

سبک چین خوردگی پوشش رسوبی حاوی افق‌های جدایشی در کمر بند چین خورده - رانده زاگرس، با رهیافت لرزه نگاری و مدل‌سازی فیزیکی

مهدی نجفی^۱، علی یساقی^{۱*}، عباس بحرودی^۲ و شهرام شرکتی^۳

^۱دانشگاه تربیت مدرس، گروه زمین‌شناسی، تهران، ایران

^۲دانشگاه تهران، گروه مهندسی معدن دانشکده فنی، تهران، ایران

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

چکیده

سبک دگرریختی پوشش رسوبی در کمر بندهای چین خورده - رانده واجد افق‌های جدایشی میانی در بالا و زیر این افق‌های جدایشی متفاوت بوده و سبک چین خوردگی در سطح الزاماً ساختارهای ژرف را منعکس نمی‌کند. بررسی برش‌های لرزه‌ای بازتابی عمیق در بخش‌هایی از کمر بند چین خورده - رانده زاگرس که افقی شکل‌پذیر با ضخامت زیاد مانند سازند گچساران در میانه پوشش رسوبی حضور دارد نشان می‌دهد. عملکرد افق‌های شکل‌پذیر جدایشی میانی موجب تغییر سبک چین خوردگی از سطح تا عمق گردیده است. در نتیجه هندسه چین‌های سطحی انطباقی با هندسه ساختارهای عمقی ندارد. برای شبیه‌سازی یک چنین تحلیلی مدل آنالوگی طراحی شد که در آن پوشش رسوبی شامل دو لایه شکل‌پذیر از جنس خمیر سیلیکون هر کدام به ضخامت ۱۵ درصد از کل ستون چینه‌نگاری، یکی در قاعده و دیگری در میانه پوشش رسوبی متشکل از ماسه خشک بود. بررسی نتایج بدست آمده از مدل و مقایسه با ساختارهای بخش میانی کمر بند چین خورده - رانده زاگرس نشان می‌دهد که افق شکل‌پذیر میانی موجب جدایش کامل سبک و هندسه ساختارها در سطح نسبت به عمق می‌شود. در عمق و در زیر افق جدایش میانی راندگی‌ها و چین‌های فرادیواره‌ای مرتبط با آن‌ها، در یک سیستم دوپلکسی ایجاد می‌شوند اما در سطح و در بالای افق جدایش میانی، ناودیس‌های باز با طول موج بلند و تاقدیس‌های با طول موج کوتاه همراه با راندگی‌های بسیار کم‌شیب تشکیل می‌شوند. این داده‌ها نشان می‌دهند که آگاهی از رفتار افق‌های جدایشی برای پی‌بردن به سبک ساختارهای عمیق، که پتانسیل عمل به عنوان ساختار هیدروکربوری را دارند، در کمر بند چین خورده - رانده زاگرس برای پی‌جویی‌های اکتشافی امری ضروری است.

کلید واژه‌ها: سبک چین خوردگی، افق جدایشی، کمر بند چین خورده - رانده زاگرس، مدل‌سازی آنالوگ

Email:yassaghi@modares.ac.ir

*نویسنده مسئول: علی یساقی

۱- مقدمه

ویژگی‌های مکانیکی پوشش رسوبی یکی از عوامل اساسی کنترل‌کننده سبک دگرریختی در کمر بندهای چین خورده - رانده است (Davis & Engelder, 1985; Cotton & Koyi, 2000; Turrini et al., 2001; Spratt et al., 2004). سبک دگرریختی پوشش رسوبی در کمر بندهای چین خورده - رانده واجد افق‌های جدایشی میانی در بالا و زیر این افق‌های جدایشی متفاوت بوده و سبک چین خوردگی در سطح الزاماً ساختارهای ژرف را منعکس نمی‌کند (O' Brein, 1957; Spratt et al., 2004; Massoli et al; 2006; Sherkat et al., 2006).

کمر بند چین خورده - رانده زاگرس به دلیل ناهمسانی شدید رئولوژیکی پوشش رسوبی ناشی از حضور واحدهای سنگی نامقاوم با ضخامت قابل توجه یک نمونه ایده‌آل برای مطالعه اثر عملکرد افق‌های شکل‌پذیر جدایشی میانی در کمر بندهای چین خورده - رانده می‌باشد. پوشش رسوبی زاگرس دارای تغییرات قابل توجه در رخساره و ضخامت واحدهای سنگی می‌باشد (Stocklin, 1974; Motiei, 1995; Alavi, 2004)، در نتیجه ویژگی‌های مکانیکی واحدهای سنگی هم به صورت قائم از عمق تا سطح و هم به صورت جانبی در طول کمر بند زاگرس تغییر می‌کند (Bahroudi & Koyi, 2003; Sherkat & letouzey, 2004; Sepehr et al., 2006). در چند سال اخیر محققان متعددی به مطالعه چینه‌نگاری مکانیکی و عملکرد افق‌های شکل‌پذیر جدایشی میانی در کمر بند چین خورده - رانده زاگرس

