

تحلیل هندسی چین خوردگی مرتبط با گسلش، مطالعه موردی: تاقدیس کاسه‌ماست، جنوب منطقه لرستان

حسین حاجی‌علی‌بیگی^{۱*}، سید احمد علوی^۲، جمشید افتخار نژاد^۳، محمد مختاری^۴ و محمد حسین آدابی^۵

^۱ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۳ دکترا، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۴ استادیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

^۵ استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۱۹

چکیده

تاقدیس کاسه‌ماست از جمله تاقدیس‌های کوچک مقیاس جنوب منطقه لرستان است که در کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس واقع شده است. این تاقدیس در حاشیه گسل جبهه کوهستانی قرار دارد. گسل جبهه کوهستانی به عنوان یک جبهه توپوگرافیک شناخته شده و کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس را به چندین منطقه شامل ایذه، فارس، لرستان و فرواتادگی دزفول تقسیم می‌کند. منطقه گسلی بالارود که به صورت یک گسل رانده مدفون فعال بخشی از گسل جبهه کوهستانی است، در حد فاصل منطقه لرستان (جنوب) و منطقه فرواتادگی دزفول (شمال) قرار دارد. این منطقه گسلی با عبور از حاشیه جنوبی تاقدیس کاسه‌ماست، این تاقدیس و تاقدیس‌های همجوار را تحت تأثیر عملکرد خود قرار داده است. برداشت‌های صحرائی و انجام تجزیه و تحلیل پارامترهای هندسی تاقدیس کاسه‌ماست نشان می‌دهد که این تاقدیس با محور دارای روند متغیر، یک چین نامتقارن، غیراستوانه‌ای، غیرهارمونیک، با همگرایی به سوی جنوب‌باختر است. این تاقدیس در زیررده IC طبقه‌بندی رمزی قرار می‌گیرد. برای تعیین سبک یا هندسه آن از نظر فشردگی واژه باز و با توجه به نسبت ابعادی محاسبه شده واژه پهن و برای توصیف خمیدگی نسبی واژه نیمه‌گرد شده پیشنهاد می‌گردد. همچنین این تاقدیس با مدل‌های هندسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بر این اساس مقدار شیب و موقعیت سطح رانندگی مدفون، مسیر حرکت و جابه‌جایی صورت گرفته بر روی منطقه گسلی بالارود از طریق مطالعه مشخصات هندسی این تاقدیس پیش‌بینی شده است. مقایسه برش عرضی تهیه شده برای تاقدیس کاسه‌ماست با انواع مدل‌های ارائه شده برای چین‌های مرتبط با گسلش، نشان می‌دهد که تاقدیس را می‌توان به عنوان نمونه‌ای از چین‌های جدایشی نامتقارن (Asymmetrical Detachment Fold) که متأثر از عملکرد منطقه گسلی بالارود است، پیشنهاد نمود. در این صورت این احتمال وجود دارد که تاقدیس در مراحل اولیه و شرایط آغاز تشکیل یک چین جدایشی قرار داشته باشد. این در حالی است که سازوکار چین خوردگی تاقدیس‌های همجوار (از جمله تاقدیس‌های سیاه‌کوه و چناره) از نوع چین خوردگی انتشار گسلی است. احتمالاً تغییر سازوکار چین خوردگی از چین خوردگی جدایشی، در تاقدیس کاسه‌ماست به چین خوردگی انتشار گسلی در تاقدیس‌های همجوار (از جمله سیاه‌کوه و چناره) را می‌توان به عواملی همچون: چگونگی عملکرد رانندگی، محل قرار گرفتن تاقدیس کاسه‌ماست در کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس، فاصله تاقدیس نسبت به منطقه گسلی بالارود و قابلیت تبدیل سازوکار چین خوردگی سه‌گانه مرتبط با گسلش به یکدیگر، نسبت داد.

کلید واژه‌ها: تاقدیس کاسه‌ماست، چین خوردگی مرتبط با گسلش، کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس، منطقه گسلی بالارود.

*نویسنده مسئول: حسین حاجی‌علی‌بیگی

E-mail: h-alibeigi@sbu.ac.ir

۱-پیش‌گفتار

چین خوردگی مرتبط با گسلش (Fault-Related Folding)، یکی از سازوکارهایی است که معمولاً از آنها برای توصیف، تشریح و تجزیه و تحلیل هندسی چین‌های کمربندهای چین‌خورده-رانده (Fold-Thrust Belt) استفاده می‌شود. این نوع چین خوردگی به صورت مدل‌های هندسی متنوعی تقسیم‌بندی شده‌اند (مثلاً (Thorbjornsen & Dunne, 1997). چین انتشار گسلی (Fault-Propagation Fold) (Erickson et al., 2001; Jamison, 1987;) (Mitra, 1990; Ray, 1997; Suppe & Medwedeff, 1990; Suppe et al., 1992; (Wallace & Homza, 2004) و چین جدایشی (Detachment Fold) (Homza & Wallace, 1995; Poblet & McClay, 1996; Ramsay & Huber, 1987) از جمله مدل‌های هندسی ارائه شده برای این نوع چین خوردگی‌ها هستند. معمولاً تجزیه و تحلیل هندسی فرایند توسعه ساختارهای چین‌خورده در کمربندهای چین‌خورده-رانده منجر به ارائه مدل‌های هندسی برای چین‌های این کمربندها می‌شود (Marret & Bentham, 1997; Suppe, 1985; Tamagawa et al., 1998; Wallace & Homza, 2004). مدل‌های هندسی که این نوع سبک چین خوردگی را توصیف می‌کنند، افزون بر آنکه موجب درک بهتر چین خوردگی می‌شوند، ابزار مهمی برای ترسیم و یا تکمیل برش‌های عرضی و موازنه نمودن آنها به شمار می‌روند (Dahlstrom, 1969; Dahlstrom, 1970; Jamison, 1987; Suppe, 1983).

در مطالعات چین‌های مرتبط با گسلش در کمربندهای چین‌خورده-رانده، مشاهدات صحرائی، داده‌های برگرفته شده از نقشه‌های زمین‌شناسی، داده‌های به دست آمده از چاه‌های حفاری شده و نیمرخ‌های لرزه‌ای بازتابی (Seismic Profiles)، اندازه و هندسه و موقعیت چین‌ها را در این کمربندها مشخص می‌کنند. ولی در برخی موارد که اطلاعات چندان زیادی در باره چگونگی حرکت، مسیر عبور و نوع و میزان جابه‌جایی انجام شده در طول گسلش رانده مرتبط با همان ساختار چین‌خورده در اختیار نیست می‌توان از روش (Chester & Chester 1990) استفاده کرد. هدف این مقاله به کارگیری این روش است که در آن با استفاده از یک مدل هندسی (Chester & Chester, 1990) و با به کارگیری مشاهدات صحرائی چین، نه تنها شیب و محل و مشخصات گسلش مدفون مشخص می‌شود بلکه حتی امکان تعیین جابه‌جایی صورت گرفته بر روی سطح گسل که منجر به تولید و ایجاد ساختار چین‌خورده شده نیز وجود دارد. این روش برای تاقدیس کاسه‌ماست (شکل‌های ۱ و ۲) مورد استفاده قرار گرفته است.

چین خوردگی مرتبط با گسلش (Fault-Related Folding)، یکی از سازوکارهایی است که معمولاً از آنها برای توصیف، تشریح و تجزیه و تحلیل هندسی چین‌های کمربندهای چین‌خورده-رانده (Fold-Thrust Belt) استفاده می‌شود. این نوع چین خوردگی به صورت مدل‌های هندسی متنوعی تقسیم‌بندی شده‌اند (مثلاً (Thorbjornsen & Dunne, 1997). چین انتشار گسلی (Fault-Propagation Fold) (Erickson et al., 2001; Jamison, 1987;) (Mitra, 1990; Ray, 1997; Suppe & Medwedeff, 1990; Suppe et al., 1992; (Wallace & Homza, 2004) و چین جدایشی (Detachment Fold) (Homza & Wallace, 1995; Poblet & McClay, 1996; Ramsay & Huber, 1987) از جمله مدل‌های هندسی ارائه شده برای این نوع چین خوردگی‌ها هستند. معمولاً تجزیه و تحلیل هندسی فرایند توسعه ساختارهای چین‌خورده در کمربندهای چین‌خورده-رانده منجر به ارائه مدل‌های هندسی برای چین‌های این کمربندها می‌شود (Marret & Bentham, 1997; Suppe, 1985; Tamagawa et al., 1998; Wallace & Homza, 2004). مدل‌های هندسی که این نوع سبک چین خوردگی را توصیف می‌کنند، افزون بر آنکه موجب درک بهتر چین خوردگی می‌شوند، ابزار

کمتر است. سازند آسماری (شامل نهشته‌های آهکی و ماسه‌ای با سن الیگومیوسن) با گسترش متفاوت در هر دو یال رخنمون شده است. این سازند در یال جلویی به صورت بخش‌های کوچک و مجزا رخنمون دارد ولی در یال عقبی به صورت نواری با ستبری نسبتاً کمتری گسترش یافته است. در دماغه خاوری و باختری این سازند به طور چشم‌گیری گسترش یافته است، به طوری که هر دو دماغه تاقدیس تقریباً مشتمل بر این سازند است.

سازند پابده (شامل آهک‌های مارنی با سن ائوسن-پالئوسن) و بخش‌هایی از سازندهای پابده-گورپی و سازند گورپی (شامل شیل‌های کربناته با سن کرتاسه بالایی) و بخش امام‌حسن (شامل نهشته‌های آهکی) در منطقه لولا رخنمون شده‌اند. این سازندها، سازندهای گروه بنگستان، مشتمل بر سازندهای ایلام (شامل آهک‌های نازک لایه و گاهی شیلی با سن کرتاسه بالایی) و سروک (شامل آهک‌های ستبر لایه با سن کرتاسه بالایی) را در بر گرفته‌اند. سازند سروک (از گروه بنگستان) قدیمی‌ترین سازندی است که در هسته این تاقدیس رخنمون دارد.

با توجه به مناطق اطراف و چاه‌های حفاری شده در تاقدیس‌های همجوار، در زیر گروه بنگستان، سازندهای داریان (شامل نهشته‌های آهکی با سن کرتاسه پایینی)، گدوان (شامل نهشته‌های شیلی و مارنی با سن کرتاسه پایینی)، فهلیان (شامل نهشته‌های آهکی با سن کرتاسه پایینی) و گرو (شامل شیل‌های آهکی با سن کرتاسه پایینی) و سازندهای نجمه، سرگلو، علن، موس و عدایه (شامل نهشته‌های کربناته و تبخیری با سن ژوراسیک) قرار گرفته‌اند. در زیر آنها به ترتیب سازند دشتک (شامل نهشته‌های تبخیری با سن تریاس-ژوراسیک) و گروه دهرام (شامل شیل، مارن، آهک و نهشته‌های تبخیری با سن پرمین) قرار گرفته‌اند.

۴- روش مطالعه

روش استفاده شده در این مقاله بر اساس روشی است که اولین بار توسط Chester & Chester (1990)، برای چین‌های مرتبط با گسلش از نوع انتشار گسلی و جدایشی در کمربندهای چین‌خورده-رانده ارائه شده است. این روش بعدها توسط دیگران (مثلاً Marret & Bentham, 1997; Epard & Groshong, 1995) نیز مورد استفاده قرار گرفت. در این روش با استفاده از مشاهدات صحرائی، معادلات ریاضی و تجزیه و تحلیل هندسی چین، این امکان فراهم می‌گردد تا مقدار شیب و موقعیت سطح راندگی مدفون و جابه‌جایی صورت گرفته بر روی آن تعیین گردد. تعیین پارامترهای یاد شده در کمربندهای چین‌خورده-رانده چه در مقیاس کوچک و محلی و چه در مقیاس بزرگ و یا ناحیه‌ای حتی با وجود اطلاعات زیرسطحی معمولاً به سادگی امکان‌پذیر نیست. بنابراین یکی از مزیت‌های مهم این روش تعیین پارامترهای یاد شده است.

در مدل هندسی ارائه شده برای این روش، فرض بر این است که واتنش از نوع صفحه‌ای است و طول خطوط به موازات لایه‌بندی ثابت بوده (به جز در یال جلویی تاقدیس) و مساحت زیر نیمرخ توپوگرافی در برش عرضی نیز ثابت باقی می‌ماند. همچنین در این مدل منطقه لولا در حال مهاجرت بوده، چین‌خوردگی با محور غیر ثابت در نظر گرفته می‌شود. برای تعیین جابه‌جایی انجام شده بر روی سطح راندگی لازم است چین مورد نظر بازسازی شود. برای این کار یک برش عرضی زمین‌شناسی ساختمانی تا حد امکان با دقت بالا رسم شده است.

