

بررسی هندسه و سازوکار چین‌خوردگی در تاقدیس سولابدر (جنوب غرب ایران)

مهدی یوسفی^(۱)، فرهاد اصفهانی^(۲) و سید مرتضی موسوی^(۳)

۱. دانش‌آموخته دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲. رئیس عملیات زمین‌شناسی، شرکت توسعه صنایع نفت و انرژی (DIEO)، تهران، ایران
۳. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۴

چکیده

محاسبه میزان کوتاه‌شدگی، زاویه بین یالی، شیب راندگی اصلی و درصد نازک‌شدگی پیش‌یال نسبت به پس‌یال در بخش‌های میانی و شمال غربی تاقدیس سولابدر، سبک چین‌خوردگی وابسته به انتشار گسل را در این بخش‌ها نشان می‌دهد. همچنین محاسبه این پارامترهای هندسی در بخش جنوب شرقی تاقدیس سولابدر، سبک چین‌خوردگی جدایشی گسل خورده را نشان می‌دهد. تغییر رده چین‌خوردگی از رده ۱۰ به رده‌های ۲ و ۳ و همچنین تغییر سبک چین از چین‌های جدایشی به سبک انتشار گسلی، نشانه افزایش کوتاه‌شدگی، پیشرفت دگرشکلی و تکامل چین‌خوردگی از بخش جنوب شرقی که در مرحله ابتدایی سیستم گسلش راندگی است به بخش میانی و شمال غربی که در مراحل تکامل یافته سیستم گسلش راندگی هستند، می‌باشد. تفسیر مقاطع لرزه‌ای عمود بر تاقدیس سولابدر در بخش‌های مختلف نشان می‌دهد تاقدیس سولابدر به دلیل عملکرد گسل‌های راندگی در یال‌های شمالی و جنوبی به صورت گوه‌ای بالا برجسته نسبت به ساختارهای مجاور خود بالاتر قرار گرفته است. در تاقدیس سولابدر عملکرد و رفتار متحرک واحدهای مارنی-شیلی سازندهای پایده و گورپی، با توجه به ضخامت زیاد و رئولوژی شکل‌پذیر آن به‌عنوان افق جدایشی میانی، سبک‌های متفاوت چین‌خوردگی در بالا و پایین این واحد را ایجاد کرده است و همچنین باعث شده است که جابجایی در محور تاقدیس‌های فوقانی و ژرفی رخ دهد.

واژه‌های کلیدی: تاقدیس سولابدر، تحلیل هندسی، چین وابسته به گسل، سبک چین‌خوردگی.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل در تحلیل و بررسی چین‌ها، ویژگی‌های هندسی آنها است. برای تجزیه و تحلیل تاریخچه تکاملی در کمربندهای راندگی، مشخصات هندسی چین‌خوردگی مرتبط با گسلش مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع چین‌خوردگی به صورت مدل‌های هندسی متنوعی (Erickson et al., 2001; Jamison, 1987; Mitra, 1990; Ray, 1997; Suppe and Medwedeff, 1990; Suppe et al., 1992; Wallace and Homza, 2004) چین جدایشی (Homza and Wallace, 1995; Poblet and McClay, 1996; Ramsay and Huber, 1987) تقسیم‌بندی شده‌اند. چین انتشار گسلی، چین خم گسله

* نویسنده مرتبط: Geomehdisa31@yahoo.com

جنوب غربی و غرب میدان‌ها چهار بیشه و رودک، شمال میدان‌ها شاپور و رودک-میلاتون، قرار دارد. ابعاد ساختمان در سطح زمین به‌طور تقریبی به طول ۳۰ کیلومتر و پهنا ۷۷ کیلومتر است.

تاقدیس نفتی سولابدر یکی از تاقدیس‌های زاگرس در بخش جنوبی فروافتادگی دزفول از زیر پهنه‌های زاگرس ساده چین‌خورده با راستای شمال غربی-جنوب شرقی است، بر روی سطح زمین به‌صورت تاقدیسی کم‌و بیش نامتقارن می‌باشد و شیب لایه‌ها در بخش ستیغ به حدود پنج درجه و در دامنه‌های شمالی و جنوبی و شمال غربی ۲۰ درجه و گاهی به حدود ۴۰ تا ۵۰ درجه می‌رسد. رخنمون سطحی در این تاقدیس شامل گسترش رخساره‌های گچساران می‌شان، آجاجاری و در برخی بخش‌ها، آسماری می‌باشد و ارتفاع آن به حدود ۱۰۰۰ متر می‌رسد. شیب لایه‌ها در دامنه‌ها بیشتر از ستیغ تاقدیس می‌باشد. در دو طرف تاقدیس نیز تپه‌های کم ارتفاع از سازند مارنی می‌شان قرار دارند.

روش مطالعه

در این مطالعه بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای، خطوط لرزه‌نگاری بازتابی و داده‌های چاه، ابتدا مقاطع لرزه‌ای عمود بر محور تاقدیس سولابدر تفسیر و ویژگی‌های ساختاری هر کدام به تفصیل ارائه می‌شود. پارامترهای هندسی چین‌خوردگی در بخش‌های مختلف تاقدیس سولابدر محاسبه و رده‌بندی می‌شود. با مقایسه شکل چین با الگوهای استاندارد، تحلیل هندسی تاقدیس سولابدر در بخش جنوبی فروبار دزفول انجام، و شناسایی فاکتورهای مؤثر بر هندسه این تاقدیس صورت می‌گیرد. همچنین تأثیر واحدهای متحرک در بروز سبک‌های مختلف چین‌خوردگی در بخش‌های مختلف این تاقدیس تعیین، و الگوی تکاملی چین‌ها بیان می‌شود.

