

# تحلیل هندسی تاقدیس بورخ، جنوب خاور کمربند چین خورده-رانده زاگرس

بدالوهاب افروغ<sup>۱</sup>، رمضان رضانی اومالی<sup>۲</sup>، ناصر حافظی مقدس<sup>۳</sup> و احمد نوحه‌گر<sup>۴</sup>  
ع

۱. کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۲. دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۳. استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴. استاد، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۴/۱۰

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۲۵

## چکیده

تاقدیس بورخ با روند WNW-ESE در جنوب شرق کمربند چین خورده-رانده زاگرس و در ۴۰ کیلومتری شمال شهرستان بستک در ناحیه ساختاری فارس قرار دارد. در این مقاله براساس داده‌های میدانی، تصاویر ماهواره‌ای و هفت برش ساختاری رسم شده عمود بر تاقدیس بورخ به بررسی هندسه آن پرداخته شده است. با توجه به وجود سازند هرمز به‌عنوان یک افق جدایش موثر در قاعده پوشش رسوبی و بر روی پی‌سنگ، و تطابق پارامترهای هندسی محاسبه شده از برش‌های ساختاری آن با نمودارهای هندسی چین‌های جدایشی، تاقدیس بورخ به‌صورت یک چین جدایشی، خمشی، نامتقارن و غیر هارمونیک می‌باشد. همچنین برای تعیین سبک یا هندسه از نظر فشردگی، واژه باز پیشنهاد می‌شود. بازدید میدانی و برش‌های عرضی ساختاری ترسیم شده نشان می‌دهد که سازند دشتک به‌عنوان یک واحد جدایش میانی باعث تشکیل چین‌های فرعی در منطقه مورد مطالعه شده است. نقشه خطوط هم‌تراز زیرزمینی راس گروه دهرم در تاقدیس بورخ، میزان بستگی قائم تاقدیس را در حدود ۱۰۰۰ متر و میزان بستگی افقی آن را در حدود ۲۰۰ کیلومتر مربع نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: بستگی قائم و افقی، تاقدیس بورخ، تحلیل هندسی، کمربند چین خورده-رانده زاگرس، گروه دهرم.

## مقدمه

عربی و اوراسیا است (Molinari et al., 2005). در کمربند چین خورده-رانده زاگرس توالی حاشیه غیرفعال ورق عربی از پی‌سنگ جدا شده و به‌وسیله چین خوردگی‌ها و گسل خوردگی‌هایی که از زمان میوسن آغاز شده، دگرشکل شده‌اند (Callot et al., 2007). دگرریختی رسوبات بخش پیش‌بوم زاگرس به‌صورت کمربند چین خورده-رانده، همچون دیگر

کمربند چین خورده-رانده زاگرس بخشی از کمربند کوهزایی آلپ-همالیا در امتداد شرقی ورق عربی به طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر از شرق ترکیه در شمال تا تنگه هرمز و کوه‌های مکران در جنوب شرق کشیده شده است که نتیجه بسته شدن اقیانوس نئوتتیس و برخورد بین ورق

\* نویسنده مرتبط: ramazani43@shahroodut.ac.ir

## جایگاه زمین‌شناختی

دگرشکلی فعال کمر بند چین‌خورده-رانده زاگرس که نتیجه برخورد ورق عربی-اوراسیا می‌باشد دارای ستون رسوبی به ضخامت حدود ۱۲ کیلومتر می‌باشد که از کامبرین زیرین تا پلیوسن بدون ناپیوستگی زاویه‌دار مهمی ادامه دارد (Stocklin, 1968; Falcon, 1969; Colman-Sadd, 1978). نمک هرمز قدیمی‌ترین واحد رسوبی درگیر در کمر بند چین‌خورده-رانده زاگرس است که مربوط به اواخر پروتروزوئیک تا اوایل کامبرین می‌باشد (O'Brien, 1957; Falcon, 1969; Colman-Sadd, 1978; Kent, 1979). پژوهشگران متعددی، کمر بند چین‌خورده-رانده زاگرس را تقسیم‌بندی کرده‌اند (Stocklin, 1968, Berberian and King, 1981; Alavi, 1994) از آخرین تقسیم‌بندی‌ها که توسط سرکاری نژاد و عزیزی (Sarkarinejad and Azizi, 2008) انجام شده است که در آن زاگرس از جنوب غرب تا شمال شرق به هفت پهنه، کمر بند ساده چین‌خورده، کمر بند رانده-چین‌خورده زاگرس، سیستم راندگی زاگرس، زمین‌درز زاگرس یا زون افیولیتی، کمر بند دگرگونی فشاربالا-دما پایین سنندج-سیرجان، کمر بند دگرگونی دما بالا-فشار پایین سنندج-سیرجان و مجموعه ماگماتیسیم ارومیه-دختر تقسیم‌بندی شده است (شکل ۱).

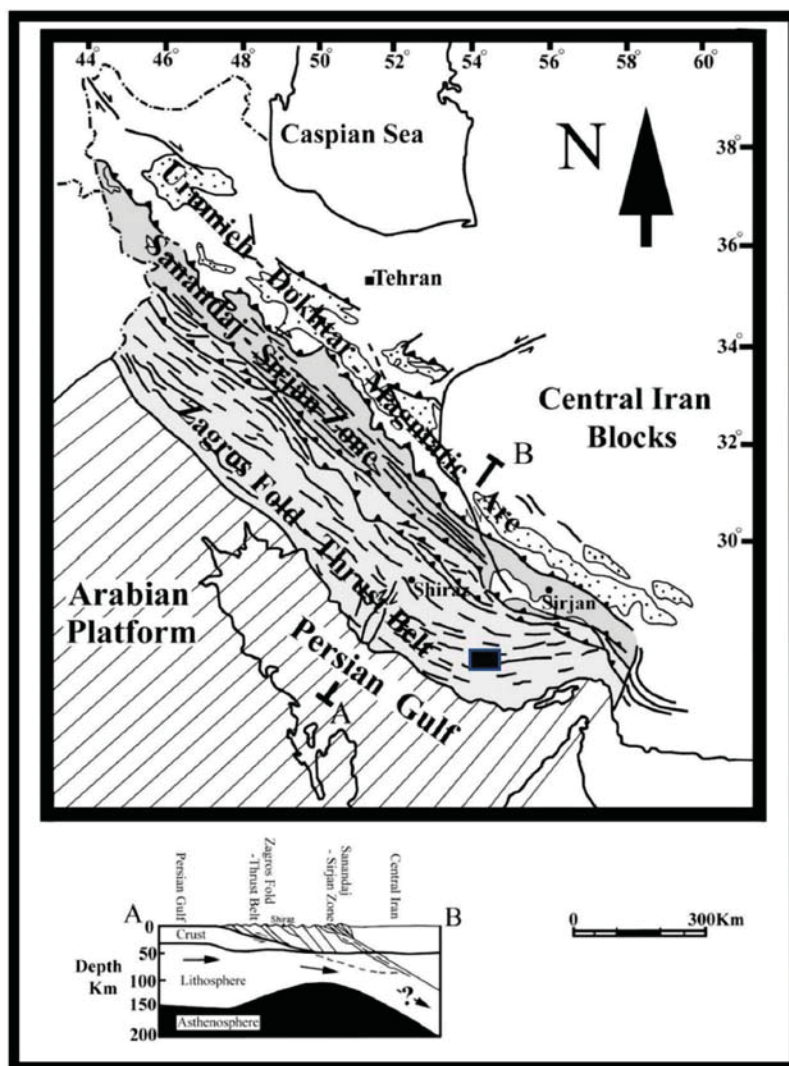
تاقدیس بورخ در زیر پهنه فارس در کمر بند ساده چین‌خورده زاگرس و در ۴۰ کیلومتری شمال شهرستان بستک در محدوده‌ای به وسعت ۲۴۰۰ کیلومتر در استان هرمزگان و بین طول‌های جغرافیایی ۱۰° ۵۴' الی ۵۴° ۵۶' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۰° ۲۷' الی ۲۷° ۳۰' شمالی در ناحیه زمین‌ساختی فارس قرار گرفته است. این تاقدیس که طول آن ۶۰ کیلومتر و عرض آن ۱۲ کیلومتر است، تاقدیسی طویل و بزرگ می‌باشد. امتداد محور آن تقریباً شرقی-غربی و به شکل سینوسی است. بلندترین نقطه روی این تاقدیس ۲۲۳۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. از طرف شمال با تاقدیس‌های گچ و شور (چهل) و از طرف شرق با تاقدیس گاته و از طرف جنوب با تاقدیس‌های بام و گاوبست

کمر بندهای چین‌خورده-رانده ناشی از انتشار راندگی‌های جدایش یافته از پی‌سنگ و هم‌امتداد با روند کوهزاد و چین‌خورده‌های همراه می‌باشد، ولی بر خلاف غالب این کمر بندها این گسل‌های رانده تظاهرات سطحی کمتری دارند و بیشتر مدفون می‌باشند (Berberian, 1995). چین‌خورده‌گی مرتبط با فعالیت گسلی یکی از مهم‌ترین دگرشکلی‌هایی است که در کمر بند چین‌خورده-رانده رخ می‌دهد (Boyer, 1986; Vann et al., 1986; Ford et al., 1997; Erslev and Mayborn, 1997; Homza and Wallace, 1995; Delcaillau et al., 1998; Burbank et al., 1999; Tozer et al., 2002; McClay, 2001; Calamita et al., 2012)، که نقش مهمی در ذخیره منابع نفت و گاز دارد به طوری که ۸/۶ درصد از منابع نفت و ۱۵ درصد از منابع گاز جهان که مربوط به ایران می‌باشد در این مناطق قرار دارد. علاوه بر این، از آن به منظور توصیف، تشریح و تجزیه و تحلیل هندسی کمر بندهای چین‌خورده-رانده استفاده می‌شود. همه چین‌های مرتبط با گسلش ناشی از تغییر در پارامترهای گسل مربوطه می‌باشند. علاوه بر آن تغییر خواص مکانیکی واحدهای چین‌های و افق گسستگی<sup>۱</sup> قاعده‌ای و میانی در ایجاد سبک‌های چین‌خورده‌گی مختلف نقش بسزایی دارد. از مهم‌ترین چین‌های مرتبط با گسلش در کمر بند چین‌خورده-رانده زاگرس و پهنه ساختاری فارس می‌توان به چین‌های جدایشی<sup>۲</sup> اشاره کرد.

