

تحلیل هندسی و جنبشی چین خوردگی خانه سرخ در منطقه لرستان، کمربند چین خورده - رانده زاگرس

خاتون پیردادی^۱، عزیز رحیمی^{۲*} و محمد مهدی فرهپور^۳

۱. کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

۲. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

۳. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۱۶

چکیده

این پژوهش برای تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس خانه سرخ به منظور شناخت سبک ساختاری انجام شده است. چین خوردگی خانه سرخ، تاقدیسی طویل و باریک است و در اثر لغزش بر روی سازند گرو در منطقه لرستان قرار گرفته است. سازند گرو یک سطح جدایش میانی در منطقه می‌باشد. به منظور تحلیل هندسی این تاقدیس، سه برش ساختاری عمود بر اثر سطح محوری چین رسم شده است. براساس تحلیل هندسی برش‌های عرضی و مقایسه پارامترها با انواع مدل‌های متفاوت چین‌های مرتبط با گسل‌های رانده، می‌توان پیشنهاد کرد که تاقدیس خانه سرخ در دسته چین‌های جدایشی گسل خورده قرار دارد. بنابراین هندسه چین جدایشی و تکامل جنبشی تحلیل شده برای تاقدیس خانه سرخ براساس مدل ارائه شده معتبر است.

واژه‌های کلیدی: تاقدیس خانه سرخ، تحلیل هندسی و جنبشی، لرستان، برش عرضی.

مقدمه

کمربند چین خورده ساده زاگرس از مجموعه‌ای از چین‌هایی در یک سیستم چندلایه‌ای ضخیم از رسوبات پالئوزوئیک تا سنوزوئیک گسترش یافته که در حاشیه شمالی صفحه عربستان انباشته شده است (Casciello et al., 2009). علاوه بر این، اغلب چین‌هایی که در کمربند چین خورده ساده زاگرس قرار دارند از نوع نامتقارن هستند به صورتی که پرشیب‌ترین دامنه تاقدیس‌ها در دامنه جنوب‌غربی قرار دارد (Colman-Sadd, 1978).

تاقدیس خانه سرخ در ناحیه لرستان در زاگرس چین خورده که روند کلی آن هم‌راستا با زون راندگی‌ها است

کمربند کوهزایی زاگرس با روند شمال غرب-جنوب شرق و با طول تقریبی ۱۸۰۰ کیلومتر از ترکیه به سمت جنوب شرقی ایران گسترش یافته است، که در بخش میانی سیستم برخوردی آلپ-همالیا قرار گرفته است. زاگرس به مناطق ساختاری با روند موازی با صفحه زمین‌درز تقسیم‌بندی شده است (شکل ۱)، که توسط لیتولوژی مشخص و سبک ساختاری مشخص می‌شود و توسط گسل‌ها با مقیاس منطقه‌ای همچون راندگی اصلی زاگرس، گسل زاگرس مرتفع و گسل پیشانی کوهستان از هم جدا می‌شود (Falcon, 1969; Berberian, 1995).