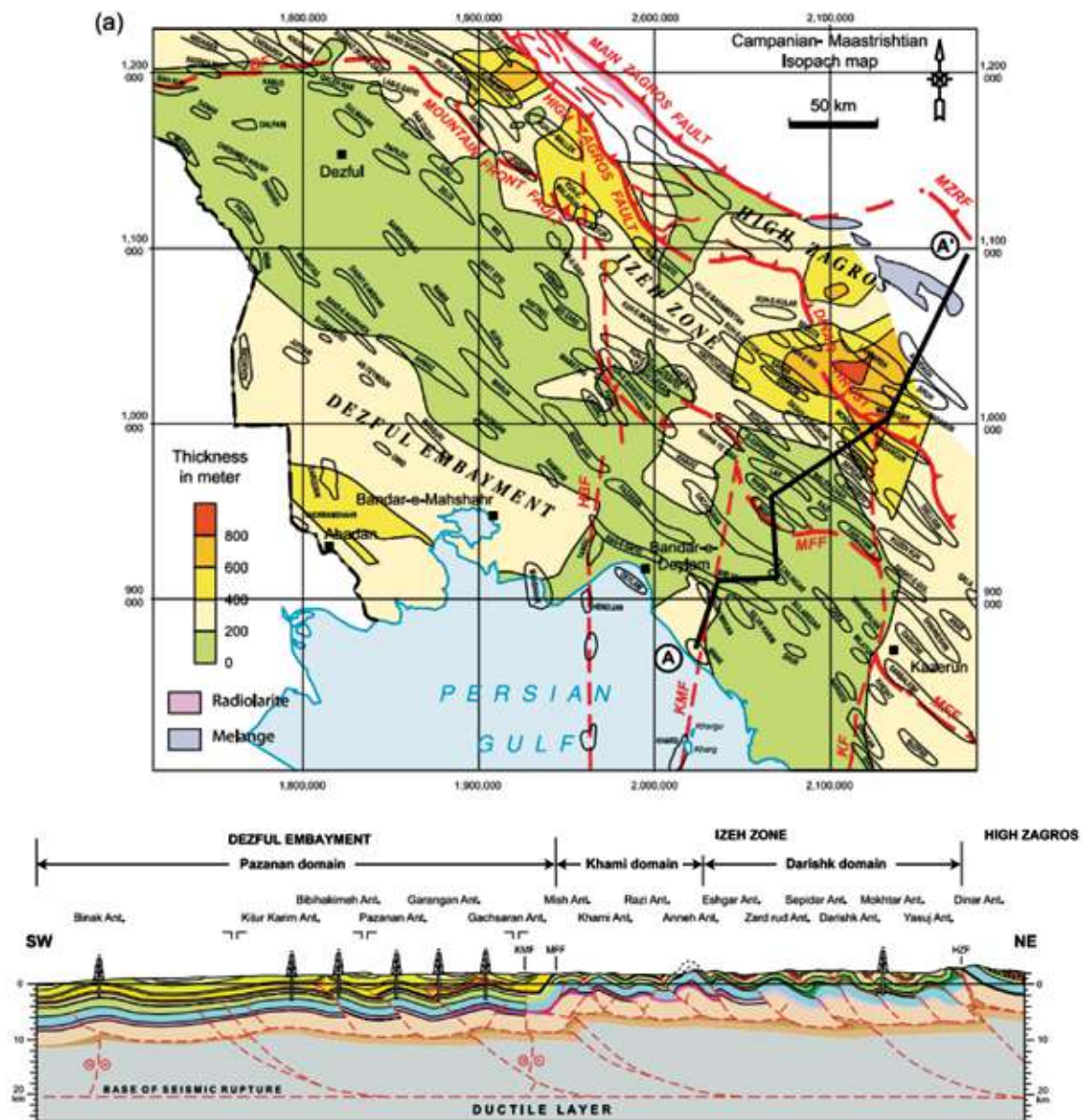
هندسه ساختاری تاقدیس سولابدر

رخنمون سطحی در بخش جنوبی دزفول به‌طور عمده شامل سازندها مارنی می‌شان، آواری آجاجاری و رسوبات عهد حاضر است (شکل ۱). ساختارهای تاقدیسی زیرسطحی

ازجمله مدل‌های هندسی ارائه شده برای این نوع چین‌خوردگی‌ها هستند. مدل‌های هندسی که این نوع سبک‌های چین‌خوردگی را توصیف می‌کنند، افزون بر آنکه موجب درک بهتر چین‌خوردگی می‌شوند، ابزار مهمی برای رسم و یا تکمیل برش‌های عرضی و موازنه کردن آنها به‌شمار می‌روند. (Dahlstrom, 1970; Jamison, 1987; Suppe, 1983) الگوی چین‌خوردگی در کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس به‌شدت متأثر از رفتار مکانیکی واحدهای سنگی آن است و هندسه تاقدیس‌های زاگرس بیشتر افزون بر نوع دگرشکلی، تابع عملکرد مکانیکی واحدهای چین‌نگاری می‌باشد. یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده الگوی چین‌خوردگی در زاگرس به‌ویژه در ناحیه دزفول، سطوح چندگانه شکل‌پذیر و جدایشی می‌باشد (Letuzey and Sherkati, 2004; Mitra, 2002). در چند سال اخیر پژوهشگران بسیاری به مطالعه چین‌نگاری مکانیکی و عملکرد افق‌های شکل‌پذیر جدایشی میانی در کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس پرداخته‌اند و اهمیت این موضوع را تبیین کرده‌اند (O'Brien, 1957; Bahroudi and Koyi, 2003; Sherkati and Letouzey, 2004; Mc Quarrie, 2004; Sherkati et al., 2006; Carruba et al., 2006). در این مطالعه بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای، خطوط لرزه‌نگاری بازتابی و داده‌های چاه، تحلیل هندسی تاقدیس سولابدر در بخش جنوبی فروبار دزفول (شکل ۱) انجام، و شناسایی فاکتورهای مؤثر بر هندسه این تاقدیس صورت می‌گیرد. همچنین تأثیر واحدهای متحرک در بروز سبک‌های مختلف چین‌خوردگی در بخش‌های مختلف این تاقدیس تعیین، و الگوی تکاملی چین‌ها بیان می‌شود.

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

تاقدیس سولابدر در حاشیه شرقی فروافتادگی دزفول جنوبی در ناحیه جنوب غرب ایران قرار دارد. تاقدیس سولابدر در استان کهگیلویه و بویراحمد، در ۵۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر گچساران و ۴۵ کیلومتری ساحل خلیج فارس واقع شده است. همچنین این تاقدیس در ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی میدان بی‌بی حکیمه، جنوب میدان چلینگر،



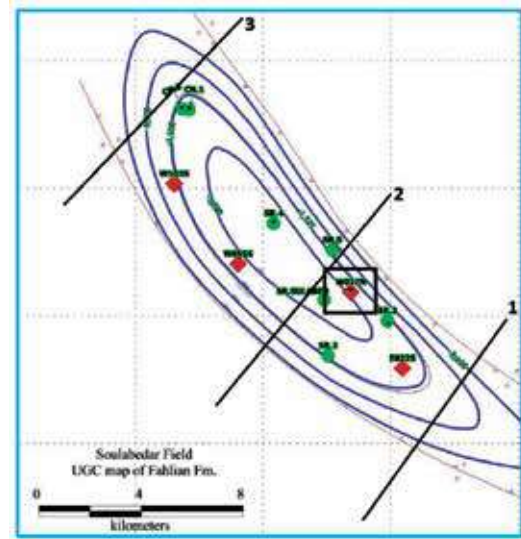
شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی جنوب غرب زاگرس و موقعیت تاکدیس سولابدر در بخش جنوبی فروافتادگی دزفول (بیضی قرمز رنگ) به همراه برش عرضی عمود بر ساختارها (Sherkati and Letouzey 2004)

فشرده مرکزی یک نیمرخ لرزه‌نگاری و همچنین بر روی بخش جنوب خاوری یک نیمرخ لرزه‌نگاری رسم و تفسیر می‌شود (شکل ۲). کیفیت نیمرخ‌های لرزه‌نگاری اجازه شناسایی و تفسیر ساختارها را تا سازند فهلیان می‌دهد. در ادامه هندسه تاکدیس سولابدر در هر یک از این نیمرخ‌های لرزه‌نگاری توصیف می‌شود.

(زیر سازند گچساران) میدان‌های نفتی بزرگی را در پهنه تشکیل داده‌اند. یکی از این میدان‌های نفتی تاکدیس سولابدر می‌باشد. برای بررسی هندسه تاکدیس سولابدر در بخش جنوبی فروبار دزفول، سه نیمرخ لرزه‌نگاری عمود بر محور این تاکدیس انتخاب شده است (شکل ۲). به دلیل تغییرات هندسه و چرخش محور تاکدیس در پایانه شمال باختری، یک نیمرخ لرزه‌نگاری بر روی این پایانه رسم شده است. در بخش

ضخامت نسبت به یال‌های تاقدیس دیده می‌شود. به نظر می‌رسد این امر به دلیل حرکت واحدهای شکل‌پذیر مارنی سازندهای پایده و گورپی از یال‌ها به طرف پهنه لولایی تاقدیس باشد. در یال جنوبی تاقدیس سولابدر ریز چین‌های ثانوی در افق گچساران مشاهده می‌شود. این امر به دلیل ماهیت متحرک این سازند تبخیری کم مقاوم می‌باشد.

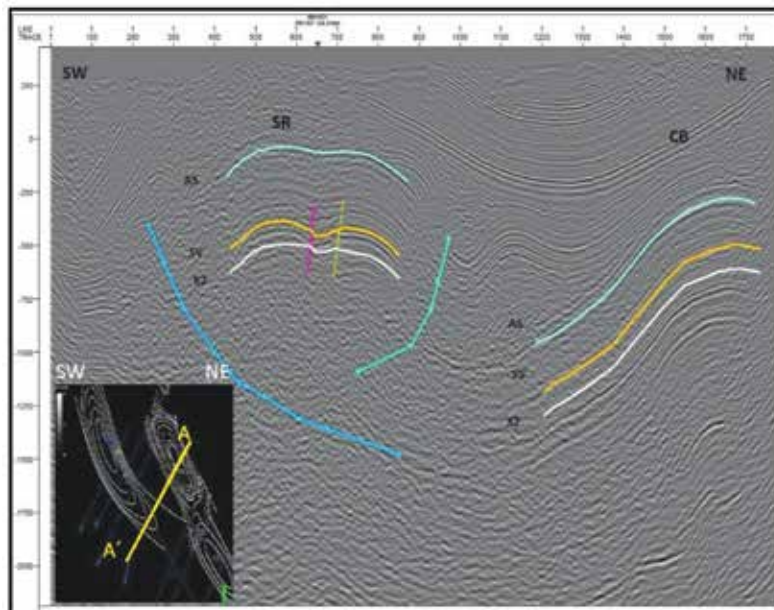
در زیر سازند گچساران، تاقدیس سولابدر به صورت یک ساختار بالاجسته کم‌بیش متقارن می‌باشد، توسط دو گسل راندگی با شیب مخالف هم تشکیل شده است. ضخامت زیاد از توالی شکل‌پذیر مارنی-شیلی و همچنین عملکرد پس راندگی‌ها در یال شمالی تاقدیس سولابدر باعث شده است در تاقدیس زیرین (حد فاصل افق‌های سروک و کژدمی) چین خوردگی با سطوح محوری دوگانه شکل گیرد. توسعه این راندگی‌ها باعث شده که محور تاقدیس بالایی افق آسماری نسبت به محور تاقدیس‌های فرعی پایینی دچار جابجایی شده باشد و همچنین باعث شده است که هندسه و سبک تاقدیس در زیر این سازند متفاوت از هندسه تاقدیس فوقانی باشد. همچنین بر پایه نحوه قرارگیری خطوط هم‌شیب و تغییرات ضخامت یال‌ها نسبت به پهنه لولای آن برحسب طبقه‌بندی رمزی، رده ۱c در بخش جنوب شرقی تاقدیس سولابدر برای یال‌های شمالی و جنوبی در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۲. نقشه عمقی زیرسطحی تاقدیس سولابدر. اعداد موقعیت نیمرخ‌های لرزه‌ای عمود بر تاقدیس را نشان می‌دهند

