

تأثیر سازند متحرک گچساران بر سبک چین خوردگی و تکامل تکتونیکی تاقدیس رگ سفید در فروافتادگی دزفول جنوبی

مه‌دی یوسفی^۱، سید مرتضی موسوی^۲ و محمد مه‌دی خطیب^۳

۱. دانش‌آموخته تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۳. استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۰۹

چکیده

رفتار شکل‌پذیر و ضخامت قابل توجه از سازند نامقاوم گچساران در بالای واحدهای مقاوم میانی کریناته در توالی رسوبی فروافتادگی دزفول جنوبی، منجر به بروز سبک‌های متفاوت چین‌خوردگی در بالا و پایین این سازند و همچنین تکامل ساختارهای توسعه‌یافته در واحدهای سنگی منطقه شده است؛ به طوری که ساختارهای بخش بالایی و پایینی آن کاملاً از یکدیگر جدا شده و بر یکدیگر منطبق نیستند. محاسبه زاویه بین یالی، شیب راندگی اصلی و درصد نازک‌شدگی در تاقدیس واقع در بالای افق گچساران، چین‌های جدایشی گسل خورده را نشان می‌دهد که نشانگر هندسه چین در مرحله ابتدایی توسعه این تاقدیس می‌باشد. نیمرخ‌های لرزه‌ای تاقدیس در زیر افق گچساران، سبک چین‌خوردگی وابسته به انتشار گسل را نشان می‌دهند. در فروافتادگی دزفول جنوبی، چین‌خوردگی در سازند گچساران با طول موج‌های کوتاه‌تر و به شکل چین‌های ناهماهنگ رخ می‌دهد و به‌عنوان سطح تجزیه برای چین‌های زیرین عمل می‌کند که ناودیس‌ها در این افق متحرک به‌طور مستقیم، تاقدیس‌های سازند کریناته را می‌پوشانند. چین‌های مدور در تاقدیس زیرین در سازندهای کریناته، چین‌های تحمیلی همراه با گسل‌های پرشیب هستند که بالای یک سطح جدایشی عمیق جدایش یافته‌اند و نهایتاً به‌وسیله دگرشکلی پیش‌رونده، گسل خورده‌اند. تفسیر مقاطع لرزه‌ای در فروافتادگی دزفول جنوبی نشان می‌دهد که مهاجرت جانبی در واحدهای نمکی ۲ و ۴ سازند گچساران رخ می‌دهد و واحدهای بالایی و پایینی سازند گچساران در مهاجرت نمک نقشی ایفا نمی‌کنند. مهاجرت جانبی نمک سازند میوسن گچساران به‌وسیله رشد تاقدیس زیرسطحی در طی چین‌خوردگی و بارگذاری سازندهای رویی در بالای سازند گچساران انجام می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تاقدیس رگ سفید، سبک چین‌خوردگی، سازند گچساران، چین‌خوردگی جدایشی.

مقدمه

ویژگی‌های مکانیکی پوشش رسوبی یکی از عوامل اساسی کنترل‌کننده سبک دگرریختی در کمربندهای چین خورده-رانده است (Davis and Engelder, 1985; Cotton). سبک دگرریختی پوشش رسوبی در کمربندهای چین خورده-رانده دارای افق‌های جدایش میانی، در بالا و زیر این افق‌های جدایش متفاوت است و سبک چین‌خوردگی در سطح الزاماً ساختارهای ژرف را

کنترل‌کننده سبک دگرریختی در کمربندهای چین خورده-رانده است (Davis and Engelder, 1985; Cotton). سبک دگرریختی پوشش رسوبی یکی از عوامل اساسی کنترل‌کننده سبک دگرریختی در کمربندهای چین خورده-رانده است (Davis and Engelder, 1985; Cotton). سبک دگرریختی پوشش رسوبی یکی از عوامل اساسی کنترل‌کننده سبک دگرریختی در کمربندهای چین خورده-رانده است (Davis and Engelder, 1985; Cotton).

* نویسنده مرتب: mmoussavi@birjand.ac.ir

فروافتادگی دزفول از زیر پهنه زاگرس چین خورده قرار دارد (شکل ۱). این تاقدیس هلالی شکل در جنوب غرب ایران و در ۱۵۰ کیلومتری جنوب شرق اهواز واقع شده است. رخنمون‌های سطح الارضی در این منطقه متشکل از تپه ماهوری‌های کم ارتفاع از سازند آجاجاری می‌باشد. سازند میشان فقط در دو پنجره فرسایشی در امتداد بخش جنوب غربی ساختار دیده می‌شود و سازندهای قدیمی‌تر از میشان در سطح زمین رخنمون ندارند. این تاقدیس در افق مخزنی آسماری دارای طول تقریبی ۵۴ کیلومتر و عرض متغیر ۴ تا ۵/۵ کیلومتر در بخش جنوب شرق، و ۵ تا ۸/۳ کیلومتر در بخش شمال غرب می‌باشد. شیب دامنه شمالی تاقدیس رگ سفید ۱۲ تا ۳۵ درجه است که این مقدار به حدود ۴۰ تا ۷۰ درجه در دامنه جنوبی تغییر می‌کند (شکل ۲). تاقدیس مذکور از نوع نامتقارن، و شیب زیاد در یال جنوب غربی متأثر از گسل‌های تراسی فراوان در یال جلویی می‌باشد. این تاقدیس بر روی افق آسماری دارای دو کوهانک یا برجستگی با دو روند محوری متفاوت می‌باشد: برجستگی یا کوهانک جنوب شرقی دارای روند محوری شمال غرب-جنوب شرق است که در منتهی‌الیه جنوب شرق توسط گسل عادی با جهت شیب احتمالی شمال شرق از تاقدیس بی‌بی حکیمه جدا می‌گردد. همچنین برجستگی یا کوهانک شمال غربی دارای روند تقریباً شمالی-جنوبی می‌باشد که تحت تأثیر عملکرد خطواره گسلی هنديجان-ایذه روند محور تاقدیس نسبت به جهت عمومی میدان حدود ۳۰ درجه به سمت شمال چرخش پیدا کرده است.

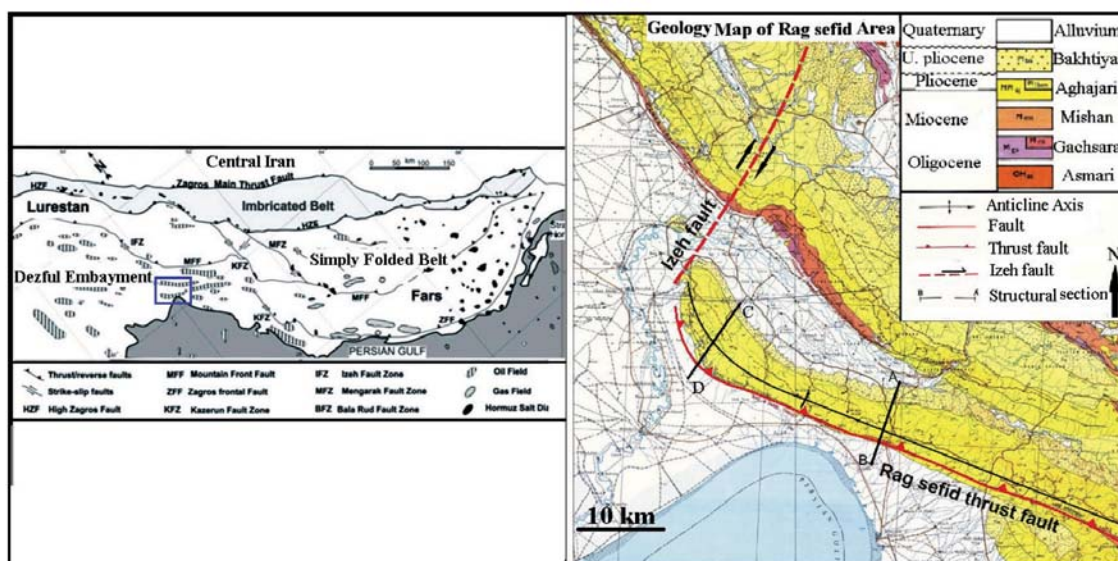
چینه‌شناسی مکانیکی بخش جنوبی فروافتادگی دزفول