پرداخته‌اند و اهمیت این موضوع را تبیین نموده‌اند (O'Brien, 1957; Bahroudi & Koyi, 2003; Sherkat & letouzey, 2004; Mc Quarrie, 2004; Sepehr et al., 2006; Sherkat et al., 2006; Carruba et al., 2006)

از آنجایی دستیابی به هندسه ساختارهای عمیق به منظور اکتشافات هیدروکربوری در بخش میانی کمر بند چین خورده - رانده زاگرس ضروری است و اختلاف در ویژگی‌های مکانیکی پوشش رسوبی عامل اصلی تغییرات سبک ساختاری از سطح به عمق می‌باشد انجام این مطالعه در ادامه مطالعات پیشین بر روی چگونگی عملکرد واحدهای مختلف سنگی با ویژگی‌های متفاوت مکانیکی به ویژه واحدهای سنگی با رفتار شکل‌پذیر می‌تواند منجر به افزایش دانش ما در سازوکار و سبک چین خوردگی و گسلش در بخش‌هایی از کمر بندهای چین خورده - رانده با عملکرد افق‌های جدایشی شکل‌پذیر میانی و قاعده‌ای گردد.

در این مقاله برای بررسی عملکرد افق‌های جدایشی، برش‌های لرزه‌ای بازتابی عمیق در بخش‌هایی از کمر بند چین خورده - رانده زاگرس که افقی شکل‌پذیر ضخیم در میانه و قاعده پوشش رسوبی حضور دارد استفاده شده‌اند. سپس به منظور راستی‌آزمایی ایده‌های به دست آمده مدل آنالوگ طراحی شده و نتایج مدل‌سازی آنالوگ با هندسه ساختاری چین‌های منطقه مطابقت داده شده و تأثیر عملکرد افق‌های جدایشی بر سبک چین خوردگی در بخش مرکزی کمر بند چین خورده - رانده زاگرس تحلیل گردیده است.

۲- جایگاه زمینساختی

کمر بند چین خورده- رانده زاگرس بخش پیش بوم کوهزاد زاگرس می باشد (Alavi, 1994) این کوهزاد در نتیجه برخورد قاره- قاره ورق های عربی و اوراسیا در میوسن پایانی (Berberian, 1981) بر روی لبه شمال خاوری ورق عربی ایجاد شده (شکل ۱- الف) و در یک فرایند دگر ریختی فشاری از پهنه برخوردی سندج- سیرجان به سوی جنوب باختری در حال تکوین بوده است. چنین برخورد قاره- قاره- ای نه تنها با توسعه و تکامل کمر بند چین خورده- رانده زاگرس همراه بوده، بلکه موجب دگر ریختی در پی سنگ متبلور پر کامبرین با فعالیت مجدد گسل های پی- سنگی به همراه پوشش رسوبی شده و لذا تلفیقی از دگر ریختی نازک پوسته و ستبر پوسته در کمر بند چین خورده- رانده زاگرس را به وجود آورده است (Hessami et al., 2001; Bahroudi & Talbot, 2003; Yassaghi, 2006).

۴- هندسه ساختاری

در بخش هایی از کمر بند چین خورده- رانده زاگرس که افقی شکل پذیر با ضخامت زیاد در میانه پوشش رسوبی حضور دارد، عملکرد افق های شکل پذیر جدایشی میانی موجب تغییر سبک چین خوردگی از سطح تا عمق گردیده است. در نتیجه هندسه چین های سطحی انطباقی با هندسه ساختارهای عمقی ندارد. به عنوان مثال ناودیس های چند کیلومتری پیرستا و کوه بوزان که واحدهای جوان تر از گچساران را در بر می گیرند بر روی سازند گچساران جدایش یافته اند و لولای آن ها دقیقاً در بالای لولای تاقدیس های زیرین قرار دارد (Carruba et al., 2006) (شکل ۳). همچنین در تاقدیس های پارسی، پرنج و کرنج واقع در فروبار دزفول افق شکل پذیر میانی موجب تمایز سبک ساختاری دو بخش چین خورده بالایی و زیرین افق جدایشی گشته است. در سطح ناودیس های باز و در سنگ های کربناتی مقاوم مزوزوییک واقع در زیر سازند شکل پذیر گچساران تاقدیس ها و رانده گی های پیش- یالی توسعه دارند (Sherkati et al., 2006) (شکل ۴).

۵- مدل سازی آنالوگ

بر اساس هندسه ساختاری چین ها و چینه نگاری مکانیکی کمر بند چین خورده- رانده زاگرس و به منظور بررسی تأثیر افق های جدایشی شکل پذیر بر سبک دگر ریختی این کمر بند، مدلی آنالوگ طراحی شد. در مدل پوشش رسوبی شامل دو لایه شکل پذیر از جنس خمیر سیلیکون هر کدام به ضخامت ۱۵ درصد از کل ستون چینه نگاری، یکی در قاعده و دیگری در میانه پوشش رسوبی متشکل از ماسه خشک قرار داده شدند (شکل ۵).