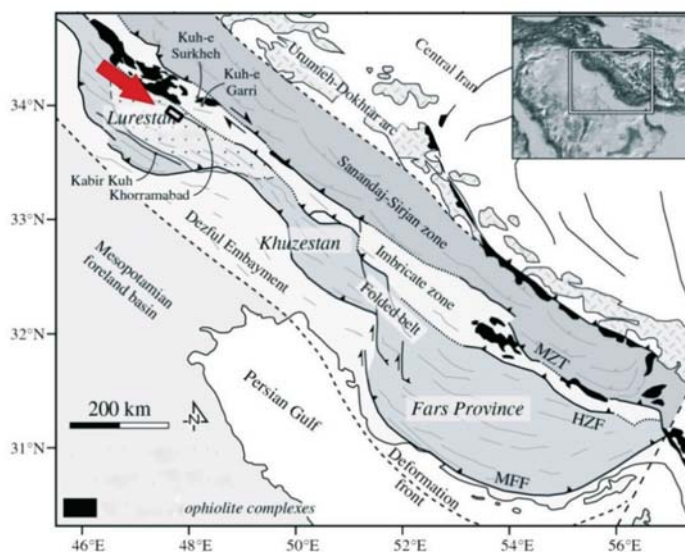
* نویسنده مرتبط: a.rahimi@gu.ac.ir

شمال غرب-جنوب شرق که در ارتباط با چین خوردگی زاگرس (میوسن میانی) هستند و بر روی ساختارهای قدیمی تر شکل گرفته اند (Talbot and Alavi, 1996). از نظر زمین شناسی ساختاری و زون های ساختاری به استثناء حاشیه شرقی، بخش عمده استان لرستان در ارتفاعات زاگرس قرار دارد که به لحاظ داشتن ذخایر نفتی از دیرباز مورد مطالعه زمین شناسان قرار داشته است. تاقدیس خانه سرخ در منطقه لرستان قرار دارد. این منطقه از دیدگاه زمین شناسی یک پیش آمدگی در کمربند چین خورده-رانده شده زاگرس به شمار می آید (Talbot and Alavi, 1996). از شرق شهرستان خرم آباد تا مرز غربی استان لرستان به عنوان بخشی از کوه های زاگرس چین خورده ساختارها از انواع تاقدیس ها و ناودیس های ممتد و منظم اند که با پهنه گسلیده و رانده شده شمال شرقی زاگرس (زاگرس مرتفع) تضاد کامل دارند. ریخت شناسی این بخش، عموماً کوهساز با ستیخ های بلند و دره های عمیق است که گاهی دسترسی به بعضی از آنها بسیار دشوار است. در بخش زاگرس چین خورده استان لرستان (غرب خرم آباد تا مرز غربی استان) اشکال ساختاری به صورت تاقدیس ها و ناودیس هایی است که صفحات محوری آنها در راستای شمال غربی- جنوب شرقی و تا اندازه ای ماریچج است.

(آقنابتی، ۱۳۸۹) واقع شده است. از آنجا که کمربند چین خورده-رانده زاگرس واجد ذخایر عظیم هیدروکربوری است و اکثر تله های نفتی تاقدیسی هستند، بررسی هندسه و سبک ساختاری آنها حائز اهمیت می باشد. هدف اصلی این مقاله به کارگیری و استفاده از مدل های هندسی و تهیه برش عرضی برای تعیین سبک چین خوردگی تاقدیس خانه سرخ است. در نهایت سعی شده است، سبک چین خوردگی این تاقدیس براساس تحلیل های انجام شده در چارچوب مدل هندسی ارائه شده تعیین گردد.

جایگاه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

تاقدیس خانه سرخ در بخش میانی ناحیه لرستان و در شمال غرب فروافتادگی دزفول قرار دارد (شکل ۱). این محدوده در ۵۸ کیلومتری شمال غربی شهر خرم آباد و در بخش شمالی شهرستان کوهدشت و در بخش غربی شهرستان دوره چگنی در استان لرستان و بین عرض های جغرافیایی $33^{\circ} 50' 59''$ تا $33^{\circ} 26' 02''$ شمالی و طول های جغرافیایی $47^{\circ} 36' 45''$ تا $47^{\circ} 13' 28''$ شرقی واقع شده است. راستای غالب در منطقه زاگرس به دو بخش قابل تقسیم است. دسته اول ساختارهای شمالی-جنوبی که قدیمی تر و در ارتباط با گسل های پی سنگی است و دسته دوم ساختارهای