نیمرخ لرزه‌نگاری ۱

این نیمرخ در بخش جنوب شرقی تاقدیس سولابدر تهیه شده است (شکل ۳). یک راندگی عمقی جلویی شاید منشأ گرفته در افق متحرک پایینی پالئوزوئیک که تا بخش زیرین سازند گچساران نفوذ کرده و باعث ایجاد دگرریختی اصلی و بریدگی واضح در سازندهای حد فاصل آسماری تا حداقل فلهیان شده است، را نشان می‌دهد. در پهنه لولایی تاقدیس در حد فاصل بین سرسازندهای سروک و کژدمی یک افزایش

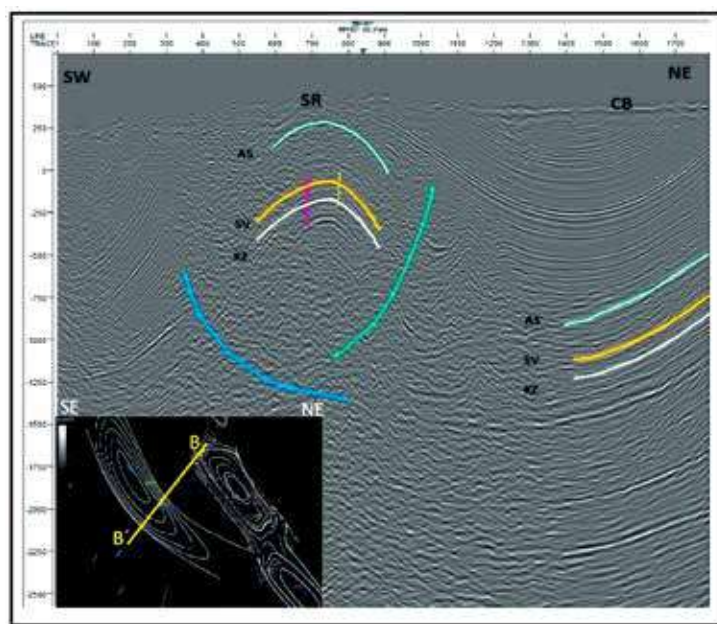


شکل ۳. نیمرخ لرزه‌نگاری در بخش جنوب شرقی تاقدیس سولابدر: یک راندگی با عمق زیاد در یال جنوب غربی مشاهده می‌شود و با ادامه دگرریختی پس راندگی‌هایی در یال شمالی گسترش یافته‌اند. توسعه این پس راندگی‌ها در فرادیواره باعث ایجاد ساختار بالاجسته شده است

نیمرخ لرزه‌نگاری ۲

زاویه بین یالی فشرده‌تر و راندگی اصلی پرشیب‌تر، کوتاه شدگی و شدت دگرشکلی بیشتر را در بخش میانی تاقدیس نشان می‌دهد. راندگی عمقی جلویی با ریشه در واحد شکل‌پذیر پایینی و گسترش پس راندگی باعث جابجایی محور چین‌ها در این بخش شده‌اند، در این نیمرخ قابل مشاهده است. همچنین بر پایه نحوه قرارگیری خطوط هم‌شیب و تغییرات ضخامت یال‌ها نسبت به پهنه لولای آن برحسب طبقه‌بندی رمزی، رده دو برای یال شمالی و رده سه برای یال جنوبی در نظر گرفته می‌شود.

این نیمرخ لرزه‌نگاری بخش مرکزی تاقدیس سولابدر را پوشش می‌دهد (شکل ۴). در افق سروک بیشترین شیب و آزیموت به ترتیب ۱۷ و ۲۲۰ درجه، در افق کژدمی بیشترین شیب و آزیموت به ترتیب ۲۰ و ۲۱ درجه می‌باشد. بستگی ساختاری میدان سولابدر این مقطع در افق سروک ۲۰۰ متر و در افق کژدمی ۲۰۰ متر و برآورد شده است. همچنین بیشینه ارتفاع میدان در افق سروک ۸۰۰ متر و در افق کژدمی ۱۲۵۰ متر می‌باشد.



شکل ۴. نیمرخ لرزه‌نگاری در بخش میانی تاقدیس سولابدر

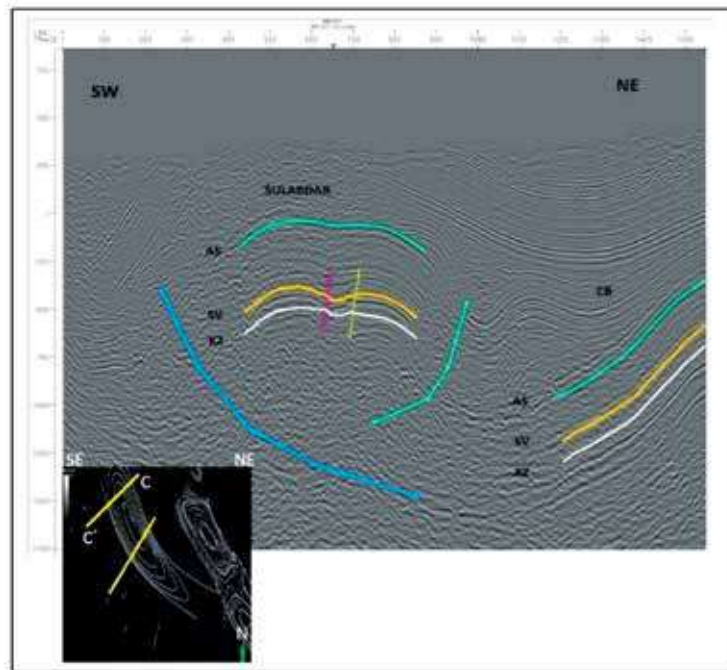
نیمرخ لرزه‌نگاری ۳

(Cosgrove, 2004)، یک راندگی عمقی جلویی شاید منشأ گرفته در افق متحرک پایینی پالئوزوئیک، تا بخش زیرین سازند گچساران نفوذ کرده و باعث ایجاد دگربرختی اصلی و بریدگی واضح در سازندهای حدفاصل آسماری از سازند گدوان شده است، را نشان می‌دهد. در پهنه لولایی تاقدیس در حدفاصل بین سرسازندهای آسماری و گدوان یک افزایش ضخامت نسبت به یال‌های تاقدیس دیده می‌شود. به نظر می‌رسد به دلیل حرکت واحدهای نامقاوم مارن سازندهای پابده و گورپی از یال‌ها به طرف پهنه لولایی تاقدیس باشد. به مانند مقطع شماره ۱ در بخش جنوب شرقی، ضخامت زیاد از توالی شکل‌پذیر مارنی-شیلی و عملکرد پس راندگی‌ها در یال شمالی تاقدیس سولابدر باعث شده است در تاقدیس

این نیمرخ لرزه‌نگاری پایانه شمال باختری تاقدیس سولابدر را پوشش می‌دهد (شکل ۵). بررسی نقشه‌های عمقی زیرسطحی نشان می‌دهد که تاقدیس سولابدر چینی است کم‌وبیش نامتقارن که محور آن دارای روند کلی شمال غربی-جنوب شرقی شرقی است و در پایانه شمال غربی چین دچار چرخش شده است. این چرخش ممکن است در اثر عملکرد گسل‌های عرضی جداکننده این ساختار از تاقدیس‌های بی‌بی حکیمه در شمال غربی و شاپور در جنوب شرقی باشد. نبود کیفیت مناسب مقاطع لرزه‌ای اجازه تفسیر ساختارها تا اعماق را نمی‌دهد. مقاطع رسم و تفسیر داده‌ای بازتابی در مطالعات قبلی (Sherkati et al, 2006; Sepehr and

سازند متفاوت از هندسه تاقدیس فوقانی باشد. همچنین بر پایه نحوه قرارگیری خطوط هم‌شیب و تغییرات ضخامت یال‌ها نسبت به پهنه لولای آن برحسب طبقه‌بندی رمزی، رده دو برای یال شمالی و رده سه برای یال جنوبی در نظر گرفته می‌شود.