خمیر سیلیکون رفتار شکل پذیر نیوتونی دارد که این ویژگی باعث می شود سیلیکون برای مدل کردن رفتار شکل پذیر تبخیری ها (نمک و ژئیس)، شیل ها و رس ها در پوسته بالایی مناسب باشد و ماسه برای مدل کردن رفتار شکنای سنگ- های پوسته بالایی مناسب است چرا که ماسه ماده ای است که رفتاری شبیه به رفتار مور- کلمب دارد و دگر ریختی آن مستقل از زمان می باشد. زاویه اصطکاک داخلی ماسه حدود ۳۰ درجه است، یعنی نزدیک به زاویه اصطکاک داخلی سنگ ها در فشار و دمای بخش های بالایی پوسته است (Richard et al., 1989).

در مقیاس قائم مدل هر ۱ کیلومتر برابر ۷ میلیمتر در نظر گرفته شده و لایه- هایی از ماسه رنگ شده به عنوان نشانگرهای دگر ریختی در ستون رسوبی قرار داده شدند. کوتاه شدگی عمود بر مدل با نرخ ۱۰ میلیمتر در ساعت و تا حصول ۲۵ درصد کوتاه شدگی (کوتاه شدگی متداول غالب کمر بند های چین خورده- رانده) ادامه یافت. در این مدل سازی پی سنگ در دگر ریختی شرکت نداشته و تنها پوشش رسوبی تحت کوتاه شدگی قرار گرفت (شکل ۵).

در مدل سازی های آنالوگ پیشین با دو افق جدایشی از دیگر بخش های زاگرس چین خورده- رانده، تأثیر عمق افق جدایشی میانی بر سبک چین خوردگی

کمر بند چین خورده- رانده زاگرس بخش پیش بوم کوهزاد زاگرس می باشد (Alavi, 1994) این کوهزاد در نتیجه برخورد قاره- قاره ورق های عربی و اوراسیا در میوسن پایانی (Berberian, 1981) بر روی لبه شمال خاوری ورق عربی ایجاد شده (شکل ۱- الف) و در یک فرایند دگر ریختی فشاری از پهنه برخوردی سندج- سیرجان به سوی جنوب باختری در حال تکوین بوده است. چنین برخورد قاره- قاره- ای نه تنها با توسعه و تکامل کمر بند چین خورده- رانده زاگرس همراه بوده، بلکه موجب دگر ریختی در پی سنگ متبلور پر کامبرین با فعالیت مجدد گسل های پی- سنگی به همراه پوشش رسوبی شده و لذا تلفیقی از دگر ریختی نازک پوسته و ستبر پوسته در کمر بند چین خورده- رانده زاگرس را به وجود آورده است (Hessami et al., 2001; Bahroudi & Talbot, 2003; Yassaghi, 2006).

چین خورده- رانده زاگرس، بر اساس سبک ساختاری و تاریخ رسوبی به پهنه های ساختاری با راستای NW-SE موازی حاشیه قاره تقسیم می شود که توسط گسل های معکوس اصلی از هم جدا شده اند (شکل ۱). گسل های رانده گی اصلی، رانده گی زاگرس بلند و گسل سورمه موجب تقسیم زاگرس شده اند. علاوه بر این کمر بند زاگرس به صورت عرضی نیز از شمال باختر به سوی جنوب خاور به سه زیر پهنه لرستان، فروبار دزفول و فارس تقسیم می شود. این پهنه ها به وسیله گسل های عرضی- برشی چون بالارود و کازرون از یکدیگر جدا می شوند (Berberian, 2004; Sepehr, 1995). به دلیل تفاوت در عوامل کنترل کننده دگر ریختی مانند عملکرد گسل های پی سنگی و رئولوژی پوشش رسوبی، هر کدام از این پهنه ها ساختارهای ویژه خود را در خلال کوتاه شدگی زاگرس ایجاد کرده اند.