۵- برش عرضی

بر اساس مدل هندسی Chester & Chester (1990) در طی این پژوهش، برای تفسیر و بررسی تحولات زمین‌ساختی صورت گرفته در تاقدیس کاسه‌ماست یک برش عرضی زمین‌شناسی ساختمانی از این تاقدیس رسم شده است (شکل ۵-A). به این ترتیب که برای ترسیم چهارچوب کلی این برش به اطلاعاتی

دسترسی به تاقدیس کاسه‌ماست از طریق جاده‌های خاکی منشعب از جاده آسفالتی دهلران-اندیمشک امکان‌پذیر است. این تاقدیس در ۴۰ کیلومتری شهر دهلران قرار دارد. رودخانه دائمی آبدانان در بخشی که با عنوان آب گل‌گل و تل‌زی نامیده می‌شود، این تاقدیس را بریده و از آن عبور می‌کند. قدیمی‌ترین بیرون زدگی آن در هسته تاقدیس مربوط به سازند سروک و جدیدترین رخنمون آن متعلق به سازند آغاچاری است (شکل ۳).

۲- جایگاه زمین‌ساختی

تاقدیس کاسه‌ماست (Kaseh Mast anticline) یکی از تاقدیس‌های کوچک مقیاس در شمال منطقه فروافتادگی دزفول و جنوب منطقه لرستان است که در کمر بند چین‌خورده-رانده زاگرس (Zagros Fold-Thrust Belt) (Alavi, 2007) واقع شده است (شکل ۱).

طول این تاقدیس ۲۵ کیلومتر بوده و عرض آن در بیشترین رخنمون به ۷ کیلومتر می‌رسد. این تاقدیس در ۴۰ کیلومتری شمال شهر دهلران، در جنوب‌باختر تاقدیس کبیرکوه و جنوب تاقدیس‌های سمند و آبدانان و شمال‌خاور تاقدیس سیاه‌کوه قرار گرفته است. منطقه گسلی بالارود (Pattinson & Takin, 1971) که خود یک گسلش مدفون فعال است، بخشی از گسل جبهه کوهستانی (Berberian, 1995) (Mountain Front Fault) است، که منطقه لرستان را از منطقه فروافتادگی دزفول جدا می‌کند. گسل جبهه کوهستانی با شیب به سمت شمال و سازوکار اصلی راندگی کمر بند چین‌خورده-رانده زاگرس را به چندین منطقه تقسیم می‌کند. منطقه لرستان یکی از این مناطق به‌شمار می‌رود (شکل ۱). این منطقه از دیدگاه زمین‌شناسی یک پیش‌آمدگی (Salient) (Talbot & Alavi, 1996) در کمر بند چین‌خورده-رانده زاگرس به‌شمار می‌آید. تاقدیس کاسه‌ماست در منتهی‌الیه جنوب منطقه لرستان قرار دارد. تعداد زیادی از تاقدیس‌های منطقه از جمله تاقدیس کاسه‌ماست متأثر از عملکرد منطقه گسلی بالارود هستند (شکل ۱). این منطقه گسلی، در قسمت‌های خاوری‌تر، تاقدیس‌های چناره و خوش‌آب (Hajjalibeigi et al., 2011) (شکل ۱-B) و در قسمت‌های باختری‌تر، تاقدیس‌های اناران و سیاه‌کوه (شکل ۱-B) را هم متأثر نموده است (حاجی‌علی‌بیگی و همکاران، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ و ۱۳۹۱). البته تاقدیس کاسه‌ماست در مقایسه با تاقدیس‌های سیاه‌کوه و چناره در فاصله دورتری نسبت به جبهه منطقه گسلی بالارود قرار گرفته است.

تفاوت در سازوکار چین‌خوردگی تاقدیس‌های همجوار تاقدیس کاسه‌ماست (یعنی تاقدیس‌های سیاه‌کوه، در جنوب‌باختر و چناره، در خاور که سازوکار چین‌خوردگی آنها از نوع انتشار گسلی است) و تغییر در سبک چین‌خوردگی آنها، به فرم خاص هلی‌کوئیدالی منطقه گسلی بالارود نسبت داده شده است (حاجی‌علی‌بیگی و همکاران، ۱۳۸۸ الف). ضمن اینکه قابلیت تبدیل یک سازوکار چین‌خوردگی مرتبط با گسل به سازوکارهای دیگر این نوع چین‌خوردگی توسط McClay (2000) پیش‌بینی شده است.

۳- چینه‌شناسی

نهشته‌های رسوبی و واحدهای سنگ‌شناسی تاقدیس کاسه‌ماست (جدول ۱) به ترتیب از جدید به قدیم (براساس مطیعی، ۱۳۷۴؛ James & Wynde, 1965; Alavi, 2004) به طور مختصر شرح داده می‌شود. جوان‌ترین واحد سنگ‌شناسی تاقدیس کاسه‌ماست سازند آغاچاری (شامل تناوبی از آهک، ماسه‌سنگ، سیلتستون با سن میوسن-پلیوسن) در جنوب‌خاور یال جلویی (بال جنوب‌باختری) مشاهده شده است. سازند گچساران (شامل تناوبی از ژپیس، نمک و سیلتستون با سن میوسن) نسبتاً گسترده‌ترین سازندی است که در منطقه مطالعاتی این تاقدیس وجود دارد. گسترش این سازند در یال جلویی نسبت به یال عقبی (بال شمال‌خاوری) بسیار

شکستگی‌های متعدد شده است و با عملکرد فرسایش بخشی از آن تخریب شده و نهشته‌های رسوبی آن از محل جابه‌جا شده است. هر چند این شکستگی‌ها در یال شمال‌باختری هم دیده می‌شوند ولی تعداد آنها به مراتب کمتر از یال جنوب‌خاوری است (شکل ۳). ویژگی‌های این شکستگی‌ها (شامل موقعیت فضایی، طول و نوع آنها) در جدول ۱ درج شده است. در طی مطالعات صحرایی و یا از روی عکس‌های هوایی و نقشه، نوع این گسل‌ها به صورت گسل‌های نرمال و امتدادلغز تعیین شده است. مراجعه به نمودار گل‌سرخ جهت‌گیری روند شکستگی‌های تاقدیس کاسه‌ماست (شکل ۸) حکایت از آن دارد که برخی از این شکستگی‌ها را می‌توان در قالب شکستگی‌های ریدل (R) و آنتی‌ریدل (R') تفکیک نمود. در این تقسیم‌بندی شکستگی‌های انبساطی با روند میانگین $N80^{\circ}W$ عمدتاً شکستگی‌های P به شمار می‌روند. سایر شکستگی‌های با روند عمومی شمال‌خاور-جنوب‌باختر (جدول ۱) به صورت نرمال هستند. نمودار گل‌سرخ نشان می‌دهد که احتمالاً این امکان وجود دارد تا بتوان گفت که امتداد اصلی شکستگی‌ها در حاکمیت گسل‌های نرمال است. البته این گسل‌ها احتمالاً متأثر از فرایندهای کششی در یک سیستم انبساطی عمود بر جهت تنش بیشینه ناحیه‌ای ایجاد شده‌اند. همچنین مقایسه گسل‌های امتدادلغز با گسل‌های نرمال گویای آن است که شکستگی‌های نوع P در راستای $N70^{\circ}-80^{\circ}W$ در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت به اندازه 25° تا 30° چرخش یافته‌اند. این چرخش را می‌توان متأثر از حرکت برش چپ گرد منطقه گسلی بالارود دانست.

از طرفی روند گسل‌های نرمال و امتدادلغز با روند شکستگی‌های اندازه‌گیری شده در تاقدیس‌های همجوار از جمله اناران و سیاه‌کوه (حاجی‌علی‌بیگی و همکاران، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹) همخوانی نزدیکی دارد. به طوری که مقدار برش محاسبه شده در تاقدیس اناران که ناشی از عملکرد برشی با مؤلفه چپ‌گرد منطقه گسلی راندگی بالارود است، با راستای نسبتاً خاوری-باختری این منطقه گسلی همخوانی خوبی دارد. ضمن اینکه جهت‌گیری شکستگی‌های مشاهده شده در این تاقدیس با راستای منطقه برشی بالارود نیز همخوانی دارد. شکستگی‌ها در تاقدیس سیاه‌کوه نیز وضعیتی مشابه با تاقدیس اناران دارند. به طوری که جهت‌گیری شکستگی‌های این تاقدیس با راستای منطقه برشی بالارود همخوانی دارد. این چنین وضعیتی قبلاً به وسیله پژوهشگران دیگری نیز معرفی شده است. به عنوان مثال می‌توان به چین‌خوردگی حاصل از راندگی Pink Mountain (Mitra, 1992) اشاره کرد.

درزه‌های برداشت شده در ۱۱ ایستگاه (شکل ۳) دو روند کلی $N15^{\circ}W$ و $N70^{\circ}W$ را نشان می‌دهند (شکل ۸). مقایسه این درزه‌ها با سیستم تاقدیس‌های چناره (حاجی‌علی‌بیگی و همکاران، ۱۳۸۸ ب) و اناران (حاجی‌علی‌بیگی و همکاران، ۱۳۸۷) نشان می‌دهد احتمالاً این درزه‌ها نیز در جهت عکس عقربه‌های ساعت به اندازه 25° تا 30° چرخش یافته‌اند. این چرخش را می‌توان متأثر از حرکت برش چپ گرد منطقه گسلی بالارود دانست.

پارامترهای هندسی تاقدیس کاسه‌ماست (بر اساس روش ارائه شده توسط Twiss & Moores, 1992) از روی برش عرضی (شکل ۵) محاسبه شده است. این ترسیمات هندسی برای محاسبه پارامترهای یک سطح چین‌خورده بر روی سازند آسماری انجام شده (شکل ۹) و در جدول ۲ درج شده است. بر اساس پارامتر فشردگی (Tightness) واژه توصیفی انتخابی برای تاقدیس از نوع باز (Open) است. با توجه به برش عرضی، و استفاده از واژه توصیفی برای هارمونی (Harmony) و تقارن (Symmetry) تاقدیس، را به ترتیب غیرهارمونیک (Disharmonic) و نامتقارن (Asymmetric) نشان می‌دهد. بر اساس این برش، پارامتر تقارن سطح محوری (Axial Surface Geometry) تاقدیس، واژه پیچیده (Convolute) را برای تاقدیس می‌توان در نظر گرفت. تاقدیس‌های سیاه‌کوه (در جنوب باختر) و چناره (در خاور) نیز از نوع غیرهارمونیک، غیراستوانه‌ای و پیچیده با تمایل به سمت جنوب باختر توصیف شده‌اند (حاجی‌علی‌بیگی و همکاران، ۱۳۸۸ الف). بر اساس پارامترهای نسبت ابعادی

مانند مشاهدات صحرایی و داده‌های برداشت شده از نقشه‌های زمین‌شناسی (N.I.O.C., 1969)، داده‌های به‌دست آمده از چاه‌های حفاری شده و نیمرخ‌های لرزه‌ای بازتابی شرکت ملی نفت ایران مراجعه شده است. آنگاه با توجه به مدل Chester & Chester (1990) این برش تکمیل شده است. از این برش برای بررسی تغییرات هندسی ساختمان تاقدیس کاسه‌ماست و پیش‌بینی هندسه آن در بخش‌های ژرف‌تر، تعیین کوتاه‌شدگی و دگرریختی‌های ناشی از عملکرد منطقه گسلی بالارود و مقایسه آن با انواع چین‌های مرتبط با گسلش و تعیین سبک چین‌خوردگی تاقدیس استفاده شده است.

این برش عرضی با طول ۱۶ کیلومتر و روند $N40^{\circ}E$ تقریباً عمود بر امتداد عمومی طبقات و یا محور چین رسم شده است. در تهیه و ترسیم این برش ویژگی‌هایی مدنظر بوده‌اند که عبارتند از: ۱) محل قرارگیری سطوح جدایش فرعی ستون چینه‌شناسی این تاقدیس و یا مناطق همجوار، ۲) درج ساختارهای روسطحی و زیرسطحی بر روی برش و کنترل آنها بر اساس نیمرخ لرزه‌ای بازتابی منتشر نشده شرکت ملی نفت، ۳) کنترل صحت برش با موازنه کردن و بازگرداندن آن به حالت پیش از دگرریختی و ترسیم بهترین برش بر اساس واقعیت‌های زمین‌ساختی حاکم بر منطقه مطالعاتی. این برش عرضی به روش موازنه خط با طول ثابت، و در راستای عمود بر محور تاقدیس، به حالت پیش از دگرریختی برگردانده شده است (شکل ۵-B). هنگام ترسیم و موازنه، هندسه ساختارهای زیرسطحی به‌ویژه چگونگی عملکرد منطقه گسلی بالارود مورد توجه بوده است. خط سوزن (Pin Line) در جنوب‌باختر برش عرضی در ناودیس بلافضل ساختار تاقدیس کاسه‌ماست قرار داده شده است (شکل ۵). محاسبات انجام شده برای تعیین میزان کوتاه‌شدگی در این تاقدیس، مقدار آن را $21/5\%$ نشان می‌دهد.

۶- بحث

تاقدیس کاسه‌ماست چین کوچکی بوده و تقریباً نعل اسبی شکل با تقریری به سمت شمال است. این تاقدیس در حاشیه گسل جبهه کوهستانی حدفاصل منطقه لرستان و منطقه فروافتادگی دزفول قرار دارد (شکل‌های ۱ و ۳).