از آنجا که بخش بزرگی از نفت گیرهای جنوب و جنوب باختر ایران از نوع ساختاری (تاقدیس مرتبط با گسلش) است، شناخت هندسه و سبک چین‌خورده‌گی این نوع نفت گیرها از دیرباز مورد توجه قرار گرفته است. مطالعه حاضر نمونه‌ای از این تلاش در رابطه با یکی از این ساختارها در کمر بند چین‌خورده-رانده موسوم به تاقدیس بورخ می‌باشد و در آن با استفاده از داده‌های میدانی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، هفت برش ساختاری عمود بر محور تاقدیس رسم و هندسه تاقدیس تحلیل شده، سپس بستگی افقی و قائم آن بر اساس نقشه هم‌تراز زیرزمینی سطح بالایی گروه دهرم، برآورد شده است.

1. Detachment horizon

2. Detachment Folds



شکل ۱. ساختارها و پهنه‌های ریخت زمین‌ساختی کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس در جنوب غرب ایران و شمال عراق در طول حاشیه شمال شرقی ورق عربی، اقتباس از (Sarkarinejad and Azizi, 2008) (محدوده منطقه مورد مطالعه در شکل با مستطیل مشخص شده است)

تاقدیس بورخ از رسوبات گروه خامی تا کنگلومرای بختیاری را شامل می‌شود که به اختصار از قدیم به جدید شرح داده شده است. با توجه به اطلاعات مربوط به چاه شماره ۱ حفاری شده در تاقدیس بورخ، در زیر سازندهای گروه خامی، سازند هیث (شامل دولومیت و لایه‌های انیدریت)، سازند سورمه (شامل سنگ آهک دولومیتی)، سازند نیریز (شامل دو بخش کربناته و تبخیری بالایی و تخریبی پایینی)، سازند دشتک (شامل بخش‌های شیلی و تبخیری) و همچنین سازندهای گروه دهرم شامل سازند کنگان (شامل لایه‌های آهکی و آهک

و بستک مجاور می‌باشد. تاقدیس بورخ، تاقدیسی نامتقارن است که مقدار شیب یال شمالی آن به ۳۰ تا ۵۰ درجه و شیب یال جنوبی حداکثر به ۷۰ درجه می‌رسد و بدین ترتیب شیب یال جنوبی آن تندتر از یال شمالی است. پلانچ غربی این تاقدیس کاملاً بسته است و شیب آن حدود ۱۲ درجه می‌باشد، پلانچ شرقی آن نیز بسته است و با یک فرورفتگی ملایم<sup>۱</sup> از تاقدیس گانه جدا می‌شود (شکل ۲).

در شرقی‌ترین بخش یال شمالی آن گنبدنمکی با امتداد شمالی-جنوبی بالآمده و باعث شده طبقات گروه خامی رخنمون داشته باشند. نهشته‌های رسوبی و واحدهای سنگی

1. Shallow saddle

دولومیتی)، سازند دالان (شامل سه بخش کربناته بالایی، بخش تبخیری و بخش کربناته پایینی) و سازند فراقون (شامل لایه‌های تبخیری و ماسه‌سنگی) قرار گرفته‌اند.

سازندهای گرو خامی مشتمل بر سازندهای داریان (شامل سنگ آهک خاکستری)، سازند گدوان (شامل سنگ آهک رسی دانه‌ریز و مارن و شیل) و سازند فهلیان (شامل سنگ آهک و دولومیت ضخیم لایه) در اطراف گنبدنمکی یال شمالی تاقدیس بورخ رخنمون یافته‌اند و همچنین سازندهای گروه بنگستان شامل سازندهای ایلام (شامل سنگ آهک رسی)، سروک (شامل سنگ آهک) و سازند کژدمی (شامل شیل، مارن و سنگ آهک رس‌دار) همچنین سازند ساچون (شامل لایه‌های گچ و مارن گچی، دولومیت و سنگ آهک رسی) و بخش‌هایی از سازند تاربور (سنگ آهک ریفی با کمی دولومیت) و سازند گوری (شامل مارن‌های خاکستری رنگ و سنگ آهک‌های رسی-مارنی) در منطقه لولا و اطراف گنبدنمکی یال شمالی تاقدیس بورخ رخنمون یافته‌اند. سازند آسماری (شامل سنگ آهک‌های نخودی خاکستری رنگ) نیز با گسترش زیاد رخنمون یافته است. سازند گچساران (شامل بخش انیدریت چهل، سنگ آهک چمپه و بخش مارن خاکستری مول) در بخش‌های شمالی و جنوبی منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. همچنین سازند آغاچاری (شامل ماسه‌سنگ، سیلت و رس) به صورت گسترده در اطراف تاقدیس بورخ دیده می‌شود.

سازند میشان (شامل مارن سیلتی و رس سیلتی خاکستری رنگ) نیز به صورت هم‌شیب با سازند گچساران دیده می‌شود. جوان‌ترین واحد تاقدیس بورخ، سازند بختیاری است که شامل کنگلومرای خاکستری-قهوه‌ای به همراه قطعات چرت، سنگ آهک و ماسه‌سنگ در شمال و جنوب تاقدیس بورخ گسترش دارد (شکل ۳).