۳- چینه نگاری مکانیکی

لبه شمال خاوری ورق عربی از زمان کامبرین تا برخورد نهایی در میوسن هم در جایگاه کافتی و هم به عنوان حاشیه غیر فعال در معرض رسوبگذاری پیوسته قرار داشته است، به گونه ای که موجب نهشته شدن یک توالی رسوبی با ضخامت بیش از ۱۰ کیلومتر شده است. این پوشش رسوبی دارای تغییرات قابل توجه در رخساره و ضخامت واحدهای سنگی می باشد (Stocklin, 1974; Motiei, 1995; Alavi, 2004). در نتیجه رئولوژی پوشش رسوبی زاگرس به صورت جانبی و از عمق تا سطح توالی در همه جا یکسان نیست و ویژگی های مکانیکی واحدهای سنگی هم به صورت قائم از عمق تا سطح و هم به صورت جانبی در طول کمر بند زاگرس تغییر می کند (Bahroudi & Koyi, 2003; Sherkati & letouzey, 2004; Sepehr et al., 2006). چند افق شکل پذیر جدایشی در ستون چینه نگاری اکثر مناطق زاگرس معرفی گردیده است (شکل ۱- ب)، مهم ترین آن ها در قاعده پوشش رسوبی و افق- های دیگر در بخش های میانی پوشش رسوبی قرار دارند (Sherkati et al., 2005) (شکل ۲). سازند نمک هرمز به سن کامبرین با ضخامت بیش از یک کیلومتر به عنوان افق جدایش قاعده ای، پوشاننده پی سنگ است (Stocklin, 1974; Bahroudi & Koyi, 2003). اگر چه در برخی مناطق ممکن است شیل های پالئوزوییک با ضخامت زیاد جانشین نمک هرمز باشد، اما به هر حال حضور یک افق شکل پذیر قاعده ای با ضخامت زیاد و مقاومت کم تقریباً در همه جای زاگرس قطعی است (Carruba et al., 2006). تبخیری های تریاس (سازند دشتک) و تبخیری های میوسن (سازند گچساران) در مناطق مختلف کمر بند چین خورده- رانده زاگرس نقش افق- های جدایش میانی اصلی را بر عهده دارند (شکل ۱- ب) (Sherkati & Letouzey, 2006).

در تمامی برش‌های شکل ۷ پیشانی دگرریختی در واحدهای سطحی پیشرفت بیشتری را به سمت پیش‌بوم نسبت به واحدهای مشابه در عمق دارد. واحدهای رسوبی پوشاننده افق‌های جدایشی گرچه دارای رئولوژی و ضخامت یکسانی در ابتدای آزمایش هستند و در خلال آزمایش نیز متحمل کوتاه‌شدگی یکسانی گردیده‌اند، اما پس از دگرریختی سبک ساختاری کاملاً متفاوتی را نشان می‌دهند (شکل ۷). به نظر می‌رسد که عمق این واحدها، فاصله آن‌ها از پی سنگ و مهم‌تر از همه قرارگیری آن‌ها بر روی یا بین افق‌های شکل‌پذیر جدایشی تعیین‌کننده این تفاوت در سبک ساختاری است.

۷- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تفسیر خطوط لرزه‌ای بازتابی از بخش مرکزی کمر بند چین خورده- رانده زاگرس و مدل‌سازی آنالوگ با حضور دو افق شکل‌پذیر جدایشی نشان می‌دهد که عملکرد افق شکل‌پذیر میانی با ضخامت زیاد و مقاومت کم موجب جدایش کامل سبک و هندسه ساختارها در سطح نسبت به عمق می‌شود. در عمق و در زیر افق جدایش میانی راندگی‌ها و چین‌های فرادیواره‌ای مرتبط با آن‌ها، گاهی در یک سیستم دوپلکسی ایجاد می‌شوند و گاهی عملکرد افق شکل‌پذیر قاعده‌ای با ضخامت زیاد موجب میل به سمت پس‌بوم ساختارها و ایجاد هندسه بالاجسته می‌گردد. اما در سطح و در بالای افق جدایش میانی، ناودیس‌های باز با طول موج بلند و تاقدیس‌های باز با طول موج کوتاه همراه با راندگی‌های بسیار کم‌شیب تشکیل می‌شوند.

برخی از حفاری‌های اکتشافی ناموفق در گذشته به دلیل فقدان دانش از عملکرد افق جدایش میانی و تعمیم دادن ساختارهای سطح به عمق بوده است که موجب حفاری‌های خارج از ساختار (Off Structure Drilling) گردیده است. در این موارد بخش ستیغ تاقدیس در سطح به عنوان محل حفاری انتخاب می‌شده است در حالی که عملکرد افق شکل‌پذیر جدایشی در میانه پوشش رسوبی موجب تمایز سبک چین خوردگی از سطح تا عمق بوده و در نتیجه راهی به ستیغ چین‌های عمیق حاوی مخازن هیدروکربوری نمی‌یافته است. بنابراین پیش‌بینی رفتار افق‌های شکل‌پذیر برای پی‌بردن به سبک ساختارهای عمیق در کمر بند چین خورده- رانده که پوشش رسوبی آن‌ها ناهمسانی رئولوژیکی شدیدی دارد، امری ضروری است.