مراجعه به نقشه زمین‌شناسی تاقدیس کاسه‌ماست (شکل ۳) نشان می‌دهد که شیب طبقات یال شمال‌خاوری کمتر (25° تا 55°) و شیب طبقات یال جنوب‌باختری بیشتر (25° تا 85°) است، نمی‌توان درباره ارتباط متقابل نحوه رخنمون طبقات هر دو یال و تغییر شیب طبقات هر دو یال اظهار نظر کرد. عملکرد فرسایشی بخشی از یال جنوب‌باختری را از بین برده و امکان این مقایسه را تقریباً غیرممکن ساخته است. ولی تغییرات شیب طبقات یال‌ها را می‌توان در برش عرضی (شکل ۵) کاملاً مقایسه نمود. تحلیل استریوگرافی تهیه شده برای تاقدیس (شکل ۶) نیز تاقدیس را یک تاقدیس نامتقارن معرفی می‌کند. بر شیب‌تر شدن یال جلویی نسبت به یال عقبی در بسیاری از تاقدیس‌های کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس از جمله تاقدیس‌های مارون و بی‌بی‌حکیمه، (McQuillan, 1968; Lyslo et al., 2004; Wennberg et al., 2007; Wennberg et al., 2004) و تاقدیس باریک‌آب (حاجی‌علی‌بیگی و همکاران، ۱۳۸۶) نیز گزارش شده است.

دماغه خاوری تاقدیس در جهت جنوب‌خاور و دماغه باختری آن به سمت شمال باختر متمایل می‌شود (شکل ۳). اما تصویر استریوگرافی تهیه شده برای تاقدیس نشان می‌دهد که تاقدیس به سوی باختر میل دارد (شکل ۶). تغییرات ستبرای طبقات در هر دو یال چندان در برش عرضی آشکار نیست، یا در صورت رخداد، مقدار این تغییرات خیلی زیاد نیست (شکل ۵).

در این تاقدیس شکستگی‌هایی به صورت گسل‌های متعددی وجود دارد. این گسل‌ها از F_1 تا F_{14} نامگذاری شده‌اند (شکل ۷ و جدول ۱). این گسل‌ها در هر دو یال دیده می‌شوند. یال جنوب‌خاوری به علت پیچش بیش از حد تاقدیس دچار

C: پارامتر C در معادله (۲) و (۳) یک مقدار ثابت بوده و عبارت است از:

$$C = \text{Csc}(20+i) / [(t_p/t) \text{Csci} + \text{Cotgi} - \text{Cotg}(20+i-\gamma)] \quad (4)$$

با جایگزینی پارامترهای معلوم در معادله (۲) و (۳) به ترتیب برجستگی ساختمانی تاقدیس و جابه‌جایی روی سطح گسل بالا رود ۴۵۰۰ متر و ۶۰۰ متر برآورد شده است (جدول ۲).

در مدل ارائه شده توسط Chester & Chester (1990) محل و موقعیت گسل نیز قابل تعیین است. نقطه رأسی گسل (T) بایستی در داخل منطقه لولای ناودیس انتهایی (Leading Synclinal Fold-Hinge) قرار گیرد و نقطه P بایستی در نقطه‌ای قرار گیرد که منطقه لولای تاقدیس گسل را قطع می‌کند. بر این اساس می‌توان گسل راندگی مدفون بالا رود را با توجه به مقادیر TP و γ ضمن درج بر روی برش عرضی بازسازی کرد و آن را مدل سازی نمود.

از طرفی با توجه به ستون چینه‌شناسی، سطوح جدایشی و محل قرارگیری منطقه لولای ناودیس انتهایی، دو پارامتری هستند که محل نقطه عطف یا شکست سطح گسل (Ramp-Flat Inflection) را در طول سطح گسل تعیین می‌کنند. در این صورت فاصله نقطه عطف تا نقطه آغاز چین‌خوردگی بایستی بزرگتر یا مساوی با مقدار جابه‌جایی انجام شده در طول سطح گسل (f_0) باشد (Chester & Chester, 1990; Marret & Bentham, 1997; Suppe et al., 2004). به هر حال اطلاعات بالا (شامل مقادیر برجستگی ساختمانی تاقدیس، جابه‌جایی روی سطح گسل و محل نقطه عطف سطح گسل) برای تکمیل برش عرضی و درج گسل راندگی مدفون بالا رود بر روی این برش مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۵).

روند محور تاقدیس کاسه‌ماست متغیر (NE-SW, E-W, NW-SE) بوده و روندی متفاوت از روند ساختارهای زاگرسی دارد. روند محور چین در جهت باختر، خاوری-باختری و به سمت خاور به تدریج روند شمال‌باختر-جنوب‌خاور را به خود می‌گیرد. به این ترتیب که محور چین در انتهای باختری در جهت N88°W در حدود ۲۳ میل دارد. سطح محوری در جهت N10°W به اندازه ۶۶° شیب دارد (شکل ۶). افزون بر اینها روند محور تاقدیس روند عمومی زاگرسی را نداشته و دارای خمشی به سمت شمال است که ممکن است این مسئله ناشی از عملکرد منطقه گسلی بالا رود باشد. (Pattinson & Takin 1971) اعتقاد دارند که چند تاقدیس از جمله کاسه‌ماست، کبود، قلعه‌نار و بالا رود (که اولی روستحی و بقیه زیرسطحی هستند) از روند زاگرسی پیروی نمی‌کنند بلکه یک روند غیرمتعارف باختر شمال باختر-خاور جنوب‌خاور داشته و به صورت پوششی یا نردبانی (En echelon) در داخل منطقه گسلی بالا رود قرار گرفته‌اند. به اعتقاد آنها ویژگی‌ها و وضعیت خاص این تاقدیس‌ها مرسوم حضور و عملکرد خاص منطقه گسلی بالا رود است. بر همین اساس به نظر می‌رسد تغییر روند محور چین از روند زاگرسی به وضعیت فعلی و مقایسه آن با آنچه در تصویر استریوگرافی (شکل ۶) دیده می‌شود را می‌توان به چرخش در حدود ۲۵° تا ۳۰° در جهت پادساعتگرد در منطقه برشی بالا رود دانست.

از برش عرضی (شکل ۵) برای بررسی تغییرات هندسی ساختمان این تاقدیس و پیش‌بینی آن در بخش‌های ژرف‌تر و مقایسه آن با انواع چین‌های مرتبط با گسلش و تعیین سبک چین‌خوردگی تاقدیس استفاده شده است. مطالعه این برش (شکل ۵) نشان می‌دهد تاقدیس کاسه‌ماست تمایل (Vergence) عمومی به سوی جنوب‌باختر دارد. به نظر می‌رسد برش عرضی تهیه شده برای تاقدیس کاسه‌ماست شباهت زیادی به مدل هندسی ارائه شده توسط (Marret & Bentham 1997) دارد. همچنین به مدل چین‌خوردگی با یال‌های دارای شیب ثابت که توسط (Epard & Groshong 1995) ارائه شده است نیز مشابه است. مطالعه این برش و مقایسه آن با مدل‌های هندسی ارائه شده برای چین‌های مرتبط با گسلش (مانند: Johnson & Johnson, 2000; Homza & Dahlstrom, 1970; Wallace, 1995; Pobllet & McClay, 1992; Jamison, 1992)

(Aspect Ratio) و کندی (Bluntness) اندازه‌گیری شده برای این تاقدیس واژه‌های توصیفی انتخاب شده، به ترتیب پهن (Wide)، نیمه گرد شده (Subrounded) می‌باشد. با این اوصاف هر چند تاقدیس کاسه‌ماست تاقدیس کوچکی است ولی دامنه نسبتاً بزرگ و طول موج کوتاه دارد. به این ترتیب از نظر نسبت ابعادی این تاقدیس وضعیتی شبیه به تاقدیس‌های سیاه‌کوه (حاجی‌علی‌بیگی و همکاران، ۱۳۸۹) و چناره (حاجی‌علی‌بیگی و همکاران، ۱۳۸۸) ب) دارد. از نظر کندی نیز این تاقدیس شباهت زیادی به تاقدیس‌های سیاه‌کوه و چناره (حاجی‌علی‌بیگی و همکاران، ۱۳۸۸ ب) و (۱۳۸۹) دارد. محاسبات و اندازه‌گیری‌های انجام شده برای تعیین رده (Class) تاقدیس بر اساس طبقه‌بندی (Ramsay & Huber 1987)، رده این تاقدیس را زیررده IC معرفی نموده است (جدول ۲). زیررده تعیین شده برای این تاقدیس با پیش‌بینی (Twiss & Moores 1992)، درباره محل وقوع این رده از چین‌ها که معمولاً در پیش‌بوم کمربندهای چین‌خورده-رانده ایجاد می‌شوند، نیز همخوانی دارد.

برای انجام تجزیه و تحلیل‌های هندسی تاقدیس کاسه‌ماست بر روی برش عرضی تهیه شده برای آن، پارامترهای هندسی مدل ارائه شده توسط (Chester & Chester 1990) اندازه‌گیری شده‌اند. این پارامترها عبارتند از:

P: نقطه شروع و آغاز چین‌خوردگی است. در واقع محلی است که جابه‌جایی از آنجا آغاز می‌شود.

T: نقطه رأسی گسل است که در آن جابه‌جایی صفر می‌شود.

TP: جابه‌جایی انجام شده بین دو نقطه P و T که در این مدل این جابه‌جایی به طور خطی فرض می‌شود.

2θ: شیب یال عقبی که می‌توان آن را روی هر سطح شیب‌دار یال عقبی اندازه‌گیری نمود.

α: زاویه بین دو یال

t/t: نسبت تغییرات سبترای لایه‌ها (t_p) به سبترای واقعی آنها (t) در یال جلویی چین γ : زاویه رمپ گسل راندگی

با جایگزینی پارامترهای معلوم در معادله ارائه شده توسط (Chester & Chester 1990) زاویه رمپ راندگی بالا رود ۳۵° محاسبه شده است (جدول ۲). بر اساس مقدار به دست آمده برای γ موقعیت راندگی در مقطع درج شده است که با واقعیت تناقض دارد. احتمالاً مقدار این زاویه کمتر است (و در حدود ۲۰° بایستی باشد) و از شکل ظاهری قاعده سازند دشتک پیروی می‌کند.

$$\gamma = \gamma \text{Cot} [-A-B + \sqrt{(A+B)^2 + 2AC \text{Cot}(20+i) - (t_p/t)^2}] \quad (1)$$

در معادله (۱) مقادیر A و B عبارتند از:

$$A = \text{tg } \theta - 1/2[(t_p/t)^2 + 1] \text{Cotg } i - t_p/t \text{Csci}$$

$$B = 1/2[(t_p/t)^2 - 1] \text{Cotg } (20+i)$$

برای شناسایی سطح گسل و تعیین ویژگی‌های آن و برای آنکه گسل در یک مدل هندسی یا در یک برش عرضی قرار گیرد لازم است مقدار جابه‌جایی انجام شده در طول گسل که تاقدیس کاسه‌ماست را ایجاد کرده پیش‌بینی و تعیین شود. با استفاده از هندسه تاقدیس و با توجه به برش عرضی، پارامترهای f_0 و h که به ترتیب، برجستگی ساختمانی تاقدیس و جابه‌جایی روی سطح گسل هستند، تعیین می‌شوند که عبارتند از:

$$f_0 = hC[t_p/t \text{Csc } \gamma - \text{Csc}(20+i-\gamma)] \quad (2)$$

$$TP = hC \text{Csc}(20+i-\gamma) \quad (3)$$

در معادله (۲) و (۳) داریم:

TP: فاصله به موازات سطح گسل از نقطه رأسی (T) تا نقطه آغاز چین‌خوردگی (P)

f_0 : جابه‌جایی روی سطح گسل

h: برجستگی ساختمانی تاقدیس که عمود بر سطح عمومی گسل راندگی مدفون اندازه‌گیری می‌شود.