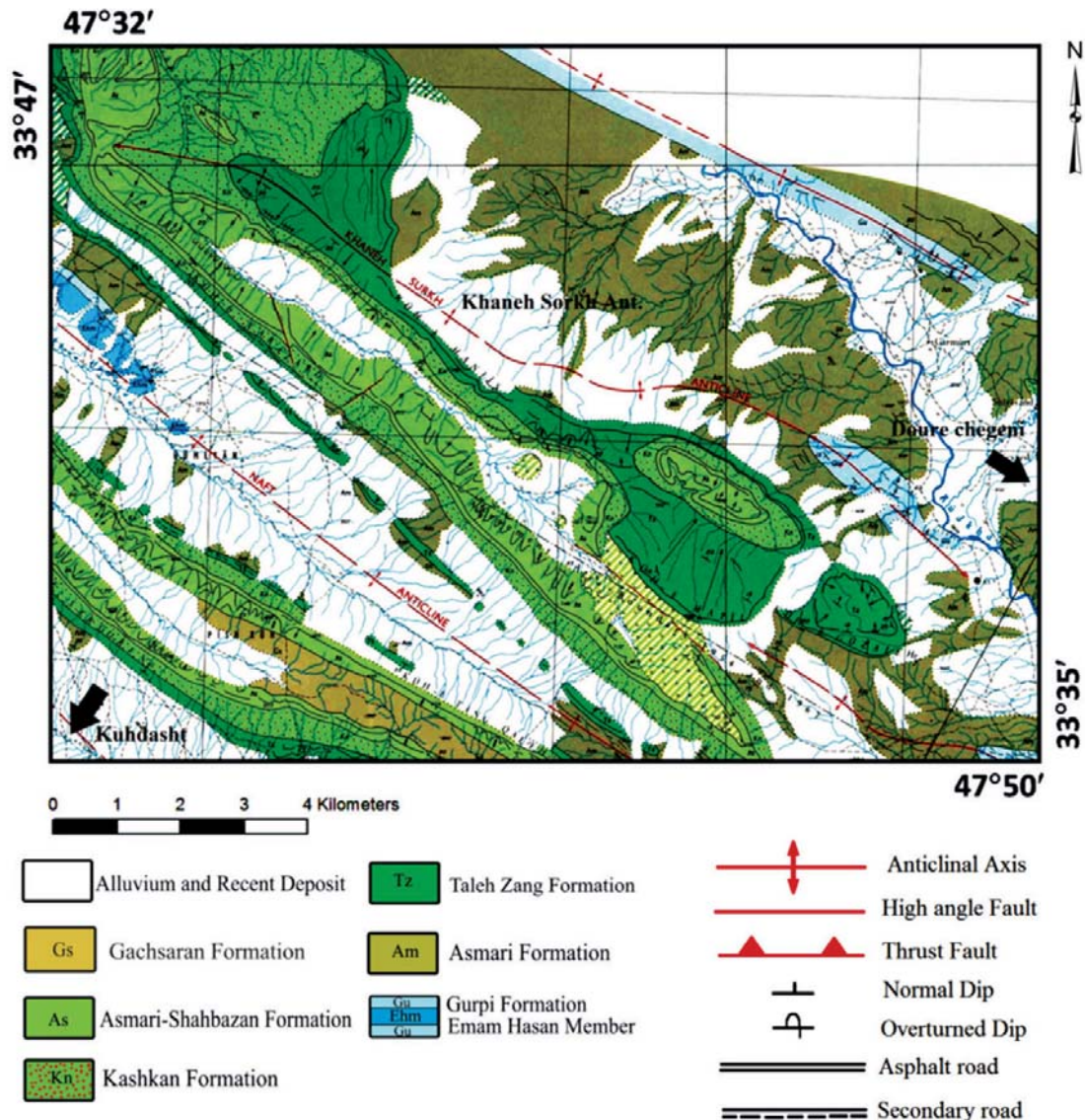


شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه کمربند چین خورده-رانده زاگرس با مستطیل سیاه رنگ توسط فلش مشخص شده است (با اندکی تغییر بر گرفته از Homke et al., 2009)

چینه‌شناسی منطقه

تغییرات ضخامت را در اینجا به نمایش گذاشته است. این واحد از شیل‌های مارنی، ماسه‌سنگ و کنگلومرای چرتی تشکیل شده، که به‌طور کلی یک روند به سمت بالا کم‌عمق شونده را به نمایش می‌گذارد و سن آن را در لرستان پالئوسن در نظر گرفته‌اند. قدیمی‌ترین سازند رخنمون یافته در منطقه، سازند گورپی است که سن آن در لرستان از کامپانین تا پالئوسن می‌باشد (مطیعی، ۱۳۷۲؛ Casciello et al., 2009). این سازند به‌خوبی در یال غربی و شرقی تاقدیس در برش عرضی AA' قابل مشاهده است (شکل ۲).