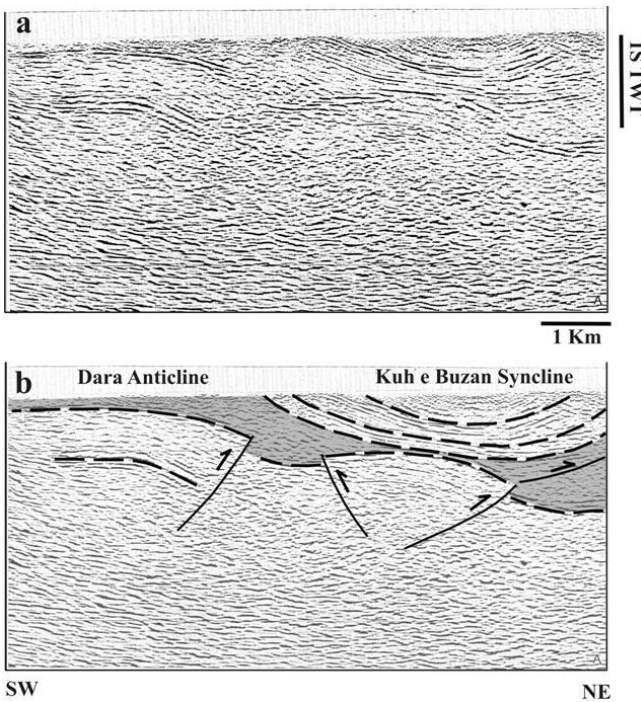
بررسی گردیده است. نتایج این بررسی نشان داد که عمق افق جدایش میانی یک عامل مهم در تعیین هندسه و طول موج چین‌ها است و به طور عمومی افق‌های جدایشی به ترتیب از افق‌های عمیق‌تر به افق‌های کم‌عمق‌تر شروع به فعالیت می‌کنند (Sherkati et al, 2006). مدل‌سازی‌های مشابه در دیگر کمر بند‌های چین خورده- رانده نیز نتایج مشابهی را نشان داد. به طور مثال Massoli et al. (۲۰۰۶) نیز افق جدایش میانی و قاعده‌ای نیمه شکل‌پذیر را با ماده نیمه شکل‌پذیر دانه‌های شیشه‌ای (Glass Beads) شبیه‌سازی کردند و نتیجه گرفتند در طول دگرریختی مدل‌ها، این دو افق جدایشی دو دسته ساختار با هندسه متفاوت ایجاد می‌کنند که ساختارهای ژرف که با افق جدایشی قاعده‌ای ایجاد شده‌اند از ساختارهای کم‌عمق بزرگ‌تر و مهم‌تر هستند.

۶- نتایج مدل و مقایسه آن‌ها با مثال‌های طبیعی از کمر بند چین خورده- رانده زاگرس

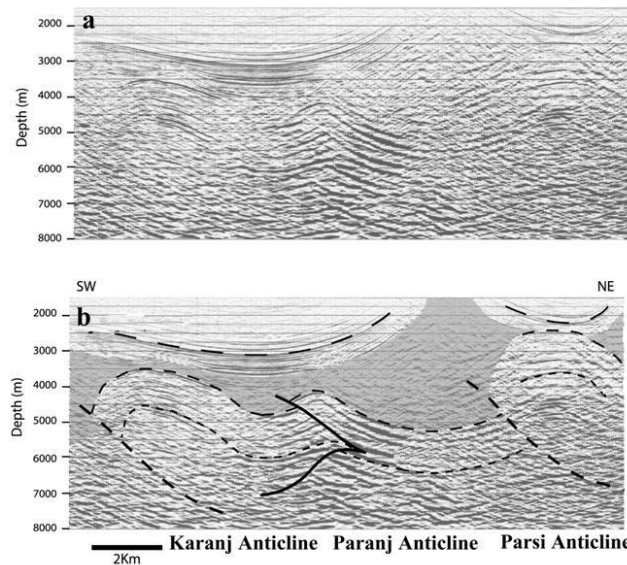
پس از پایان آزمایش و انجام مراحل ثابت‌سازی مدل، برش‌هایی عمود بر روند ساختارها از مدل‌ها تهیه شده و عکسبرداری گردید (شکل ۷). بررسی نتایج به دست آمده از مدل (شکل ۷) و مقایسه با بخشی از ساختارهای کمر بند چین خورده- رانده زاگرس در فروبار دزفول (اشکال ۳ و ۴)، نشان می‌دهد که در خلال توسعه چین‌ها، افق جدایش میانی با مهاجرت جانبی از تاقدیس‌ها به ناودیس‌ها دچار تغییر ضخامت قابل توجهی می‌شود (شکل ۷). در بالای افق جدایش میانی، ناودیس‌های باز با طول موج بلند و تاقدیس‌های باز با طول موج کوتاه همراه با راندگی‌های بسیار کم‌شیب تشکیل شده‌اند. تمامی این ساختارها به طور کامل در بالای افق جدایش میانی نسبت به ساختارهای توسعه یافته در زیر این افق، جدایش یافته‌اند (شکل ۷). مشابه چین هندسه ساختاری را می‌توان از بررسی پروفیل‌های لرزه‌ای به دست آمده در دیگر بخش‌های زاگرس چین خورده از جمله فروبار دزفول مشاهده نمود (اشکال ۳ و ۴). هندسه چین خوردگی در واحدهای مقاوم بین دو افق جدایشی، مشابه سبک چین‌های انتشارگسلی هستند (شکل ۷). به نظر می‌رسد که این چین‌ها با توجه به هندسه آن‌ها در برش‌های متفاوت ابتدا به صورت جدایشی شکل گرفته‌اند و سپس به صورت تأخیری توسط راندگی‌ها بریده شده‌اند (شکل ۷).