پوشش رسوبی فروافتادگی دزفول ضخامتی بین ۱۰ تا ۱۶ کیلومتر دارد و شامل چندین مجموعه از لایه‌های پرقوام است که توسط افق‌های کم قوام تبخیری و شیلی با پتانسیل عملکرد به‌عنوان افق‌های جدایشی از هم جدا شده‌اند (شکل ۳). در فروافتادگی دزفول شاهد سطحی از وجود سری هرمز قابل مشاهده نیست؛ اما خطوط لرزه‌نگاری بازتابی بر روی تاقدیس دارخوین، بازتابنده‌های تقریباً پرشیبی در مقایسه

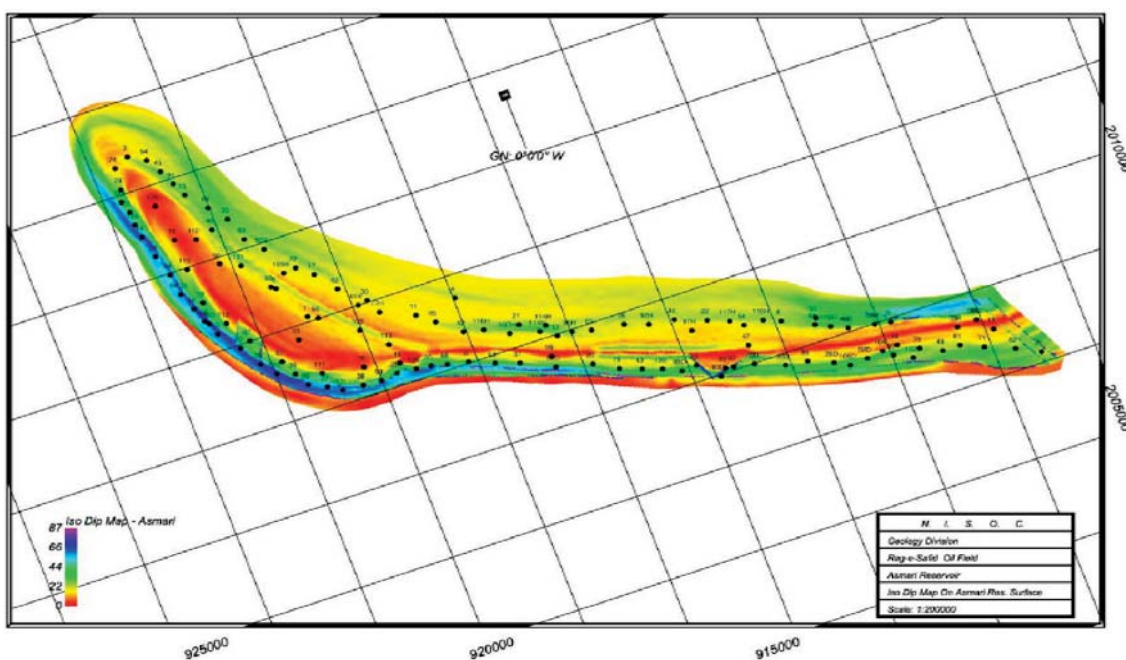
منعکس نمی‌کند (O' Brein, 1957; Massoli and Koyi, 2006). پوشش رسوبی زاگرس دارای تغییرات قابل توجه در رخساره و ستبرای واحدهای سنگی است. الگوی چین خوردگی در کمربند چین خورده-رانده زاگرس به شدت متأثر از رفتار مکانیکی واحدهای سنگی آن است و هندسه تاقدیس‌های زاگرس غالباً افزون بر نوع دگرشکلی، تابع عملکرد مکانیکی واحدهای چینه نگاری می‌باشد. در چند سال اخیر پژوهشگران بسیاری به مطالعه چینه نگاری مکانیکی و عملکرد افق‌های شکل‌پذیر جدایشی میانی در کمربند چین خورده-رانده زاگرس پرداخته‌اند و اهمیت این موضوع را تبیین کرده‌اند (O'Brien, 1957; Bahroudi and Koyi, 2003; Sherkati and Letouzey, 2006; Carruba et al., 2006; Sherkati et al., 2004). در ستون چینه‌شناسی زاگرس سطوح مقاومی وجود دارد که توسط سطوح جدایش تبخیری و شیلی تفکیک می‌شوند و در طی دگرشکلی به‌عنوان افق‌های متحرک میانی درگیر می‌شوند (Sherkati and Letouzey, 2004). همچنین مطالعاتی در جهت مدل‌سازی چین‌های ناهماهنگ (disharmonic folding) جهت نشان دادن تکامل جنبشی نمک میوسن میانی گچساران در زاگرس انجام شده است (Egdell, 1996; Sattarzadeh et al., 2000; Bonini, 2003; Koyi et al., 2004). در این مطالعه بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی، خطوط لرزه‌نگاری بازتابی (Seismic profiles) و داده‌های چاه، تحلیل هندسی و سبک چین خوردگی در تاقدیس‌های فوقانی شکل گرفته در سازند گچساران و در تاقدیس زیرسطحی (سازندهای مقاوم کربناته میانی) چین رگ سفید در بخش جنوبی فروافتادگی دزفول (شکل ۱) انجام، و شناسایی فاکتورهای مؤثر بر هندسه این تاقدیس‌ها صورت می‌گیرد. همچنین تأثیر واحدهای متحرک در بروز سبک‌های مختلف چین خوردگی در بخش‌های مختلف این تاقدیس تعیین، و الگوی تکاملی چین‌ها بیان می‌شود.

زمین‌شناسی ناحیه‌ای و ساختاری تاقدیس رگ سفید

از لحاظ ساختاری تاقدیس رگ سفید در بخش جنوبی



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی گستره تاقدیس رگ سفید که در کمربند چین رانده زاگرس (Sepehr and Cosgrove, 2004) با مستطیل آبی نشان داده شده است. خطوط AB و CD، مکان نیمرخ‌های بازتابی عمود بر تاقدیس را نشان می‌دهند