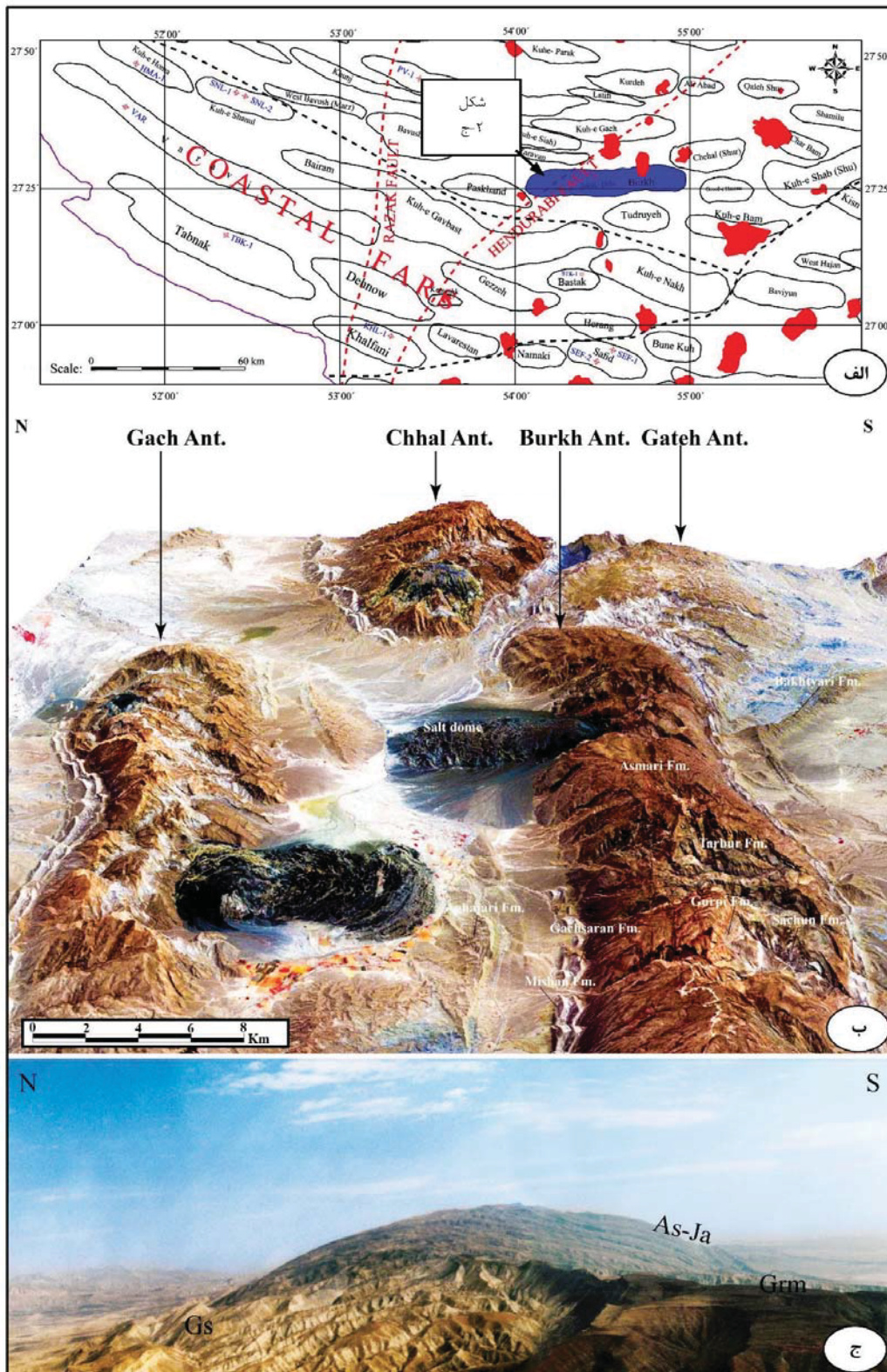
## بحث

### هندسه ساختاری تاقدیس بورخ

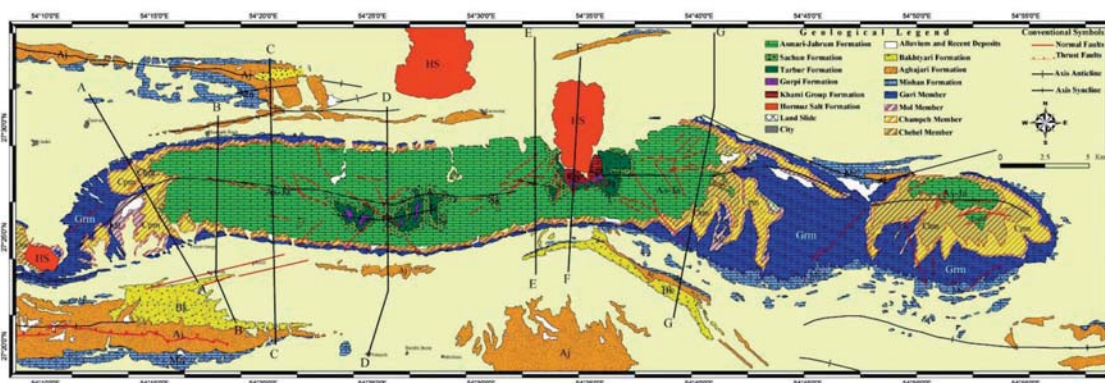
تاقدیس بورخ یکی از تاقدیس‌های ناحیه فارس است که با روند WNW-ESE بین دو خطواره بستک در غرب و خطواره مغناطیسی هندورابی در شرق قرار گرفته است (شکل ۴). همچنین مجموعه‌ای از گسل‌های عرضی برشی

1. Kink method

2. Disharmonic detachment fold



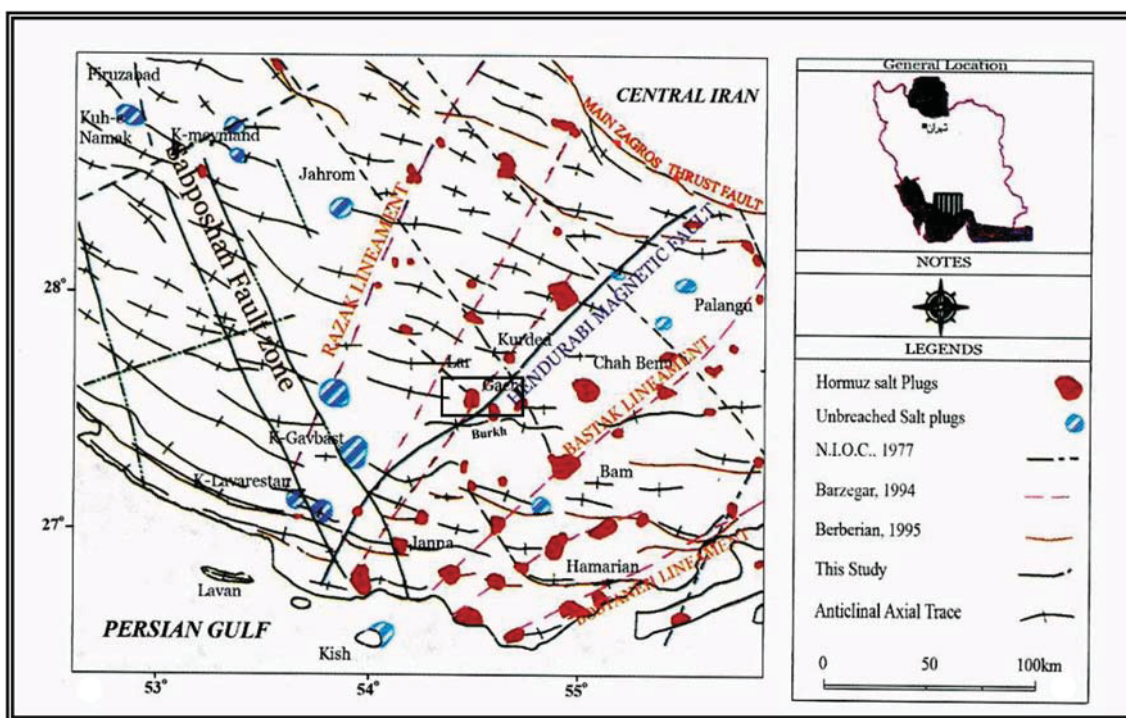
شکل ۲. الف) نقشه تاقدیس‌ها به همراه گنبد‌های نمکی ناحیه فارس (تهیه شده توسط شرکت ملی نفت (۱۳۷۶)، با تغییرات) که در آن تاقدیس بورخ با رنگ آبی مشخص شده است. ب) نمایی از تاقدیس بورخ به همراه تاقدیس‌های مجاور (تصویر ماهواره‌ای گرفته شده توسط ناسا) ج) نمایی از پلانچ غربی تاقدیس بورخ، دید به سمت شرق. (As-Ja آسماری-جهرم، Gs گچساران، Grm گوری)



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه. مسیر برش‌های ساختاری بر روی نقشه نشان داده شده‌اند (برگرفته از شرکت ملی نفت، ۱۳۷۶ با تغییرات)

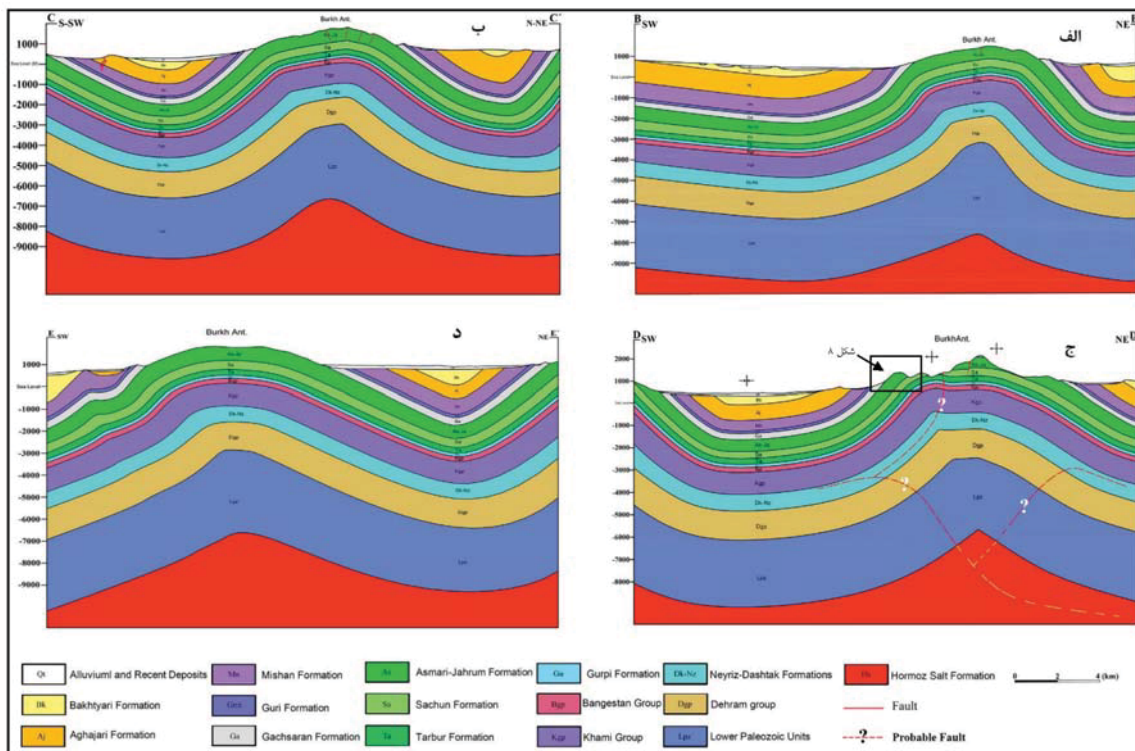
یک تاق‌دیس نامتقارن است. همچنین با توجه به زاویه بین پهلوئی به‌دست‌آمده در مسیرهای مختلف (جدول ۱)، تاق‌دیس بورخ در محدوده چین‌های باز در تقسیم‌بندی فلوتی قرار می‌گیرد.