از نظر چینه‌شناسی، این محدوده دارای سازندهای اواخر کرتاسه تا الیگوسن و در برخی نقاط رسوبات عهد حاضر می‌باشد. سازندها از جدید به قدیم شامل سازند آسماری با سن الیگوسن-میوسن و سازند تله‌زنگ با سن پالئوسن-اوسن می‌باشد. این دو سازند از جمله واحدهای کوهساز منطقه می‌باشند که مورفولوژی آن را تحت تأثیر قرار داده است. ما بین این دو سازند، سازند کشکان با سن اوسن قرار دارد که دارای توالی قاره‌ای است. سازند امیران واحد چینه‌شناسی دیگر این منطقه می‌باشد که یکی از بزرگ‌ترین



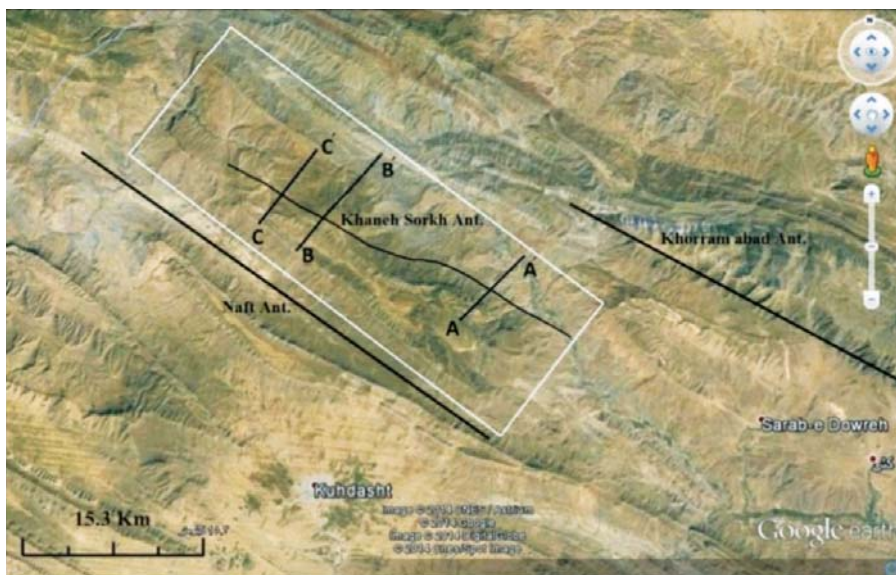
شکل ۲. موقعیت تاقدیس خانه سرخ در نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از Macleod, 1972)

جدایشی میانی در کمربند چین خورده-رانده زاگرس عبارتند از: تبخیری‌های تریاس سازند دشتک، شیل‌های آلبین سازند کژدمی، مارن‌های ائوسن سازند پابده و تبخیری‌های میوسن سازند گچساران (Sherkati and Letozey, 2004). در منطقه مورد مطالعه تناوبی از واحدهای مقاوم و نامقاوم دیده می‌شود که واحدهای شکل‌پذیر از سازندهای گرو و گورپی نقش سطوح جدایشی را ایفا می‌کنند. سازند کژدمی در نواحی مرکزی و جنوب‌غربی لرستان با سازند گرو جانشین می‌شود. همچنین سازند پابده نیز از نواحی جنوب‌غرب لرستان به سمت نواحی مرکزی و شمال شرقی لرستان به صورت جانبی و بین‌انگشتی با سازندهای آواری امیران، کشکان و کرینات‌های سازند تله‌زنگ و شهبازان جانشین می‌شود (مطیعی، ۱۳۷۲). ویژگی مکانیکی سنگ‌ها و سطوح جدایش، تأثیر بسیار مهمی بر هندسه نهایی ساختارها و جنبش سامانه گسل‌های راندگی دارد (Bahroudi and Koyi, 2003). با بررسی اطلاعات سطحی می‌توان نتیجه گرفت که افق جدایش تاقدیس خانه سرخ، سطح زیرین سازند گرو می‌باشد که در اثر لغزش بر روی این سازند شکل گرفته و به‌عنوان سطح جدایش میانی در منطقه عمل نموده کرده است (شکل ۴).