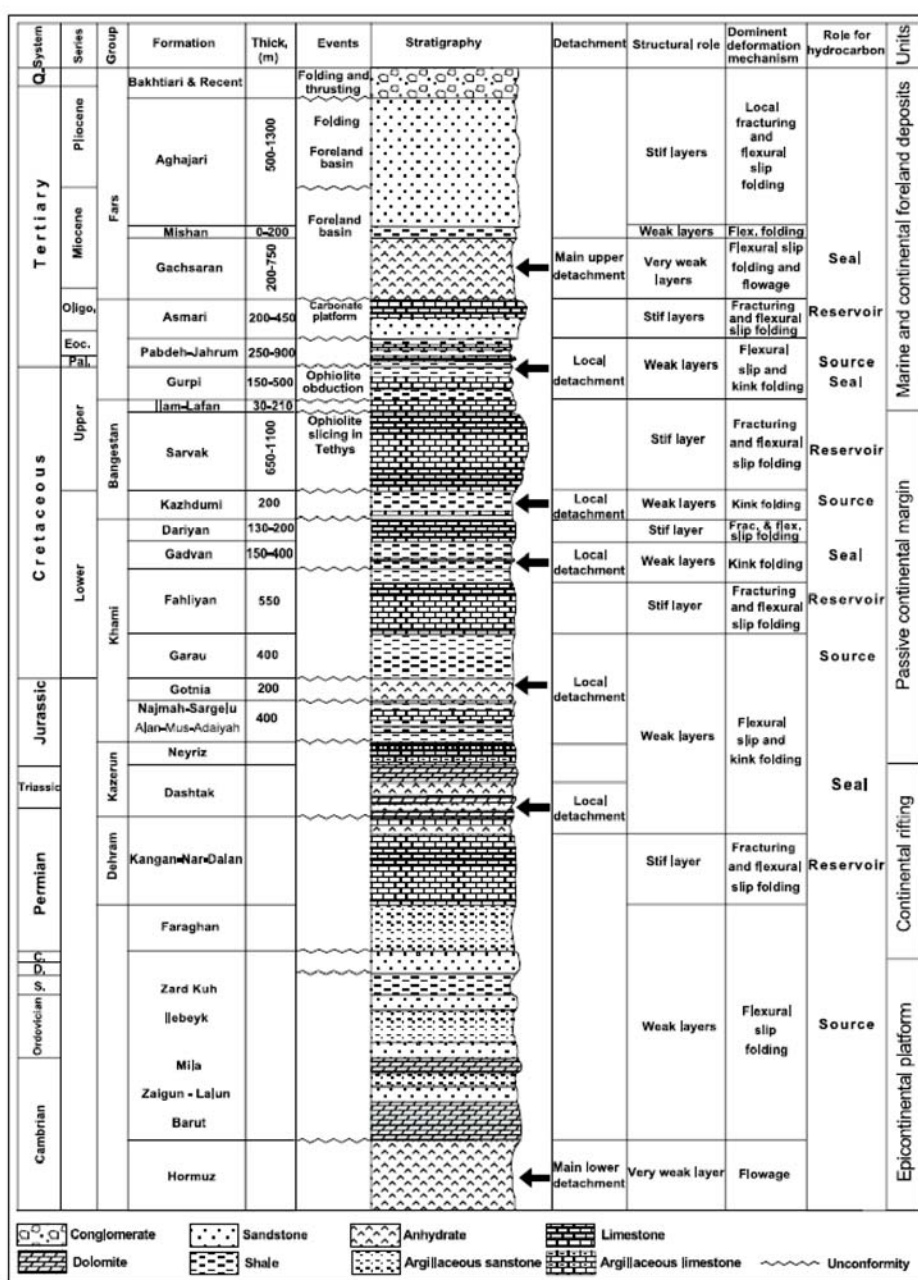
شکل ۲. نقشه هم‌شیب (Isodip Map) افق آسماری در تاقدیس رگ سفید. به افزایش شیب یال جنوبی نسبت به یال شمالی توجه شود

اٲوکامبرین یا شیل‌های کامبرین را به‌عنوان افق جدایشی اصلی قاعده‌ای برای فروافتادگی دزفول در نظر گرفته‌اند. تبخیری‌های سازند دشتک در اکثر نقاط کمربند زاگرس به استثنای زاگرس بلند که سازند خانه کت جایگزین آن می‌شود، به‌عنوان افق جدایشی عمل کرده است (Sherkati, and Letouzey, 2004; Abdollahi Fard)

با بازتابنده‌های کم شیب بخش عمیق را نشان می‌دهند. این بازتابنده‌های پرشیب احتمالاً در ارتباط با دیاپیریسم سری هرمز می‌باشند (Abdollahi Fard et al., 2006). علاوه بر این، شواهدی دال بر دیاپیریسم سری هرمز در منطقه مرزی عراق و کویت وجود دارد. از سوی دیگر (Sherkati and Letouzey, 2004) رسوبات تبخیری

بالایی-پالئوژن سازندهای گورپی و پابده و پاره سازند کلهر (تبخیری‌های الیگوسن در قاعده سازند آسماری) پتانسیل عملکرد به‌عنوان افق جدایشی را دارند (Abdollahi Fard et al., 2006). نقش افق جدایشی فوقانی را تبخیری‌های سازند گچساران در دگربرختی فروافتادگی دزفول بر عهده دارند (Sherkati et al., 2006; Abdollahi Fard et al., 2004; Sepehr et al., 2006).

etal., 2006; Farzipour-Saein et al., 2009; Verges et al., 2014; Najafi et al., 2011). واحدهای شیلی و تبخیری ژوراسیک (سازندهای عدایه، موس، علن، سرگلو و گوتنیا)، شیل‌های کرتاسه زیرین و میانی) سازند گرو و کژدمی پتانسیل عملکرد به‌عنوان افق جدایشی را در زمان دگربرختی داشته‌اند (Abdollahi et al., 2006; Sherkati et al., 2006). به سمت بالا شیل و مارن‌های کرتاسه



شکل ۳. ستون چینه‌شناسی ساده شده فروافتادگی دزفول و حوادث تکتونیکی اصلی در آن. ستون شامل چندین واحد پرکوام است که توسط واحدهای کم‌کوام از هم جدا شده‌اند (Abdollahi Fard et al., 2006)