تکامل چین‌های زاگرس (Bahroudi and Koyi., 2003) نیز مشابهت دارد. بر مبنای موقعیت لایه‌بندی‌ها در پهلوهای شمالی و جنوبی تاق‌دیس در مسیرهای مختلف بر روی استریونت (شکل ۵)، مشخص شد که تاق‌دیس بورخ به‌طور کلی



شکل ۴. نقشه خطواره‌ها، اثر محوری تاق‌دیس‌ها و گنبد‌های نمکی در جنوب شرق زاگرس (برگرفته از یساقی و همکاران، ۱۳۸۵). منطقه مورد مطالعه با مستطیل نشان داده شده است





شکل ۶. برش‌های عرضی ساختمانی تاقدیس بورخ بر اساس داده‌های روسطی و زیرسطحی (چهار شماره ۱). موقعیت برش‌های عرضی در شکل ۳ نشان داده شده است. الف) برش BB' بر روی پلانچ غربی رسم شده و همان‌گونه که در این شکل نمایان است، شکل چین به صورت یک چین جعبه‌ای دیده می‌شود و ناودیس جنوبی به صورت نسبتاً گسترده مشخص است. همچنین به جزء یکسری شکستگی طولی، گسلی دیده نمی‌شود. ب) در برش عرضی CC' یکسری گسل‌های نرمال و طولی نیز در ناحیه لولایی و بال جنوبی دیده می‌شود. ج) همان‌طور که در برش عرضی DD' دیده می‌شود شیب یال جنوب غربی افزایش یافته و ساختار تاقدیس کمی از حالت تقارن فاصله گرفته است و از افق آسماری تا سازندهای گروه خامی چین‌خوردگی به موازات هم صورت گرفته است. همچنین واگرایی سرسازندها در زیر سازندهای گروه خامی، نشان از گسلی و ستبرشدگی در افق دشتک-نیریز به عنوان افق گسستگی میانی است که تاثیر آن در سطح، به صورت ساختار گوش خرگوشی (شکل ۷) دیده می‌شود. لازم به ذکر است به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات زیرسطحی مانند داده‌های لرزه‌ای و مشخص نبودن مقدار جابه‌جایی، گسل‌های مربوطه به شکل نقطه چین. با علامت سوال مشخص شده است. همچنین این مدل براساس مدل ارائه شده توسط (Sherkati et al., 2006) ارائه شده است د) در برش عرضی EE' زاویه بین پهلوهای تاقدیس افزایش یافته است و ساختار تاقدیس به صورت نامتقارن دیده می‌شود

اصلی‌ترین واحد غیر مقاوم، سری هرمز می‌باشد که بر روی پی‌سنگ قرار گرفته است (Stöcklin, 1968; Talbot and Alavi, 1996; Bahroudi and Koyi, 2003). اگرچه در بعضی مناطق سنگ‌های شیلی پالئوزوئیک در زیر پوشش رسوبی قرار گرفته‌اند (Carruba et al., 2006). در سازوکار چین‌جدایی که سازوکار اصلی چین‌خوردگی در کمربند زاگرس به شمار می‌رود، نمک نئوپروتروژوئیک هرمز به‌خصوص در بخش‌های جنوبی کمربند و در ایالت زمین‌شناسی فارس، با کاهش اصطکاک بین پی‌سنگ و پوشش رسوبی، به‌عنوان سطح گسستگی قاعده‌ای ایفای نقش نموده است. کارایی موثر سطح گسستگی قاعده‌ای

تقسیم‌بندی کرد. (Sherkati and Letouzey, 2004) نیز یک طبقه‌بندی ساختاری جدید برای پوشش رسوبی زاگرس، به جهت نشان دادن اختلاف رفتار مکانیکی سازندها در ستون چینه‌شناسی نشان داده‌اند. این طبقه‌بندی وجود چندین سطح جدایش محلی فعال در حین چین‌خوردگی را نشان می‌دهد، این سطوح جدایش واحدهای سنگی زمین‌ساختی (واحدهای مقاوم) را که دارای کوتاه‌شدگی به روش‌های مختلف می‌باشند، از هم جدا می‌کنند. این ناهماهنگی حاصل اختلاف رفتار مکانیکی واحدها می‌باشد که به نظر می‌رسد بسیار پیچیده‌تر از آن چیزی باشد که توسط (O'Brien, 1950) توصیف شده است.



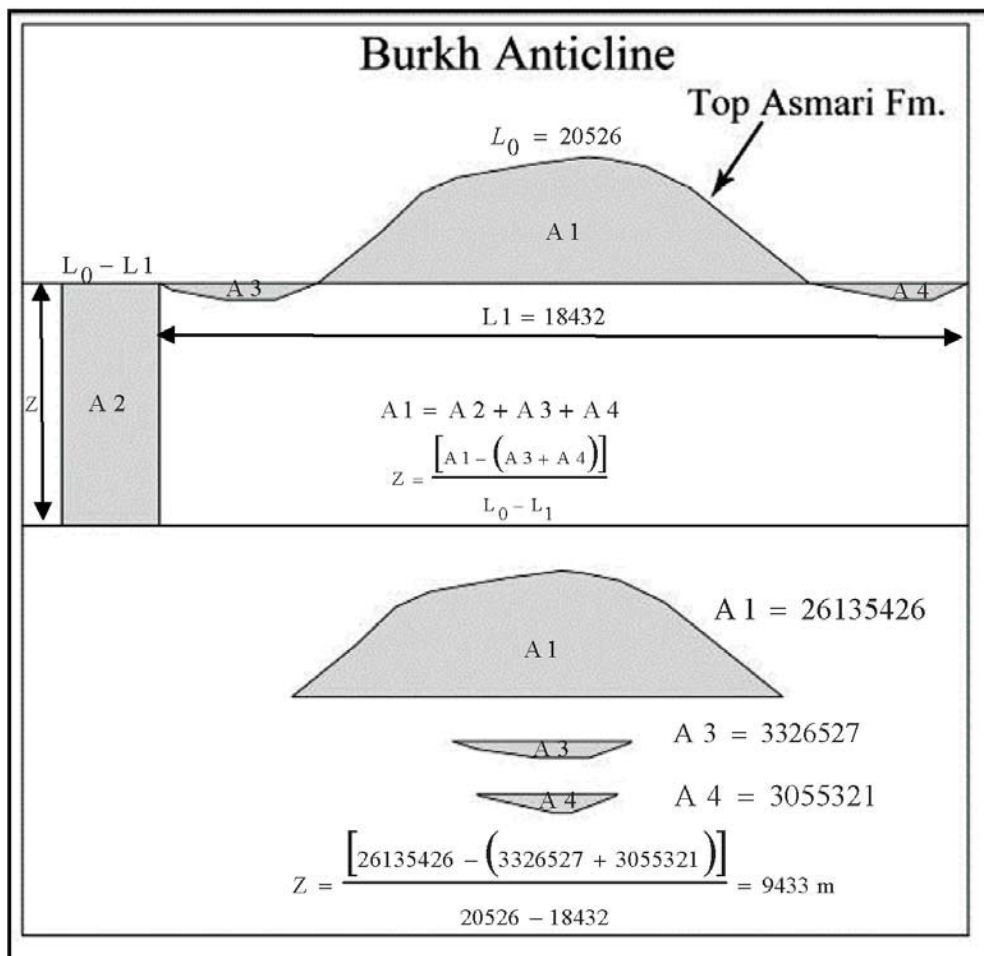
نظر اندازه قابل مقایسه با تاقدیس‌های شکل گرفته در محیط فاقد سطح جدایش میانی، نیستند (شکل ۸).

## تحلیل هندسی تاقدیس بورخ

پهنه فارس در جنوب شرق کمربند چین خورده-رانده زاگرس به دلیل دارا بودن درصد قابل توجهی از ذخایر گاز جهان از اهمیت بسزایی برخوردار است. در واقع با آغاز چین خوردگی میوسن، مواد هیدروکربنی تجمع یافته در رسوبات این ناحیه به سمت بستگی‌های ایجاد شده توسط تاقدیس‌ها جریان یافته و به دام افتاده‌اند (Bordenave and Hegre, 2012). بنابراین برای مدل سازی سیستم هیدروکربنی منطقه و تعیین اولویت ساختارها جهت حفاری اکتشافی، دانستن سبک چین خوردگی تاقدیس‌ها ضروری است. مطالعه برش‌های عرضی ساختاری ترسیم شده و مقایسه آن با مدل‌های هندسی ارائه شده برای چین‌های مرتبط با گسلش نشان دهنده این است که تاقدیس بورخ از نوع چین‌های جدایشی می‌باشد. چین‌های مرتبط با گسلش به سه دسته: چین خمشی گسلی<sup>۲</sup> که در اثر حرکت لایه بر روی بخش خمیده گسل به وجود می‌آید (Jamison, 1987; Suppe., 1983). ۲- چین انتشار گسلی<sup>۳</sup> که در اثر انتقال پیشرونده جابه‌جایی به نوک گسل راندگی به وجود می‌آید (Suppe and Medewdeff., 1990). ۳- چین‌های جدایشی که در پایانه گسل راندگی، ایجاد شده در قاعده جدایشی شکل پذیر، جایی که جابه‌جایی به لایه‌های بالایی منتقل می‌شود توسعه می‌یابند (Dahlestrom., 1990). (Sattarzadeh et al., 2000) بر اساس پارامتر نسبت ابعادی<sup>۴</sup> که نسبت طول محور چین به نصف طول موج آن می‌باشد، چین‌های زاگرس را در دو گروه قرار داده‌اند: (۱) چین‌های خمشی<sup>۵</sup> که در آنها نسبت ابعادی برای چین‌ها در تمام مقیاس‌ها بین پنج تا ده می‌باشد. در این چین‌ها که در اثر فشارش ناحیه‌ای تشکیل می‌شوند، وقتی تکامل یک چین تمام می‌شود، چین خوردگی با تشکیل یک چین