تاق‌دیس کاسه ماست تفاوت‌ها و یا شباهت‌هایی با مدل‌های پیشین ارائه شده برای چین‌های انتشار گسلی یا جدایشی (Jamison, 1987; Homza & Wallace, 1995; Johnson & Johnson, 2000; Poblet & McClay, 1996; Thorbjornsen & Dunne, 1997) می‌توان مشاهده کرد. اول اینکه همان‌طور که در برش عرضی دیده می‌شود میزان تغییر جابه‌جایی‌های انجام شده در مجاورت نقطه رأسی گسل در حال انتشار ضرورتاً بر همه لایه‌ها و طبقاتی که تحت تأثیر رمپ گسلی قرار گرفته و بریده شده‌اند، اثر نمی‌گذارد و یکسان نیست. دوم اینکه یال جلویی تاق‌دیس (البته با کمی اغماض) به موازات رمپ گسلی مدفون شیب ندارد. به اعتقاد Chester & Chester (1990) در صورتی که در یک کمر بند چین‌خورده‌رانده فرایند چین‌خوردگی رخ دهد، این امکان وجود دارد تا مجموعه‌ای از چین‌های انتشار گسلی و جدایشی ایجاد شوند. البته در صورت ایجاد چین‌های جدایشی احتمالاً این نوع چین‌ها بر روی رمپ‌های گسل‌های در حال انتشار ایجاد شده‌اند. در این وضعیت معمولاً نه یال جلویی و نه یال عقبی به موازات رمپ گسلی نیستند. در حالی که برش عرضی تهیه شده برای تاق‌دیس کاسه‌ماست نشان می‌دهد که هر چند که ساختمان تاق‌دیس بر روی انتهای نقطه رأسی گسل انتشار یافته ولی در نهایت گسل تقریباً به موازات سطح لایه‌بندی است. از طرفی نمی‌توان تاق‌دیس کاسه‌ماست را با یک مدل چین جدایشی محض که توسط Dahlstrom (1970) معرفی شده است، مقایسه نمود و یکسان دانست. زیرا به نظر می‌رسد که این تاق‌دیس در طی توسعه و تحول دچار چرخش مختصر یال‌ها شده است که در مدل چین‌های جدایشی محض (Dahlstrom, 1970) معمولاً این چرخش صورت نمی‌گیرد. بنابراین به نظر می‌رسد تاق‌دیس کاسه‌ماست نمی‌تواند یک چین از نوع انتشار گسلی باشد ولی با چین‌های جدایشی محض هم قابل مقایسه نیست. ولی از آنجایی که ویژگی مهم یاد شده در بالا در برش عرضی آن مشاهده می‌گردد می‌توان احتمالاً آن را یک چین جدایشی در نظر گرفت که در انتهای نقطه رأسی گسل تشکیل شده است که در مراحل بعدی، تحت تأثیر عملکرد منطقه گسلی بالارود قرار گرفته است. همچنین ملاحظه می‌شود شیب یال عقبی مستقل از رمپ گسلی بالارود است و تغییرات جابه‌جایی مرتبط با چین‌خوردگی ضرورتاً متأثر از عملکرد رمپ اصلی نیست بلکه ممکن است بخشی از آن باعث این جابه‌جایی شده باشد و بقیه مربوط به عملکرد خاص ورقه‌های رانده شده بر روی یکدیگر باشد در خلاف یکدیگر است (شکل ۵). در نتیجه این عملکرد خاص ضمن ایجاد ساختار تاق‌دیس، این ساختار به تدریج ارتفاع گرفته و بالا و بالاتر می‌رود. به این ترتیب چین جدایشی حاصل قابل مقایسه با یک چین جدایشی محض نیست. به نظر می‌رسد مسئله بالآآمدگی تاق‌دیس با وجود گسل‌های متعدد نرمال که در تاق‌دیس توسعه یافته‌اند قابل توجیه باشد. ضمن اینکه روند حاکم بر شکستگی‌ها نیز تقریباً با روند عمومی منطقه گسلی بالارود همخوانی دارد.

در مدل Chester & Chester (1990)، فرض بر این است که مقدار زاویه رمپ راندگی به زاویه بین دو یال چین وابسته است. همچنین در این مدل برای تاق‌دیس‌های با زاویه بین دو یال نسبتاً زیاد ($\alpha \leq 90^\circ$) و مقایسه آن با زاویه رمپ محاسبه شده از معادله I (جدول ۲) مانند تاق‌دیس کاسه‌ماست زاویه رمپ همیشه نسبتاً کم بوده ولی زاویه شیب یال عقبی نسبتاً بیشتر خواهد بود. بنابراین با توجه به این موضوع احتمال جدایشی بودن تاق‌دیس تقویت می‌شود.

به اعتقاد Marret & Bentham (1997) این نوع چین‌ها چین‌هایی از نوع چین راست (Upright) تا چین‌های با همگرایی زیاد بوده و فقط تفاوت‌هایی جزئی در مقدار زاویه شیب‌شان آنها را از یکدیگر جدا خواهد کرد. در بیشتر موارد به‌ویژه در تاق‌دیس همیشیب (Isoclinal) زاویه شیب رمپ صفر می‌شود و در نتیجه هندسه چین‌نهایی شبیه به مدل چین‌های جدایشی می‌شود که توسط Dahlstrom (1970) ارائه شده است. در صورتی که تاق‌دیس کاسه‌ماست در مورد آخر هیچ وجه تشابهی با مدل آنها ندارد.

Thorbjornsen & Dunne, 1997) نشان می‌دهد که تاق‌دیس کاسه‌ماست یک چین مرتبط با گسلش از نوع جدایشی (Detachment Fold) است. مقایسه برش با مدل‌های ارائه شده برای چین‌های مرتبط با گسلش از نوع جدایشی (مثلاً Show et al., 2005)، نشان می‌دهد که تاق‌دیس کاسه‌ماست احتمالاً از نوع چین‌های جدایشی نامتقارن (Asymmetrical Detachment Folds) است. (Sattarzadeh (1997) و Vita-Finzi (2005) اعتقاد دارند که چین‌های مرتبط با گسلش در کمر بند‌های چین‌خورده‌رانده اساساً از نوع چین جدایشی است. ضمن این که Sepehere & Cosgrove (2006), Sherkaty & Letouzy (2004), McQuirrie (2004), Sherkaty et al. (2005) بیشتر چین‌های جدایشی در این کمر بندها را از نوع جدایشی نامتقارن در نظر گرفته‌اند.

ضمن اینکه نسبت ابعادی و میزان شاخص تقارن (FSI) این چین نیز نسبتاً پایین است (جدول ۲). با توجه به محاسبات انجام شده برای این دو پارامتر (که از معادله (۵) و بر اساس روش Burberry et al. (2008) و Sepehere & Cosgrove (2006) به دست می‌آید) جدایشی بودن سازوکار این تاق‌دیس بر این اساس نیز تأیید می‌شود. در این مورد تاق‌دیس می‌تواند عملکردی مشابه با تاق‌دیس‌های رازی، زردرود، سپیدار، دریشک و مختار (Burberry et al. (2008), Sepehere & Cosgrove (2006) داشته باشد. به این ترتیب به دلیل چگونگی عملکرد راندگی‌ها و کوتاه‌شدگی که در طول آنها رخ داده تاق‌دیس به یک چین جدایشی نامتقارن تبدیل شده است.

$$FSI = S/(W/2) \quad (5)$$

در معادله (۵) (که پارامترهای آن بر اساس شکل B-1 اندازه‌گیری شده است) داریم:

FSI: شاخص تقارن چین

S: نصف پهنای چین

W: پهنای چین

با جایگزینی پارامترهای معلوم در معادله (۵) شاخص تقارن چین محاسبه شده است (جدول ۲).

درباره چگونگی شکل‌گیری تاق‌دیس کاسه‌ماست می‌توان این تفسیر را ارائه نمود. معمولاً چین‌های جدایشی در بالای یک لایه شکل‌پذیر یا سطح جدایش یا افق جدایش (Decollement Level) تحت فشارش که اغلب از نظر سنگ‌شناسی شامل نهشته‌های تبخیری و یا شکل‌پذیری نظیر شیل و مارن است، تشکیل می‌شوند (Dahlstrom, 1970). آنچه از مطالعه برش عرضی (شکل ۵) برمی‌آید نشان می‌دهد که در محدوده ساختمان تاق‌دیس کاسه‌ماست برخی از سازندها می‌توانند به عنوان سطح جدایش عمل کنند. سازندهای دشتک، گرو و مجموعه سازندهای نجمه، موس، سرگلو، علن و عدایه (شکل ۴)، با ستبرای قابل توجهی که دارند پتانسیل مناسبی برای ایجاد سطح جدایشی در محدوده این تاق‌دیس به‌شمار می‌روند. اما با توجه به این برش (شکل ۵) سطح جدایش اصلی این تاق‌دیس سازند دشتک است که گسلش اصلی در آن قرار دارد. بر همین اساس می‌توان گفت که در محل تاق‌دیس احتمالاً جابه‌جایی به حداقل رسیده است و به علت آنکه سطح راندگی در نقطه‌ای متوقف شده است، بنابراین حرکت افقی تبدیل به حرکت قائم شده و منجر به چین‌خوردگی و بالآآمدگی قائم در فرادواره و در بالای سطح راندگی شده است. در نهایت این تاق‌دیس به صورت یک نوع چین جدایشی شکل گرفته است. ویژگی مهم این نوع چین‌ها قرارگیری ساختار چین‌خورده در بالای نقطه رأسی (Tip Line) سطح راندگی است (Mitra, 1990)، یعنی چین بلافاصله در جایی تشکیل می‌شود که راندگی شروع به رمپ شدن نموده و چین را شکل می‌دهد (Dahlstrom, 1970). در این نوع چین‌ها مسئله فضای (Room Problem) به وجود آمده در هسته تاق‌دیس‌ها ممکن است با حضور نهشته‌های تبخیری و یا شکل‌پذیر حل گردد. این حالت در بخش شمال‌خاوری برش قابل مشاهده است. فضای ایجاد شده در این بخش با نهشته‌های شکل‌پذیرتر پر شده‌اند. به نظر می‌رسد در برش عرضی ترسیم شده برای

این مقدار با واقعیت موجود در منطقه متفاوت بوده و بایستی این زاویه کمی کمتر (و در حدود 20°) باشد. بر همین اساس برجستگی ساختمانی تاقدیس و جابه‌جایی انجام شده روی گسل بالا رود به ترتیب 4500 و 600 متر برآورد شده است. بر اساس پارامترهای تعیین شده و همچنین تعیین موقعیت نقطه رأسی (T) و مقادیر TP و γ و موقعیت گسل تعیین و ضمن درج روی برش عرضی، این برش بازسازی و تکمیل شده است.

مراجعه به برش عرضی تهیه شده از تاقدیس کاسه‌ماست، برداشت‌های صحرائی و تجزیه و تحلیل پارامترهای هندسی تاقدیس و مقایسه آنها با انواع مدل‌های ارائه شده برای چین‌های مرتبط با گسلش، نشان می‌دهد که این تاقدیس را می‌توان به عنوان نمونه‌ای از چین‌های جدایشی نامتقارن (Asymmetrical Detachment Fold) که تحت تأثیر عملکرد منطقه گسلی بالا رود قرار گرفته، پیشنهاد نمود. در این صورت این احتمال وجود دارد که تاقدیس در مراحل اولیه و شرایط آغاز تشکیل یک چین جدایشی قرار داشته و متأثر از چگونگی عملکرد راندگی بالا رود به یک چین جدایشی نامتقارن تبدیل شده باشد.

تاقدیس کاسه‌ماست برخلاف چین‌های مجاور بلا فصل (از جمله تاقدیس‌های سیاه‌کوه و چناره) که سازوکار چین‌خوردگی انتشار گسلی را نشان می‌دهند، سازوکار چین‌خوردگی جدایشی نامتقارن را نشان می‌دهد. این تغییر سازوکار چین‌خوردگی را می‌توان به عواملی از جمله: چگونگی عملکرد راندگی و کوتاه‌شدگی که در طول آنها رخ داده، محل قرار گرفتن تاقدیس کاسه‌ماست در کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس، فاصله تاقدیس نسبت به گسل جبهه کوهستانی و قابلیت تبدیل سازوکار چین‌خوردگی سه‌گانه مرتبط با گسلش به یکدیگر، نسبت داد. افزون بر این، سبک دگرشکلی و نوع چین‌خوردگی تاقدیس کاسه‌ماست به وجود سطوح جدایش متعدد به ویژه سازند دشتک، حضور و چگونگی عملکرد منطقه گسلی بالا رود ارتباط داشته و در کنترل آنها است. حضور همین سطوح جدایش فرعی در افق‌های چین‌شناسی جوان‌تر می‌تواند وجود ساختمان گوش خرگوشی به عنوان یک تاقدیس فرعی در یال جلویی تاقدیس کاسه‌ماست را توجیه نماید.

تاقدیس کاسه‌ماست در مقایسه با تاقدیس‌های مجاور نسبت به جبهه گسل بالا رود در فاصله دورتری قرار گرفته است. سازوکار تاقدیس کاسه‌ماست از نوع چین‌های مرتبط با گسلش از نوع چین‌های جدایشی نامتقارن است که در مراحل اولیه و آغاز تشکیل این نوع خاص از چین‌ها است، در حالی که تاقدیس‌های مجاور از نوع انتشار گسلی هستند، از این رو می‌توان پیش‌بینی کرد که تاقدیس‌های مجاور به علت نزدیکی به جبهه گسل از نوع انتشار گسلی هستند، در حالی که تاقدیس کاسه‌ماست به علت آنکه در فاصله دورتری نسبت به جبهه گسل قرار دارد یک چین جدایشی است و این احتمال وجود دارد که در آینده با حرکت پیشرونده تاقدیس کاسه‌ماست به سوی جبهه گسل بالا رود سازوکار این چین تبدیل به یک چین انتشار گسلی گردد.