زیرین (حداصل افق‌های سروک و کژدمی) چین خوردگی با سطوح محوری دوگانه شکل گیرد. توسعه این راندگی‌ها باعث شده که محور تاقدیس بالایی افق آسماری نسبت به محور تاقدیس‌های فرعی پایینی دچار جابجایی شده باشد و همچنین باعث شده هندسه و سبک تاقدیس در زیر این



شکل ۵. نیمرخ لرزه‌نگاری در بخش شمال غربی سولابدر

پارامترهای هندسی تاقدیس سولابدر

توزیع خمیدگی یال L و رده چین برای هر یک از یال‌ها به‌طور جداگانه محاسبه شده است. تاقدیس سولابدر در نیمرخ‌های لرزه‌نگاری و اعماق مختلف بر اساس زاویه بین یالی (i) زاویه چین خوردگی (ϕ) و فشردگی T، هندسه چین‌های بسته تا باز را نشان می‌دهد (جدول ۱)

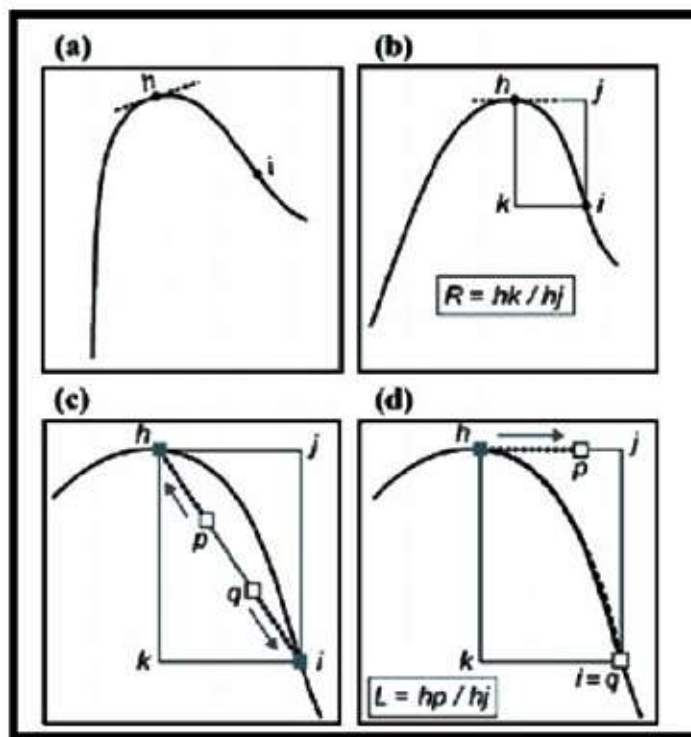
آنالیز سریع شکل چین با استفاده از نمودار Be'zier

روش‌های متعددی برای مقایسه میزان خمیدگی سطوح چین‌خورده بر اساس توابع ریاضی ارائه شده است. برای نمونه استابلر و هوچنین هودلستون (Stabler, 1968; Hudleston, 1973) عنوان کردند دو معادله از سری فوریه برای دسته‌بندی چین‌ها کافی است (دریکوند و همکاران، ۱۳۹۵). اما استو (Stowe, 1988) معتقد است توصیف دقیق شکل چین نیازمند بیش از ۱۰ ضریب فوریه می‌باشد.

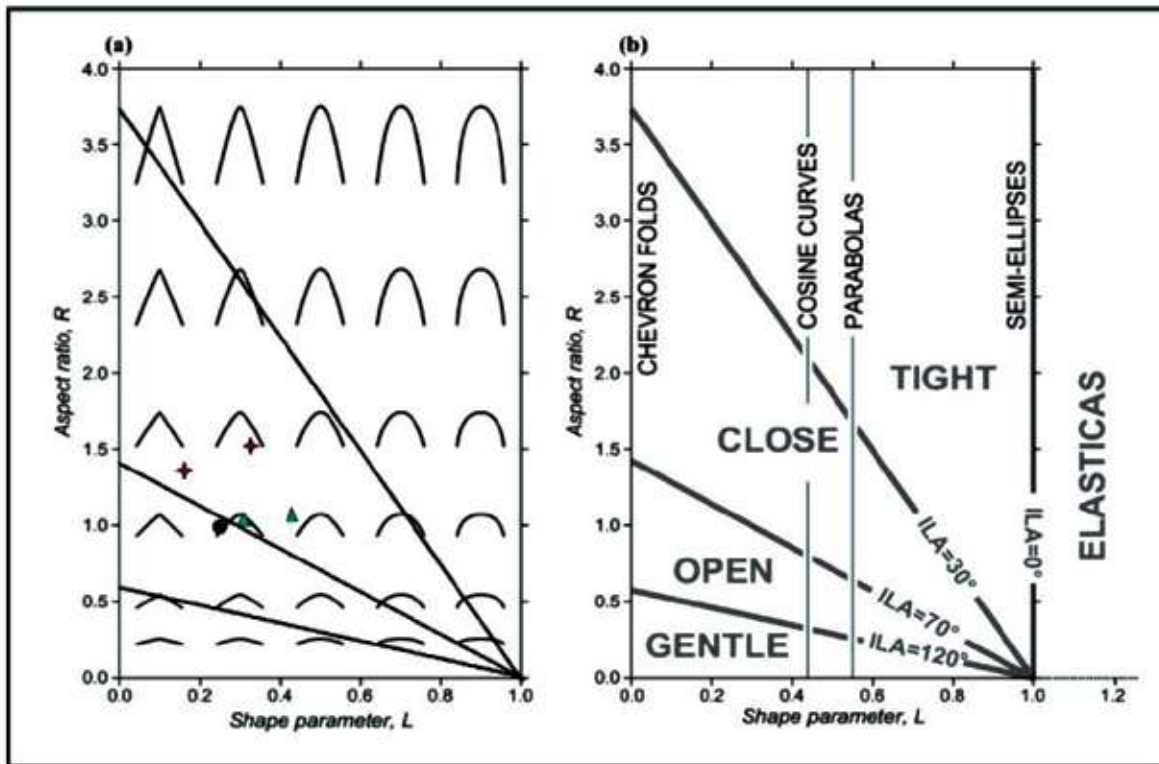
برای انجام تجزیه و تحلیل‌های هندسی تاقدیس سولابدر بر روی برش‌های عرضی، پارامترهای هندسی اندازه‌گیری شده‌اند. سطوح چین‌خورده طیف وسیعی از هندسه‌های گرد با توزیع به نسبت یکنواخت خمیدگی تا هندسه‌های جناغی که خمیدگی در پهنه لولای متمرکز شده، را نشان می‌دهد (حاجی علی بیگی و همکاران، ۱۳۹۳). در این بخش با استفاده از چند روش مرسوم و ساده، پارامترهای هندسی برای تاقدیس سولابدر در نیمرخ‌های لرزه‌نگاری مختلف محاسبه می‌شود. این پارامترها برای سرسازند آسماری و در برخی از نیمرخ‌های لرزه‌نگاری برای سرسازند سروک استخراج شده است (جدول ۱). از آنجا که تاقدیس سولابدر در اکثر نیمرخ‌های لرزه‌نگاری هندسه کم‌وبیش نامتقارن با تمایل به سمت جنوب غرب دارد، پارامترهایی مانند نسبت اندازه R،

است. پارامتر شکل L بین مقادیر $0/18$ تا $0/42$ متغیر است (جدول ۱). در یال‌های تاقدیس سولابدر در نیمرخ‌های مختلف پارامتر هندسی نسبت اندازه (R) بین مقادیر $1/1$ تا $1/56$ متغیر است (جدول ۱). بر این اساس تاقدیس سولابدر با واژه‌های متعادل تا پهن توصیف شده است. پارامترهای $R-L$ و زاویه بین یالی استخراج شده برای نیمرخ‌های تاقدیس سولابدر بر روی نمودار ارائه شده توسط سیروستاوا و لیزله (Srivastava and Lisle, 2004) پیاده شدند (شکل ۷). همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، اکثر داده‌های مربوط به نیمرخ‌های لرزه‌نگاری مختلف در بخش پایینی نمودار و در بین محدوده چین‌های جناغی و کسینوسی متمرکز یافته‌اند. فرارگیری تاقدیس سولابدر در رده چین‌های باز تا کم‌وبیش بسته (بر اساس زاویه بین یالی) و نیز موقعیت یال‌های این تاقدیس در نمودار سیروستاوا و لیزله (Srivastava and Lisle, 2004) نشان‌دهنده تفاوت در شکل چین و به تبع آن تفاوت در شدت دگرریختی در این بخش‌های مختلف این تاقدیس می‌باشد. در ادامه این تفاوت شدت دگرریختی تحلیل می‌شود.