گسل‌های راندگی هندسه‌ای شبیه به هندسه سیستم گسل‌های راندگی دوپلکسی دارند، به گونه‌ای که گسل‌های این سیستم از افق جدایش قاعده‌ای منشأ می‌گیرند در افق جدایش میانی مستهلک شده و هندسه فلت-ریمپ-فلت به خود می‌گیرند (شکل ۷-ج). مشابه چنین سیستم گسل‌های راندگی و چین‌های همراه در پروفیل‌های لرزه‌ای به دست آمده در فروبار دزفول (شکل ۴) نیز دیده شده است. گاهی عملکرد افق شکل‌پذیر قاعده‌ای با ضخامت زیاد عمدتاً موجب میل به سمت پس‌بوم (Hinterland-Vergence) ساختارها در واحدهای بین دو افق جدایشی و ایجاد هندسه بالاجسته می‌شود (اشکال ۳ و ۷).

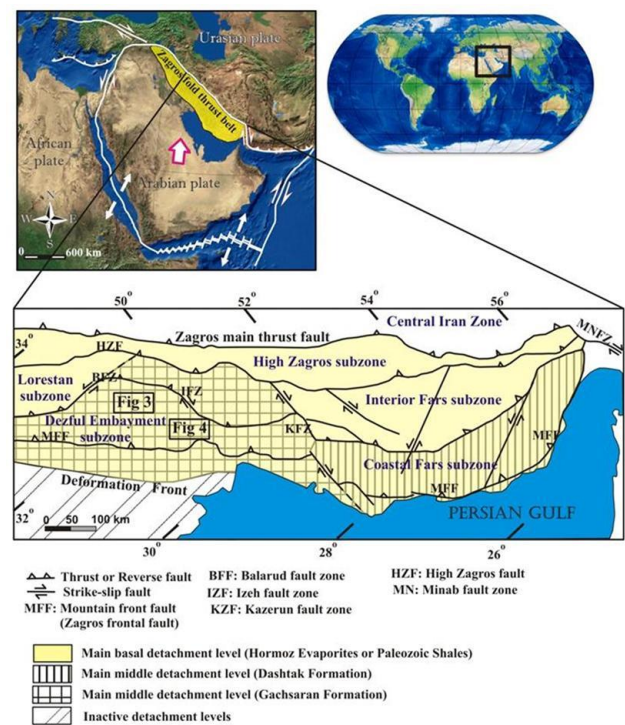
چهار نوع رابطه منشئی- زمانی بین چین‌ها و گسل‌ها در واحدهای بین دو افق جدایش دیده می‌شود (شکل ۷)؛ چین‌های انتشارگسلی که در فرادیواره راندگی‌ها ایجاد شده‌اند (شکل ۷-ج)، گسل‌های مرتبط با چین که در اثر کمبود فضا در پهلوی چین‌های جدایشی تشکیل شده‌اند (شکل ۷-ب)، چین‌هایی که به صورت تأخیری با راندگی‌ها بریده شده‌اند (شکل ۷-الف) و سطوح راندگی که در جریان دگرریختی پیشرونده خمیده و چین خورده‌اند (شکل ۷-ب).



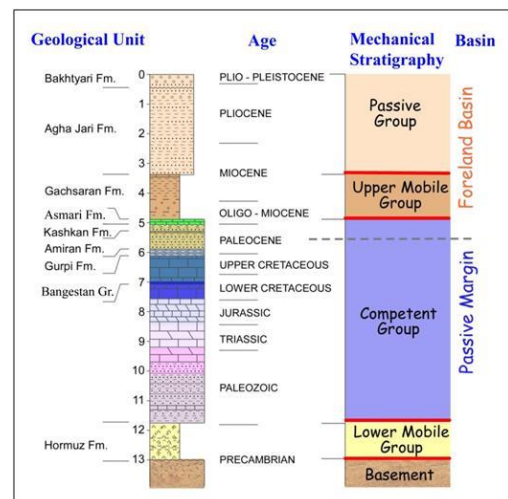
شکل ۳- برش لرزه‌ای بازتابی عمود بر تاقدیس دارا و ناودیس کوه‌بزان. ناودیس کوه‌بزان به طور کامل روی تبخیری‌های سازند گچساران جدایش یافته‌اند و لولای آن دقیقاً بر روی لولای تاقدیس دارا که در واحدهای کرناته مقاوم مزوزویک تشکیل شده‌است قرار دارد. یک پس‌راندگی مهم در پهلو شمال‌خاوری تاقدیس دارا دیده می‌شود. این تاقدیس یک هندسه بالاجسته (Pop up) دارد و به سمت پس‌بوم (Hinterland) (شمال خاور) میل دارد. برگرفته از (Carruba et al., 2006).