باعث شده است که کوتاه‌شدگی کلی اعمال شده در مراحل اولیه دگرریختی، با مهاجرت لایه قاعده‌ای به درون هسته تاقدیس‌ها، فرورفتن ناودیس‌های محصورکننده به زیر تراز منطقه‌ای و در مراحل انتهایی، با پیدایش گسل‌های رانده در پیش یال یا پس یال چین تعدیل شود و در نتیجه کل توالی رسوبی بدون نیاز به فعال شدن سطوح گسستگی میانی (نظیر شیل‌های پالئوزوئیک زیرین، دشتک، پابده و میشان)، متحمل چین خوردگی گردد. محاسبه عمق تا سطح گسستگی (شکل ۷) نیز مبین فرارگیری افق گسستگی قاعده‌ای در تراز عمقی معادل با نمک هرمز در منطقه مورد مطالعه است (افروغ و همکاران، ۱۳۹۰). شیل‌های تریاس (سازند دشتک) یکی از مهم‌ترین سطوح گسستگی میانی در زیرحوضه فارس ساحلی محسوب می‌شوند که در فارس داخلی و زاگرس مرتفع با تغییر رخساره به کربنات‌های سازند خانه کت، این قابلیت را از دست می‌دهند (Szabo and Kheradpir, 1978; Setudehnia, 1978; Sherkati et al., 2006). شیل‌های ژوراسیک زیرین و میانی در لرستان (سازندهای عدايه و سرگلو)، تبخیری‌های ژوراسیک فوقانی در لرستان (سازند گوتیا)، شیل‌های کرتاسه زیرین و میانی در لرستان و شمال فروربار دزفول (سازندهای کژدمی، گرو)، مارن‌های ائوسن (پابده) و تبخیری‌های میوسن (سازند گچساران) در فروربار دزفول و مارن‌های میوسن فوقانی (سازند میشان) در منطقه بندرعباس از جمله این سطوح گسستگی میانی به شمار می‌روند. حضور این سطوح گسستگی بالقوه در توالی چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه، سبب شده است که در شرایط عدم کارایی سطح گسستگی قاعده‌ای، فعالیت این سطوح گسستگی بینابینی کنترل‌کننده هندسه و تکامل چین‌ها باشد. ساختارهای گوش خرگوشی<sup>۱</sup> از جمله ساختارهایی هستند که اغلب در سری‌های رسوبی حاوی سطح جدایش میانی، تشکیل می‌شوند. ساختارهای گوش خرگوشی به چین‌های فرعی و کوچکی اطلاق می‌شود که در دامنه چین‌های اصلی و بزرگ تشکیل می‌شوند (Sherkati and Letouzey, 2004). در این مدل دگرشکلی واحدهای فوقانی سطح جدایش میانی متفاوت از واحدهای زیرین آن می‌باشد. تاقدیس‌های شکل گرفته در این حالت، از

1. Rabbit ear  
2. Fault bend fold  
3. Fault propagation fold  
4. Aspect ratio  
5. Buckle folds



شکل ۷. محاسبه عمق تا سطح گسستگی قاعده‌ای برای تاق‌دیس بورخ. راس سازند آسماری به عنوان افق مرجع در نظر گرفته شده است و عمق تا سطح گسستگی قاعده‌ای در حدود ۹۴۳۳ متر محاسبه شده است که با عمق سری هرمز در منطقه انطباق دارد (افروغ و همکاران، ۱۳۹۰)



شکل ۸. ساختار گوش خرگوشی در یال جنوبی تاق‌دیس بورخ. موقعیت این شکل در شکل ۶-ج مشخص شده است

گسلش راندگی موجود در زیر آنها دارد و به طور معمول خیلی طولیل هستند. هرچند که این چین‌ها در برش‌های عرضی شبیه چین‌های خمشی هستند ولی در نمای نقشه بسیار طولیل‌تر می‌باشند (Sattarzadeh et al., 2000). گاهی ممکن است گسل اصلی و مادر، یک گسل مایل لغز باشد که هم مولفه امتدادلغز و هم مولفه شیب‌لغز دارد. چین‌های حاصل از این گسل‌ها دو خاصیت ویژه دارند، (۱) جابجایی منظم نسبت به چین‌های همجوار (۲) نسبت ابعادی بالا. نمونه‌ای از این چین‌ها را در بالای گسل پی‌سنگی میناب می‌توان مشاهده کرد، این گسل یک گسل ترفشارشی<sup>۴</sup> و راست‌بر است که ادامه حرکت و چرخش آن در جهت حرکت عقربه‌های ساعت، باعث ایجاد الگوی زیگموئیدال چین‌ها شده است (Sattarzadeh et al., 2000).

برای مقایسه تاقدیس بورخ با این دو گروه نیاز به اندازه‌گیری طول محور و طول موج تاقدیس می‌باشد. طول محور تاقدیس بورخ با توجه به رخنمون سازند گوری، از پلانچ محور در این سازند در دماغه غربی تاقدیس بورخ تا پلانچ محور در سازند گوری در دماغه شرقی این تاقدیس، حدود ۶۱ کیلومتر است. طول موج تاقدیس نیز در برش‌های مختلف از ۱۳ تا ۲۰ کیلومتر می‌باشد. با توجه به بیشترین طول موج تاقدیس، میزان نسبت ابعادی حدود ۶/۱ محاسبه گردید که بر اساس آن تاقدیس بورخ در محدوده چین‌های خمشی قرار می‌گیرد.

برای تعیین هندسی منشاء چین‌های مرتبط با راندگی، پژوهشگران متعدد نمودارهایی ارائه کرده‌اند؛ (Suppe, 1983; Jamison, 1987; Mitra, 1990; Suppe and Medwedeff, 1990; Homza and Wallace, 1995). بسیاری از محققین مانند (Tavarnelli, 1997) و Thorbjornsen and Dunne (1997) معتقدند که نمودارهای ارائه شده توسط (Jamison, 1987)، منسجم‌ترین حالت را دارند، زیرا چندین مدل مختلف را مورد توجه قرار داده‌اند. در مدل ارائه شده توسط Jamison چین‌های مرتبط با گسل در سه گروه اصلی چین‌های

دیگر که دارای محوری موازی با محور چین قبلی است و نسبت به آن جابجایی دارد، دنبال می‌شود. لازم به ذکر است که گاهی دو چین به هم متصل می‌شوند و تشکیل یک چین خمشی واحد را می‌دهند که دارای نسبت ابعادی خیلی زیاد و حدود دو برابر چین‌های منفرد می‌باشد. چین‌های خمشی بر روی سطوح جدایش تشکیل می‌شوند و به همین علت (Sattarzadeh et al., 2000)، چین‌های جدایشی را در این گروه قرار می‌دهند. چین‌های خمشی مرتبط با گسل‌های چرخشی<sup>۱</sup> پی‌سنگی، چین‌هایی هستند که در اثر پاسخ شکل‌پذیر پوشش رسوبی نسبت به حرکت گسل‌های امتدادلغز پی‌سنگ، تشکیل می‌شوند. این چین‌ها در نمای نقشه نسبت به هم یک جابجایی هماهنگ به چپ یا راست دارند و به صورت نردبانی می‌باشند که از این طریق از چین‌های خمشی معمولی که در اثر فشارش ناحیه‌ای به وجود می‌آیند قابل تشخیص هستند. البته در بعضی موارد به علت وجود نسل‌های بعدی چین‌خوردگی و چرخش موجود بر روی گسل‌های امتدادلغز، تشخیص این دو نوع چین خمشی مشکل است و ممکن است الگویی زیگموئیدال<sup>۲</sup> داشته باشند (Sattarzadeh et al., 2000). (۲) چین‌های تحمیلی<sup>۳</sup>، چین‌هایی هستند که در آنها شکل نهایی و روند چین توسط نیروهایی که از زیر اعمال می‌شوند، مشخص می‌شود. در این چین‌ها نیرو ممکن است از طرف یک بلوک گسلی باشد که این گسل‌ها باید دارای مولفه‌هایی از حرکت شیب‌لغز باشند. این چین‌ها همچنین می‌توانند به طور مستقیم یا غیرمستقیم ناشی از فعالیت مجدد گسل‌های نرمال قدیمی باشند که در اثر برخورد قاره‌ای در میوسن، به صورت گسل‌های شیب‌لغز معکوس فعال شده‌اند. چین‌های خم گسلی و انتشار گسلی در این گروه قرار دارند (Sattarzadeh et al., 2000). یکی از تفاوت‌های اساسی در هندسه چین‌های تحمیلی و خمشی مربوط به نسبت ابعادی می‌باشد که در چین‌های تحمیلی بیشتر از ۱۰ است. از آنجا که نیروهای به وجود آورنده این چین‌ها اغلب باعث تشکیل یک حالت پلکانی طولیل در پی‌سنگ می‌شوند، در نتیجه چین‌های حاصل در بیشتر موارد، دارای نسبت ابعادی بزرگ بوده و اغلب نامتقارن هستند. طول این چین‌ها بستگی به

1. Wrench faults  
2. Sigmoidal pattern  
3. Forced folds  
4. Transpressive

تاقدیس قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد. برای تعیین تغییر ضخامت سازند گچساران در مسیرهای مختلف با استفاده از رابطه (۲)، اختلاف ارتفاع توپوگرافی و عرض لایه از نقشه زمین ساختاری با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه محاسبه شده و شیب لایه‌بندی بر اساس اندازه‌گیری‌های صحرایی و مقادیر موجود در نقشه زمین ساختاری می‌باشد. اندیس (b) برای پهلو خلی و اندیس (f) برای پهلو پیشانی است. اگر مقدار  $t_p$  بیشتر از  $t_f$  باشد پهلو پیشانی نازک شده و در صورت عکس، پهلو پیشانی ضخیم شده است. اندیس (a) میزان تغییرات بر مبنای ۱۰۰ است.

