتر از یال عقبی است. الگوی دگرریختی در برش‌های لرزه‌ای شماره‌های ۵ تا ۷ تقریباً مشابه یکدیگرند. با افزایش دگرریختی در ساختمان مارون، گسل پس‌راندگی توسعه یافته است. ضمن آنکه افق جدایشی گرو فعال‌تر شده و ساختار دم‌ماهی (Fish-tail؛ هریسون و بالی، ۱۹۸۸؛ شرکتی و همکاران، ۲۰۰۶) بین سطوح افق‌های جدایشی دشتک، ژوراسیک و گرو ایجاد شده است.



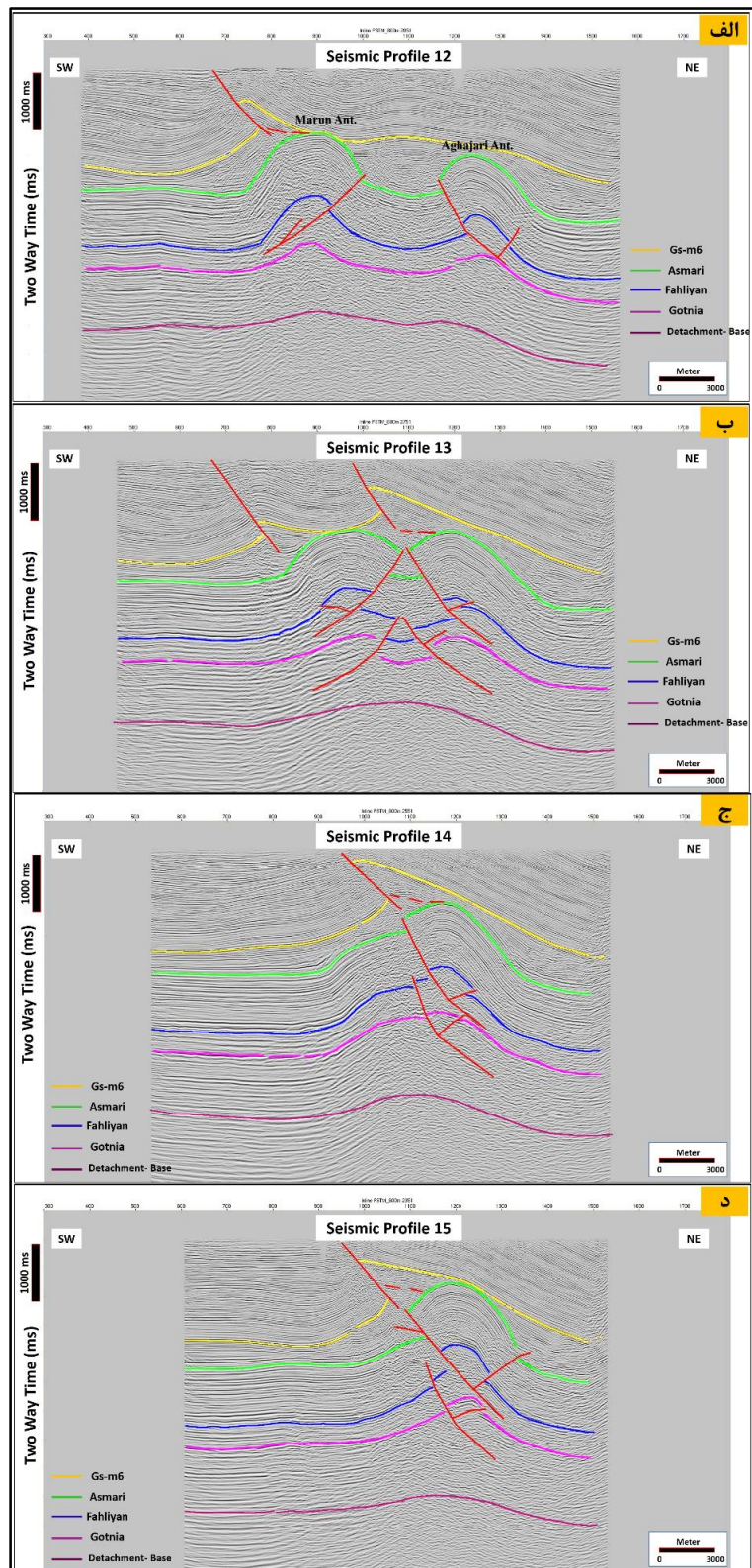
شکل ۶: برش‌های لرزه‌ای (شماره الف ۴، ب ۵، ج ۶ و د ۷) برای موقعیت برش‌ها به شکل ۲ رجوع شود.

دیده می‌شوند. این برش‌ها در بخش میانی تاقدیس مارون (و نه قله آن) و محل اتصال تاقدیس‌های آجاجاری به کوپال (یا به عبارت دیگر تاقدیس کوچک کوپال خاوری) واقع شده‌اند. در برش لرزه‌ای شماره ۸ (شکل ۷ الف)، توصیف شکل چین در دماغه شمال باختر آجاجاری، تقریباً به مانند برش لرزه‌ای شماره ۷ (شکل ۶ د) ساختمان کوپال است. با این تفاوت که گسل پس‌راندگی در ساختمان آجاجاری تا درون افق آسماری رشد کرده و چین در این افق تقارن بیشتری یافته است. در این برش، ساختمان مارون دگرریختی بیشتری نسبت به قبل از خود نشان می‌دهد. مشابه قبل، افزایش شیب یال‌ها (هم جلویی و پشتی)، افزایش دامنه‌ی چین و توسعه بیشتر ساختار دم‌ماهی در افق‌های جدایشی از نشانه‌های این دگرریختی پیش‌رونده هستند. شکل چین در افق آسماری ساختمان مارون، نامتقارن همراه با تمایل به سمت جنوب باختر با منطقه لولای زاویه‌دار (Angular) است. در برش‌های لرزه‌ای شماره‌های ۹ تا ۱۱ (شکل‌های ۷ ب تا ۷ د) مشخص است که با فعالیت بیشتر گسل پس‌راندگی در افق گرو ساختمان مارون، ابتدا چین با منطقه لولای زاویه‌دار (در افق فلهیان تا آسماری) به یک چین جعبه‌ای (Box Fold) تبدیل می‌شود و سپس جهت تمایل آن به سمت شمال خاور معکوس می‌شود. در این حالت، شیب یال پشتی تقریباً برابر با شیب یال جلویی شده است. بیشترین دامنه چین مارون در افق آسماری در این برش‌ها دیده می‌شوند. در تمامی چهار برش لرزه‌ای شکل ۷، هندسه ساختمان آجاجاری با اندکی تغییر محلی در جهت شیب و میزان جابجایی گسل‌ها در افق‌های جدایشی دشتک، ژوراسیک و گرو، تقریباً ثابت بوده است.