روند شکستگی‌ها (شامل گسل‌ها و درزه‌ها) در تاقدیس کاسه‌ماست ضمن همخوانی نزدیکی با روند شکستگی‌های موجود در تاقدیس‌های مجاور نشان می‌دهد با مؤلفه چپ‌گرد منطقه گسلی بالا رود نیز همخوانی دارد.

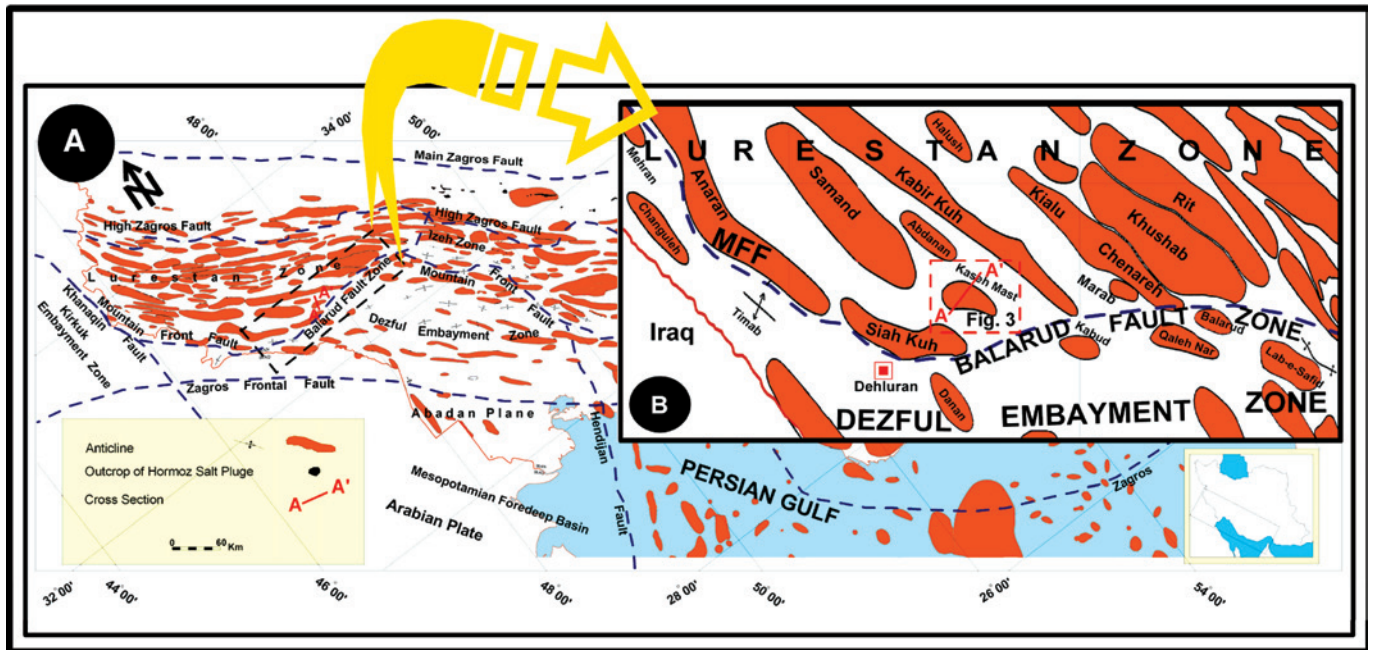
(Marret & Bentham 1997) با محاسبه ارتفاع رمپ گسلی نتیجه‌گیری کرده‌اند که اگر ارتفاع رمپ گسلی (که چین مرتبط با گسلش را ایجاد کرده است) خیلی کمتر از ستبرای واحد چین‌شناسی شکل‌پذیری باشد که به عنوان سطح جدایش اصلی ساختار عمل می‌کند، در این صورت ساختمان تاقدیسی ایجاد شده به عنوان چین جدایشی در نظر گرفته می‌شود. اما در تاقدیس کاسه‌ماست شرایط با آنچه در بالا گفته شد متفاوت است. ارتفاع رمپ گسلی محاسبه شده برای تاقدیس خیلی از ستبرای سازند دشتک بیشتر است، به این ترتیب مقایسه این وضع با مدل ارائه شده برای چین‌های جدایشی (Dahlstrom, 1970) و مدل‌هایی که نیازمند چرخش یال در طی توسعه و تحول چین‌خوردگی هستند (مثلاً Jamison, 1987) نشان می‌دهد که تاقدیس کاسه‌ماست نمی‌تواند یک چین جدایشی محض شبیه به مدل ارائه شده توسط Dahlstrom (1970) باشد ولی با مدل Chester & Chester (1990) همخوانی دارد.

درج پارامترهای هندسی مربوط به چین‌های جدایشی ($95^\circ = \theta$ و $42^\circ = 2\theta$) در نمودار نازک‌شدگی و ستبرشدگی یال جلویی این نوع چین‌ها (ارائه شده توسط Dahlstrom, 1970) نشان می‌دهد که یال جلویی تاقدیس دارای ستبرشدگی خیلی کمتر از 25% می‌باشد (شکل ۱۰). این میزان کوتاه‌شدگی با جابه‌جایی تاقدیس بر روی سطح گسل (به میزان 600 متر، جدول ۲) نیز قابل توجیه بوده و نسبتاً همخوانی دارد. مراجعه به برش عرضی (شکل ۵) نیز نشان می‌دهد طبقات یال جلویی تاقدیس دچار ستبرشدگی چندان زیادی نشده است. احتمالاً ساختمان تاقدیس کاسه‌ماست در شرایط اولیه و آغاز تشکیل یک چین جدایشی است. از این رو می‌توان با توجه به عقیده Show et al. (2005) آن را به عنوان چین جدایشی نامتقارن در نظر گرفت. در یال جلویی تاقدیس کاسه‌ماست یک ساختمان گوش خرگوشی (Rabbit Ear) به صورت تاقدیس فرعی قابل مشاهده است (شکل ۲). وجود این ساختمان‌های فرعی را می‌توان به حضور سطوح جدایشی فرعی در افق‌های چین‌شناسی جوان‌تر مربوط دانست (Sherkati et al., 2005).

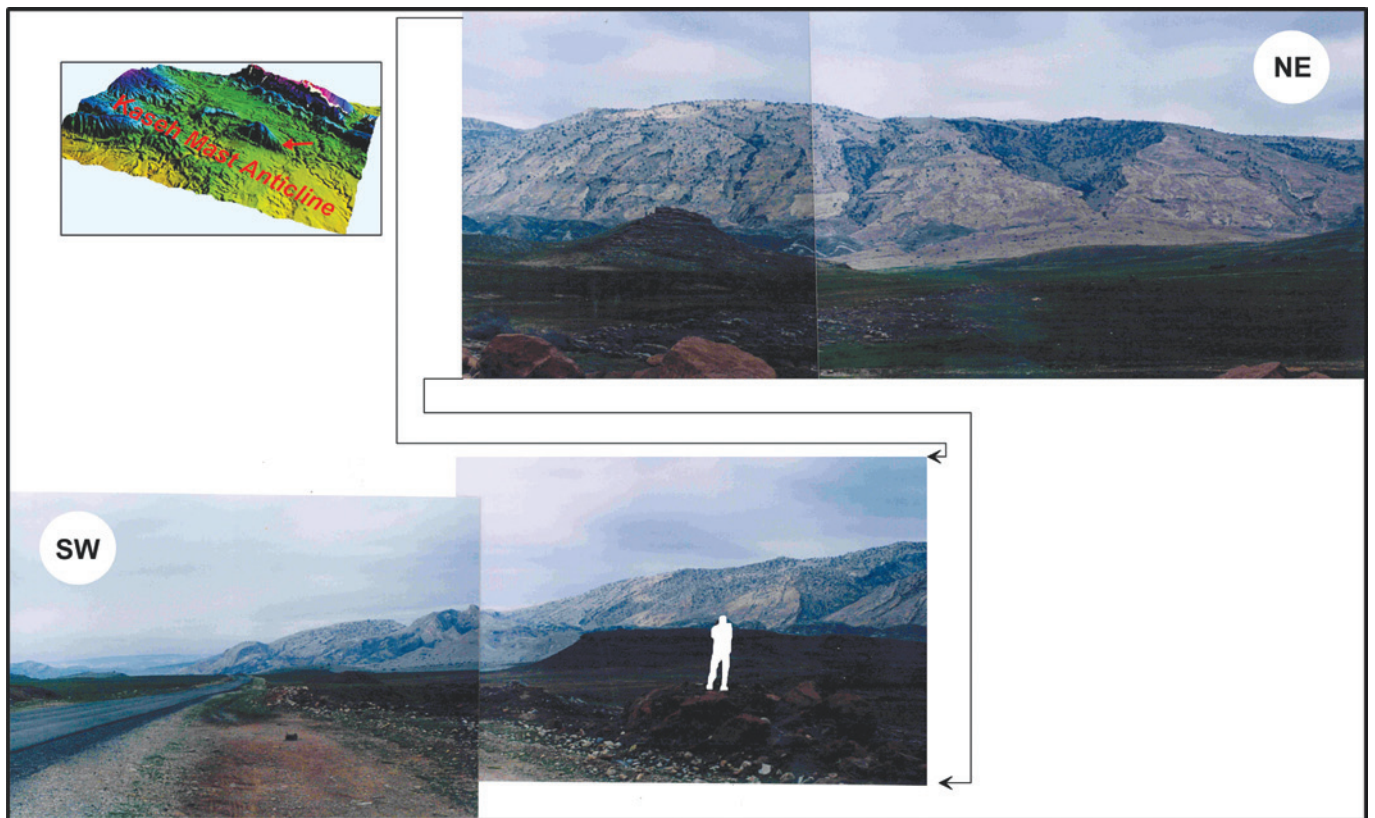
۴- نتیجه‌گیری

تاقدیس کاسه‌ماست با محور دارای روند متغیر (WNW-ESE)، یک چین نامتقارن، غیراستوانه‌ای، غیرهارمونیک با همگرایی به سوی جنوب‌باختر است. این تاقدیس در زیررده 1C طبقه‌بندی (Ramsay & Huber 1987) قرار می‌گیرد. این زیر رده برای تاقدیس کاسه‌ماست با پیش‌بینی (Moore & Twiss 1995) درباره محل رخداد این زیررده از چین‌ها که معمولاً در پیش‌بوم کمربند‌های چین‌خورده-رانده ایجاد می‌شوند، همخوانی دارد. برای تعیین سبک یا هندسه ساختمان کاسه‌ماست، از نظر فشردگی واژه باز و با توجه به نسبت ابعادی محاسبه شده واژه پهن و برای توصیف خمیدگی نسبی چین واژه نیمه‌گرد شده پیشنهاد می‌شود. احتمالاً تغییر روند محور تاقدیس از روند عمومی زاگرسی (NW-SE) به روند متغیر فعلی را می‌توان به عملکرد منطقه گسلی بالا رود با مؤلفه چپ‌گرد نسبت داد.

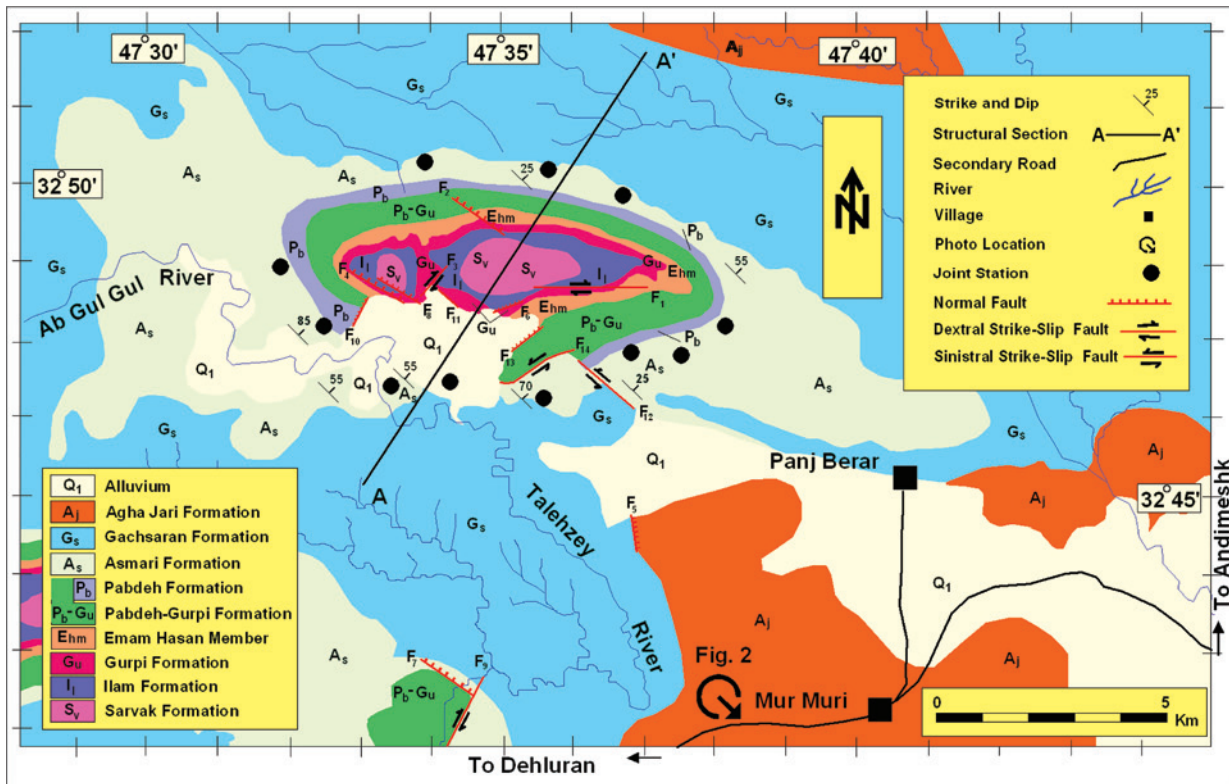
تعیین پارامترهای هندسی مدل ارائه شده توسط Chester & Chester (1990) نشان می‌دهد که زاویه رمپ راندگی بالا رود 35° است. در حالی که به نظر می‌رسد



شکل ۱- نقشه کمربند چین خورده-رانده زاگرس و ایالت‌های زمین‌شناسی آن (برگرفته از (N.I.O.C., 1969), (B) نمایی بزرگ‌تر از تاقدیس کاسه‌ماست و تاقدیس‌های همجوار متأثر از عملکرد منطقه گسلی بالارود. موقعیت تاقدیس کاسه‌ماست، نقشه زمین‌شناسی (شکل ۳) و برش عرضی AA' (شکل ۵) در این نقشه مشخص شده است.