اگر مقدار به‌دست‌آمده (a) را از ۱۰۰ کسر کنیم، مقدار نازک شدگی و یا ضخیم شدگی به دست می‌آید.

$$t = h \sin \delta - v \cos \delta \quad \text{رابطه (۱)}$$

اختلاف ارتفاع توپوگرافی در ابتدا و انتهای لایه  $v =$

ضخامت واقعی لایه  $t =$

عرض لایه در نقشه  $h =$

شیب لایه‌بندی  $\delta =$

$$t_p \times a / 100 = t_f \quad \text{رابطه (۲)}$$

خم‌گسلی، چین‌های انتشارگسلی و چین‌های جدایشی، تحلیل شده‌اند. به‌منظور بررسی هندسی تاقدیس بورخ با استفاده از نمودار (Jamison 1987)، با توجه به قرارگیری تاقدیس بورخ در محدوده چین‌های خمشی و با توجه به نتایج برداشت‌های صحرایی که نبود گسلسش راندگی در پهلوهای این تاقدیس را نشان می‌دهند، از به‌کارگیری نمودار مربوط به چین‌های مرتبط با گسلسش راندگی برای تشخیص نوع چین، خودداری شده است، زیرا در چین‌های جدایشی، گسل در سطح رخنمون ندارد. پارامترهای مورد استفاده برای تشخیص هندسه چین با استفاده از نمودارهای (Jamison 1987)، شامل شیب پلکان گسل ( $\alpha$ ) و یا شیب پهلو خلی ( $\alpha b$ )، زاویه بین پهلوها ( $\gamma$ ) و میزان نازک شدگی یا ضخیم شدگی سازند خاصی در پهلو پیشانی نسبت به پهلو خلی می‌باشد (جدول ۲). با توجه به گسترش سازند گچساران در منطقه و قابلیت تغییر ضخامت آن، از این واحد سنگی برای اندازه‌گیری مقدار ضخیم‌شدگی یا نازک‌شدگی در پهلو پیشانی چین در سطح، استفاده شده است (رابطه ۱). البته میزان نازک‌شدگی سازند گچساران نیز در مسیرهای EE' و FF' به دلیل عدم رخنمون در یکی از پهلوهای

جدول ۲. پارامترهای مورد نیاز تحلیل هندسی چین توسط نمودارهای (Jamison 1987) در مسیر برش‌های ساختاری

نام برش ساختاری عرضی	AA'	BB'	CC'	DD'	EE'	FF'	GG'
زاویه بین پهلوها ( $\gamma$ )	83	88	86	75	79		82
شیب پهلو خلی ( $\alpha b$ ) یا شیب پلکان گسل ( $\alpha$ )	28	29	29	40	35		27
ضخیم‌شدگی پهلو پیشانی	6.76%	22.5%	20%	12%	-	-	15%

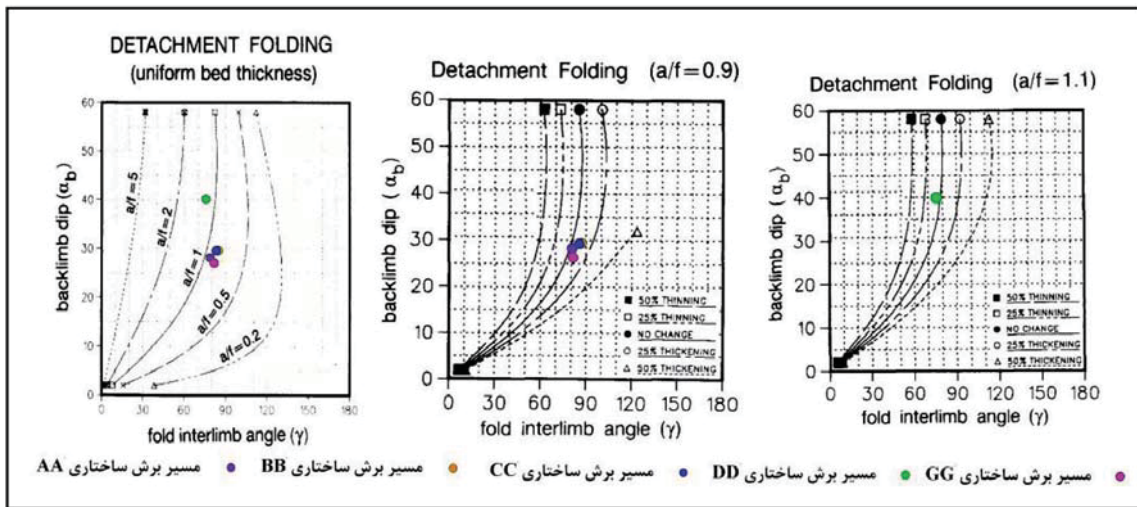
۱۰ درصد نازک‌شدگی و در مسیر GG' در محدوده با حدود ۱۲ درصد ضخیم‌شدگی قرار می‌گیرد. چنانکه در جدول ۲ و نمودارهای شکل ۹ مشاهده می‌شود مقدار تغییر ضخامت محاسبه شده نیز با مقدار به‌دست‌آمده در نمودار چین‌های جدایشی هماهنگی دارد.

## تحلیل جنبشی تاقدیس بورخ

(Poblet and McClay 1996) برای تحلیل هندسی چین‌های جدایشی به وجود آمده براساس تکامل جنبشی مدل (Dahlestrom 1990)، نمودارهایی را معرفی نموده‌اند و معتقدند چنانچه میزان شیب پهلوهای چین و نسبت

به‌منظور تشخیص هندسه تاقدیس بورخ، پارامترهای هندسی لازم از برش‌های ساختاری عرضی رسم شده و همچنین برداشت‌های صحرایی استخراج شد (جدول ۲) و بر روی نمودارهای (Jamison 1987)، پیاده گردید.

چنانکه در شکل ۹ مشاهده می‌شود، تاقدیس بورخ در تمام مسیرها به جزء مسیر DD' در محدوده‌ای واقع شده است که ضخیم‌شدگی در پهلو پیشانی را نشان می‌دهد. این تاقدیس در نمودارهای چین‌های جدایشی در مسیرهای AA' و BB' در محدوده‌های به ترتیب ۵ و ۱۹ درصد ضخیم‌شدگی، در مسیر CC' در محدوده با حدود ۱۵ درصد ضخیم‌شدگی، همچنین در مسیر DD' در محدوده با حدود



شکل ۹. موقعیت تاقدیس بورخ بر روی نمودارهای (Jamison (1987)، در مسیره‌های مختلف بر روی این نمودارها

برخاستگی، زاویه بین پهلوها و شیب سطح محوری می‌باشد. این متغیرها را می‌توان از داده‌های صحرایی، برش‌های لرزه‌ای عمقی یا رسم برش‌های عرضی برداشت نمود که در این مقاله به دلیل عدم وجود برش‌های لرزه‌ای عمقی از داده‌های صحرایی و برش‌های ترسیمی استفاده شده است. با کمک دو معادله ۳ و ۴ می‌توان مقدار برخاستگی (U) و مقدار کوتاه‌شدگی (S) یک لایه چین‌خورده را در بالای یک سطح جدایشی محاسبه نمود. همچنین نیمی از زاویه بین پهلوئی (γ) و زاویه بین سطح محوری و افق جدایش (δ) از روابط ۵ و ۶ به دست می‌آید.

$$U = Lb \sin(Ub) = Lf \sin(Uf) \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$S = Lb [1 - \cos(Ub)] + Lf [1 - \cos(Uf)] \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\gamma = 90 - (Ub/2) - (Uf/2) \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\delta = 180 - Uf - \gamma \quad \text{رابطه (۶)}$$

سینوس آنها اندازه‌گیری شود، می‌تواند جهت محاسبه میزان کوتاه‌شدگی لایه مقاوم بالای لایه جدایشی شکل‌پذیر که چین در آن توسعه یافته است، استفاده گردد. چنانچه این میزان با مقادیر کوتاه‌شدگی به دست آمده از اندازه‌گیری برشی از تاقدیس بورخ مطابقت داشته باشد بیانگر آن است که هندسه و تحول جنبشی چین مورد نظر منطبق بر مدل می‌باشد. برای این منظور می‌بایستی برشی از چین، عمود بر محور آن ترسیم و به جهت سهولت محاسبه، هندسه چین به صورت یکی از هندسه‌های جناغی، شکنجی و یا جعبه‌ای فرض شود و اندازه‌گیری زاویه بین پهلوها بدون در نظر گرفتن تمایل سطح جدایشی صورت گیرد. برای تعیین سازوکار جنبشی، نیاز به تحلیل هندسی چین‌های جدایشی می‌باشد. برای تحلیل هندسی، نیاز به دانستن

متغیرهایی چون: طول پهلو پیشانی، طول پهلو خلفی، شیب پهلو پیشانی، شیب پهلو خلفی، مقدار

جدول ۳. پارامترهای هندسی تاقدیس بورخ در برش 'CC' برای تحلیل هندسی آن به روش (Poblet and McClay (1996)

پارامترهای هندسی	برخاستگی از روی نمودار (m)	برخاستگی از روی برش (m)	کوتاه‌شدگی از روی نمودار (m)	کوتاه‌شدگی از روی برش (m)	R1	طول پهلو پشتی (Lb)	طول پهلو پیشانی (Lf)	شیب پهلو پشتی (Ub)	شیب پهلو پیشانی (Uf)	زاویه بین پهلوها
برش CC	۴۱۱۰/۶۲	۴۱۲۸/۵۲	۳۲۱۱/۴۲	۳۱۹۷/۶	۱/۱	۶۴۲۲/۸۵	۵۷۸۶/۸۹	۴۰	۴۵	۸۵

شکل (a و b-10) به جای کوتاه‌شدگی در معادله بالا، مقدار کوتاه‌شدگی واقعی به دست می‌آید. یک معادله مشابه نیز می‌تواند برای محاسبه برخاستگی واقعی مشتق شود. با توجه به مقدار R1 (رابطه 7) به دست‌آمده در تاقدیس بورخ، نمودار (a-10) مقدار کوتاه‌شدگی را برای پهلوی خلفی برابر پنج نشان می‌دهد، درحالی‌که این مقدار برای پهلوی پیشانی بر روی نمودار (b-10) برابر 5/2 به دست‌آمده است. اعداد نرمالیزه در رابطه (8) قرار داده شده و مقدار کوتاه‌شدگی برای پهلوی خلفی 3211/42 و برای پهلوی پیشانی 3009/18 متر محاسبه شده است. با قرار دادن مقدار کوتاه‌شدگی به دست‌آمده از نمودار شکل (a-10) در نمودارهای d، e، c و به ترتیب مقدار برخاستگی، زاویه بین پهلو و شیب سطح محوری چین به دست‌آمده است. برای رسیدن به عدد واقعی برخاستگی، از رابطه (8) برای پهلوی پیشانی استفاده شده و عدد نرمالیزه برخاستگی (نمودار شکل c-10) به جای عدد کوتاه‌شدگی قرار داده شده، و مقدار آن 4110/62 متر به دست‌آمده است. مقایسه نتایج به دست‌آمده از مقادیر کوتاه‌شدگی برای تاقدیس بورخ از روی برش CC' (جدول 3) با مقادیر تحلیل شده با استفاده از نمودار شکل 10، بیانگر آن است که هندسه تاقدیس بورخ مشابه هندسه چین‌های جدایشی است و لذا هندسه چین جدایشی و تکامل جنبشی آن تحلیل شده برای تاقدیس بورخ بر مبنای (Poblet and McClay 1996) معتبر است.