سیروستاوا و لیزله (Srivastava and Lisle, 2004) بر اساس منحنی Bézier سطوح خمیده، دو پارامتر R و L را برای توصیف شکل چین‌ها ارائه نموده‌اند. این پارامترها برای هر یال چین در حد فاصل نقطه لولا تا نقطه عطف ارائه شده است. پارامتر R نسبت اندازه (نسبت دامنه به نصف پهنای چین) و پارامتر L توزیع خمیدگی در یال چین می‌باشد (شکل ۶). در مورد چین‌های متقارن می‌توان یک عدد را به‌عنوان نسبت اندازه کل چین در نظر گرفت. اما در مورد چین‌های نامتقارن به دلیل تفاوت بین شیب و طول دو یال‌ها، یک عدد نمی‌تواند بیانگر نسبت اندازه برای چین باشد. بر این اساس سیروستاوا و لیزله (Srivastava and Lisle, 2004) پیشنهاد کردند این نسبت برای هر یک از یال‌های چین به‌صورت جداگانه ارائه شود. پارامتر L توزیع خمیدگی را در یال چین نشان می‌دهد. $L=0$ نشان‌دهنده یال مستقیم و متمرکز خمیدگی در لولا است، در چین‌های جناغی دیده می‌شود و $L=1$ مربوط به هندسه‌های دایره‌ای یا گرد است. پارامترهای $L>1$ نشان‌دهنده یال‌های با شیب منفی است. برای تاقدیس سولابدر نسبت اندازه برای هر یک از یال‌ها در نیمرخ‌های لرزه‌نگاری مختلف محاسبه شده



شکل ۶. مراحل محاسبه پارامتر شکلی L و R



شکل ۷. (a) شکل چین به دست آمده با پارامترهای R و L. اعداد نشانگر شماره نیمرخها هستند. دایره مشکی اعداد مربوط به نیمرخ ۱، لوزی قرمز اعداد مربوط به نیمرخ ۲، مثلث سبز اعداد مربوط به نیمرخ ۳ هستند. (b) دسته بندی زاویه بین یالی و هندسه چین ایده آل نشان داده شده در نمودار R و L (Srivastava and Lisle, 2004)

(نیمرخ ۱) نشان می دهد. همچنین برای بخش میانی و شمال غربی (نیمرخ های ۲ و ۳) با توجه به شکل چین و مقادیر پارامترهای R و L دگرشکلی بیشتری را متحمل شده اند و الگوی چین خوردگی بیشتر در ارتباط با انتشار رانندگی ها هستند، رده های دو را در یال جنوب غربی کم شیب تر و رده سه را در یال های شمال شرقی پرشیب تر نشان می دهند (جدول ۱). تغییرات چینه شناسی مکانیکی سازندهای مختلف که نقش اصلی را در تعیین مدل جنبشی چین خوردگی دارند به همراه تغییرات شدت دگرشکلی تحت تاثیر عملکرد توام خطواره های پی سنگی عرضی و طولی و تغییرات نسبت ضخامت واحدهای سنگی پرقوام به کم قوام، موجب شکل گیری رده های مختلف چین در تاقدیس سولابدر می شود. در بخش های جنوب شرقی تاقدیس سولابدر شدت دگرشکل و فشردگی کمتر می باشد چین رده ۱c را نشان می دهند ولی در بخش میانی تاقدیس و شمال غربی (روند محور چین دچار چرخش شده و در یک پهنه گسلی راستگرد

نسبت نوک دار بودن یا کنندی چین b

نوک دار بودن، انحنا نسبی چین در بستگی آن مورد ارزیابی قرار می دهد. و به صورت زیر محاسبه می شود: $b = r_c / r_0$ for $(r_c < r_0)$ و همچنین $b = 2 - r_0 / r_c$ for $(r_c > r_0)$. شعاع انحنا در بستگی چین و r_0 شعاع دایره مماس بر یال ها در نقاط عطفشان است (Twiss and Moores, 1992). بر اساس پارامتر کنندی (b) تاقدیس سولابدر در بخش جنوب شرقی نیمه مدور و در بخش های میانی و شمال غربی، نیمه زاویه دار توصیف شده است (جدول ۱). نیمه زاویه دار بودن نیمرخ های بخش مرکزی و شمال غربی در مقایسه با نیمه مدور بودن نیمرخ بخش جنوب شرقی حاکی از کوتاه شدگی بیشتر و شدت دگرریختی در بخش های میانی و غربی تاقدیس است.

تقسیم بندی تاقدیس سولابدر بر پایه نحوه قرارگیری خطوط هم شیب

تغییرات ضخامت یال های تاقدیس سولابدر نسبت به پهنه لولایی آن، رده های ۱c را برای بخش جنوب شرقی

(α)، زاویه بین یالی چین (γ) و تغییرات ضخامت پیش یال مرتبط با گسل به هم وابسته‌اند. این پارامترها برای هر یک از نیمرخ‌های لرزه‌نگاری از راس افق آسماری تاقدیس سولابدر نسبت به پس یال می‌باشند. این پارامترها در انواع چین‌های

جدول ۱. پارامترهای هندسی استخراج شده از هر یک نیمرخ‌های لرزه‌نگاری در تاقدیس رگ سفید

نیمرخ ۱	نیمرخ ۲	نیمرخ ۳		
۱۰۳	۹۰	۹۶	زاویه بین یالی (درجه)	
۷۷	۹۰	۸۴	زاویه چین خوردگی (ϕ)	
تقریباً مقارن	نامتقارن	نامتقارن	تقارن	
۸۷	۸۲	۸۲	زاویه تمایل	
SW	SW	SW	جهت تمایل	
باز	تقریباً بسته	بسته	فشرده‌گی (T)	
۴۰	۵۰	۴۰	شیب یال شمال خاوری	
۳۶	۳۸	۳۴	شیب یال جنوب باختری	
۱/۱	۱/۴	۱/۲۲	یال شمال خاوری	نسبت ابعاد
۰/۰۴۱	۰/۱۴	۰/۰۸۶	LogR	
متعادل	متعادل	متعادل	واژه توصیفی	L
۱/۱	۱/۵۶	۱/۱۵	یال جنوب باختری	
۰/۰۴۱	۰/۱۹	۰/۰۷۱	LogR	کندی (b)
متعادل	متعادل	متعادل	واژه توصیفی	
۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۴۲	یال شمال خاوری	Ramsay and Huber (۱۹۸۷)
۰/۲۳	۰/۲۸	۰/۳۵	یال جنوب باختری	
۰/۵۴	۰/۳۷	۰/۳۳	rc/ro	رده‌بندی
نیمه مدور	نیمه زاویه‌دار	نیمه زاویه‌دار	واژه توصیفی	
۳۵	۴۰	۳۰	α	رده‌بندی Ramsay and Huber (۱۹۸۷)
۰/۹۳	۰/۷۶	۰/۸۹	$\alpha t'$ یال شمال خاوری	
۱/۱۶	۱	۱/۲	$\alpha T'$ یال شمال خاوری	رده‌بندی (۱۹۸۷)
۱c	۲	۲	رده چین	
۴۵	۶۰	۴۷	α	رده‌بندی Ramsay and Huber (۱۹۸۷)
۰/۸	۰/۴۷	۰/۶۵	$\alpha t'$ یال جنوب باختری	
۱/۱	۰/۸	۱/۰۸	$\alpha T'$ یال جنوب باختری	رده‌بندی (۱۹۸۷)
۱c	۳	۳	رده چین	

قرار گرفته) در اثر افزایش کوتاه‌شدگی شاهد پدیده انتشار گسل هستیم، در این حالت شدت دگرشکلی بیشتر شده و موجب تبدیل تکاملی رده چین از رده‌های ۱c به رده‌های دو و سه هستیم.