نتیجه این ساختار، افزایش ضخامت گرو در مرکز چین و جداکنندگی (Decoupling) بیشتر گوتنیا از فلهیان بوده است. در نتیجه، شکل چین در افق‌های فلهیان تا آسماری، نامتقارن شده و تمایل (Vergence) آن به سمت جنوب باختر تغییر یافته است. شیب یال جلویی چین در افق‌های یاد شده نیز افزایش چشمگیری پیدا کرده است. اگر چه به دلیل افزایش شدت دگرریختی، جابجایی گسل راندگی در افق گوتنیای ساختمان‌های مارون و کوپال بیشتر شده است ولی نوع چین آن هنوز (به مانند برش‌های قبلی) از نوع باز همراه با منطقه لولای مدور و تقریباً متقارن است. در برش لرزه‌ای شماره ۵ (شکل ۶ ب)، با فعالیت بیشتر سازند کم‌قوام گچساران به‌عنوان سطح جدایشی اصلی، اولین شواهد گسل خوردگی راندگی در واحدهای به نسبت مقاوم میشان و آجاجاری ساختمان مارون دیده می‌شود در حالیکه تا پیش از برش، دگرشکلی در افق‌های جوان یاد شده تنها به شکل چین خوردگی بود. محدوده‌ی برش این گسل راندگی به صورت پهنه‌ی مثلثی (Triangle Zone) است که راس آن در پاره‌سازند ۶ گچساران و قاعده‌ی آن در نزدیک سطح زمین قرار دارد. از برش شماره ۵ (شکل ۶ ب) به سمت برش شماره ۷ (شکل ۶ د) متناسب با افزایش جابجایی گسل راندگی یاد شده، بر مساحت و طول قاعده‌ی این پهنه مثلثی نیز افزوده می‌شود. در برش‌های شماره ۵ و ۶ (شکل‌های ۶ ب و ۶ ج) به سبب عملکرد گسل پس‌راندگی در افق‌های به سن تریاس و ژوراسیک ساختمان کوپال، شکل چین در افق‌های جوان‌تر کاملاً متقارن، متحدالمرکز همراه با سطح لولای مدور شده است. بیشینه دامنه تاقدیس کوپال در افق آسماری نیز در این دو برش قرار دارد. در شکل ۷، چهار برش لرزه‌ای شماره ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱



شکل ۷: برش‌های لرزه‌ای شماره الف) ۸، ب) ۹، ج) ۱۰ و د) ۱۱. موقعیت برش‌ها در شکل ۲ مشخص است.



شکل ۸: برش‌های لرزه‌ای (شماره الف) ۱۲، ب) ۱۳، ج) ۱۴ و د) ۱۵. برای موقعیت برش‌ها به شکل ۲ رجوع شود.

ساختاری ایجاد شده بین ساختمان‌های آجاجاری و مارون در افق‌های گوتنیا و فهلین، بیانگر الگوی پهنه مثلثی (Triangle Zone) است. افزون بر این، دو چینی که در افق قاعده‌ی سطح جدایشی (احتمالاً راس کنگان) در برش‌های قبلی به‌طور مجزا در زیر هر یک از دو ساختمان دیده می‌شدند، در این برش لرزه‌ای تبدیل به یک چین با طول موج بزرگ‌تر شده‌اند. در برش‌های لرزه‌ای شماره‌های ۱۴ و ۱۵ (شکل‌های ۸ ج و ۸ د) به تدریج ساختمان مارون از بین رفته و تنها ساختمان آجاجاری با گسل‌هایی که (در افق‌های جدایشی دشتک، ژوراسیک و گرو) بیشتر به سمت شمال خاور شیب دارند، دیده می‌شوند. در برش لرزه‌ای شماره ۱۵ (شکل ۸ د)، افزایش دامنه چین در افق آسماری ساختمان آجاجاری، همراه با فعالیت بیشتر راندگی اصلی و توسعه پس‌راندگی بوده است.

بحث و نتایج

توزیع دگرریختی در ساختمان‌های مارون و کوپال
 بر پایه تفسیر دقیق ساختاری و شناسایی طرح‌های (Features) دگرریختی پیش‌رونده همچون فعالیت مرحله به مرحله سطوح جدایشی، تغییرات شکل چین‌خوردگی، عملکرد گسل‌های راندگی و پس‌راندگی، ایجاد ساختارهای دم‌ماهی، پهنه مثلثی و ... در هر یک از برش‌های لرزه‌ای عمود بر راستای امتداد ساختمان‌های مارون و کوپال، درک بهتری از نحوه توزیع دگرریختی در گستره مورد مطالعه در پاسخ به تنش‌های اعمالی در طول زمان حاصل شده است. با تفکیک مکانی این طرح‌ها و الگوهای دگرریختی، می‌توان پیشنهاد قطعه‌بندی ساختاری تاقدیس‌های مارون و کوپال را برای افق‌های آسماری و قدیمی‌تر از آن به ۳ قطعه (Segment) ارائه نمود (جدول ۲ و شکل ۴). بدین ترتیب، افزون بر آنکه بخش‌های با ویژگی‌های ساختاری مشابه از یکدیگر جدا شده‌اند، دلایل نحوه

در شکل ۸، چهار برش لرزه‌ای شماره‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ نمایش داده شده است. برش لرزه‌ای شماره ۱۲ (شکل ۸ الف)، ادامه فعالیت گسل پس‌راندگی در افق گرو را نشان می‌دهد. ظاهراً در این برش، راس گوتنیای ساختمان مارون بریده نشده است. در اینجا، ساختمان مارون و آجاجاری (دماغه شمال باختری) به‌وسیله ۲ راندگی با جهت شیب مخالف یکدیگر به هم نزدیک‌تر شده‌اند. در این برش به مانند برش‌های لرزه‌ای شماره‌های ۱۰ و ۱۱ (شکل‌های ۷ ج و ۷ د)، نتیجه عملکرد گسل پس‌راندگی در ساختمان مارون، افزون بر نامتقارن نمودن چین جعبه‌ای ایجاد شده و متمایل کردن آن به سمت شمال خاور، جریان‌یافتگی (Flowage) کامل بخش‌های کم‌قوام (واحدهای تبخیری) سازند گچساران از منطقه لولای چین به ناودیس‌های مجاور و جوش خوردن (Welding) راس آسماری به پاره‌سازند ۶ گچساران بوده است. اثر این برخورد با ایجاد چین کوچکی در واحدهای میشان تا آجاجاری، به خوبی بر روی این برش‌های لرزه‌ای دیده می‌شود. برش‌های لرزه‌ای شماره‌های ۱۳ تا ۱۵ (شکل‌های ۸ ب تا ۸ د) ارتباط دو ساختمان آجاجاری و مارون را نشان می‌دهند. در برش لرزه‌ای شماره ۱۳ (شکل ۸ ب)، تعداد گسل‌ها به‌صورت محلی افزایش پیدا کرده‌اند. ناودیس مابین دو ساختمان آجاجاری و مارون بسیار تنگ و کوچک شده و در فرودپواره هر دو گسل راندگی این ساختمان‌ها دیده می‌شود. تا این برش لرزه‌ای، تغییر شکل در افق‌های جوان‌تر از پاره‌سازند ۶ سازند گچساران در ساختمان کوپال، تنها به‌صورت چین‌خوردگی بود ولی از این برش لرزه‌ای به سمت جنوب خاور، گسل‌خوردگی راندگی در افق‌های یاد شده دیده می‌شود. دلیل این موضوع، رشد (Amplification) بیشتر ساختمان آجاجاری است. در برش لرزه‌ای شماره ۱۳ (شکل ۸ ب)، سبک

توزیع متفاوت دگرریختی در تاقدیس‌های گستره مورد مطالعه بهتر درک می‌گردند.