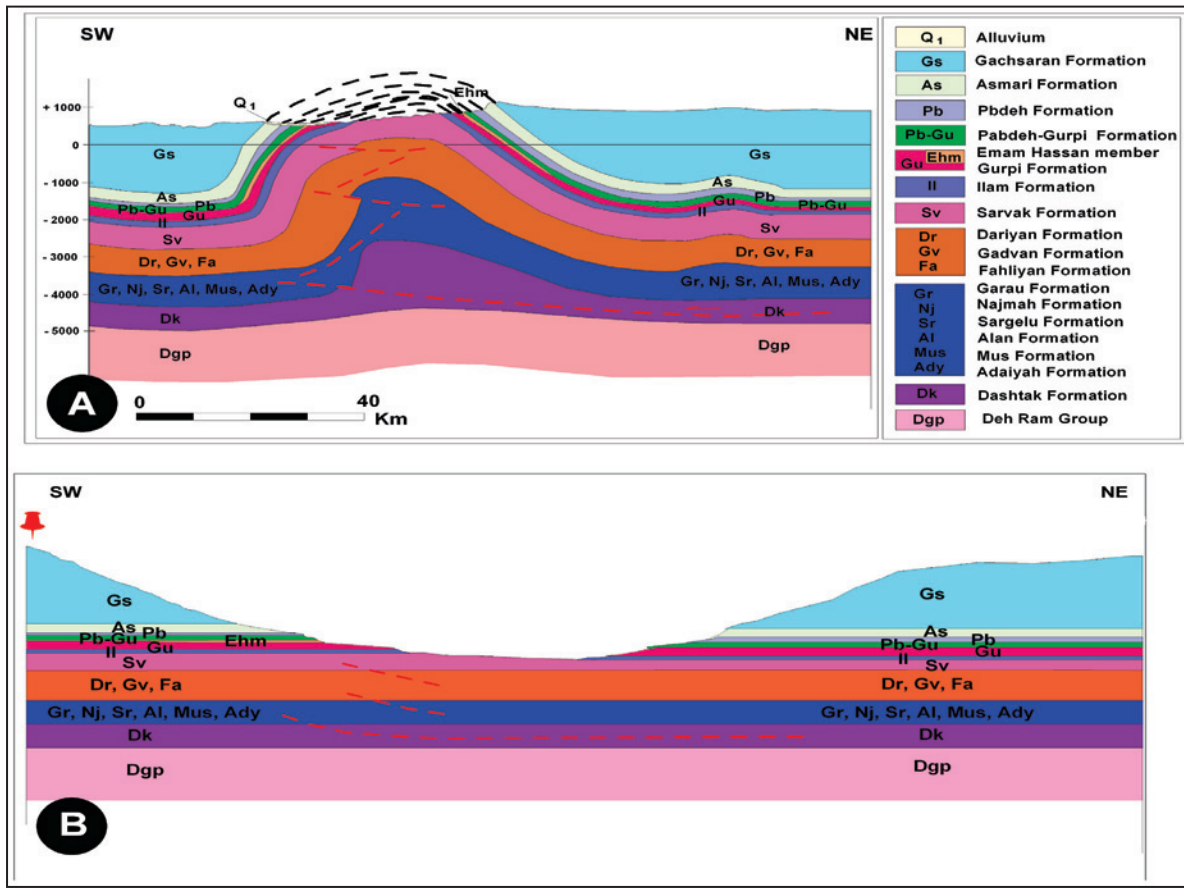
شکل ۲- تاقدیس کاسه‌ماست از جاده دهلران-اندیمشک، در جنوب‌باختر روستای مورموری. دید عکس به سمت شمال‌باختر است. موقعیت عکس بر روی نقشه زمین‌شناسی (شکل ۳) مشخص شده است. در تصویر یک ساختار چین فرعی از نوع گوش خرگوشی (Rabbit Ear) در یال جلویی (یال جنوب‌باختری) تاقدیس نیز مشاهده می‌شود. DEM منطقه نیز در حاشیه تصویر مشاهده می‌شود.



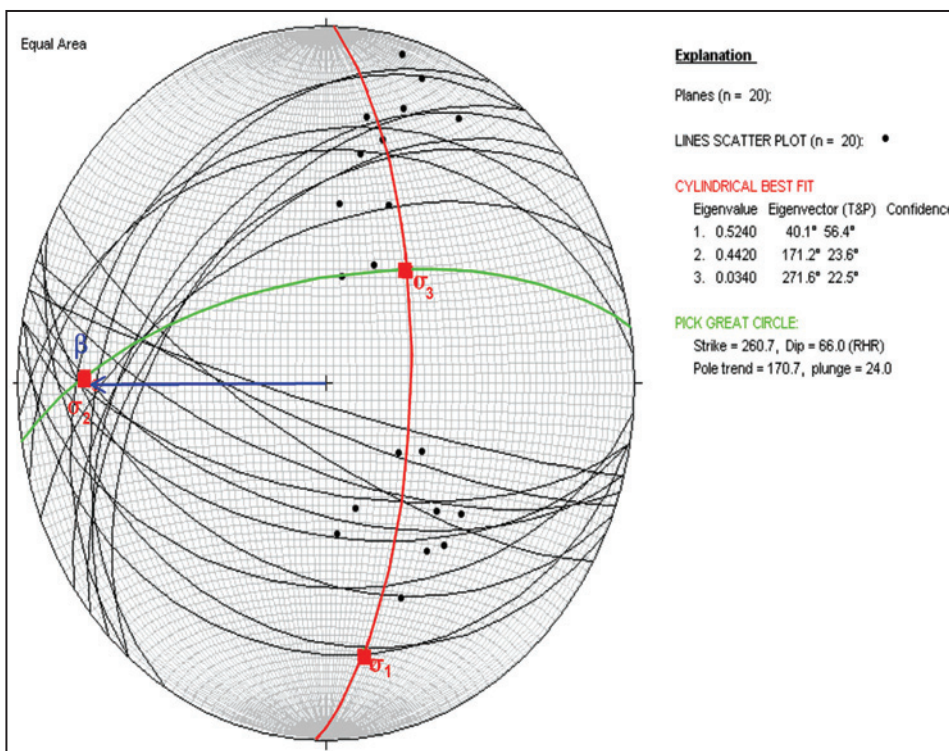
شکل ۳- نقشه زمین شناسی تاقدیس کاسه‌ماست و پیرامون (برگرفته از حاجی علی بیگی وهمکاران، ۱۳۸۸ الف). موقعیت این نقشه در شکل ۱ مشخص شده است. برش عرضی AA' که موقعیت آن در این نقشه درج شده، در شکل ۵ نمایش داده شده است. موقعیت شکل ۲ در این نقشه مشخص شده است.

System or Series	Symbols	Stratigraphy	
Pleistocene-Pliocene	Q ₁	Alluvium	
	A _j	Agha Jari Formation [Limestone, Sandstone and Siltstone]	
Miocene	G _s	Gachsaran Formation [Gypsum, Salt and Siltstone] (←)	
Oligocene	A _s	Asmari-Shabazan Formation [Limestone]	
Eocene-Paleocene	P _b	Pabdeh Formation [Marl Limestone] (←)	
	G _u E _{hm}	Gurpi Formation [Carbonate Shales] (←) Emam Hasan member [Limestone]	
Triassic-Jurassic- Cretaceous	Bangestan Group (B _{gp}) I ₁ S _v	Ilam Formation [Thin bedded Limestone and Shale] Sarvak Formation [Thick bedded Limestone]	
	D _r G _v F _a	Dariyan Formation [Limestone] Gadvan Formation [Shale and Marl] (←) Fahlian Formation [Limestone]	
	G _r N _j S _r A ₁ M _{us} A _{dy}	Garau Formation [Limestone Shale] (←) Najmeh Formation [Shaly Limestone] (←) Sargelu Formation [Shale and Marl] (←) Alan Formation [Evaporate Deposits] (←) Mus Formation [Evaporate Deposits] (←) Adaiyeh Formation [Evaporate Deposits] (←)	
	D _k	Dashtak Formation [Evaporate Deposits] (←)	
	Permian	D _{gp}	Deh Ram Group [Shale, Marl, Limestone and Evaporate]

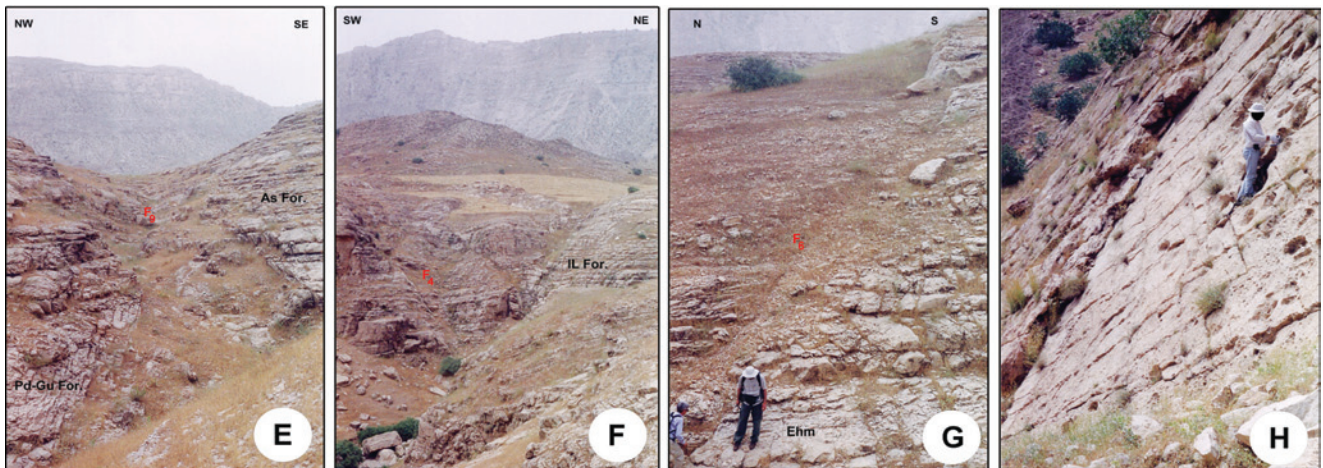
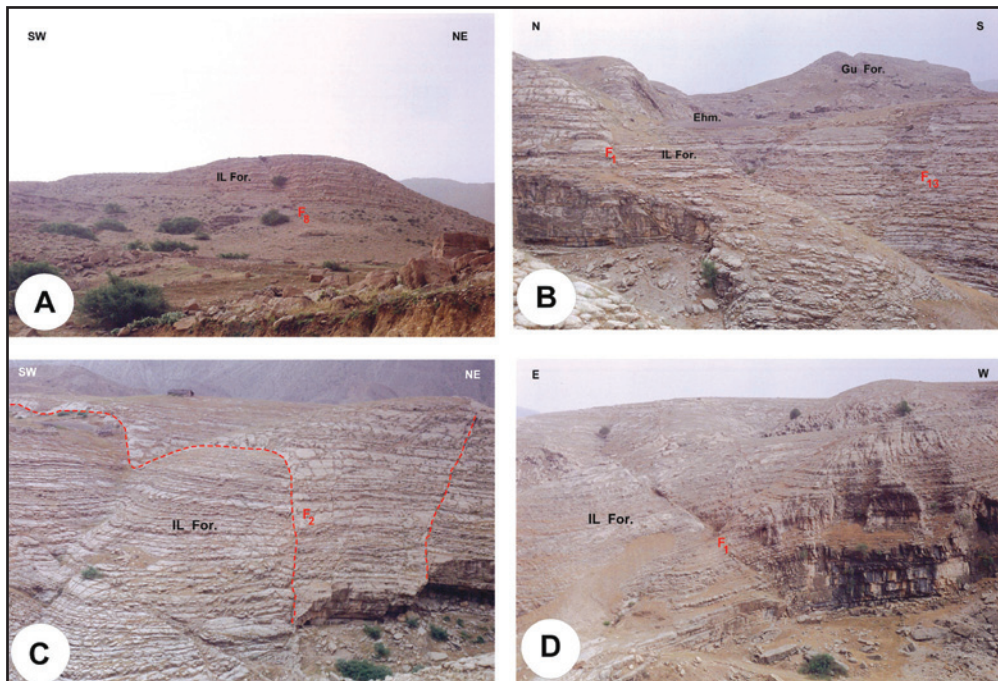
شکل ۴- ستون چینه‌شناسی ساده شده برای منطقه لرستان و منطقه فروافتادگی دزفول (ترسیم مجدد براساس مطیعی، ۱۳۷۴؛ Alavi, 2004; James & Wynde, 1965) و اطلاعات چاه‌های حفاری شده در منطقه. نهشته‌های رسوبی نامقاوم به علت ماهیت سنگ‌شناسی مکانیکی خاص به عنوان سطح جدایشی فرعی در این منطقه مطالعاتی به شمار آمده و نقش مهمی در ایجاد سبک ساختاری تاقدیس کاسه‌ماست ایفا می‌کنند. این نهشته‌ها با علامت ← در ستون مشخص شده‌اند. برای اطلاعات بیشتر به متن مراجعه شود.