شکل ۴- برش لرزه‌ای بازتابی تفسیر نشده (الف) و تفسیر شده (ب) عمود بر تاقدیس‌های پارسی، پرنج و کرنج واقع در فروبار دزفول. در این بخش سازند گچساران (بخش خاکستری رنگ در شکل ب) افق شکل‌پذیر میانی اصلی است که موجب تمایز سبک ساختاری دو بخش چین‌خورده بالایی و زیرین افق جدایشی گشته‌است. به توسعه ناودیس‌های باز در سطح و تاقدیس‌ها و راندگی‌های پیش‌یالی در سنگ‌های کرناتی مقاوم مزوزویک واقع در زیر سازند شکل‌پذیر گچساران توجه گردد. برگرفته از (Sherkati et al., 2006).



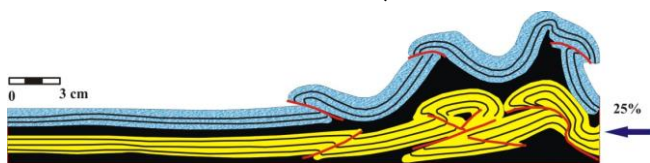
شکل ۱- الف- موقعیت کمربند چین‌خورده- رانده زاگرس در طول حاشیه شمال‌خاوری ورق عربی. ب- زیر پهنه‌های ساختاری در مرکز و جنوب‌خاور کمربند چین‌خورده- رانده زاگرس، برگرفته از (Sepehr, 2004). همچنین پراکندگی افق‌های جدایشی اصلی در کمربند زاگرس نشان داده شده‌است (Sherkati & Letouzey, 2004; Sherkati et al., 2006). حضور یک افق شکل‌پذیر قاعده‌ای اصلی (سری تبخیری هرمز یا شیل‌های پالتوزویک) تقریباً در همه جای زاگرس قطعی است. سازند دشتک در زیر پهنه فارس ساحلی و سازند گچساران در زیر پهنه فروبار دزفول به عنوان افق جدایش میانی اصلی عمل کرده‌اند. لازم به ذکر است که این دو سازند در بخش‌های دیگری از کمربند زاگرس نیز حضور دارند اما تغییرات جانبی در رخساره و ضخامت این سازندها موجب شده‌است تا نقش خود را به عنوان افق جدایش میانی اصلی از دست بدهند که در این مناطق بر روی شکل نشان داده نشده‌اند. موقعیت ساختارهای نشان داده شده در شکل‌های ۳ و ۴ با مستطیل مشخص شده‌است.



شکل ۲- موقعیت افق‌های شکل‌پذیر جدایشی شامل سری هرمز به عنوان افق جدایش قاعده‌ای و سازندهای به عنوان افق‌های جدایش میانی بر روی ستون چینه‌نگاری کمربند زاگرس در فروبار دزفول. برگرفته از (Emami, 2008).



ب

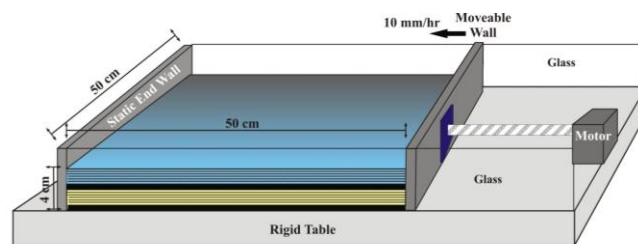


ج



د

شکل ۶- برش‌هایی از وضعیت نهایی مدل نازک‌پوسته پس از اعمال ۲۵٪ کوتاه‌شدگی. عملکرد افق شکل‌پذیر جدایشی در میانه پوشش رسوبی موجب جدایش کامل سبک دگرریختی در واحدهای زیر و روی خود شده‌است، برای توضیحات بیشتر به متن مراجعه کنید.



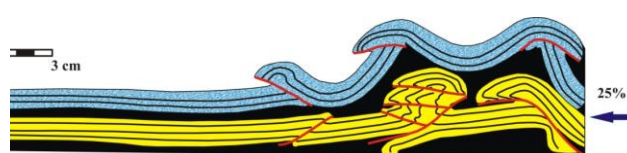
■ Dry Loose Sand with passive markers (Grain Size = 0.2 mm, Inner Frictional Angle = 30°)

■ Silicon Putty (Viscosity = 10⁻⁴ N s/m², Density = 970 kg/m³)

شکل ۵- شمایی از وضعیت اولیه مدل آنالوگ طراحی شده در دو سری آزمایش الف- پی- سنگ در دگرریختی شرکت ندارد و تنها پوشش رسوبی تحت کوتاه شدگی قرار می‌گیرد. و ب- پی سنگ صلب حاوی یک گسل با شیب ۶۰ درجه است که در حین کوتاه‌شدگی با عملکرد معکوس در دگرریختی شرکت می‌کند.