جدول ۲: قطعه‌بندی (Segmentation) ساختاری تاقدیس‌های مارون و کوپال بر پایه توزیع متفاوت دگرریختی

نام ساختار	شماره برش لرزه‌ای خصوصیت ساختاری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
		دماغه شمال باختری تاقدیس کوپال و تاقدیس مارون	تقارن چین در منطقه لولای افق آسماری	نامتقارن			متقارن یا بطور نسبی متقارن				نامتقارن			
جهت تمایل چین	جنوب باختر			فاقد تمایل یا تمایل اندک				جنوب باختر						
شکل منطقه لولای چین				مدور (Rounded)				زاویه‌دار (Angular)						
نوع چین بر اساس زاویه بین یالی				باز (Open)										
فاکتور ساختاری اصلی کنترل‌کننده شکل چین در افق آسماری	راندگی با شیب به سمت شمال خاور + فعالیت سطوح جدایشی دشتک، ژوراسیک و گرو			فعالیت سطوح جدایشی دشتک و ژوراسیک				راندگی با شیب به سمت شمال خاور + فعالیت سطوح جدایشی دشتک، ژوراسیک و گرو						
تاقدیس مارون	تقارن چین در منطقه لولای افق آسماری	متقارن			نامتقارن				متقارن					
	جهت تمایل چین	فاقد تمایل			جنوب باختر				فاقد تمایل					
	شکل منطقه لولای چین	مدور (Rounded)			زاویه‌دار (Angular)				هموار (Flat)					
	نوع چین بر اساس زاویه بین یالی	ملایم (Gentle)			باز (Open)									
	فاکتور ساختاری اصلی کنترل‌کننده شکل چین در افق آسماری	فعالیت سطوح جدایشی دشتک و ژوراسیک			راندگی با شیب به سمت شمال خاور + فعالیت سطوح جدایشی دشتک، ژوراسیک و گرو				پس راندگی با شیب به سمت جنوب باختر + فعالیت سطوح جدایشی گرو					
بخش‌بندی الگوی دگرریختی در تاقدیس‌های مارون و کوپال		قطعه A			قطعه B				قطعه C					

به‌عنوان سطوح جدایشی میانی عمل کرده‌اند. در حالی که در تاقدیس کوپال سازند گرو نیز به مجموعه افق‌های جدایشی میانی اضافه شده است. در این قطعه گسل راندگی در تاقدیس کوپال قابل دیدن است.

قطعه B (میانی): در این بخش، تاقدیس مارون شکل نامتقارن با تمایل به سمت جنوب باختر با هندسه باز و منطقه لولای چین زاویه‌دار را نشان می‌دهد. در حالی که در تاقدیس آغاچاری-کوپال، شکل چین نسبتاً متقارن با منطقه لولای مدور و هندسه باز است و افق‌های دشتک و ژوراسیک به-عنوان افق‌های جدایشی در هر دو تاقدیس فعال شده‌اند. در مقابل، در ساختمان مارون سازند گرو را نیز می‌توان به مجموعه افق‌های جدایشی میانی اضافه نمود. در این قطعه، گسل راندگی در تاقدیس مارون قابل مشاهده است.

قطعه C (جنوب خاوری): در این قطعه کوتاه‌شدگی و پیچیدگی ساختاری تاقدیس مارون

قله ساختمان کوپال و دماغه شمال باختر ساختمان مارون در قطعه A (قطعه شمال باختری) قرار گرفته‌اند. به عبارت دیگر، بیشترین میزان کوتاه‌شدگی در ساختمان کوپال و کمترین میزان کوتاه‌شدگی در ساختمان مارون در یک بخش قرار دارند. قطعه C شامل گستره‌ای است که محور ساختمان مارون در افق آسماری حدود ۲۰ درجه از N45W به N65W چرخیده و در حال نزدیک‌شدن به ساختمان آغاچاری است. قطعه B (قطعه میانی) نیز بین این دو قطعه و در محدوده‌ی اتصال دو محور ساختمان‌های آغاچاری و کوپال در افق آسماری قرار دارد. ویژگی‌های ساختاری هر قطعه به شرح زیر است:

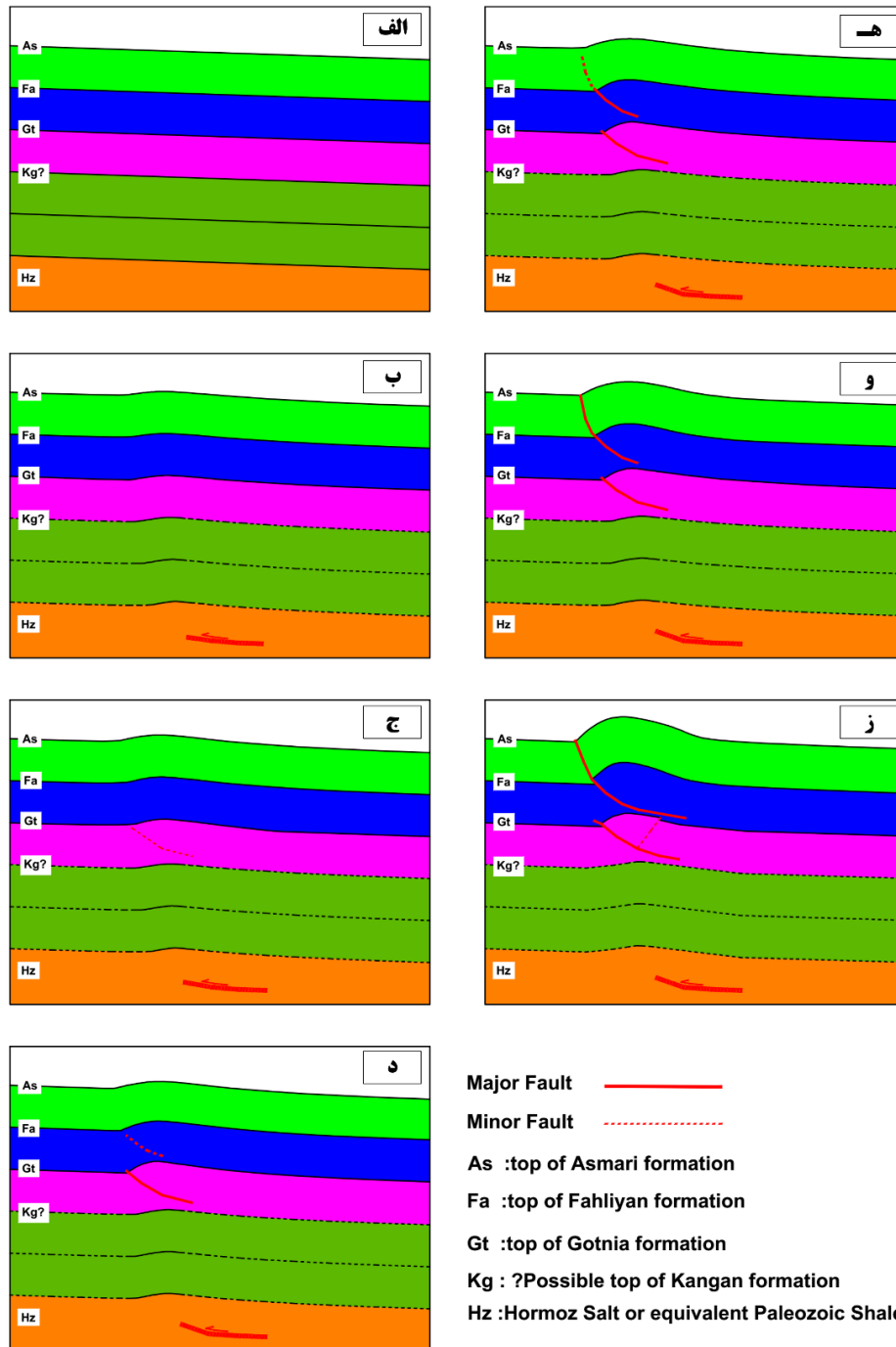
قطعه A (شمال باختری): در این قطعه تاقدیس مارون شکلی متقارن با هندسه ملایم نشان می‌دهد. در مقابل، تاقدیس کوپال هندسه نامتقارن با جهت تمایل به سمت جنوب باختر دارد. به نظر می‌رسد که در تاقدیس مارون سازندهای دشتک و ژوراسیک