روش مطالعه

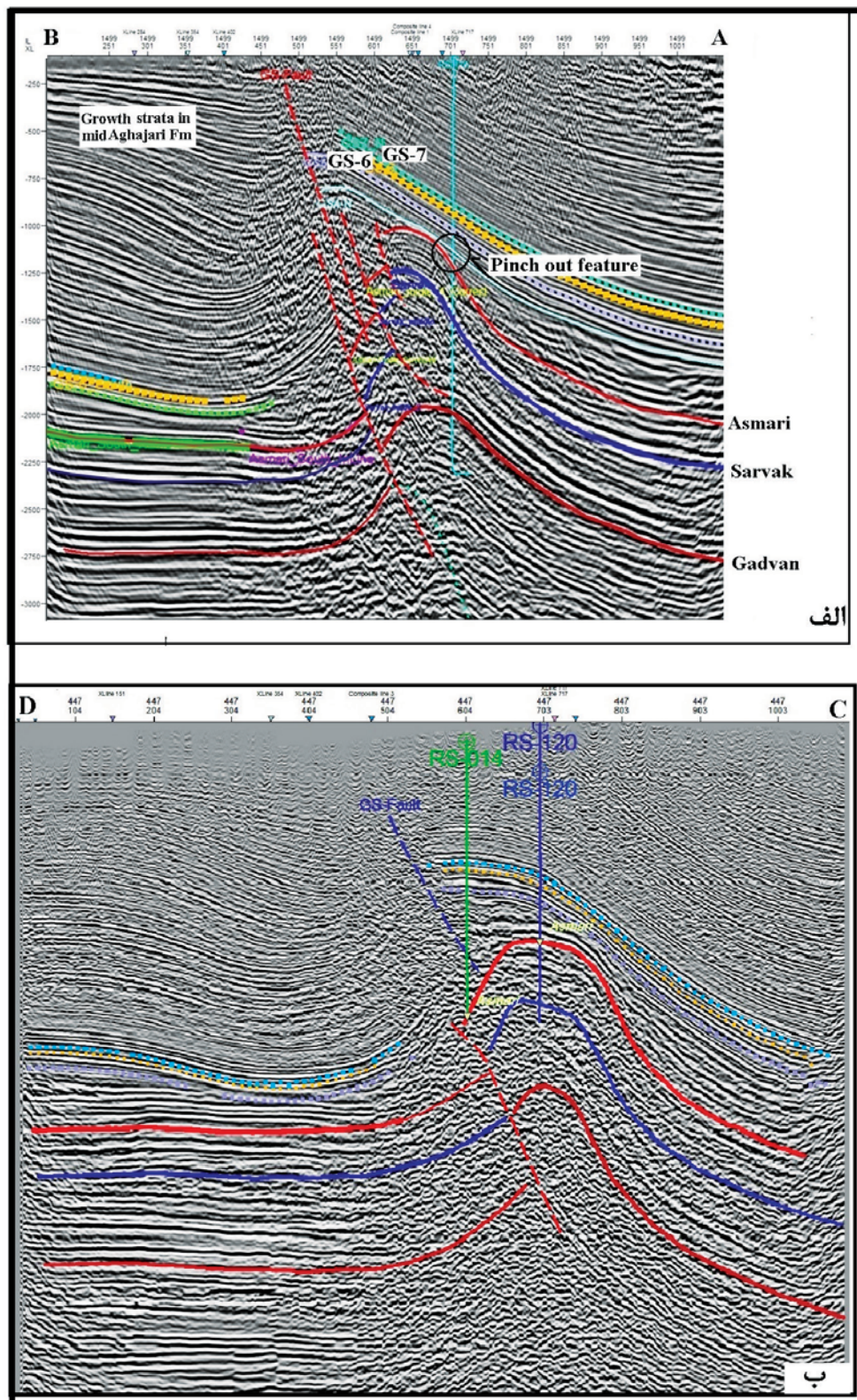
هندسه ساختاری تاقدیس رگ سفید

رخنمون سطحی در بخش جنوبی دزفول به طور عمده شامل سازندهای مارنی میشان، آواری آجاجاری و رسوبات عهد حاضر می باشد (شکل ۱). ساختارهای تاقدیسی زیرسطحی (زیر سازند گچساران) میادین نفتی بزرگی را در منطقه تشکیل داده اند. یکی از این میادین نفتی تاقدیس رگ سفید می باشد. جهت بررسی هندسه تاقدیس رگ سفید در بخش جنوبی فروافتادگی دزفول نیمرخ های لرزه ای، عمود بر محور این تاقدیس در بخش های غربی و شرقی انتخاب شده است (شکل ۱). کیفیت نیمرخ های لرزه ای اجازه شناسایی ساختارها را تا سازند گدوان می دهد. در ادامه هندسه تاقدیس رگ سفید در این نیمرخ های لرزه نگاری توصیف شده است.

تفسیر نیمرخ های لرزه ای عمود بر تاقدیس رگ سفید

سه حوضه تبخیری نئوزن اصلی در کمربند زاگرس توسعه یافته است: حوضه تبخیری میوسن ابتدایی کلهر که در جنوب پهنه لرستان قرار دارد (Ahmadhadi et al., 2011; Saura et al., 2007)، حوضه نمکی میوسن ابتدایی تا میانی فارس در جنوب خلیج فارس و سازند میوسن میانی گچساران به همراه انیدریت، مارن، نمک (James and Wynd, 1965) که نه تنها در فروافتادگی دزفول بلکه در جنوب غرب لرستان نیز نهشته شده است. در این حوضه ها سازند گچساران که در طی چین خوردگی زاگرس درگیر شده است، نقش مهمی در جلوگیری از فرار سیالات سازند آسماری در فروافتادگی دزفول بازی می کند (Abdollahi et al., 2011; Fard et al.). تکتونیک نامقاوم سازند گچساران یک نشانه قابل توجه در تفاسیر لرزه ای در فروافتادگی دزفول است. الگوی بازتابنده های لرزه ای واحدهای نامقاوم آشفته هستند به خصوص در جایی که آنها از قله به طرف پهلوهای تاقدیس های زیری جریان می یابند. نیمرخ های لرزه نگاری AB و CD (شکل ۱) به ترتیب بخش شرقی و غربی تاقدیس رگ سفید را پوشش می دهند. عدم کیفیت مناسب مقاطع لرزه ای اجازه تفسیر ساختارها تا اعماق را نمی دهد. مقاطع

ترسیمی و تفسیر داده های بازتابی در هر دو نیمرخ، یک راندگی عمقی جلویی احتمالا منشأ گرفته در افق متحرک پایینی پالئوزوئیک که تا بخش بالایی سازند گچساران نفوذ کرده و باعث ایجاد دگرریختی اصلی و بریدگی واضح در سازندهای حدفاصل آسماری از سازند گدوان شده است، را نشان می دهد. در منطقه لولایی تاقدیس در حد فاصل بین سرسازندهای آسماری و گدوان یک افزایش ضخامت نسبت به یال های تاقدیس دیده می شود. به نظر می رسد این امر به دلیل حرکت تبخیری های پاره سازند کلهر و مارن سازندهای پابده و گورپی از یال ها به طرف منطقه لولایی تاقدیس باشد (شکل ۴ الف و ب). در تاقدیس های زیرسطحی پدیده انتشار و توسعه راندگی های جدید در فرودپیواره راندگی های قبلی مشهود است؛ به نحوی که حداقل چهار راندگی در افق های جدایشی میانی منشأ گرفته اند که باعث بروز پله ای شدن یال جنوب غربی از راس سازندهای آسماری و سروک شده است (شکل ۴ الف). همچنین در طی دگرریختی یک راندگی بالایی که ریشه در سازند شکل پذیر گچساران دارد، به سطح رسیده است. عملکرد این راندگی باعث شده که محور تاقدیس بالایی افق گچساران نسبت به محور تاقدیس اصلی پایینی دچار جابجایی شده باشد و همچنین باعث شده هندسه و سبک تاقدیس در زیر این سازند متفاوت از هندسه تاقدیس فوقانی باشد. بازتابنده های لرزه ای سازندهای میشان، آجاجاری و بخش های بالایی سازند گچساران به طرف بالا کشیده و سربریده شده اند که این مورد حرکت رو به بالایی مواد نامقاوم از میان مقطع چینه شناسی به شکل دیپایر نمکی را پیشنهاد می دهد. به عبارت دیگر تحذب سازند گچساران در این مقطع می تواند در پاسخ به حرکات تکتونیک و بارگذاری رسوبات آواری ضخیم آجاجاری درون تاقدیس ها باشد. چینه های رشدی (Growth strata) همزمان با تکتونیک در سازند آجاجاری و میشان دچار کج شدگی شده اند که عملکرد راندگی های عمیق و همزمانی با فعالیت تکتونیک را نشانگر هستند؛ به نحوی که این چینه های رشدی در فرودپیواره راندگی ها، ناودیس فرودپیواره را تشکیل می دهد و در فرادپیواره راندگی ها پرشیب گشته اند (شکل ۴ الف و ب).

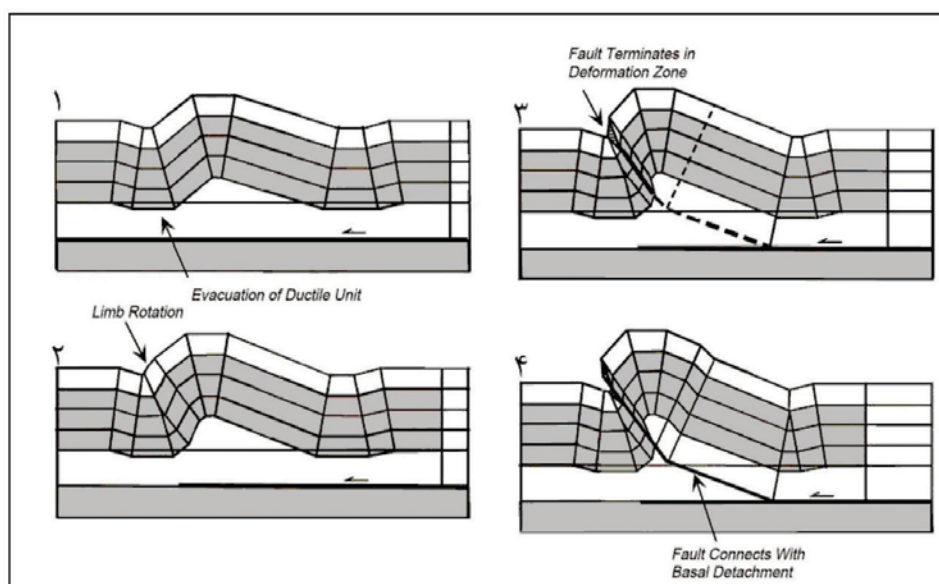


شکل ۴. الف و ب) نیمرخ‌های لرزه‌ای AB و CD به ترتیب در بخش شرقی و غربی تاقدیس رگ سفید: یک راندگی با عمق زیاد در یال جنوب غربی مشاهده می‌شود و با ادامه دگرریختی یک راندگی بالایی با ریشه در سازند گچساران به سطح رسیده است. همچنین اثر مهاجرت و انتشار راندگی‌ها در فرودبواره راندگی‌های قبلی مشهود است