سازوکار چین خوردگی در بخش‌های مختلف تاقدیس سولابدر

بر مبنای تحلیل‌های صورت گرفته از چین خوردگی‌های مرتبط با گسلش راندگی، سه دسته اصلی از این چین‌ها به صورت صورت چین‌های خم گسلی، چین‌های انتشار گسل و چین‌های جدایش گسل رده‌بندی شده‌اند

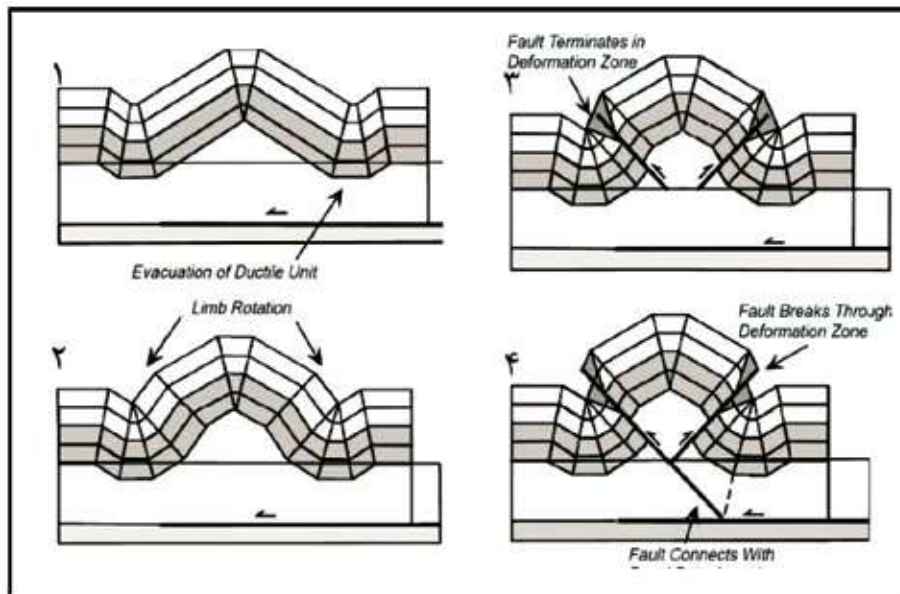
برای بررسی هندسه چین‌ها به کار رفته است. می‌توان به مقایسه هندسه چین با شکل‌های آرایه شده توسط میترا (Mitra, 2002) و استفاده از نمودارهای چین‌های مرتبط با گسل‌های راندگی ارائه شده توسط جیمسون (Jamison, 1987) اشاره کرد. جیمسون (Jamison, 1987) با استفاده از پارامترهای هندسی و تغییرات ضخامت یال‌ها برای سازوکارهای اصلی چین خوردگی مرتبط با گسل، نمودارهایی را ارائه کرده است. پارامترهای مورد استفاده در این نمودارها شامل زاویه پلکان گسل (α) یا شیب پس یال

شده است (شکل a-9). در این نیمرخ شاهد توسعه بخش بالابرجسته کم‌وبیش متقارن در اثر فعالیت پس راندگی‌ها به همراه راندگی اصلی هستیم. هندسه این نیمرخ و سبک جدایشی گسل خورده در این نیمرخ شبیه الگوی دو میترا (Mitra, 2002) می‌باشد (شکل ۸). در این حالت پس راندگی‌ها به صورت مستقل در نتیجه چرخش پس‌یال چین و تمرکز کرنش در این یال توسعه می‌یابند. در این حالت ساختار بالاجسته هندسه تقریباً متقارن دارد. رده چین در این نیمرخ با استفاده از نحوه قرارگیری خطوط هم‌شیب، رده ۱c را برای این بخش تاقدیس نشان می‌دهد و حاکی از دگرریختی با شدت کمتر نسبت به بخش‌های میانی و غربی تاقدیس است (شکل a-9).

در (جدول ۲) آورده شده است. موقعیت هر یک از نیمرخ‌های لرزه‌نگاری تاقدیس سولا بدر با استفاده از این پارامترها بر روی نمودارهای جیمسون (Jamison, 1987) مشخص شده است.

سازوکارهای چین خوردگی در نیمرخ لرزه‌نگاری یک واقع در بخش جنوب خاوری تاقدیس

زاویه بین یالی ۱۰۳ درجه و شیب یال پشتی به میزان ۴۰ درجه و همچنین مقایسه ستبرای لایه مبنا و پهلوی پیشانی نشان‌دهنده ۳۰ درصد ضخیم‌شدگی پیش‌یال می‌باشد و با مقدار تغییرات ضخامت به دست آمده از نیمرخ لرزه‌نگاری ۱ همخوانی دارد (جدول ۲). این پارامترها سبک چین خوردگی جدایشی را نشان می‌دهد، یال پیشانی دچار برش شدگی



شکل ۸. الگوی ۲ تکامل جنبشی چین جدایشی گسل خورده متقارن، (۱) شکل‌گیری تاقدیس متقارن، (۲) تنگ‌شدگی تاقدیس و چرخش هر دو یال تاقدیس، (۳) انتشار گسل در واحدهای پرقوام یال‌ها، (۴) اتصال یکی از گسل‌ها به افق جدایشی (Mitra, 2002)

فشرده‌تر و مقادیر R و L و همچنین رده چین در این نیمرخ با استفاده از نحوه قرارگیری خطوط هم‌شیب، رده‌های دو و سه را برای این بخش تاقدیس نشان می‌دهد که حاکی از دگرریختی با شدت بیشتر نسبت به بخش شرقی است.

سازوکارهای چین خوردگی در نیمرخ لرزه‌نگاری سه واقع در بخش شمال باختری تاقدیس

زاویه بین یالی ۹۶ درجه و شیب راندگی اصلی به میزان ۳۲ درجه و همچنین مقایسه ستبرای لایه مبنا و پهلوی پیشانی

سازوکارهای چین خوردگی در نیمرخ لرزه‌نگاری دو واقع در بخش مرکزی تاقدیس

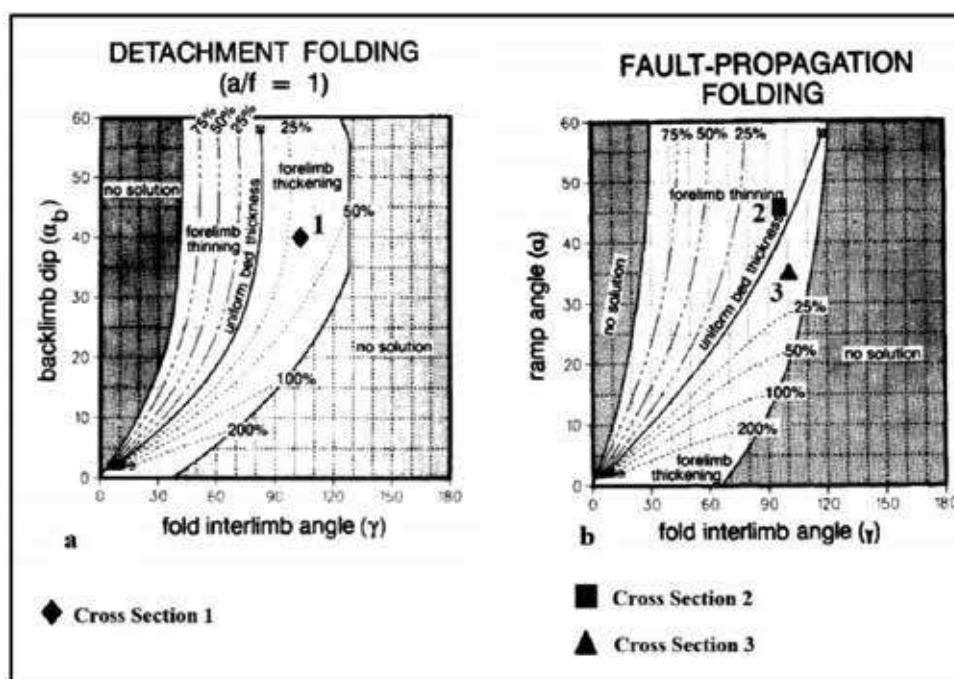
زاویه بین یالی ۹۵ درجه و شیب راندگی اصلی به میزان ۴۵ درجه و همچنین مقایسه ستبرای لایه مبنا و پهلوی پیشانی نشان‌دهنده پنج درصد نازک‌شدگی پیش‌یال می‌باشد و با مقدار تغییرات ضخامت به دست آمده از نیمرخ لرزه‌نگاری دو همخوانی دارد (جدول ۲). این پارامترها سبک چین خوردگی انتشار گسل را نشان می‌دهد (شکل b-9). زاویه بین یالی

در این نیمرخ با استفاده از نحوه قرارگیری خطوط هم‌شیب، رده دو و سه را برای این بخش تاقدیس نشان می‌دهد که حاکی از دگرریختی با شدت بیشتر نسبت به بخش شرقی است.