الف



References

- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations, *Tectonophysics* 229, pp. 211–238.
- Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science*, vol. 304, p. 1-20.
- Bahroudi, A., and Koyi, A., 2003. Effect of spatial distribution of Hormuz salt on deformation style in the Zagros fold and thrust belt: An analogue modelling approach. *Journal of geological society*.
- Bahroudi, A., and Talbot, C. J., 2003. The configuration of the basement beneath the Zagros basin. *Journal of Petroleum Geology*, 26 (3), 257-282.
- Bahroudi, A., and Koyi, A., 2004. Tectono-sedimentary framework of the Gachsaran Formation in the Zagros foreland basin. *Marine and Petroleum Geology*.
- Berberian, M. and King, G. C. P., 1981. Towards the Paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 210-265.
- Berberian, M., 1995. Master-Blind-Thrust Faults Hidden under the Zagros Folds: Active Basement Tectonics and Surface Morphotectonics. *Tectonophysics*, 241, 193-224.
- Carruba, S., Perotti, C., Buonaguro, R., Calabrò, R., Carpi, R., Naini, M., 2006. Structural pattern of the Zagros fold-and-thrust belt in the Dezful Embayment (SW Iran) *Special Paper 414: Styles of Continental Contraction*, Article: pp. 11–32.
- Cotton, J. T., Koyi, H. A., 2000. Modeling of thrust front above ductile and frictional detachments; application to structures in the Salt Range And Portwar Plateau, Pakistan. *Geological Society of America Bulletin*, 112, 351-363.
- Davis, D.M., Engelder, T., 1985. The role of salt in fold and thrust belts. *Tectonophysics* 119, 67-88.
- Emami, H., 2008. Foreland propagation folding and structure of the mountain front flexure in the Pusht-E Kuh arc (NW Zagros, Iran). Phd Thesis, Barcelona University.
- Hessami, K., 2001. The significance of strike-slip faulting in the basement of the Zagros fold and thrust belt. *Journal of petroleum geology* January 2001.
- Massoli, D., Koyi, H., 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(2006)185-199.
- McQuarrie, N., 2004. Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Journal of Structural Geology*.
- Motiei, H., 1995. Petroleum geology of Zagros. In: A. Hushmandzadeh, Editor, *Treatise on the Geology of Iran*, Geological Survey of Iran.
- O'Brien, C. A. E., 1957. Salt diapirism in south Persia. *Geol. Mijnbouw*, 19, 357-376.
- Richard, P., J. F. Ballard, et al., 1989. "Naissance et evolution de failles au dessus d'un décrochement de socle: Modélisation analogique et tomographie." *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Série IIA* 309: 2 111-2 118.
- Spratt, D.A., Dixon, J.M. and E.T. Beattie, 2004. Changes in structural style controlled by lithofacies contrast across transverse carbonate bank margins- Canadian Rocky Mountains and scaled physical models. In: K.R. McClay, Editor, *Thrust tectonic and hydrocarbon systems: AAPG Memoir vol. 82*, pp. 259–275.

- 19- Stocklin, J., 1974. Possible Ancient Continental Margins in Iran. In Burk, C.A., Drake, C.L., (Eds), *Geology of the Continental Margins*. Springer. New York, P. 873-887.
- 20- Sepehr, M. and Cosgrove, J.W., 2004. Structural Framework of the Zagros Fold– Thrust Belt, Iran. *Marine and Petroleum Geology*. 21, P. 829-834.
- 21- 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*. Vol. 21, No. 5, P. 535-554.
- 22- Sepehr, M., Cosgrove, J., & Moieni, M. 2006. The impact of cover rock rheology on the style of folding in the Zagros fold-thrust belt. *Tectonophysics*, vol. 427, p.265-281.
- 23- Sherkati, S., Molinaro, M., Frizon de Lamotte, D. and Letouzey, J., 2005. Detachment folding in the Central and Eastern Zagros fold-belt(Iran): salt mobility, multiple detachments and late basement control. *Journal of Structural Geology* 27, P. 1680–1696.
- 24- 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*. Vol. 25.
- 25- Turrini, C. Ravaglia, A. and C.R. Perotti, 2001. Compressional structures in a multi-layered mechanical stratigraphy: insights from sandbox modeling with three dimensional variation in basal geometry and friction. In: H.A. Koyi and N.S. Mancktelow, Editors, *Tectonic Modeling: a Volume in Honour of Hans Ramberg*, Geological Society of America Memoir 193, pp. 153–178.
- 26- Yassaghi, ali. 2006. Integration of landsat imagery interpretation and geomagnetic data on verification of deep-seated transverse fault lineaments in SE Zagros, *international journal of remote sensing* (2006),1-16