سازوکار چین خوردگی در تاقدیس بالایی سازند گچساران در تاقدیس واقع در

تاقدیس بالایی به صورت نامتقارن در اثر بروز راندگی در افق متحرک بالایی در سازند گچساران شکل گرفته است. زاویه بین یالی ۱۰۰ درجه و شیب یال پشتی به میزان ۳۵ درجه و همچنین مقایسه سستبرای لایه مینا و پهلوی پیشانی نشان دهنده ۳۰ درصد ضخیم شدگی پیش یال می باشد که با مقدار تغییرات ضخامت به دست آمده از نیمرخ های لرزه نگاری در تاقدیس بالایی هسته دار شده در سازند گچساران، همخوانی دارد (جدول ۱) و با این پارامترها سبک چین خوردگی جدایشی را نشان می دهد که یال پیشانی دچار برش شدگی شده است (شکل ۶a). همچنین شکل چین خوردگی در تاقدیس بالایی، هندسه مشابه با مدل ۱ (Mitra, 2002) چین خوردگی جدایشی گسل خورده نشان را می دهد (شکل ۵). که در این مدل چین خوردگی در واحد شکل پذیر (در اینجا بخش های پایینی واحد کم قوام گچساران) مقدم بر گسلش است. در ادامه رشد چین و چرخش پیش یال با افزایش دگرشکلی اتفاق می افتد. انتشار گسل در واحد پر قوام پیش یال و اتصال این گسل به افق جدایشی، مرحله نهایی در تکامل این سبک چین خوردگی است.

همواره روش های متفاوتی برای بررسی هندسه چین ها به کار رفته است که می توان به مقایسه هندسه چین با شکل های ارایه شده توسط (Mitra, 2002) و استفاده از نمودارهای چین های مرتبط با گسل های راندگی ارائه شده توسط (Jamison, 1987) اشاره کرد (Jamison, 1987). با استفاده از پارامترهای هندسی و تغییرات ضخامت یال ها برای سازوکارهای اصلی چین خوردگی مرتبط با گسل، نمودارهایی ارائه کرده است. پارامترهای مورد استفاده در این نمودارها شامل زاویه پلکان گسل (α) یا شیب پس یال ($\alpha\beta$)، زاویه بین یالی چین (γ) و تغییرات ضخامت پیش یال نسبت به پس یال می باشند. این پارامترها در انواع چین های مرتبط با گسل به هم وابسته اند. همان طور که قبل تر اشاره شد در نیمرخ های لرزه نگاری تاقدیس رگ سفید واقع در دزفول جنوبی، دو تاقدیس بالا و پایین افق گچساران با جابجایی در محور چین ها وجود دارد. این پارامترها برای تاقدیس بالایی ریشه هسته دار شده در سازند گچساران و همچنین برای تاقدیس واقع در زیر افق گچساران در جدول ۱ آورده شده است. موقعیت هر یک از تاقدیس های رگ سفید با استفاده از این پارامترها بر روی نمودارهای (Jamison, 1987) مشخص شده است.



شکل ۵. الگوی ۱ تکامل جنبشی چین های جدایشی گسل خورده نامتقارن: (۱) شکل گیری چین اولیه، (۲) رشد چین با چرخش پیش یال، (۳) انتشار گسل در واحدهای پر قوام پیش یال، (۴) اتصال گسل به افق جدایشی (Mitra, 2002)

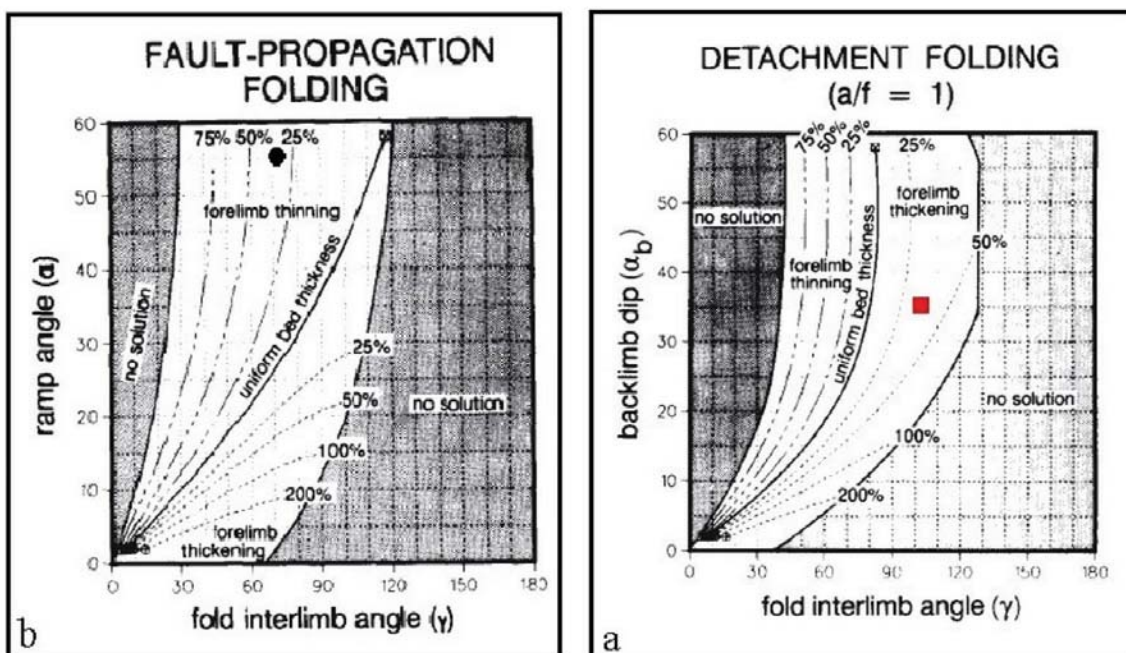
سازوکار چین خوردگی در تاقدیس های واقع در زیر سازند گچساران

زیرسطحی در نیمرخ های لرزه نگاری AB و CD همخوانی دارد (جدول ۱) و با این پارامترها سبک چین خوردگی انتشار گسل را نشان می دهد (شکل ۶b). همچنین اثر مهاجرت و انتشار راندگی ها در فرودپواره راندگی های قبلی در این نیمرخ مشهود است (شکل ۴).