نشان دهنده هشت درصد ضخیم شدگی پیش‌یال می‌باشد. با مقدار تغییرات ضخامت به دست آمده از نیمرخ لرزه‌نگاری سه همخوانی دارد (جدول ۲). با این پارامترها سبک چین‌خوردگی انتشار گسل را نشان می‌دهد (شکل ۹-ب). زاویه بین یالی فشرده‌تر و مقادیر R و L و همچنین رده چین

جدول ۲. داده‌های مربوط به نیمرخ‌های لرزه‌نگاری مختلف جهت استفاده از نمودارهای جیمسون (Jamison, 1987)

نیمرخ ۱	نیمرخ ۲	نیمرخ ۳	
۱۰۳	۹۵	۹۶	زاویه بین یالی (γ)
۴۰	۴۵	۳۲	شیب پس‌یال (αb) یا شیب پلکان گسل (α)
۳۰٪ ضخیم شدگی	۵٪ نازک شدگی	۸ ضخیم شدگی	تغییرات ضخامت پیش‌یال (درصد)



شکل ۹.۹. نمایش موقعیت نیمرخ‌های لرزه‌نگاری بازتابی مختلف تاقدیس سولابدر بر روی نمودارهای جیمسون (Jamison, 1987). شکل لوزی موقعیت جایگاه نیمرخ‌های شماره یک واقع در بخش جنوب شرقی ۱ را نشان می‌دهد، (b) شکل‌های مربع و مثلث به ترتیب جایگاه نیمرخ‌های شماره دو و سه به ترتیب در بخش‌های مرکزی و شمال غربی تاقدیس سولابدر را نشان می‌دهند

بحث

جدایش متفاوت بوده و سبک چین‌خوردگی در سطح ناچار ساختارهای ژرف را منعکس نمی‌کند (O' Brein, 1957; Massoli and Koyi, 2006; Sherkati et al., 2006). پوشش رسوبی زاگرس دارای تغییرات قابل توجه در رخساره و ستبرای واحدهای سنگی است. در ستون چین‌شناسی زاگرس سطوح مقاومی وجود دارد و توسط سطوح جدایش تبخیری و شیلی تفکیک می‌شوند و در طی دگرشکلی

ویژگی‌های مکانیکی پوشش رسوبی یکی از عوامل اساسی کنترل‌کننده سبک دگرریختی در کمربندهای چین‌خورده-رانده می‌باشد. (Davis and Engelder, 1985; Cotton, 2001; Turrini et al., 2000; Koyi, 2000) سبک دگرریختی پوشش رسوبی در کمربندهای چین‌خورده-رانده دارای افق‌های جدایش میانی، در بالا و زیر این افق‌های

که تغییرات عمودی در شکل تاقدیس سولابدر به طور عمده مرتبط با سبک چین خوردگی خمشی لغزشی است و باعث تغییرات در شکل چین مانند دو لولایی شدن می شود. در این سبک از چین خوردگی، ستبرای لایه ثابت است و یک چین موازی (رده 1B) یا هم مرکز را ایجاد می کند. این گونه چین ها به وسیله تنش موازی با لایه بندی اولیه در اثر حرکات گسل های راندگی ایجاد می شوند. همچنین ضخامت زیاد از توالی شکل پذیر مارنی-شیلی و عملکرد پس راندگی ها در یال شمالی تاقدیس سولابدر باعث شده است در تاقدیس زیرین (حداصل افق های سر و ک و کژدمی) چین خوردگی با سطوح محوری دو گانه شکل گیرد. توسعه این راندگی ها باعث شده محور تاقدیس بالایی افق آسماری نسبت به محور تاقدیس های فرعی پایینی دچار جابجایی شده باشد و همچنین باعث شده هندسه و سبک تاقدیس در زیر این سازند متفاوت از هندسه تاقدیس فوقانی باشد. پارامترهای هندسی و شکل چین خوردگی نشان می دهد در مقطع های مختلف عرضی عمود بر تاقدیس سولابدر، شاهد تفاوت هایی در سبک های چین خوردگی وابسته به گسل هستیم. در بخش های میانی و شمال غربی تاقدیس سولابدر (نیمرخ های دو و سه) نسبت به بخش جنوب شرقی، با افزایش میزان کوتاه شدگی، کندی چین به شکل نیمه زاویه دار و زاویه بین یالی مقادیر کمتر را نسبت به بخش شرقی نشان می دهد. همچنین در بخش های میانی و شمال غربی تاقدیس، یال های پشتی و جلویی به ترتیب رده های دو و سه را دارا می باشند. محاسبه زاویه بین یالی و درصد نازک شدگی پیش یال و مقایسه با نمودارهای جیمسون (Jamison, 1987) در نیمرخ های دو و سه، سبک چین خوردگی وابسته به انتشار گسل را نشان می دهد. در مقطع های دو و سه آثار انتشار و مهاجرت راندگی ها در فرودیواره راندگی های قبلی قابل مشاهده است. نیمرخ های شماره یک واقع در بخش شرقی بالابرجسته، دارای کندی چین به شکل نیمه مدور می باشد و زاویه بین یالی، مقادیر بیشتری را نسبت به بخش های میانی و غربی نشان می دهد. در بخش شرقی تاقدیس، رده چین در یال های جلویی و پشتی 1C می باشد و نشان می دهد که مقادیر کوتاه شدگی و دگرریختی نسبت به بخش های میانی

به عنوان افق های متحرک های میانی درگیر می شوند (Sherkati and Letouzey, 2006). در فروافتادگی دزفول گروه مقاوم واحد ساختمانی منفردی را تشکیل می دهد، میان دو افق گسستگی تحتانی و فوقانی قرار گرفته است و در عین حال تعدادی سطوح گسستگی میانی نیز در داخل این مدل رسوبی مقاوم گزارش شده است.

رفتار شکل پذیر و ضخامت قابل توجه از سازند گچساران و سایر افق های شکل پذیر در حدفاصل کربنات های مقاوم میانی در توالی رسوبی فروافتادگی دزفول جنوبی، منجر به بروز سبک های متفاوت چین خوردگی در بالا و پایین این آنها و همچنین تکامل ساختارهای توسعه یافته در واحدهای سنگی پهنه شده است. به نحوی ساختارهای بخش بالایی و پایینی به طور کامل از هم جدا شده و بر هم منطبق نیستند (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۸). نتایج حاصل از حفاری چاه های حفر شده در میدان نفتی سولابدر تا سازند مخزنی فهلیان نشان می دهد در تاقدیس سولابدر به دلیل ضخامت کمتر و نبود وجود لیتولوژی نمک ضخیم در سازند گچساران و با توجه به رخنمون سازند فرسایش یافته گچساران در سطح زمین، افق های شکل پذیر و موثر بر تکامل هندسی چین خوردگی ها به طور عمده شامل مارن و شیل های سازند پاینده، گورپی، کژدمی و گدوان هستند. این مورد نشان می دهد برخلاف تاقدیس های شمالی از جمله تاقدیس رگ سفید (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۸)، جریک (لشکری و همکاران، ۱۴۰۰)، اهواز، مارون (طالبی و همکاران، ۱۳۹۸) و غیره، سازند گچساران نسبت به افق های شکل پذیر عمیق تر به عنوان افقی متحرک، نقش کمتری را در تکامل و هندسه چین خوردگی سولابدر ایفا می کند. در تمام نیمرخ های لرزه ای بازتابی عمود بر تاقدیس سولابدر، یک راندگی عمقی جلویی منشا گرفته در افق متحرک پایینی پالتوزوئیک تا بخش زیرین سازند گچساران نفوذ کرده است، باعث ایجاد دگرریختی اصلی و بریدگی واضح در سازندهای حد فاصل آسماری از سازند گدوان شده است. بررسی هندسه چین، مقایسه ضخامت بخش های مختلف تاقدیس و تاریخچه تکامل تکتونیکی جنوب فروافتادگی دزفول (در ارتباط با تاثیر گسلش پیش گودال زاگرس بر شکل گیری تاقدیس سولابدر) نشان می دهد

چین خوردگی مرتبط با گسلش، مطالعه موردی: تاقدیس کاسه ماست، جنوب منطقه لرستان. فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۹، ۱۰-۳.