تفاوت آشکار و اساسی دارند. این شواهد گواهی بر فعال بودن واحدهای تبخیری گچساران به‌عنوان سطح جدایش اصلی در منطقه مورد مطالعه از ابتدایی‌ترین مراحل چین‌خوردگی است. مدل مفهومی تکوین ساختاری تاقدیس‌های کوپال و مارون: همان طوری که در بخش‌های پیشین نشان داده شد، پیچیدگی ساختاری تاقدیس کوپال کمتر از تاقدیس مارون است (شکل‌های ۵ تا ۸). در اینجا تلاش شده است تا بر پایه برش‌های لرزه‌ای تفسیر شده، مراحل تکوین و رشد چین‌خوردگی این ساختارها از دگرریختی ابتدایی به پیشرفته به‌طور خلاصه و در قالب دو مدل مفهومی پیشنهاد شود (شکل‌های ۹ و ۱۰). مراحل اولیه رشد چین‌خوردگی در ساختمان‌های یاد شده مشابه یکدیگرند. وضعیت هندسی لایه‌ها پیش از آغاز چین‌خوردگی به صورت شیب‌دار (حدود ۲ درجه به سمت شمال خاور) در نظر گرفته شده است (شکل‌های ۹ الف و ۱۰ الف). این میزان شیب از ترسیم خط فرضی که خط‌القعر ناودیس‌های ساختمان‌های مارون و کوپال را در برش‌های لرزه‌ای متعدد به هم وصل می‌کند، محاسبه شده است. افزون بر این، شواهدی چون کشیده و کم شیب بودن یال عقبی و کوتاه و کم شیب بودن یال جلویی چین‌ها در افق‌های کنگان تا آسماری نیز گویای شیب ناحیه‌ای (Regional Slope) فروبار دزفول در منطقه مورد مطالعه پیش از آغاز چین‌خوردگی زاگرس است. در بخش‌های میانی هر دو ساختمان کوپال و مارون، صرف‌نظر از اثر عملکرد افق‌های جدایشی دشتک، ژوراسیک و گرو، طول موج و شکل چین (کشیده و کم شیب بودن یال عقبی و کوتاه و پرشیب بودن یال جلویی) در افق‌های کنگان تا آسماری کم و بیش با یکدیگر مشابه هستند (به‌طور نمونه برش‌های لرزه‌ای شماره‌های ۳، ۴ و ۶ در شکل‌های ۵ و ۶). این موضوع نشان

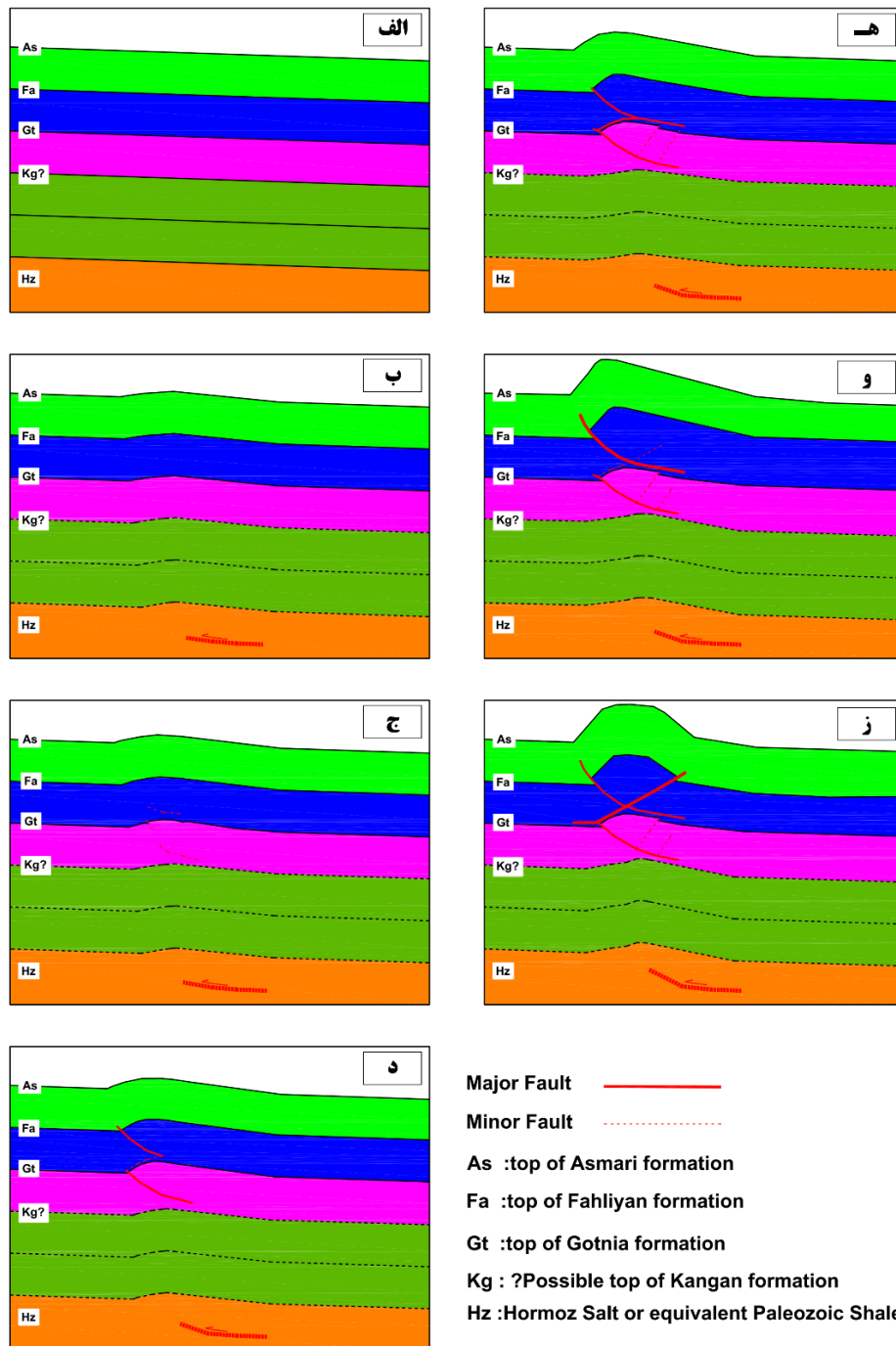
بیشتر شده و قله آسماری تاقدیس یاد شده در این بخش قرار دارد. با این حال، شکل چین مارون متقارن با هندسه چین جعبه‌ای است که دلیل آن فعالیت گسل پس‌راندگی با شیب به سمت جنوب باختر است که از افق جدایشی گرو منشاء گرفته است (شکل‌های ۷ و ۸). در مقابل، تاقدیس آغاجاری-کوپال هندسه نامتقارن با جهت تمایل به سمت جنوب باختر دارد. در این قطعه، هر سه افق کم‌قوام دشتک، ژوراسیک و گرو به‌عنوان افق‌های جدایشی میانی فعال بوده‌اند و در تاقدیس مارون، نقش افق جدایشی گرو نسبت به دو افق دیگر برجسته‌تر است. در این قطعه، تاقدیس‌های آغاجاری-کوپال و مارون به ترتیب گسل راندگی و پس‌راندگی نشان می‌دهند. هم‌چنین نتایج جدول ۲ نشان می‌دهند که در جائیکه میزان دگرریختی هر یک از ساختمان‌های مارون و کوپال کم بوده است، شکل چین تقارن بیشتری داشته و پیچیدگی ساختاری آن محدوده نیز اندک است. در مجموع به نظر می‌رسد که دگرریختی توزیع‌شده در هر یک از قطعه‌های سه‌گانه A تا C در دو ساختمان مارون و کوپال عکس یکدیگرند. به عبارت دیگر، اگر در یک قطعه معین، دگرریختی در یکی از ساختارها بیشتر باشد، در همان قطعه، ساختار دیگر دگرریختی کمتری را متحمل شده است و به عکس. افزون بر این موارد، نقش تبخیری‌های گچساران در انتقال دگرریختی به واحدهای بالایی (میشان، آغاجاری و بختیاری) در تاقدیس‌های منطقه مورد مطالعه است. همان‌طوریکه در شکل ۵ الف مشخص است، حتی در جائیکه حداقل کوتاه‌شدگی و دگرریختی در ساختمان مارون وجود دارد (دماغه تاقدیس مارون)، ویژگی‌های چین واحدهای جوان‌تر از گچساران (به‌مانند دامنه، طول موج، موقعیت محور تاقدیس و ناودیس، مساحت بخش تاقدیسی و ...) با آنچه در واحدهای آسماری و قدیمی‌تر از آن است،