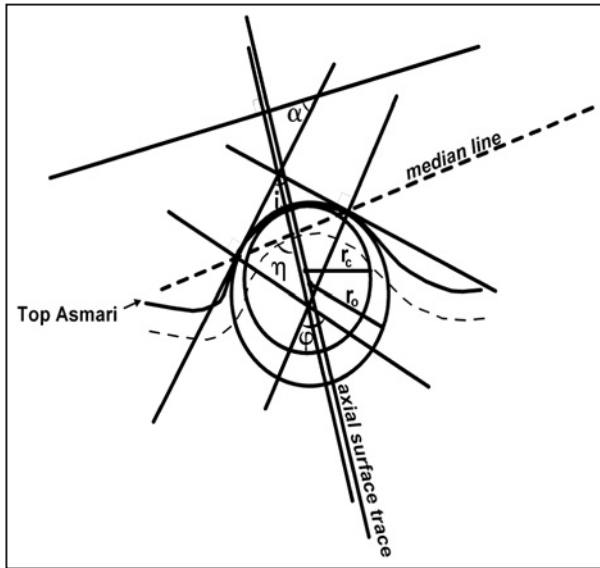
شکل ۵- برش عرضی (A) و موازنه شده (B) تهیه شده برای تاقدیس کاسه‌ماست. این برش عرضی بر اساس داده‌های روسطحی و زیرسطحی (شامل اطلاعات چاه‌ها و نیمرخ‌های لرزه‌ای تفسیر شده) و پارامترهای مدل ارائه شده توسط Chester & Chester (1990) رسم شده است. موقعیت برش عرضی در شکل‌های ۱ و ۳ نشان داده شده است (برگرفته از حاجی علی بیگی و همکاران، ۱۳۸۸ الف).



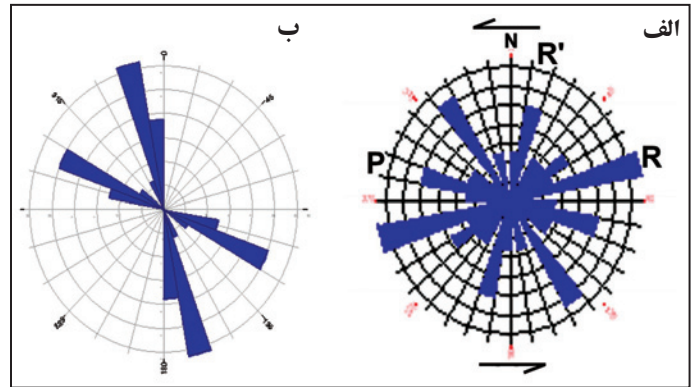
شکل ۶- تصویر استریوگرافی تهیه شده برای تحلیل استریوگرافی تاقدیس کاسه‌ماست (برگرفته از حاجی علی بیگی و همکاران، ۱۳۸۸ الف). برای توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود.



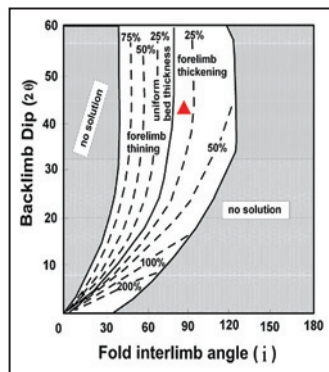
شکل ۷- تصاویر برداشت در صحرا. (A) نمایی از عملکرد نمونه‌ای از گسل‌های نرمال در سازند ایلام در تاقدیس کاسه‌ماست (بخشی از گسل F_8 با موقعیت $60^{\circ}NE, 75^{\circ}W$). جهت دید عکس به سوی شمال‌باختر است (IL: سازند ایلام). (B) نمایی از عملکرد نمونه‌ای از گسل‌های نرمال و امتدادلغز در تاقدیس کاسه‌ماست (بخشی از گسل F_1 با موقعیت $89^{\circ}NW, 70^{\circ}E$ با سازوکار امتدادلغز با مؤلفه راست‌گرد و گسل F_{13} با موقعیت $55^{\circ}SW, 40^{\circ}W$ با سازوکار نرمال). جهت دید عکس به سوی خاور است (IL: سازند ایلام، Ehm: نهشته‌های آهکی امام‌حسن، Gu: سازند گورپی). (C) نمایی از عملکرد گسل‌های نرمال در تاقدیس کاسه‌ماست (بخشی از گسل F_2 با موقعیت $55^{\circ}NE, 75^{\circ}W$ با سازوکار نرمال). جهت دید عکس به سوی شمال‌باختر است (IL: سازند ایلام). (D) نمایی از عملکرد گسل‌های امتدادلغز در تاقدیس کاسه‌ماست (بخشی از گسل F_3 با موقعیت $80^{\circ}NW, 65^{\circ}E$ با سازوکار امتدادلغز با مؤلفه راست‌گرد). جهت دید عکس به سوی شمال‌خاور است (IL: سازند ایلام). (E) نمایی از عملکرد نمونه‌ای از گسل‌های امتدادلغز (بخشی از گسل F_9 با موقعیت $89^{\circ}NW, 45^{\circ}E$ با سازوکار امتدادلغز با مؤلفه راست‌گرد). جهت دید عکس به سوی شمال‌خاور است (As: سازند آسماری، Pb-Gu: سازند پابده-گورپی). (F) نمایی از عملکرد گسل‌های نرمال متعدد و ایجاد ساختار فروزمین (گرابن) پیچیده یا متعدد در تاقدیس کاسه‌ماست (بخشی از گسل F_4 با موقعیت $60^{\circ}NE, 70^{\circ}W$ با سازوکار نرمال در تصویر دیده می‌شود). جهت دید عکس به سوی شمال‌باختر است (IL: سازند ایلام). (G) نمایی از عملکرد گسل‌های نرمال در تاقدیس کاسه‌ماست (بخشی از گسل F_6 با موقعیت $60^{\circ}SW, 80^{\circ}W$ با سازوکار نرمال). جهت دید عکس به سوی خاور است (Ehm: نهشته‌های آهکی امام‌حسن). (H, I) نمای نزدیک و دور از یک ایستگاه برداشت درزه در یال جلویی تاقدیس کاسه‌ماست. این درزه‌ها در سازند آسماری برداشت شده‌اند.



شکل ۹- نمایش ترسیمات هندسی انجام شده برای محاسبه پارامترهای هندسی یک سطح چین‌خورده که بر روی سازند آسماری در مقطع عرضی AA' (شکل ۵) انجام شده است. نمادهای درج شده در این ترسیمات عبارتند از: زاویه بین دو یال چین = α و زاویه چین‌خوردگی = φ و زاویه تمایل = η و زاویه ایزوگون‌ها = α (برگرفته از حاجی‌علی‌بیگی و همکاران، ۱۳۸۸ الف).



شکل ۸- الف) نمودار گل سرخی تهیه شده برای نمایش شکستگی‌های تاقدیس کاسه‌ماست از امتداد کل گسل‌ها. ب) نمودار گل سرخی از کل درزه‌ها. موقعیت ایستگاه برداشت درزه‌ها در شکل ۳ درج شده است. برای توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود.



شکل ۱۰- نمودار نازک‌شدگی و سترشدگی یال جلویی برای یک چین جدایشی (Jamison, 1987). نماد مثلث موقعیت تاقدیس کاسه‌ماست را نشان می‌دهد. برای توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود (برگرفته از حاجی‌علی‌بیگی و همکاران، ۱۳۸۸ الف).

کسل	طول کسل (کیلومتر)	موقعیت فضایی کسل	نوع کسل
F ₁	۲	N70°E, 89NW	امتدادلغز با مؤلفه راست‌گرد
F ₂	۰٫۷	N75°W, 55SW	نرمال
F ₃	۰٫۹	N65°E, 80NW	امتدادلغز با مؤلفه راست‌گرد
F ₄	۱	N70°W, 60NE	نرمال
F ₅	۰٫۵	N15°E, 50NW	نرمال
F ₆	۰٫۴	N80°W, 60SW	نرمال
F ₇	۱٫۲	N40°W, 55NE	نرمال
F ₈	۱٫۴	N75°E, 60NE	نرمال
F ₉	۱٫۸	N45°E, 89NW	امتدادلغز با مؤلفه راست‌گرد
F ₁₀	۰٫۳	N50°E, 65NW	نرمال
F ₁₁	۰٫۲	N45°W, 65NE	نرمال
F ₁₂	۲	N50°E, 80NW	امتدادلغز با مؤلفه چپ‌گرد
F ₁₃	۱	N40°W, 55SW	نرمال
F ₁₄	۲٫۲	N70°E, 89NW	امتدادلغز با مؤلفه چپ‌گرد

جدول ۱- داده‌های مربوط به گسل‌های برداشت شده در تاقدیس کاسه‌ماست. موقعیت گسل‌ها بر روی شکل ۳ درج شده است. برای توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود.

جدول ۲- نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل هندسی تاقدیس کاسه‌ماست. این تجزیه و تحلیل‌ها بر اساس روش ارائه شده توسط Twiss & Moores (1992); Chester & Chester (1990) انجام شده است. این عملیات برای محاسبه پارامترهای هندسی یک سطح چین‌خورده (شکل ۹) بر روی سازند آسماری در مقطع عرضی AA' (شکل ۵) انجام شده است. برای توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود (برگرفته از حاجی‌علی‌بیگی و همکاران، ۱۳۸۸ الف).

پارامترهای هندسی	برش عرضی	AA'
زاویه بین دو یال چین (Interlimb angle) (λ) (درجه)	۹۵	
زاویه چین‌خوردگی (Folding angle) (ϕ) (درجه)	۸۵	
استوانه‌ای شکل (Cylindricity)	غیراستوانه‌ای (Noncylindrical)	
تقارن (Symmetry)	نامتقارن (Asymmetrical)	
زاویه تمایل (Inclination angle) (η) (درجه)	۸۵	
شکل چین (Fold Shape)	شکل Z (Z-Shape)	
تمایل (Vergence)	SW	
فشردگی (Tightness) (T)	باز (Open)	
هارمونی (Harmony)	غیرهارمونی (Disharmonic)	
هندسه سطح محوری (Axial Surface Geometry)	پیچیده (Convolute)	
نسبت ابعادی (Aspect Ratio) (P)	$P=A/M$	۰/۲
	$L_{og} P$	-۰/۷
	واژه توصیفی	پهن (Wide)
کندی (b) (Bluntness)	r_c (سانتی‌متر)	۱/۸
	r_o (سانتی‌متر)	۲/۷
	$r_c/r_o = b$	۰/۶
	واژه توصیفی	نیمه گردشده (Subrounded)
(Fold Classification) طبقه‌بندی چین‌ها بر اساس رمزی Ramsay & Huber (1987)	α (درجه)	۴۴
	T'_α (سانتی‌متر)	۰/۳
	T_o (سانتی‌متر)	۰/۳
	t_α (سانتی‌متر)	۰/۲
	t_o (سانتی‌متر)	۰/۳
	$T'_\alpha = T_\alpha / T_o$	۱
	$t'_\alpha = t_\alpha / t_o$	۰/۶
	$t_\alpha < t_o$	
	$T'_\alpha > \text{Sec } \alpha$	
	$t'_\alpha < 1$	
رده چین	IC	
شیب یال عقبی (2θ) (درجه)	۴۲	
شیب رمپ گسلی (γ) (درجه)	۳۵	
h (متر)	۴۵۰۰	
f_o (متر)	۶۰۰	
شاخص تقارن چین (FSI)	۱	

کتابنگاری

- حاجی‌علی‌بیگی، ح.، علوی، ا.، افتخار نژاد، ج.، مختاری، م.، آدابی، م. ح.، ۱۳۸۶- تحلیل تاقدیس باریک‌آب به عنوان چین‌خوردگی انتشار گسلی متأثر از منطقه گسلی بالارود، جنوب غرب ایران، یازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- حاجی‌علی‌بیگی، ح.، علوی، ا.، افتخار نژاد، ج.، مختاری، م.، ۱۳۸۷- تحلیل هندسی چین خوردگی مرتبط با گسلش مدفون فعال، تاقدیس اناران، جنوب باختر ایران. فصلنامه علمی-پژوهشی زمین‌شناسی ایران. ۸، ۸۳-۷۱.
- حاجی‌علی‌بیگی، ح.، علوی، ا.، افتخار نژاد، ج.، مختاری، م.، آدابی، م. ح.، ۱۳۸۸ الف- زمین‌ساخت و الگوی منطقه گسلی بالارود (شمال دزفول) رساله دوره دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۱۵ صفحه.
- حاجی‌علی‌بیگی، ح.، علوی، ا.، افتخار نژاد، ج.، مختاری، م.، آدابی، م. ح.، ۱۳۸۸ ب- استفاده از شکستگی‌ها در تفسیر ساختاری یک تاقدیس، مطالعه موردی: تاقدیس چناره، جنوب باختر ایران. فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین. ۳۳، ۷۴-۴۴.