- دریکوند، ب.، علوی، س.ا.، حاجی علی بیگی، ح. و عبداللهی فرد، ا.، ۱۳۹۵. تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس زیلویی در بخش شمالی فروبار دزفول، جنوب باختر ایران. فصلنامه پژوهش‌های دانش زمین، ۲۸، ۸۱-۵۹.

- طالبی، ح.، علوی، ا.، قاسمی، م.ر. و شرکتی، ش.، ۱۳۹۸. تفاوت رژیم تنش برجا وابسته به موقعیت ساختاری و ویژگی‌های ژئومکانیکی، نمونه موردی در سازندهای گچساران و آسماری، جنوب باختر ایران. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۴۹، ۹۹-۱۱۵.

- لشکری، ا.، هیهات، م.ر.، خطیب، م.م. و نجفی، م.، ۱۴۰۰. سن چین‌خوردگی تاقدیس جریک در فروافتادگی دزفول براساس مطالعه هندسه چین‌های رشدی. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۵۸، ۷۹-۶۹.

- یوسفی، م.، موسوی، س.م. و خطیب، م.م.، ۱۳۹۸. تاثیر سازند متحرک گچساران بر سبک چین‌خوردگی و تکامل تکتونیکی تاقدیس رگ سفید در فروافتادگی دزفول جنوبی. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۴۹، ۳۵-۲۳.

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

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

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

- Dahlstrom, C.D.A., 1970. Structural geology in the eastern margin of Canadian Rocky Mountains. *Canadian Petroleum Geology Bulletin*, 18, 332-406.

و غربی تاقدیس کمتر می‌باشد. محاسبه زاویه بین یالی و درصد نازک‌شدگی پیش‌یال و مقایسه با نمودارهای جیمسون (Jamison, 1987) و همچنین مقایسه هندسه چین با الگوهای میترا (Mitra, 2002) در نیمرخ یک سبک جدایشی گسل خورده الگوی دو متقارن را نشان می‌دهند.

نتیجه‌گیری

محاسبه مقادیر پارامترهای هندسی و بررسی شکل چین‌خوردگی نشان می‌دهد در مقطع‌های مختلف عرضی عمود بر تاقدیس سولابدر، تفاوت‌هایی در سبک‌های چین‌خوردگی وابسته به گسلش وجود دارد. نتیجه‌های ما نشان می‌دهد تغییر رده چین‌خوردگی از رده ۱c به رده‌های دو و سه و همچنین تغییر سبک چین‌خوردگی از چین‌های جدایشی در بخش شرقی به سبک انتشار گسلی بخش‌های میانی و شمال غربی تاقدیس سولابدر، بیانگر افزایش کوتاه‌شدگی، پیشرفت دگرشکلی و تکامل چین از بخش‌های جانبی شرقی به بخش‌های میانی و غربی می‌باشد. در پیش بوم کمربندهای راندگی به دلیل شدت دگرشکلی کمتر نسبت به پس بوم راندگی‌ها، می‌توان مراحل اولیه دگرشکلی در ساختارها را مشاهده کرد. مقایسه مقادیر کوتاه‌شدگی، پارامترهای هندسی، میزان فشردگی، رده‌های چین‌خوردگی و تعیین سبک‌های چین‌خوردگی در نیمرخ‌های سه‌گانه در تاقدیس سولابدر، حاکی از قرارگیری بخش جانبی شرقی (نیمرخ شماره یک) در مرحله ابتدایی سیستم گسلش-راندگی می‌باشد. سبک چین‌خوردگی جدایشی در این نیمرخ تأیید کننده مقادیر کمتر دگرشکلی می‌باشد. همچنین مقادیر هندسی محاسبه شده در بخش‌های میانی و غربی (نیمرخ‌های دو و سه) حاکی از قرارگیری این بخش‌ها در مراحل تکامل یافته‌تر سیستم گسلش راندگی می‌باشد که سبک چین‌خوردگی انتشار گسلی در این نیمرخ‌ها تأیید کننده افزایش میزان دگرشکلی چین‌ها، تنگ‌شدگی بیشتر چین و افزایش میزان برش در تاقدیس فرادیواره می‌باشد.

منابع

- حاجی علی بیگی، ح.، علوی، ا.، افتخار نژاد، ج.، مختاری، م. و آدابی، م.، ۱۳۹۳. تحلیل هندسی

- Davis, D.M. and Engelder, T., 1985. The role of salt in fold-and-thrust belts. *Tectonophysics*, 19, 67-88.
- Erickson, S.G., Strayer, L.M. and 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.
- Jamison, W.R., 1987. Geometric analysis of fold development in overthrust terrains. *Journal of Structural Geology*, 9, 207-219.
- Homza, T.K. and Wallace, W.K., 1995. Geometric and kinematics models for detachment folds with fixed and variable detachment depths. *Journal of Structural Geology*, 17, 575-588.
- Hudleston, P.J., 1973. Fold morphology and some geometrical implications of theories of fold development: *Tectonophysics*, 16, 1-46.
- Letouzey, J. and Sherkati, S., 2004. Salt movement, tectonic events and structural style in the central Zagros fold and thrust belt (Iran), in 24th Annual GCSSEPM Foundation, Salt-Sediments Interactions and Hydrocarbon Prospectivity, Concepts, Applications and Case Studies for the 21st Century, Soc. of Econ. Paleontol. And Mineral. Found. Houston, Tex.
- MacClay, K., 2001. *Advanced Structural Geology in Petroleum Exploration*, 275.
- Massoli, D., Koyi, H.A. and Barchi, M.R., 2006. Structural evolution of a fold and thrust belt generated by multiple décollements: Analogue models and natural examples from the northern Apennines (Italy), *Journal of Structural Geology*, 28, 185-190.
- McQuarrie, N., 2004. Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Journal of Structural Geology*, 26, 519-535.
- Mitra, S., 1990. Fault-propagation folds: Geometry, kinematics evolution, and hydrocarbon traps. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 74, 921-945.
- Mitra, S., 2002. Structural models of faulted detachment folds. *AAPG Bulletin*, 86, 1673-1694.
- O'Brien, C.A.E., 1950. Tectonic problems oil field belt of southwest Iran. In: 18 the International Geological Congress, Proceedings, Great Britain.
- O'Brien, C.A.E., 1957. Salt diapirism in south Persia. *Geologie en Mijnbouw*, 19, 357-376.
- Poblet, J. and McClay, K.R., 1996. Geometry and kinematics of single layer detachment folds. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 80, 1085-1109.
- Ramsay, J.G. and Huber, M.I., 1987. *The Techniques of Modern Structural Geology*, 1: Strain Analysis. Academic Press, London, 307.
- 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*. Chapman and Hall, London.
- Sepehr, M. and Cosgrove, J.W., 2004. Structural framework of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 21, 829-843.
- Sherkati, S. and Letouzey, J., 2004. Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone Dezful Embayment), Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 21, 535-554.
- Sherkati, S., Letouzey, J. and Frizon de Lamotte, D., 2006. The Central Zagros fold-thrust belt (Iran): New insights from seismic data, field observation and sandbox modeling. *Tectonics*, 25, 1-27.
- Srivastava, D.C. and Lisle, R.J., 2004. Rapid analysis of fold shape using Bézier curves. *Journal of Structural Geology*, 26(9), 1553-1559.
- Stabler, C.L., 1968. Simplified Fourier analysis of fold shapes. *Tectonophysics*, 6, 343-

350.

- Stowe, C.W., 1988. Application of Fourier analysis for computer representation of fold profiles: *Tectonophysics*, 156, 311-333.

- 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.

- Suppe, J., Chou, G.T. and Hook, S.C., 1992. Rates of folding and faulting determined from growth strata. In: McClay, K. R. (ed.), *Thrust Tectonics*, Chapman and Hall, London, 105-122.

- Turrini, F., Van-Buchem, F. and Razin, P., 2001. High resolution sequence stratigraphy of the Bangestan group in a tectonically active setting (Dezful- Izeh) Zagros-Iran, paper presented at AAPG International Conference, Barcelona, Spain.

- Twiss, R.J. and Moores, E.M., 1992. *Structural Geology*: W. H. Freedman and Co., New York, 532.

- Wallace, W. K. and 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.