نامتقارن (Asymmetric) روی داده است (شکل‌های ۹ و ۱۰ ب).

می‌دهد که چین خوردگی اولیه حداقل از افق کنگان تا آسماری به صورت هماهنگ (Harmonic) و



شکل ۹: مدل مفهومی مراحل چین خوردگی و تکوین ساختاری تاق‌دیس کوپال بر پایه برش‌های لرزه‌ای تفسیر شده. الف) لایه‌ها پیش از آغاز چین خوردگی زاگرس همراه با شیب ناحیه‌ای فروبار دزفول، ب) ایجاد چین‌جداشی اولیه به صورت نامتقارن و هماهنگ، ج و د) فعال شدن لایه‌های کم‌قوام افق‌های دشتک و ژوراسیک، ه) فعال شدن افق کم‌قوام گرو و توسعه گسل‌های راندگی، و و ز) فعالیت بیشتر افق جداشی میانی گرو و توسعه راندگی‌ها تا راس آسماری.



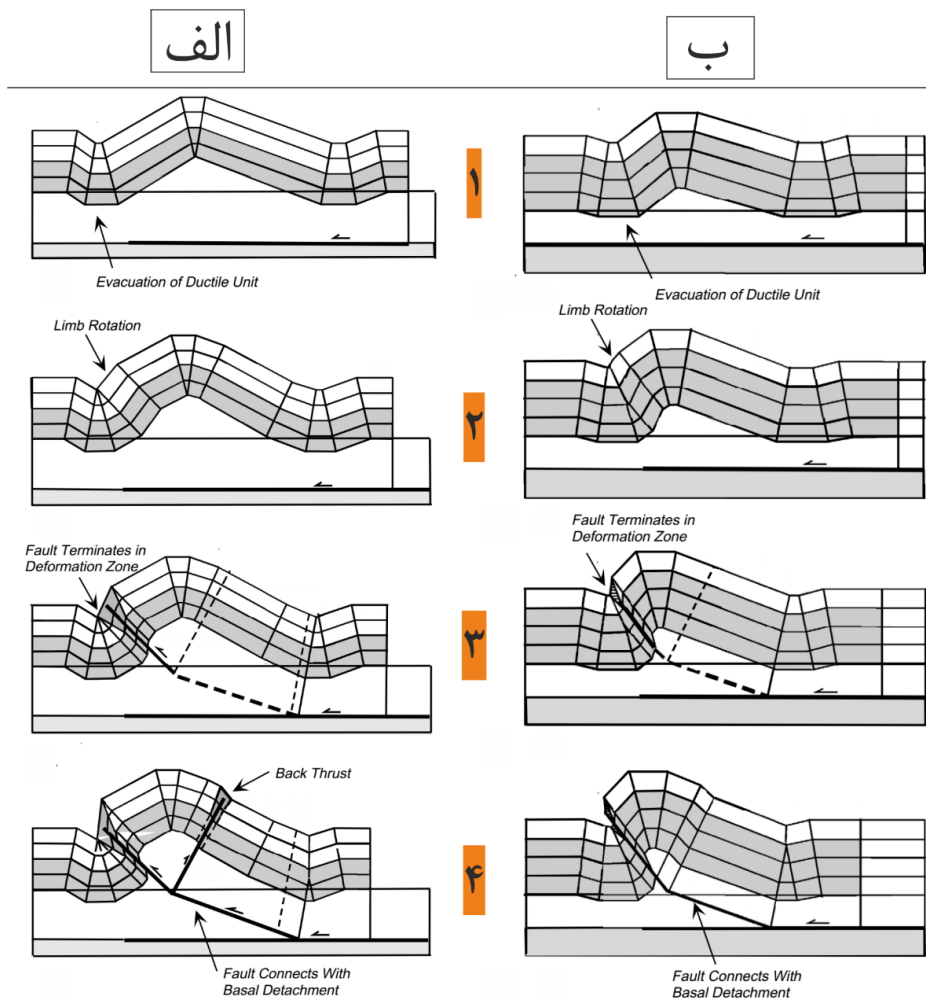
شکل ۱۰: مدل مفهومی مراحل چین خوردگی و تکوین ساختاری تاقدیس مارون بر پایه برش‌های لرزه‌ای تفسیر شده. الف) لایه‌ها پیش از آغاز چین خوردگی زاگرس همراه با شیب ناحیه‌ای فروبار دزفول، ب) ایجاد چین جدایشی اولیه به صورت نامتقارن و هماهنگ، ج) فعال شدن لایه‌های کم قوام افق‌های دشتک و ژوراسیک و ایجاد چین خوردگی ناهم‌هنگ در راس گوتنیا، د) فعال شدن افق کم قوام گرو و توسعه گسل‌های راندگی، هـ) فعالیت بیشتر افق‌های جدایشی میانی و توسعه پس‌راندگی‌ها، و) فعالیت بیشتر گسل‌های راندگی در افق جدایشی گرو و تغییر شکل چین به حالت زاویه‌دار در افق آسماری، ز) فعالیت پس‌راندگی‌ها در افق گرو و تغییر شکل چین به جعبه‌ای در افق‌های فهلیان تا آسماری.

حالت مدور و متقارن (Rounded and Symmetric) قطعه A به حالت زاویه‌دار و نامتقارن (Angular and Asymmetric) قطعه B است (جدول ۲). هم‌چنین نوع چین مارون نیز از حالت ملایم (Gentle) به باز (Open) تغییر کرده است (شکل ۱۰ و). در سیر دگرریختی پیش‌رونده ساختمان مارون، گسل‌های پس‌راندگی موجود در افق گرو فعال‌تر شده‌اند (قطعه C جدول ۲) که نتیجه آن ایجاد چین جعبه‌ای (Box Fold) با منطقه لولای نسبتاً هموار (Flat) بوده است (شکل ۱۰ ز).