تأثیر سازند گرو به‌عنوان سطوح جدایشی در منطقه مورد مطالعه

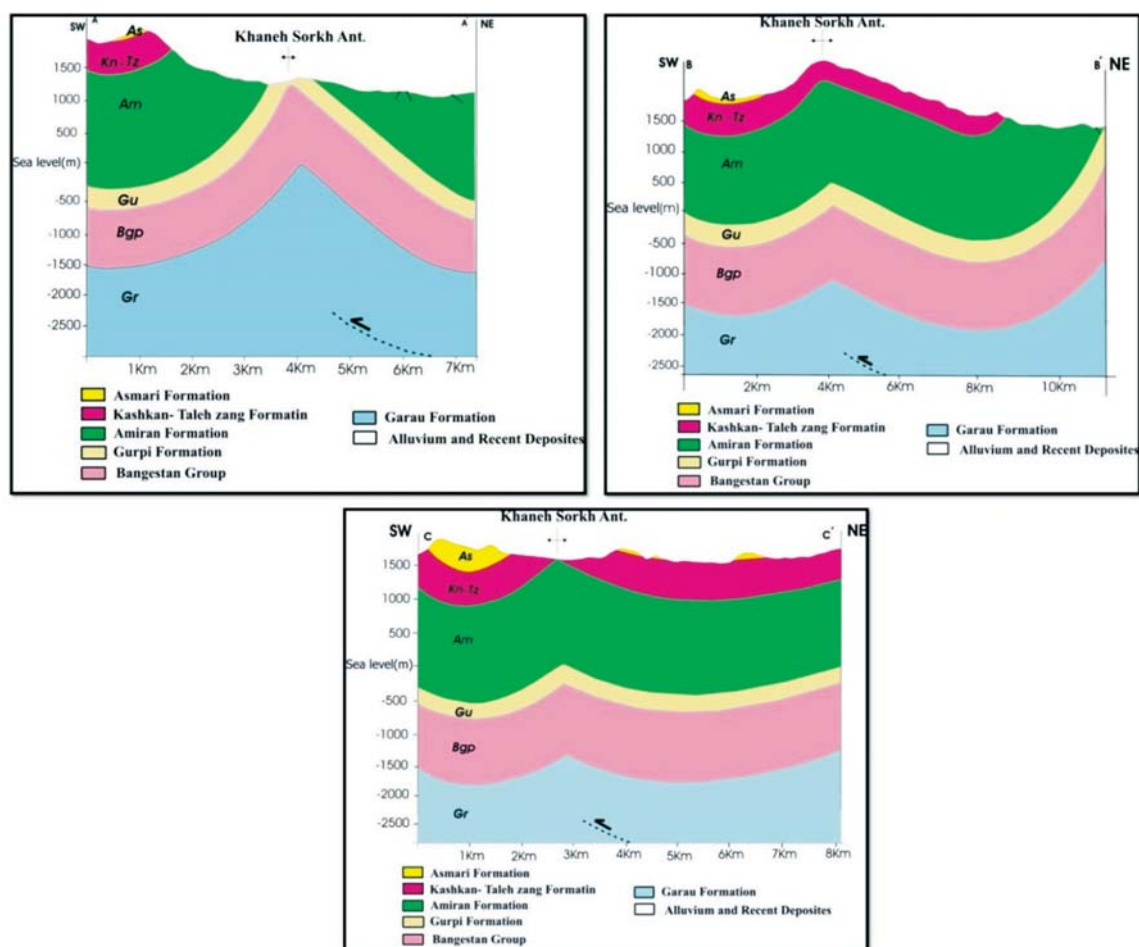
در اکثر نقاط زاگرس واحد نمکی هرمز (پالئوزویک زیرین) را به‌عنوان سطح جدایش قاعده‌ای در نظر می‌گیرند اما برخی از پژوهشگران معتقدند واحد نمکی هرمز در بخش شمالی وجود ندارد (Bahroudi and Koyi, 2003). (Sepehr and Cosgrove, 2004) ولی تعدادی دیگر از محققین این فرضیه را به چالش کشیده‌اند و معتقدند که در این مناطق سازند هرمز یا ممکن است نازک‌تر باشد یا توسط افق جدایی موثر به موازات آن جایگزین شده باشد (McQuarrie, 2004; Sherkati and Letozey, 2004; Carruba et al., 2006) از طرفی در منطقه و بخش‌های گسترده‌ای از کمربند چین خورده-رانده زاگرس ساختارهای سطحی با آنچه در عمق وجود دارد هندسه متفاوتی دارد که در این میان سطوح جدایش میانی نقش اصلی را دارند (Sherkati et al., 2005).