زاویه بین یالی ۷۰ درجه و شیب راندگی اصلی به میزان ۵۵ درجه و همچنین مقایسه ستبرای لایه مبنا و پهلو ی پیشانی نشان دهنده ۳۰ درصد نازک شدگی پیش یال می باشد که با مقدار تغییرات ضخامت به دست آمده از تاقدیس

جدول ۱. داده های مربوط به نیمرخ لرزه نگاری جهت استفاده از نمودارهای (Jamison, 1987)

تاقدیس فوقانی	تاقدیس زیرین
۱۰۰	۷۰
۳۵	۵۵
۳۰٪ ضخیم شدگی	۳۰٪ نازک شدگی



شکل ۶. نمایش موقعیت نیمرخ لرزه نگاری بازتابی تاقدیس رگ سفید بر روی نمودارهای (Jamison, 1987)، (a) مربع قرمز موقعیت جایگاه تاقدیس بالایی و سبک چین خوردگی جدایشی را نشان می دهد، (b) دایره مشکی موقعیت جایگاه تاقدیس زیرسطحی و سبک چین خوردگی انتشار گسلی را نشان می دهد

گچساران نشان می دهد. همچنین برای تاقدیس زیرین (نیمرخ های AB و CD) که الگوی چین خوردگی بیشتر در ارتباط با انتشار راندگی ها هستند، رده های ۲ را در یال شمال شرقی کم شیب تر و رده ۳ را در یال های جنوب غربی پر شیب تر نشان می دهند (جدول ۲). تغییرات چینه شناسی مکانیکی سازندهای مختلف که نقش اصلی را در تعیین مدل جنبشی

تقسیم بندی تاقدیس های فوقانی و زیری رگ سفید بر پایه نحوه قرارگیری خطوط هم شیب

نحوه قرارگیری خطوط هم شیب و تغییرات ضخامت یال های تاقدیس رگ سفید نسبت به منطقه لولایی آن، رده های ۱c را برای تاقدیس فوقانی شکل گرفته در سازند

جدول ۲. پارامترهای هندسی استخراج شده از نیمرخ‌های لرزه‌نگاری در تاقدیس‌های فوقانی و زیرین سازند گچساران

تاقدیس فوقانی	تاقدیس زیرین CD	تاقدیس زیرین AB	
۳۵	۴۰	۳۰	α زاویه ایزوگون‌ها
۰/۹۳	۰/۷۶	۰/۸۹	α' ت' یال شمال خاوری
۱/۱۶	۱	۱/۲	T' یال شمال خاوری
۱c	۲	۲	رده چین
۴۵	۶۰	۴۷	α ایزوگون‌ها
۰/۸	۰/۴۷	۰/۶۵	α' ت' یال جنوب باختری
۱/۱	۰/۸	۱/۰۸	T' یال جنوب باختری
۱c	۳	۳	رده چین

Ramsay & Huber (1987)
رومندی

نمی‌باشد. در مقابل سطح گسستگی فوقانی قابل مشاهده بر روی زمین و همین‌طور بر روی خطوط لرزه‌ای است؛ بنابراین امکان تجزیه و تحلیل نحوه فعال شدن این افق طی چین‌خوردگی وجود دارد. بر اساس افق‌های لرزه‌ای موازی و چین‌خورده تا افق پالئوزوئیک پسین، چنین به نظر می‌رسد که سطح گسستگی تحتانی می‌بایست حداقل ۹ تا ۱۰ کیلومتر زیر سطح دریا در جنوب شرق فروافتادگی دزفول قرار داشته باشد (Sherkati and Letnezeey, 2004). شیل‌های پالئوزوئیک زیرین کاندیدای مناسبی جهت سطح گسستگی تحتانی در این منطقه هستند. تاقدیس فوقانی رگ سفید در نیمرخ‌های لرزه‌نگاری (Mitra, 2002) چین‌های جدایشی گسل‌خورده نوع ۱c را نشان می‌دهند. براساس این مدل، تاقدیس بالایی در رگ سفید در مسیر این نیمرخ‌های لرزه‌نگاری ابتدا به صورت یک چین جدایشی با دامنه کم تشکیل شده است. در ادامه با افزایش میزان کوتاه‌شدگی، یال‌های چین (به‌ویژه یال جنوب باختری) دچار چرخش شده است. این چرخش باعث تمرکز کرنش در یال جنوب باختری و گسل‌خوردگی این یال شده است. سرانجام این گسل به قاعده افق جدایشی متصل شده است (شکل ۵). در تاقدیس‌های زیرسطحی رگ سفید، کندی چین را به شکل نیمه زاویه‌دار و زاویه بین یالی مقادیر کم را نشان می‌دهد. در بخش‌های شرقی و غربی کلاس چین در یال‌های پشتی و جلویی رده‌های ۲ و ۳ را دارا می‌باشند. مسیریابی راندگی پرشیب اصلی در تاقدیس رگ سفید و بی‌بی حکیمه که در واقع قطعاتی از گسل پیش‌گودال

چین‌خوردگی به عهده دارند به همراه تغییرات مکانیزم دگرشکلی و تغییرات نسبت ضخامت واحدهای سنگی پرقوام به کم قوام، موجب شکل‌گیری رده‌های مختلف چین در تاقدیس‌های فوقانی و زیر سازند گچساران شده است.

بحث

تحلیل سبک‌های مختلف چین‌خوردگی در توالی رسوبی تاقدیس رگ سفید

جنبش‌شناسی چین‌خوردگی در مراحل مختلف تکامل چین‌های جدایشی گسل‌خورده تغییر می‌کند. چرخش یال، مهاجرت لولا و برش داخلی مهمترین سازوکارهای دگرریختی در مراحل مختلف رشد یک چین جدایشی گسل‌خورده هستند و چین‌خوردگی در ارتباط با گسلش تنها در مراحل پایانی چین‌خوردگی حائز اهمیت می‌باشد. چین‌های جدایشی گسل‌خورده در مناطق با اختلاف مقاومت زیاد بین واحدهای مختلف ستون چینه‌شناسی مانند کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس از فراوانی بالایی برخوردار هستند (Mitra, 2002). در فروافتادگی دزفول به دلیل وجود افق‌های جدایشی قوی، چین‌های جدایشی و جدایشی گسل‌خورده، ساختارهای متداول می‌باشند (Sherkati and Letouzey, 2004; Carruba et al., 2006). همچنین در فروافتادگی دزفول گروه مقاوم، واحد ساختمانی منفردی را تشکیل می‌دهد که میان دو افق گسستگی تحتانی و فوقانی قرار گرفته‌اند و درعین حال تعدادی سطوح گسستگی میانی نیز در داخل این مدل رسوبی مقاوم گزارش شده است. افق گسستگی تحتانی در عمق بیش از ۱۰ کیلومتر قرار گرفته و حتی به کمک داده‌های لرزه‌ای نیز قابل مشاهده

1. Zagros foredeep fault

می‌باشند و مقطع ترسیمی توسط (Sherkati et al., 2006) نشان می‌دهد این گسل از لایه جدایشی پالئوزوئیک پایینی ریشه‌دار شده و تا بخش میانی سازند گچساران، رسوبات را دچار برش خوردگی کرده است. تفسیر مقاطع لرزه‌ای و یال پشتی پرشیب، ادامه این راندگی را تا افق متحرک پایینی تأیید می‌کند. محاسبه زاویه بین یالی و درصد نازک شدگی پیش‌یال و مقایسه با نمودارهای (Jamison, 1987) در تاق‌دیس‌های زیری، سبک چین خوردگی وابسته به انتشار گسل را نشان می‌دهند. در مقاطع مذکور آثار انتشار و مهاجرت راندگی‌ها در فرودیواره راندگی‌های قبلی قابل مشاهده است. به نظر می‌رسد تغییر کلاس چین در تاق‌دیس فوقانی از رده ۱c به رده ۲ و ۳ در تاق‌دیس زیری و همچنین تغییر سبک چین از چین‌های جدایشی به سبک انتشار گسلی، نشانه افزایش کوتاه‌شدگی، پیشرفت دگرشکلی و تکامل چین در تاق‌دیس زیری باشد. می‌توان پیشنهاد داد که اختلاف در سبک چین خوردگی تاق‌دیس‌های بالایی و پایینی به دلیل به ضخامت بیشتر واحد متحرک (نمک عضوه‌ای ۲ و ۴ سازند گچساران) و همچنین رئولوژی ترد و شکننده سازنده‌های کربناته در تاق‌دیس زیرین می‌باشد که در طی فرایند چین خوردگی اجازه انتقال دگرریختی از سبک چین جدایشی به سبک انتشار گسل را می‌دهد.