طبق روابط ارائه شده 3 و 4 مقدار برخاستگی و کوتاه‌شدگی در تاقدیس بورخ با استفاده از متغیرهای به دست‌آمده از برش عرضی ترسیمی CC'، محاسبه گردیده‌اند (جدول 3). برای محاسبه کوتاه‌شدگی می‌توان از روش نمودار نیز استفاده کرد. پارامترهای مورد نیاز جهت برآورد میزان کوتاه‌شدگی تاقدیس با استفاده از نمودارهای ارائه شده توسط (Poblet and McClay 1996) که در شکل 10 ارائه شده است عبارتند از: طول و شیب پهلوهای پیشانی و خلفی و نسبت R1 (رابطه 7).

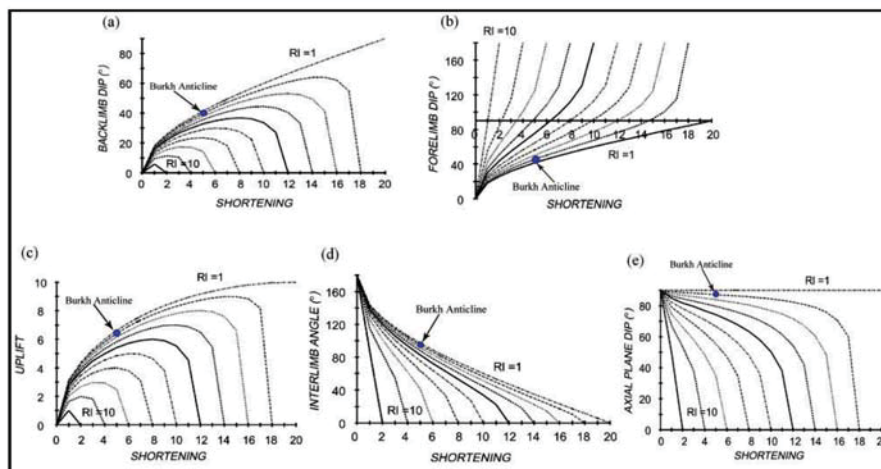
$$R1 = \frac{\text{SinUf}}{\text{SinUb}} \quad \text{رابطه (7)}$$

با توجه به این پارامترها موقعیت تاقدیس بورخ در نمودارهای شکل (10) نمایش داده شده تا میزان کوتاه‌شدگی تاقدیس برآورد گردد.

این میزان کوتاه‌شدگی که تقریباً در هر دو نمودار یکسان است، باید بر مبنای طول پهلوی پیشانی تاقدیس نرمالیزه گردد تا میزان کوتاه‌شدگی واقعی به دست آید. زوایای نشان داده شده بر روی این نمودارها به درجه واقعی، ولی مقادیر خطی بر مبنای Lf=10 نرمالیزه شده‌اند. مقدار کوتاه‌شدگی واقعی بر مبنای نمودار برای پهلوی خلفی و پیشانی، از معادله ساده (8) مشتق می‌شود.

$$S = \frac{\text{Calculated Shortening Lf}}{10} \quad \text{رابطه (8)}$$

با جایگزینی کوتاه‌شدگی‌های به دست‌آمده از نمودار

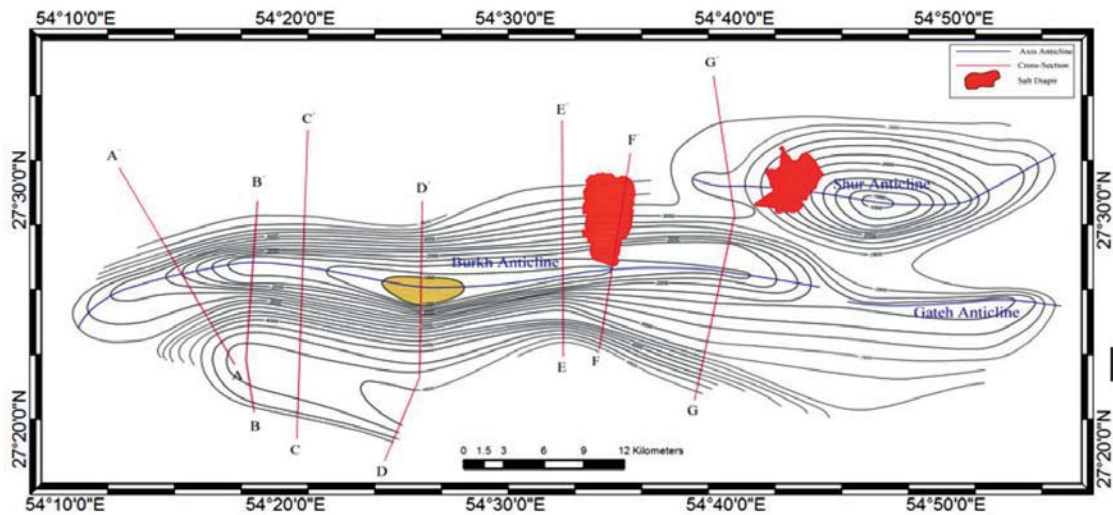


شکل 10. نمودارهای تعیین پارامترهای هندسی چین‌های جدایشی (Poblet and McClay 1996). منحنی‌های نمودارها، منطبق بر مقادیر R1 به ترتیب 1، 1/11، 1/25، 1/43، 1/67، 2، 2/5، 3/33، 5 و 10 می‌باشند. (موقعیت تاقدیس بر مبنای پارامترهای هندسی آن به صورت دایره در نمودارها نمایش داده شده است)

## میزان بستگی قائم و افقی گروه دهرم تاقدیس بورخ

مقدار بستگی افقی را نشان می‌دهد که به اندازه، ارتفاع، نحوه قرارگیری و شکل تاقدیس بستگی دارد، همچنین فاصله قائم بین بالاترین نقطه ساختاری یا به عبارت دیگر کم عمق ترین نقطه ساختاری با آخرین کنتور بسته آن، بستگی قائم تاقدیس می‌باشد. براساس نقشه هم‌تراز زیرزمینی تاقدیس بورخ، میزان بستگی قائم آن ۱۰۰۰ متر و میزان بستگی افقی آن حدود ۲۰۰ کیلومتر مربع بر روی سطح فوقانی گروه دهرم برآورد گردیده است (شکل ۱۱).

نقشه هم‌تراز زیرزمینی، ساختارهای زیرسطحی را به نمایش می‌گذارد و ترازهایی را بر روی افق‌های زمین‌شناسی زیرسطحی نسبت به سطح مبنای تعیین شده که معمولاً سطح تراز دریا است، نشان می‌دهد. افق انتخابی معمولاً قاعده پوش سنگ و یا بالای مخزن است که نشانگر محل تجمع هیدروکربور است. در نقشه هم‌تراز زیرزمینی مساحت آخرین منحنی بسته،



شکل ۱۱. نقشه هم‌تراز زیرزمینی که با استفاده از برش‌های ساختاری هفت‌گانه برای گروه دهرم تاقدیس بورخ ترسیم شده است

## نتیجه‌گیری

ارائه شده توسط (Poblet and McClay, 1996) (شکل ۱۰) تاقدیس بورخ از نوع چین‌های مرتبط با پهنه جدایشی (FDF) است. تشکیل چین‌های فرعی در منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده تاثیر سطوح جدایش میانی، در منطقه است. شیل‌های تریاس (سازند دشتک) یکی از مهم‌ترین سطوح گسستگی میانی در منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شوند (Szabo and Kheradpir, 1978; Setudehnia, 1978; Sherkati et al., 2006). ساختارهای گوش خرگوشی که نمونه آن در یال جنوبی تاقدیس بورخ قابل مشاهده است

تاقدیس بورخ با روند WNW-ESE به صورت یک چین نامتقارن و غیرهارمونیک بر روی سازند جدایشی هرمز می‌باشد. این تاقدیس در محدوده چین‌های باز در تقسیم‌بندی فلوتی قرار می‌گیرد. با اندازه‌گیری طول محور و طول موج تاقدیس در مسیرهای برش عرضی، مشخص شد که تاقدیس بورخ در محدوده چین‌های Buckle در تقسیم‌بندی (Sattarzadeh et al., 2000) قرار می‌گیرد. براساس تحلیل هندسی توسط نمودارهای Jamison (1987) (شکل ۸) و همچنین با توجه به نتایج ارائه شده از تحلیل هندسی تاقدیس بورخ بر روی نمودارهای

1. Under ground contour map

gros Fold Belt of Iran and contiguous offshore as the result of the petroleum systems. Geological Society, Special Publications, 330, 291-353.

- Boyer, S.E., 1986. Styles of folding within thrust sheets: examples from the Appalachian and Rocky Mountains of the USA and Canada. *Journal of Structural Geology*, 8, 325-339.