سبک چین‌خوردگی تاقدیس‌های مارون و کوپال: چین‌های جدایشی، آن دسته از چین‌های در ارتباط با گسل (Fault Related Fold) هستند که از کوتاه‌شدگی حجمی از سنگ‌ها بر روی یک لایه جدایشی (Detachment or Décollement) تشکیل می‌شوند (پابلت و هاردی، ۱۹۹۵؛ پابلت و همکاران، ۱۹۹۷؛ روان، ۱۹۹۷). چین‌های جدایشی گسل‌خورده (Faulted Detachment Folds) در ابتدا با سازوکار چین جدایشی تشکیل و سپس در سیر دگرریختی پیش‌رونده و با افزایش کوتاه‌شدگی، یال جلویی (در نوع نامتقارن) و یا هر دو یال جلویی و پشتی آنها (غالباً در نوع متقارن) به ترتیب به وسیله گسل‌های راندگی و پس‌راندگی بریده می‌شوند (میترا، ۲۰۰۲). میترا (۲۰۰۲) دو مدل برای تکوین ساختاری چین‌های جدایشی گسل‌خورده نامتقارن (Asymmetric Faulted Detachment Fold) پیشنهاد کرده است (شکل ۱۱). در مدل اول (شکل ۱۱ الف تا ۴)، تباین قوام (Competency Contrast) بین واحدهای روباره (Cover) با واحد جدایش قاعده‌ای متوسط (Moderate) است. رشد چین با چرخش یال جلویی و بیشتر به وسیله مکانیسم لغزشی خمشی (Flexural Slip) کنترل می‌شود. با افزایش

در ساختمان کوپال برش‌های لرزه‌ای ۵ و ۶ (به ترتیب شکل ۶ ب و ۶ ج) نشان می‌دهند زمانی که هنوز سازند گرو غیرفعال است، سازند دشتک و ژوراسیک فعال شده‌اند (شکل ۹ ج). در ساختمان مارون نیز وضعیت مشابه‌ای وجود داشته است. چین‌خوردگی‌های ناهماهنگ (Disharmonic Folding) در سازند گوتنیا (شکل ۵ ب، برش لرزه‌ای شماره ۲ که دگرریختی پیش‌رونده اندکی را تحمل کرده است) گواهی است بر اینکه پس از تشکیل چین نامتقارن اولیه، با افزایش دگرریختی ابتدا افق‌های جدایشی دشتک و ژوراسیک به‌عنوان سطوح جدایشی میانی فعال شده‌اند (شکل ۱۰ ج). سپس با افزایش کوتاه‌شدگی در هر دو ساختمان، افق گرو نیز به‌عنوان سطح جدایشی میانی دوم فعال شده است (شکل‌های ۹ د و ۱۰ د). در ساختمان مارون با ادامه دگرریختی پیش‌رونده، سطوح جدایشی افق‌های دشتک، ژوراسیک و گرو از طریق ساختار دم‌ماهی به هم متصل شده و پس از این مرحله، پس‌راندگی‌ها ابتدا در افق‌های جدایشی دشتک و ژوراسیک (شکل ۶ ب) و سپس در افق گرو (شکل ۷ ج) توسعه یافته‌اند (شکل ۱۰ ه). این وضعیت در ساختمان کوپال دیده نمی‌شود. در مرحله بعد، افزایش کوتاه‌شدگی و دگرریختی با فزونی فعالیت افق جدایشی گرو همراه بوده است. به عبارت دیگر، دگرریختی بیشتر بر فعالیت لایه‌های کم‌قوام گرو متمرکز شده است تا افق‌های دشتک و ژوراسیک. به همین دلیل، ضخامت گرو در هسته (Core) تاقدیس‌ها افزایش چشمگیری یافته و گسل راندگی با شیب به سمت شمال خاور موجود در افق گرو، فعالیت بیشتری داشته است. در ساختمان کوپال، دگرریختی پیش‌رونده تنها تا این مرحله دیده می‌شود (شکل‌های ۹ ه تا ۹ ز). در ساختمان مارون، این مرحله شامل تغییر شکل منطقه لولای چین و تقارن آن در افق آسماری از

کوتاه‌شدگی، توسعه گسل راندگی در یال جلویی لایه‌های پرقوام روی می‌دهد.



شکل ۱۱: دو مدل تکوین ساختاری چین‌های جدایشی گسل خورده نامتقارن، برگرفته از میترا (۲۰۰۲).

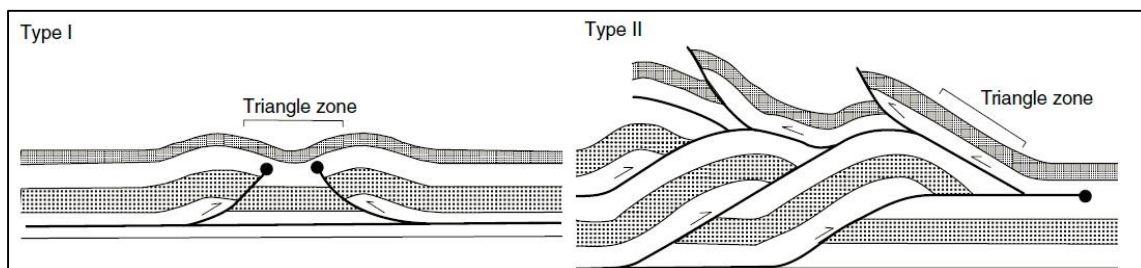
مراحل تکوین مدل الف: (۱) تشکیل چین در اولین مرحله کوتاه‌شدگی، (۲) رشد چین با سازوکار چرخش یال جلویی، (۳) تشکیل گسل راندگی در واحدهای مقاوم یال جلویی، (۴) تشکیل پس‌راندگی در یال عقبی و برقراری ارتباط بین گسل‌های واحدهای مقاوم و گسل جدایشی قاعده‌ای؛ مراحل تکوین مدل ب: (۱) تشکیل چین در اولین مرحله کوتاه‌شدگی، (۲) رشد چین با سازوکار چرخش یال جلویی، (۳) تشکیل گسل راندگی در واحدهای مقاوم یال جلویی، (۴) برقراری ارتباط بین گسل راندگی و گسل جدایشی قاعده‌ای.

تقارن بالایی نشان می‌دهد و حالت مدور آن تا پایان حفظ شده است. در مدل دوم (شکل ۱۱ ب تا ۴)، تباین قوام بین واحدهای روباره و واحد جدایش قاعده‌ای زیاد است. رشد چین به مانند مدل قبلی

با ادامه چین‌خوردگی، توسعه پس‌راندگی انجام می‌شود و در نهایت اتصال گسل‌های راندگی و پس‌راندگی به سطح جدایش قاعده‌ای انجام می‌گیرد. در این مدل، شکل منطقه لولای چین

با توسعه‌ی هر چه بیشتر آنها، سازندهای گوتنیا تا آسماری بریده شده‌اند. در ساختمان کوپال بر پایه شواهدی چون منطقه لولای مدور و متقارن و هم-چنین نبود یا توسعه‌ی اندک پس‌راندگی‌ها، مدل شکل ۱۱ الف برای تکوین ساختاری این چین پیشنهاد می‌شود (مراحل ۱ تا ۳). در ساختمان مارون به دلیل حضور گسل‌های متعدد پس‌راندگی، یال جلویی کوتاه و پرشیب و هم‌چنین زاویه‌دار بودن شکل منطقه لولای چین، مدل ۱۱ ب را می‌توان حداقل برای تکوین ساختاری قطعه B (شکل ۴ و جدول ۲) این تاقدیس در نظر گرفت. افزون بر این، در محل اتصال دو ساختمان آجاجاری و مارون، اگر چه سبک چین‌خوردگی جدایشی گسل‌خورده است ولی الگوی هندسی چین‌ها و گسل‌ها تغییر می‌کند (شکل ۸ ب). بر پایه‌ی تفسیر افق‌های گوتنیا تا آسماری در برش لرزه‌ای ۱۳ (شکل ۸ ب)، یک پهنه مثلثی (Triangle Zone) ایجاد شده است که با مدل نوع ۱ که کازن و ویلتسکو (۱۹۹۶) پیشنهاد داده‌اند، همخوانی دارد (شکل ۱۲). اگر چه در محدوده‌ی یاد شده به سبب عملکرد افق‌های جدایشی میانی متعدد، با هندسه‌ی پیچیده‌تری مواجه هستیم.