نمک نسبت داده شوند. به عبارت دیگر تغییرات ضخامت در نمک‌های بخش میانی سازند گچساران وابسته به حوادث هم‌زمان با نهستگی (ساختار on-lap features در شکل ۴ الف) می‌باشد. (Sherkati et al., 2005) و Abdollahie و Fard., (2006) پیشنهاد دادند هندسه 'pinch and swell' در سازند گچساران قبل از نهستگی سازند آغاچاری توسعه یافته است که می‌تواند ناشی از انباشتگی تجمعی یا یک مهاجرت اولیه باشد. در هر دو حالت وجود مرحله ابتدایی از فرایند چین خوردگی جهت تشکیل این ساختار نیاز است. همچنین حرکت نمک گچساران به وسیله گرانش به طرف فرورفتگی‌ها توسط (Sherkati et al., 2005) پیشنهاد شد. این مدل یک مرحله چین خوردگی اولیه در خلال یا بلافاصله بعد از نهستگی سازند گچساران را در نظر می‌گیرد که با حرکت نمک به طرف ناودیس‌ها همراه است (Verges et al., 2011). نیز توسعه چین خوردگی ناهماهنگ در درون واحدهای متحرک بالایی گچساران در مفهوم مهاجرت جانبی تبخیری‌ها را پیشنهاد داد. نتایج ما و تفسیر مقاطع لرزه‌ای در فروافتادگی دزفول جنوبی نشان می‌دهد که مهاجرت جانبی در واحدهای نمکی ۲ و ۴ سازند گچساران رخ می‌دهد و واحدهای بالایی و پایینی سازند گچساران در مهاجرت نمک نقشی ایفا نمی‌کنند. همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است، رسوبات هم‌زمان با تکتونیک آغاچاری در ناودیس‌ها همراه با فرونشست محلی هستند. واحدهای نامقاوم درون سازند گچساران زیر این سکانس آواری به‌طور جانبی به اطراف جریان می‌یابند. بنابراین احتمالاً علاوه بر مداومت نیروهای فشارشی در فاز کوتاه شدگی زاگرس و رشد تاق‌دیس‌های زیری، بارگذاری رسوبات نئوژن آواری در ناودیس‌ها می‌تواند دلیل دیگری برای حرکت و جریان یافتن سازند متحرک گچساران باشد (شکل ۷).

مقطع لرزه‌ای عبوری از تاق‌دیس بالایی نشانگر هندسه چین در مرحله ابتدایی توسعه این تاق‌دیس است. در این مقطع سازند گچساران در دو پهلوی این تاق‌دیس تجمع کرده است. این مورد مهاجرت اولیه سازند گچساران که در مرحله اولیه چین خوردگی رخ داده است، را نشان می‌دهد. سازند گچساران به وسیله چین خوردگی کوتاه‌تر و ناهماهنگ

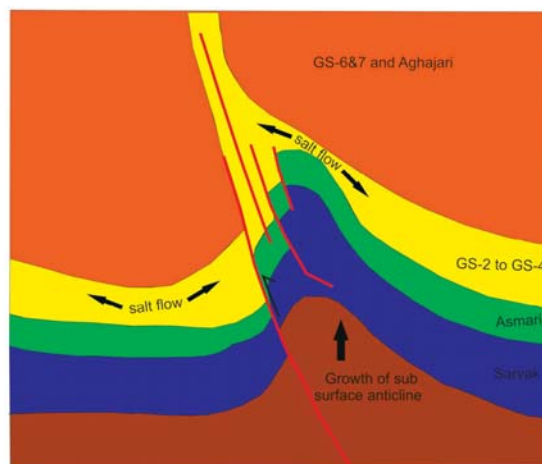
رفتار شکل‌پذیر واحدهای نامقاوم درون سازند گچساران به توسعه چین‌های ناهماهنگ بالای آن می‌انجامد. به‌طور کلی چین‌ها در بالای سازند گچساران در فروافتادگی دزفول تنگ و با طول موج کوتاه هستند (Abdollahie Fard et al., 2011) که شباهتی با ساختارهایی که توالی کربناته زیری را تحت تأثیر قرار داده‌اند، ندارند و در بعضی مکان‌ها ضخیم شدگی مهم و حرکات بزرگ تبخیری‌ها را درون این سازند ایجاد کرده‌اند (Carruba et al., 2006). دگرشکلی درون سازند گچساران که همراه با تغییرات اساسی ضخامت در چین‌های نوع زاگرسی و توسعه چین‌های ناهماهنگ هستند (Talbot and Koyi, 1988)، اساساً می‌توانند به جریان

نقش تبخیری‌های سازند گچساران در تکامل چین خوردگی فروافتادگی دزفول جنوبی

۳۲

باعث گسترش چین خوردگی پلی هارمونیک شده است. در نیمرخ‌های لرزه‌ای بازتابی عمود بر تاقدیس رگ سفید، یک راندگی عمقی جلویی منشا گرفته در افق متحرک پایینی پالئوزوئیک که تا بخش بالایی سازند گچساران نفوذ کرده است، باعث ایجاد دگرریختی اصلی و بریدگی واضح در سازندهای حدفاصل آسماری از سازند گدوان شده است. با ادامه دگرریختی یک راندگی بالایی که ریشه در سازند شکل‌پذیر گچساران دارد به سطح رسیده است و باعث خمش در رخنمون سطحی سازندهای آغاچاری و میشان شده است. عملکرد این راندگی باعث شده که محور تاقدیس بالایی افق گچساران نسبت به محور تاقدیس اصلی پایینی دچار جابجایی شده باشد و همچنین فعال شدن افق متحرک بالایی گچساران باعث شده است که هندسه و سبک تاقدیس در زیر این سازند متفاوت از هندسه تاقدیس فوقانی باشد. چین‌های رشدی هم‌زمان با تکتونیک در سازند آغاچاری و میشان دچار خمیدگی شده‌اند که عملکرد راندگی‌های عمقی و هم‌زمانی با تکتونیک را نشانگر هستند. پارامترهای هندسی و شکل چین خوردگی نشان می‌دهد که تاقدیس‌های فوقانی رگ سفید در نیمرخ‌های لرزه‌نگاری، چین‌های جدایشی گسل خورده نوع ۱c را نشان می‌دهند. در تاقدیس‌های زیرسطحی رگ سفید، کلاس چین در یال‌های پشتی و جلویی رده‌های ۲ و ۳ را دارا می‌باشد. محاسبه زاویه بین یالی و درصد نازک شدگی پیش‌یال و مقایسه با نمودارهای (Jamison, 1987) در نیمرخ‌های تاقدیس زیری، سبک چین خوردگی وابسته به انتشار گسل را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد تغییر کلاس چین در تاقدیس فوقانی از رده ۱c به رده ۲ و ۳ در تاقدیس‌های زیری و همچنین تغییر سبک چین از چین‌های جدایشی به سبک انتشار گسلی، نشانه افزایش کوتاه‌شدگی، پیشرفت دگرشکلی و تکامل چین در تاقدیس‌های زیری باشد. نتایج ما و تفسیر مقاطع لرزه‌ای در فروافتادگی دزفول جنوبی نشان می‌دهد که مهاجرت جانبی در واحدهای نمکی (ممبرهای ۲ و ۴ سازند گچساران) رخ می‌دهد و واحدهای بالایی و پایینی سازند گچساران در مهاجرت نمک نقشی ایفا نمی‌کنند. رسوبات هم‌زمان با تکتونیک آغاچاری در