- Burbank, D.W., McLean, J.K., Bullen, M., Abdрахmatov, K.Y and Miller, M.M., 1999. Partitioning of intermontane basins by thrust-related folding, Tien Shan, Kyrgyzstan. *Basin Research*, 11, 75-92

- Calamita, F., Pace, P and Satolli, S., 2012. Coexistence of fault-propagation and fault-bend folding in curve-shaped foreland fold-and-thrust belts: examples from the Northern Apennines (Italy). *Terra Nova*, 24, 396-406.

- Callot, JP., Jahani, S. and Letouzey, J., 2007. The role of pre-existing diapirs in fold and thrust belt development. In: O. Lacombe, J. Lavé, F. Roure and J. Vergés, eds., *Thrust Belt and Foreland Basin*, Springer 307-323.

- Carruba, S., Perotti, C., 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) Special Paper 414: *Styles of Continental Contraction*, Article: 11-32.

- Colman-Sadd, S.P. 1978. Fold development in Zagros Simply Folded Belt, southwest Iran. *American Association of Petroleum Geologists. Bulletin*, 62, 984-1003.

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

- Dahlstrom, C. D. A., 1990. Geometric

از جمله ساختارهایی هستند که اغلب در سری‌های رسوبی حاوی سطح جدایش میانی، تشکیل می‌شوند. نمک هرمز در ژرفای بین ۸-۱۲ کیلومتر، اصلی‌ترین لایه جدایشی عامل چین‌خوردگی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. براساس نقشه خطوط هم‌تراز زیرزمینی راس گروه دهرم در تاقدیس بورخ که بر مبنای اطلاعات عمقی مربوط به سطح فوقانی گروه دهرم می‌باشد، میزان بستگی قائم تاقدیس در حدود ۱۰۰۰ متر و میزان بستگی افقی آن در حدود ۲۰۰ کیلومتر مربع محاسبه گردید.

## منابع

- افروغ، ع، رضانی اومالی، ر، حافظی مقدس، ن، جهانی، س و نوحه‌گر، ا، ۱۳۹۰. تحلیل هندسی تاقدیس بورخ در زاگرس چین‌خورده-رانده و برآورد بستگی قائم و افقی گروه دهرم آن. مجموعه مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- یساقی، ع و باقری، ج، ۱۳۸۵. تحلیل ساختاری تاقدیس دهنو، شاهدهی از اثر گسل‌های عرضی-برشی زیر سطحی بر هندسه چین‌های زاگرس چین‌خورده-رانده، فصلنامه علوم زمین، ۶۲، ۱۴-۲۹.

- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229, 211-238.

- Bahroudi, A. and Koyi, H.A., 2003. Effect of spatial distribution of Hormoz salt on deformation style in the Zagros fold and thrust belt: an analogue modeling approach. *Journal of the Geological Society*, 160, 719-735.

- Berberian, M and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 12, 210-265.

- Berberian, M., 1995. Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds; active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 241, 193-224.

- Bordenave, M. L. and Hegre, J. A., 2012. Current distribution of oil and gas fields in the Za-



constraints derived from the law of conservation of volume and applied to evolutionary models for detachment folding. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 74, 336-344.

- Delcaillau, B., Deffontaines, B., Floissac, L., Angelier, J., Deramond, J., Souquet, P., Chu, H.T and Lee, J.F., 1998. Morphotectonic evidence from lateral propagation of an active frontal fold; Pakuashan anticline, foothills of Taiwan. *Geomorphology*, 24, 263-290.

- Emami, H., 2008. Freland propagation folding and structure of the mountain front flexure in the Pusht-E Kuh arc (NW) Zagros, Iran. Ph. D Thesis, Barcelona University.

- Erslev, E.A and Mayborn, K.R., 1997. Multiple geometries and modes of fault-propagation folding in the Canadian thrust belt. *Journal of Structural Geology*, 19, 321-335.

- Falcon, N. L., 1969. Problems of the relationship between surface structures and deep-displacements illustrated by the Zagros range. In: Kent, P., Satterhwaite, G. E. and Spencer, A. M., (Eds), *Time and Place in Orogeny*. Special Publication no. 3. Geological Society, London, 03, 9-22.

- Farzipour-Saein, A., Yassaghi, A., Sherkati, S., and Koyi, H., 2009. Mechanical stratigraphy and folding style of the Lurestanregion in the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Journal of Geological Society*, 166, 1101-1115.

- Ford, M., Williams, E.A., Artoni, A., Vergés, J and Hardy, S., 1997. Progressive evolution of a fault-related fold pair from growth strata geometries, Sant Llorenç de Morunys, SE Pyrenees. *Journal of Structural Geology*, 19, 413-441.

- Homza, T.X. and Wallace, W.K., 1995. Geometric and kinematic models for detachment folds with fixed and variable detachment depths.

*Journal of Structural Geology*, 17, 575-587.

- Jahani, S., 2008. Salt tectonics, folding and faulting in the Eastern Fars and southern offshore provinces (Iran). Ph. D. thesis, Université de Cergy-Pontoise, France, 215 .

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

- Kent, P.E., 1979. The emergent Hormuz salt diapirs of southern Iran, *Journal of Petroleum Geology*, 2, 117-144.

- MacClay, K., 2001. *Advanced Structural Geology for Petroleum Exploration*, 503.

- Mitchell, M. M. and Woodward, N.B., 1988. Kink Detachment folds in the southwestern Montana fold and thrust belt. *Geology*, 16, 162-165

- Mitra, S., 1990. Fault propagation folds: Geometry kinematic evolution and hydrocarbon traps. *AAPG Bulletin*, 74, 921-945.

- Mitra, S., 2003. A unified kinematic model for the evolution of detachment folds, *Journal of Structural Geology*, 25, 1659-1673.

- Molinaro, M., Leturmy, P., Guezou, J. C and Frizon de Lamotte, D., 2005. The structure and kinematics of the south-east Zagros fold-thrust belt; Iran: from thin-skinned to thick-skinned tectonics. *Tectonics*, 24, 1-19

- Motamedi, H., Sherkati, S. and Sepehr, M., 2012. Structural style variation and its impact on hydrocarbon traps in central Fars, *Southern Zagros*, 37, 124-133

- O'Brien, C.A.E. 1950. Tectonic problems of the oil field belt of southwest Iran. 18th International Geological Congress, London, 45-58

- O'Brien, C. A. E., 1957. Salt diapirism in south Persia. *Geologie en Mijnbouw*, 19, 357-376.

- Poblt, J.A. and McClay, K.R., 1996. Ge-

- ometry and Kinematic of single layer detachment folds. AAPG Bulletin, 80, 1085-1109.
- Sarkarinejad, K and Azizi, A., 2008. Slip partitioning and inclined dextral transpression along the Zagros Thrust System, Iran. Journal of Structural Geology, 30, 116-136.
  - Sattarzadeh, Y., Cosgrove, J.W., Vita-Finzi, C., 2000. The interplay of faulting and folding during the evolution of the Zagros deformation belt. In: Cosgrove, J.W., Ameen, M.S. (Eds.), Forced Folds and Fractures. Special Publication. Geological Society, London, 169, 187-196.
  - Sepehr, M. and Cosgrove, J.W and 2005. Role of the Kazerun fault zone, in the formation and deformation of the Zagros fold thrust belt, Iran. Tectonics, 24, TC5005, doi.org/10.1029/2004TC001725.
  - Setudehnia, A., 1978. The Mesozoic sequence in southwest Iran and adjacent area. Journal of Petroleum Geology, 1 (1), 3-42.
  - 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. 21, (5), 535-554.
  - Sherkati, S., Molinaro, M., Frizon de Lamotte, D., and Letouzey, J., 2005. Detachment folding in the central and eastern fold-belt (Iran): Salt mobility, multiple detachments and late basement control. Journal of Structural Geology, 27, 1-17.
  - 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, TC4007, doi: 10.1029/2004TC001766.
  - Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52, 1229-1258.
  - Suppe, J., 1983. Geometry and kinematics of fault-bend folding. American Journal of Science, 283, 684-721.
  - Suppe, J. and Medwedeff, D.A., 1990. Geometry and kinematics of fault-propagation folding. Eclogae Geologicae Helveticae, 83, 409-454.
  - Szabo, F. and Kheradpir, A., 1978. Permian and Triassic stratigraphy, Zagros basin, south-west Iran. Journal of Petroleum Geology, 1, 57-82.
  - Talbot, C.J. and Alavi, M., 1996. The past of a future syntaxis across the Zagros, In: Alsop, G.I., Blunderll, D.J., Davidson, I. (Eds), Salt Tectonics. Geological Society of London Special Publication, 100, 89-109.
  - Tavarnelli, E., 1997. Structural evolution of a foreland fold-and-thrust belt: the Umbria-Marche Apennines, Italy. Journal of Structural Geology, 19 (3-4), 523-534.
  - Thorbjornsen, K. L. and Dunne, W. M., 1997. Origin of Thrust-Related Fold: Geometric vs Kinematic. Journal of Structural Geology, 19, 303-319.
  - Tozer, R. S. J., Butler, R. W. H., Corrado, S., 2002. Comparing thin-and thick-skinned tectonic models of the Central Apennines, Italy. EGU Stephan Mueller Special Publication Series 1, 181-194
  - Vann, I. R., Graham, R. H., and Hayward, A.B., 1986. The structure of mountain fronts. Journal of Structural Geology, 8, 215-227.
  - Vergés, J., Goodarzi, M. G. H., Emami, H., Karpuz, R., Efstathiou, J. and Gillespie, P., 2011. Multiple detachment folding in Pusht-e Kuh arc, Zagros: Role of mechanical Stratigraphy. In: Mc Clay, K., Shaw, J.H. and Suppe, J. (Eds) Thrust fault-related folding: AAPG Memoir, 94, 69-94.