حاجی علی بیگی، ح.، علوی، ا.، افتخار نژاد، ج.، مختاری، م.، آدابی، م. ح.، ۱۳۸۹- تحلیل هندسی چین خوردگی مرتبط با گسلش مدفون فعال بالارود، مطالعه موردی: تاقدیس سیاه کوه، جنوب باختر ایران. فصلنامه علمی- پژوهشی زمین شناسی ایران، در حال چاپ.

حاجی علی بیگی، ح.، علوی، ا.، افتخار نژاد، ج.، مختاری، م.، ۱۳۹۱- تحلیل هندسی چین خوردگی مرتبط با گسلش مدفون فعال بالارود، مطالعه موردی: تاقدیس سیاه کوه، جنوب باختر ایران. فصلنامه علمی- پژوهشی زمین شناسی ایران. ۲۱، ۲۵-۳۹.

مطیعی، ه.، ۱۳۷۴- چینه شناسی زاگرس. طرح تدوین کتاب زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی ایران، ۵۴۰ صفحه.

References

- Alavi, M., 2004- Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science*, 304, 1-20.
- Alavi, M., 2007- Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of Science*, 307, 1064-1095.
- Berberian, M., 1995- Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, *Tectonophysics*, 241, 193-224.
- Burberry, C. M., Cosgrove, J.W. & Liu, J.G., 2008- Spatial arrangement of fold types in the Zagros simply folded belt, Iran, indicated by landform morphology and drainage pattern characteristics, *Journal of Maps*, 4, 417-430.
- Chester, J. S. & Chester, F. M., 1990- Fault-propagation folds above thrust with constant dip. *Journal of Structural Geology*, 12, 903-910.
- Dahlstrom, C. D. A., 1969- Balanced cross sections. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 6, 743-757.
- Dahlstrom, C. D. A., 1970- Structural geology in the eastern margin of Canadian Rocky Mountains, *Canadian Petroleum Geology Bulletin*, Vol.18, P.332-406.
- Epard, J. L. & Groshong, R. H. Jr., 1995- Kinematic model of detachment folding including limb rotation, fixed hinges and layer-parallel strain. *Tectonophysics*, 247, 85-103.
- Erickson, S. G., Strayer, L. M. & Suppe, J., 2001- Initiation and reactivation of faults during movement over a thrust-fault ramp: numerical mechanical models. *Journal of Structural Geology*, 23, 11-23.
- Hajjalibeigi, H., Alavi, S. A., Eftekharneshad, J. Mokhtari, M. & Adabi, M. H., 2011 - The geometric effects of the Balarud deep seated fault zone on Khushab anticline, SW Iran, An integrated study. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran, University of Tehran*, 22, 33-49.
- Homza, T. K. & Wallace, W. K., 1995- Geometric and kinematics models for detachment folds with fixed and variable detachment depths. *Journal of Structural Geology*, 17, 575-588.
- Johnson, K. M. & Johnson, A. M., 2000- Mechanical models of trishear-like folds. Vol.24, P.277-287.
- James, G. S. & Wynde, J. G., 1965- Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 49, 2182-2245.
- Jamison, W. R., 1987- Geometric analysis of fold development in overthrust terrains. *Journal of Structural Geology*, 9, 207-219.
- Jamison, W. R., 1992- Stress controls on fold thrust style, In: McClaly, K. R. (ed.), *Thrust Tectonics*, London, Chapman & Hall, P.155-164.
- Lyslo, K. B. , Nedreliid, T. and Agha, I. R., 2004 - Reservoir characterization and history matching of a fractured carbonate and highly permeable sandstone reservoir. *GeoArabia*, Vol.9, P.100-101.
- Marret, R. & Bentham, P. A., 1997- Geometric analysis of hybrid fault-propagation/detachment folds. *Journal of Structural Geology*, 19, 243-248.
- McClay, K. R., 2000- Advanced structural geology for petroleum exploration, training course pamphlet, 503 pp (Unpublished booklet).
- McCurrie, N., 2004- Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Journal of Structural Geology*, Vol.26, P.519-535.
- McQuillan, H., 1968- Surface Asmari anticline fracture patterns at airphotograph scale, Acomparision with small scale fracture systems. Iranian Oil Operating Companies, Report No. 1134 (Unpublished).
- Mitra, S., 1990- Fault-propagation folds: Geometry, kinematics evolution, and hydrocation traps. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 74, 921-945.
- Mitra, S., 1992- Balanced structural interpretation in fold and thrust belts. In: S. Mitra and G. W. Fisher (eds), *Structural Geology of Fold and Thrust Belts*, 33-77.
- Moore, E. M. & Twiss, R. J., 1995- *Tectonics*. W. H. Freedman & Company, New York, 415pp.
- N.I.O.C., 1969. Geological map of Iran. South-west Iran, Scale 1:1 000 000, National Iranian Oil Company. Exploration and Production, Tehran.
- Pattinson, R. & Takin, M., 1971- Geological significance of the Dezful Embayment boundaries. Iranian Oil Operation Companies (unpublished).

- Poblet, J. & McClay, K. R., 1996- Geometry and kinematics of single layer detachment folds, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 80, 1085-1109.
- Ramsay, J. G. & Huber, M. I., 1987- *The Techniques of Modern Structural Geology, Vol.1: Strain Analysis*. Academic Press, London, 307pp.
- Ray, S. K., 1997- Plunging fault-propagation folds: a case study from the Bhutan Himalayas. In: Sengupta, S. (ed.), *Evolution of geological structures in micro-to macro-scales*, 91-110. Chapman & Hall, London.
- Sattarzadeh, Y., 1997- Active tectonics in the Zagros Mountains, Iran, unpublished Ph.D. thesis, Imperial College, University of London.
- Sepehere, S. & Cosgrove, J. W., 2006- The impact of cover rock rheology on the style of folding in the Zagros fold-thrust belt, *Tectonophysics*, 427, 265-281.
- Sherkati, S. & 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., Molinaro, M. de Lamotte, D. F. & Letouzey, J., 2005-Detachment folding in the central and eastern Zagros fold-belt (Iran): salt mobility, multiple detachments and the final basement control. *Journal of Structural Geology*, 27, 1680-1696.
- Show, J. H., Connors, C. & Suppe, J., 2005-Seismic interpretation of contractional fault-related folds. *An American Association of Petroleum Geology Atlas, Studies in Geology*.
- Suppe, J., 1983-Geometry and kinematics of fault-bend folding. *American Journal of Science*, 283, 684-721.
- Suppe, J., 1985-*Principles of Structural Geology*. Prentice Hall, Englewood Cliff, New Jersey, 537pp.
- Suppe, J., Connors, Ch. D. & Zhang, Y., 2004-Shear fault-bend folding. In McClay, K. R. ed., *Thrust tectonics and hydrocarbon systems*. American Association of Petroleum Geologists Bulletin memoir, 82, 303-323.
- Suppe, J. & Medwedeff, D. A., 1990- Geometry and kinematics of fault-propagation folding. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 83, 409-454.
- Suppe, J., Chou, G. T. & Hook, S. C., 1992- Rates of folding and faulting determined from growth strata. In: McClay, K. R. (ed.), *Thrust Tectonics*, 105-122, Chapman and Hall, London.
- Talbot, C. J. & Alavi, M., 1996- The past of a future syntaxis across the Zagros, In: Alsop, G. I., Blundell, D. J. & Davison, I. (eds.) 1996. *Salt Tectonics*, Geological Society Special Publication No.100, 89-109.
- Tamagawa, T., Matsuoka, T. & Tamura, Y., 1998- Geometrical shape of fault-bend folding with simple shear deformation in the thrust sheet (in Japanese) *Geoinformatics (Joho Chishitsu, Osaka)* 9, 3-11.
- Thorbjornsen, K. L. & Dunne, W. M., 1997- Origin of a thrust-related fold: Geometric vs. kinematics tests. *Journal of Structural Geology*, 19, 303-319.
- Twiss, R. J. & Moores, E. M., 1992- *Structural Geology*. W. H. Freedman & Co., New York, 532pp.
- Vita-Finzi, C., 2005- Serial deformation, proceeding of the Geologists' Association, 116, 293-300.
- Wallace, W. K. & Homza, T. X., 2004- Detachment folds versus fault-propagation folds and their truncation by thrust faults. In: McClay, K. R. (ed.), *Thrust tectonics and hydrocarbon systems*. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, memoir, 82, 324-355.
- Wennberg, O. P., Keramati, M. & Svana, T., 2004- Discrete fracture network modeling of a giant Middle-East fractured carbonate reservoir, The Bibi Hakimeh field, SW Iran. American Association Petroleum Geologists Bulletin, Hedberg Reaserch conference. Carbonate Reservoir Characterization and Simulation: From Facies to Flow units, El Paso, 15-18 March 2004.
- Wennberg, O. P., Azizzadeh, M., Aqrawi, A. A. M., Blanc, E., Brockbank, P., Lyslo, K. B., Pickard, N., Salem, L. D. & Svana, T., 2007- The Khaviz anticline: an outcrop analogue to giant fractured Asmari Formation reservoirs in SW Iran. In: Loneran, L., Jolly, R. J. H., Rawesley, K. and Sanderson, D. J. (eds.), *Fractured reservoirs*. Geological Society, London, Special Publication, Vol.270, P.23-42.

The Geometric Analysis of the Fault-Related Folding, A Case Study: Kaseh Mast Anticline, the South of the Lurestan Zone

H. Hajjalibeigi^{1*}, S. A. Alavi², J. Eftekharneshad³, M. Mokhtari⁴ & M. H. Adabi⁵

¹ Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² Associated Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³ Ph.D., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran

⁵ Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2011 July 18

Accepted: 2013 March 09

Abstract

The Kaseh Mast anticline located in the south of the Lurestan zone, is one of the small-scale anticlines in the Lurestan (in north) and the Dezful Embayment (in south) zones in the Zagros fold-thrust belt. This anticline and the adjacent anticlines are affected by the Balarud blind thrust fault zone, which is a part of the Mountain Front Fault. The Mountain Front Fault is a major topographic front that be traced along the Zagros fold-thrust belt in the Izeh, Fars, Lurestan and Dezful Embayment. The field observations and geometric analysis indicated that the axial trend of the Kaseh Mast anticline has been changed and shows asymmetrical, noncylindrical and disharmonic fold, with vergence to southwest. The class of folding is 1C subclass of Ramsay's classification. To determine the geometry of the fold the terms of open for tightness, wide for aspect ratio and subrounded for relative curvature are suggested. In addition, this anticline is analyzed by using of geometrical models. Basically, this model allows quantitatively predicting the Balarud blind thrust fault zone trajectory and displacement from the geometric characteristics of this anticline. The comparison of the anticline with the theoretical fault-related folding models suggests the Kaseh Mast anticline as an Asymmetrical Detachment Fold that is affected by the Balarud fault zone. It is probable that the folding process of the Kaseh Mast anticline is in early states of the formation of a detachment fold. However, the folding mechanism of the adjacent anticlines is fault-propagation folding. The changing of the folding mechanisms of this anticline and the adjacent anticlines from detachment (in Kaseh Mast anticline) to fault-propagation folding (in the Siah Kuh and Chenareh anticlines) is probably referred to several parameters. These include the effect of thrust, the position of the Kaseh Mast anticline in Zagros fold-thrust belt, the distance of the anticlines related to the Balarud fault zone and the potentiality of the changing of the folding mechanisms of triple fault-related folding to each other.

Key words: Kaseh Mast anticline, Fault-related folding, Zagros fold-thrust belt, Balarud Fault Zone.

For Persian Version see pages 149 to 162

*Corresponding author: H. Hajjalibeigi; E-mail: h-alibeigi@sbu.ac.ir