و گسلش دگرشکل می‌شود و به‌عنوان سطح تجزیه برای چین‌های زیرین عمل می‌کند که ناودیس در این افق متحرک به‌طور مستقیم تاقدیس‌های سازند کربناته را می‌پوشاند. چین‌های مدور در تاقدیس زیرین در سازندهای کربناته، چین‌های تحمیلی همراه با گسل‌های پرشیب هستند که بالای یک سطح جدایشی عمیق جدایش یافته‌اند و نهایتاً به‌وسیله دگرشکلی پیشرونده گسل می‌خورند (چین‌های جدایشی گسل خورده Mitra, 2002). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت رفتار شکل‌پذیر و ضخامت قابل توجه از سازند گچساران در بالای کربنات‌های مقاوم میانی در توالی رسوبی فروافتادگی دزفول جنوبی، منجر به بروز سبک‌های متفاوت چین خوردگی در بالا و پایین آن و همچنین تکامل ساختارهای توسعه یافته در واحدهای سنگی منطقه شده است. به‌طوری‌که ساختارهای بخش بالایی و پایینی آن کاملاً از یکدیگر جدا شده و بر یکدیگر منطبق نیستند. تحلیل تفاوت ساختارهای توسعه یافته در واحدهای سنگی جوان‌تر و قدیمی‌تر از سازند گچساران در اکتشاف ساختارهای ذخایر هیدروکربوری اهمیت فراوان دارد.



شکل ۷. مدل مفهومی از مهاجرت جانبی نمک سازند میوسن گچساران که به‌وسیله رشد تاقدیس‌های زیرسطحی و نهشتگی سازندهای رویی جریان می‌یابد

نتیجه‌گیری

سازند گچساران در فروافتادگی دزفول جنوبی به دلیل رفتار متحرک آن به‌عنوان سطح جدایشی عمل نموده و ساختارهای بالا و پایین خود را از یکدیگر جدا کرده است و

- Carruba, S., Perotti, C.R., Buonaguro, R., Calabrò, R., Carpi, R. and Naini, M., 2006. Structural pattern of the Zagros fold-and-thrust belt in the Dezful Embayment (SW Iran): Geological Society of America, Special Papers, 414, 11-32.

- Cotton, J. T. and Koyi, H. A., 2000. Modeling of thrust fronts above ductile and frictional detachments: Application to structures in the Salt Range and Potwar Plateau, Pakistan, Geological Society of America Bulletin, 112, 351-363.

- Davis, D. M. and Engelder, T., 1985. The role of salt in fold-and-thrust belts, Tectonophysics, 19, 67-88.

- Edgell, H. S., 1996. Salt tectonism in the Persian Gulf Basin. In Salt Tectonics Geological Society of London, Special Publication, 100, 129-151.

- Farzipour Saiein, A., Yassagi, A., Sherkat, S. and Koyi, H., (2009b) Mechanical stratigraphy and folding style of the Lurestan region in the Zagros fold thrust belt, Iran. Journal Geological Society, 166, 1101-1115.

- Ghanadian, M., Faghih, A., Abdollahi Fard, I., Kusky, T. and Maleki, M., 2017. On the role of incompetent strata in the structural evolution of the Zagros fold-thrust belt, Dezful Embayment, Iran. Marine and Petroleum Geology, 81, 320-333.

- James, G. S. and Wynd, J. G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 49, 2182-245.

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

ناودیس‌ها با فرونشست محلی همراه هستند. واحدهای نامقاوم درون سازند گچساران زیر این سکانس آواری به‌طور جانبی به اطراف جریان می‌یابند. بنابراین احتمالاً علاوه بر مداومت نیروهای فشارشی در فاز کوتاه شدگی زاگرس و رشد تاقدیس‌های زیرسطحی، بارگذاری رسوبات نئوژن آواری در ناودیس‌ها می‌تواند دلیل دیگری برای حرکت و جریان یافتن سازند متحرک گچساران باشد.

منابع

- Abdollahi Fard, I., Braathen, A., Mokhtari, M. and Alavi, S. A., 2006. Interaction of the Zagros fold thrust belt and the Arabian type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful Embayment, SW Iran. Petroleum Geoscience, 12, 347-362.

- Abdollahi Fard, I., Sepehr, M. and Sherkat, S., 2011. Neogene salt in SW Iran and its interaction with Zagros folding. Geological Magazine, 14, 854-867

- 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 the Asmari Formation and Lower Tertiary paleogeography. In Thrust Belts and Foreland Basins: From fold kinematics to hydrocarbon systems. Springer, 205-28.

- Bahroudi, A. and Koyi, H. A., 2003. Effect of spatial distribution of Hormuz salt in deformation style in the Zagros fold-and-thrust belt: An analog modeling approach. Journal of the Geological Society, London, 160, 719-733, doi: 10.1144/0016-764902-135.

- Bonini, M., 2003. Detachment folding, fold amplification, and diapirism in thrust wedge experiments. Tectonics 22, TC1065; doi:10.1029/2002TC001458.

- Koyi, H. A., Sans, M. and Bahroudi, A., 2004. Modelling the deformation front of fold-thrust belts containing multiple weak horizons. *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, 45, 101-113.
- Massoli, D., Koyi, H. A. and Barchi, M. R., 2006. Structural evolution of a fold and thrust belt generated by multiple décollements: Analogue models and natural examples from the northern Apennines (Italy), *Journal of Structural Geology*, 28, 185-190.
- Mitra, S., 2002. Structural models of faulted detachment folds. *AAPG Bulletin*, 86, 1673-1694, doi: 10.1306/61EEDD3C-173E-11D7-8645000102C1865D.
- Najafi, M., Yassaghi, A., Bahroudi, A., Verges, J. and Sherkati, S., 2014. Impact of the late Triassic dashtak intermediate décollement horizon on anticline geometry in the central frontal Fars, SE Zagros Fold belt, Iran. *Journal Marine and Petroleum Geology*, 54, 23-36.
- Ramsay, J. G. and Huber, M. I., 1987. *The techniques of modern structural geology: Folds and fractures 2*, Academic Press.
- O'Brien, C. A. E., 1957. Salt diapirism in south Persia. *Geology Mijnbouw*, 19, 357-376.
- Sattarzadeh, Y., Coscrov, J. W. and Vitafinzi, C., 2000. The interplay of faulting and folding during the evolution of the Zagros deformation belt. *Geological Society of London, Special Publication*, 169, 187-96.
- Sepehr, M. and Cosgrove, J. W., 2004. Structural framework of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 21, 829-843, doi:10.1016/j.marpetgeo.2003.07.006.
- Sherkati, S. and Letouzey, J., 2004. Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone Dezful Embayment), Iran, *Marine and Petroleum Geology*, 21, 535-554.
- Sherkati, S., Letouzey, J. and Frizon de Lamotte, D., 2006. The Central Zagros fold-thrust belt (Iran): New insights from seismic data, field observation and sandbox modeling. *Tectonics*, 25, 1-27.
- Saura, E., Verges, J., Homke, S., Blanc, E., Serraliel, J., Bernaola, G., Casciello, E., Fernandez, N., Romaine, I., Casini, G., Embry, J. C., Sharp, I. and Hunt, D., 2011. Basin architecture and growth folding of the NW Zagros during the Late Cretaceous and Early Tertiary. *Journal of the Geological Society*, 168, 235-50
- Talbot, C. J. and Koyi, H., 1988. Active mylonites of Neoproterozoic rock salt in the Zagros. In *Fault-Related Rocks; A photographic atlas*. Princeton University Press, 554-5.
- Verges, 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*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 94, 1-26.