است با این تفاوت که طول یال جلویی کوتاه‌تر ولی پرشیب‌تر شده است. در این حالت، معمولاً توسعه گسل پس‌راندگی انجام نمی‌پذیرد. در گستره مورد مطالعه به دلیل افزون شدن عملکرد حداقل سطوح جدایشی میانی دشتک، ژوراسیک و گرو پیچیدگی ساختاری به نسبت بیشتری در مقایسه با مدل‌های شکل ۱۱ وجود دارد. بر پایه ویژگی‌های هندسی و جنبشی بررسی شده در برش‌های لرزه‌ای که تاکنون به آنها پرداخته‌ایم، سبک چین‌خوردگی ساختمان‌های مارون و کوپال در ارتباط با گسل و در ابتدا از نوع جدایشی نامتقارن (Asymmetric Detachment Fold) پیشنهاد می‌شود. سپس در مراحل بعدی با افزایش کوتاه‌شدگی، افق‌های جدایشی میانی به ترتیب دشتک، ژوراسیک و سپس گرو فعال شده‌اند و افزون بر تاثیر بر هندسه چین‌خوردگی لایه‌های بالاتر، چین جدایشی نامتقارن اولیه به چین جدایشی گسل‌خورده نامتقارن تبدیل شده است (شکل ۱۰ ه، و و شکل ۱۱). بنابراین به نظر می‌رسد که ابتدا یک چین جدایشی در تمامی افق‌ها (حداقل کنگان تا آسماری) به صورت واحد شکل گرفته و سپس با افزایش کوتاه‌شدگی، گسل‌های راندگی و پس‌راندگی از سطوح جدایشی میانی رشد کرده و

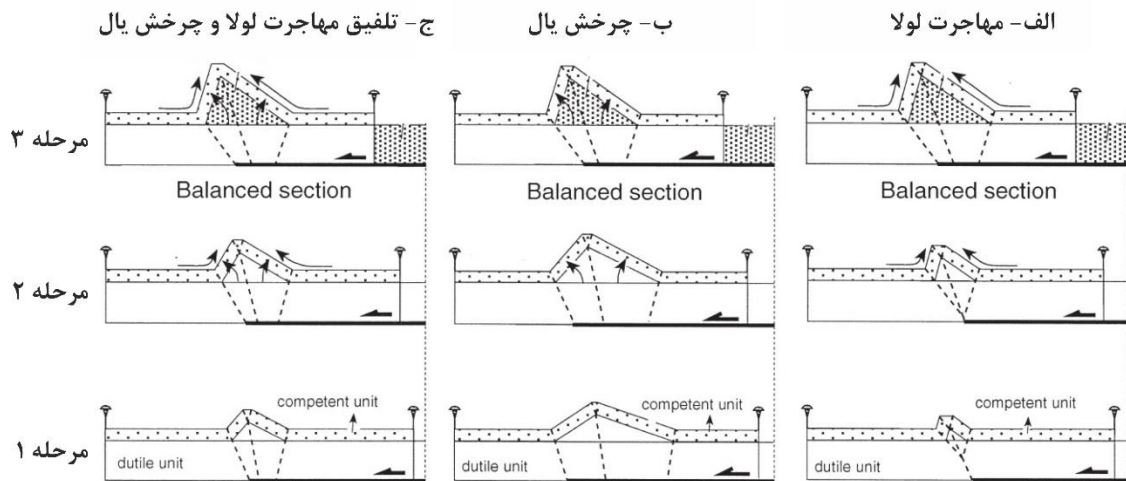


شکل ۱۲: دو مدل برای حالت نهایی (End Member) پهنه‌های مثلثی. برگرفته از کازن و ویلتسکو (۱۹۹۶).

جدایشی، ۳ سازوکار جنبشی چرخش یال (Limb Rotation)، مهاجرت لولا (Hinge Migration) و یا

سازوکار جنبشی رشد چین‌های مارون و کوپال: پژوهشگران برای رشد (Amplification) چین‌های

تلفیقی از چرخش یال و مهاجرت لولا (Limb) کرده‌اند (پابلت و مک‌کلی، ۱۹۹۶؛ بولنس و پابلت، ۱۹۹۹؛ میترا، ۲۰۰۲) (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: سه سازوکار جنبشی رشد چین‌های جدایشی در ۳ مرحله رشدی. برگرفته با اندکی تغییر از بولنس و پابلت (۱۹۹۹).

نتیجه‌گیری

مقایسه برش‌های لرزه‌ای عمود بر محور تاقدیس‌های مارون و کوپال، نتایج زیر را در زمینه‌ی نحوه دگرریختی و سبک چین خوردگی تاقدیس‌های یاد شده آشکار می‌سازد:

چین خوردگی اولیه به صورت جدایشی و هماهنگ در تمام سری رسوبی الیگومیوسن و قدیمی‌تر از آن روی داده است. در این مرحله، افق‌های جدایشی ژرف پالئوزوئیک زیرین و یا پرکامبرین فعال بوده‌اند. چین اولیه حالت نامتقارن با شیب نسبی بیشتر در یال جنوب باختری داشته است و سپس در مراحل بعدی، با فعال شدن افق‌های جدایشی میانی به ترتیب دشتک، ژوراسیک و گرو عدم تقارن بیشتر شده است.

با در نظر گرفتن تغییرات الگوی چین خوردگی و گسل خوردگی در تاقدیس‌های مارون و کوپال، این دو تاقدیس به سه قطعه ساختاری شمال باختری،

به نظر می‌رسد که در افق آسماری ساختمان مارون، مراحل ابتدایی رشد چین در راستای امتداد پیوسته‌ی شیب و ثابت ماندن طول یال‌ها انجام شده است (شکل‌های ۵ و ۶) ولی با افزایش دگرریختی و توسعه راندگی (و هم‌چنین ایجاد ساختارهای دماهی و پس‌راندگی) در افق گرو، افزون بر افزایش شیب یال‌ها، بر طول آنها نیز افزوده شده است (شکل‌های ۷ و ۸). بر این اساس، سازوکار جنبشی رشد چین در افق آسماری ساختمان مارون، ابتدا چرخش یال (شکل ۱۳ ب) و سپس با افزایش دگرریختی و فعال شدن افق‌های جدایشی (در اینجا بیشتر گرو)، تلفیقی از چرخش یال و مهاجرت لولا (شکل ۱۳ ج) پیشنهاد می‌گردد. در ساختمان کوپال به دلیل دگرریختی کمتر، ظاهراً رشد چین تنها با سازوکار چرخش یال (شکل ۱۳ ب) انجام شده است.

تاق‌دیس‌ها داشته‌اند. به عبارت دقیق‌تر، شکل‌گیری اولیه نفتگیرهای ساختمانی ناحیه فروبار دزفول با فعالیت افق‌های جدایشی ژرف انجام شده است ولی افق‌های جدایشی میانی با اعمال برخی جزئیات هندسی در این تاق‌دیس‌ها، نقش کلیدی خود را ایفا نموده‌اند.

-این مطالعه نشان می‌دهد که سازند تبخیری گچساران از اولین مراحل دگرریختی، نقش یک افق جدایشی اصلی را ایفا نموده است و افزون بر جدا نمودن دگرریختی سازندهای جوان‌تر بالایی از سازندهای زیرین خود، تاثیر به‌سزایی بر نحوه رسوب‌گذاری و دگرشکلی سازندهای جوان‌تر داشته است.

سپاسگزاری

از مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران به سبب در اختیار قرار دادن داده‌های لرزه‌ای، چاه، نقشه‌ی عمقی افق آسماری و فراهم‌آوری زمینه‌ی تفسیر خطوط لرزه‌ای در آن مدیریت، قدردانی فراوانی می‌گردد. از نظرات سازنده داوران محترم و تمامی عزیزانی که به هر نحو ممکن در تدوین این پژوهش کمک نمودند، سپاسگزاری می‌نمائیم.

ایران، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، پائیز، دوره ۶، شماره ۲۳، ص ۱۹-۳۵.

-یزدانی، م.، علوی، ا. و سراج، م.، ۱۳۸۵. تحلیل ساختاری و شکستگی میدان نفتی پارسی، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، تابستان، دوره ۲، شماره ۵، ص ۴۳-۵۶.

-Abdollahi Fard, I., Braathen, A., Mokhtari, M. and Alavi, S.A., 2006. Interaction of the Zagros Fold thrust belt

میانی و جنوب خاوری تقسیم شده‌اند. این قطعه‌بندی نحوه توزیع متفاوت دگرریختی و عناصر ساختاری را در گستره مورد مطالعه نشان می‌دهد. به‌طور خلاصه می‌توان عنوان نمود که دگرریختی توزیع‌شده در هر یک از قطعه‌های سه‌گانه در دو ساختمان مارون و کوپال عکس یکدیگرند. به عبارت دیگر، اگر در یک قطعه معین، دگرریختی در یکی از ساختارها بیشتر باشد، در همان قطعه ساختار دیگر دگرریختی کمتری را متحمل شده است و به عکس و در مجموع دگرریختی هر سه قطعه با یکدیگر تقریباً یکسان هستند.

-به نظر می‌رسد که تاق‌دیس کوپال یک چین جدایشی است که تحت سازوکار چرخش یال رشد کرده است. در حالیکه سازوکار جنبشی رشد چین جدایشی ساختمان مارون، ابتدا چرخش یال بوده که با افزایش میزان دگرریختی و فعال شدن افق‌های جدایشی میانی (به‌ویژه سازند گرو) به تلفیقی از سازوکار چرخش یال و مهاجرت لولا تبدیل شده است.

-نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در فروبار دزفول، افزون بر افق‌های جدایشی ژرف، افق‌های جدایشی میانی (لایه‌های کم‌قوام دشتک، ژوراسیک و گرو) نیز نقش مهمی در سبک چین‌خوردگی

منابع

-خرازی، ن.، الماسیان، م. و شرکتی، ش.، ۱۳۹۱. تحلیل جنبشی هندسه چین‌خوردگی در تاق‌دیس آجاجاری (فروافتادگی دزفول)، مجله علوم زمین، زمستان، شماره ۸۶، ص ۲۶۱-۲۷۲.
-رضانی، ع.، علوی، ا. و حاج علی بیگی، ح.، ۱۳۹۱. تحلیل شکستگی‌ها در تاق‌دیس لالی، جنوب باختر

and the Arabian type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful

- Embayment, SW Iran: *Petroleum Geoscience*, v.12, p. 62–347.
- Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 18, p. 210-285.
- Bulnes, M. and Poblet, J., 1999. Estimating the detachment depth in cross sections involving detachment folds: *Geological Magazine*, v. 136, p. 395-412.
- Colman-Sadd, S.P., 1978. Fold development in Zagros Simply Folded Belt, southwest Iran: *AAPG Bulletin*, v. 62, p. 984- 1003.
- Couzens, B.A. and Wiltschko, D.V., 1996. The control of mechanical stratigraphy on the formation of triangle zones. In: *Triangle Zones and Tectonic Wedges*, eds. by MacKay, P.A., Varsek, J.L., Kubli, T.E., Dechesne, R.G., Newson, A.C. and Reid, J.P.: *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, v. 44, p. 165-79.
- Falcon, N.L., 1974. Southern Iran: Zagros Mountains, In: *Mesozoic-Cenozoic orogenic belts*, ed. by Spencer, A. M.: *Geological Society of London, Special Publication*, v. 4, p. 199-212.
- Harrison, J.C. and Bally, A.W., 1988. Cross sections of the Parry Islands fold belt on Melville Island, Canadian arctic islands: Implications for the timing and kinematic history of some thin-skinned decollement systems: *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, v. 36, p. 311- 332
- Mitra, S., 2002. Structural models of faulted detachment folds: *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, v. 86(4), p. 671-693.
- Molinaro, M., Guezou, J.C., Leturmy, P., Eshraghi, S.A. and Frizon de Lamotte, D., 2004. The origin of changes in structural style across the Bandar Abbas syntaxis, SE Zagros (Iran): *Marine and Petroleum Geology*, v. 21(6), p. 735-752.
- O'Brien, C.A.E., 1950. Tectonic Problems of the Oilfield Belt of Southwest Iran: *International Geology Congress, 18th*, Great Britain, p. 45-58.
- O'Brien, C.A.E., 1957. Salt Diapirism in south Persia (Iran): *Geologie en Mijnbouw*, v. 19, p. 357-376.
- Poblet, J. and Hardy, S., 1995. Reverse modelling of detachment folds; application to the Pico del Aguila anticline in the South Central Pyrenees (Spain): *Journal of Structural Geology*, v. 17, p. 1707-1724.
- Poblet, J. and McClay, K., 1996. Geometry and kinematics of single-layer detachment folds: *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, v. 80, p. 1085-1109.
- Poblet, J., McClay, K., Storti, F. and Muñoz, J.A., 1997. Geometries of syntectonic sediments associated with single-layer detachment folds: *Journal of Structural Geology*, v. 19, p. 369-381.
- Rowan, M.G., 1997. Three-dimensional geometry and evolution of a segmented detachment fold, Mississippi Fan fold belt, Gulf of Mexico: *Journal of Structural Geology*, v. 19, p. 463-480
- Sattarzadeh, Y., Cosgrove, J.W. and Vita-Finzi, C., 2000. The interplay of faulting and folding during the evolution of the Zagros deformation belt. In: *Forced Folds and Fractures*, eds., Cosgrove, J. W. and Ameen, M.S.: *Geological Society of London, Special Publication no*, v. 169., p. 187-96.
- 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*, v. 427, p. 265-281.
- 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*, v. 21, p. 535-554.

-Sherkati, S., Molinaro, M., Lamotte, D.F. and Letouzey, J., 2005. Detachment folding in the central and eastern Zagros fold-belt (Iran): salt mobility, multiple detachments and final basement control: *Journal of Structural Geology*, v. 27, p. 1680-1696.

-Sherkati, S., Letouzey, J. and Lamotte, D.F., 2006. Central Zagros fold-thrust belt (Iran): New insights from seismic data, field observation, and sandbox modeling: *Tectonics*, v. 25, TC4007, doi:10.1029/2004TC001766

-Takin, M., 1972. Iranian geology and continental drift in the Middle East: *Nature*, v. 235, p. 147-150.