عمق سطح جدایش، در طول موج تاقدیس‌ها تأثیر دارد و هر چه سطح گسستگی در عمق کمتری باشد طول موج چین‌ها کوتاه‌تر می‌شود (Sherkati et al., 2006). سطوح



شکل ۳. از Google Earth موقعیت برش‌های ساختاری در شکل مشخص شده است

خاتون پیردادی و همکاران



شکل ۴. برش‌های عرضی تهیه تاقدیس خانه‌سرخ (برای مشاهده محل برش‌ها به شکل ۳ مراجعه شود)

روش مطالعه

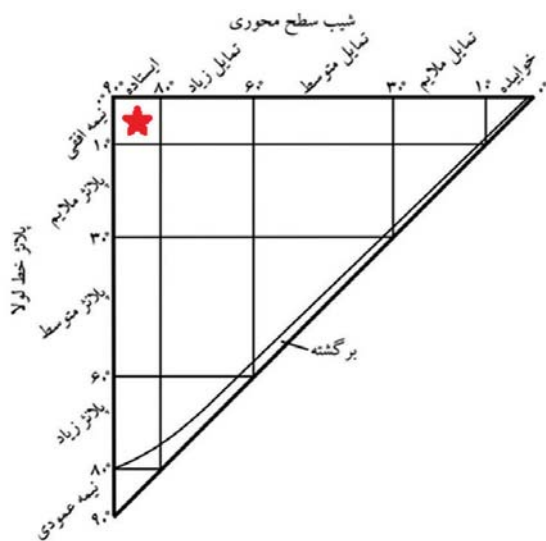
با گسلش و به دست آوردن سبک چین‌خوردگی استفاده می‌شود که از آن جمله به‌منظور تحلیل هندسی، برطبق نظر (Sattarzadeh et al., 2000) براساس نسبت طول محورچین به نصف طول موج چین و طبقه‌بندی چین بر طبق نظر (Fleuty (1964) و (Ramsay (1967) انجام گرفت و با استفاده از داده‌های برداشت‌های صحرائی، تحلیل نمودارهای (Jamison (1987) صورت پذیرفت و همچنین با مقایسه نمودارها و مقادیر حاصل از روابط براساس مدل (Poblet and McClay (1996) به بررسی هندسه جنبشی این چین پرداخته شد و درنهایت پس از تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس خانه سرخ با توجه به دستاوردهای تحلیل‌ها، نتیجه‌گیری پایانی انجام گرفت.

برای بررسی تغییرات هندسی ساختمان تاقدیس خانه‌سرخ و پیش‌بینی هندسه و تحلیل جنبشی این تاقدیس، سه برش عرضی زمین‌شناسی با استفاده از داده‌های حاصل از برداشت‌های صحرائی و نقشه زمین‌شناسی و اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای، عمود بر محور تاقدیس رسم شده است. این کار در محیط نرم‌افزار Global mapper v11.01 انجام گرفت (پیردادی، ۱۳۹۲). با پیمایش مسیرهای مشخص شده، برداشت داده‌ها از مناطق مختلف تاقدیس مورد نظر انجام شد و برای رسم برش‌های عرضی، مورد استفاده قرار گرفت. موقعیت برش‌ها در شکل ۳ مشخص شده است. همان‌طور که در بالا ذکر شد برای بررسی تغییرات هندسی تاقدیس و همچنین مقایسه آن با انواع چین‌های مرتبط

بحث

الف) تحلیل سبک چین خوردگی تاقدیس خانه سرخ

تاقدیس خانه سرخ یک چین باریک و طویل با روند عمومی شمال غرب-جنوب شرق با طولی بالغ بر ۳۹ کیلومتر و پهنایی در حدود ۷ کیلومتر است که در شمال شهرستان کوهدشت، در پهنه لرستان و در زاگرس چین خورده واقع شده است (شکل ۲). این چین در شمال تاقدیس نفت و در سمت جنوب غربی تاقدیس خرم آباد قرار گرفته است. پس از انجام پیمایش های صحرایی و محاسبات انجام شده بر روی داده ها در سه برش عرضی مشخص شد که تاقدیس خانه سرخ با توجه به زاویه بین یالی در برش های AA' و BB' براساس طبقه بندی Fleuty (1964) جزء چین های باز و در برش عرضی CC' جزء چین های ملایم طبقه بندی می شود (جدول ۱). همچنین برطبق خصوصیات محور و سطح محوری در رده چین های ایستاده نیمه افقی قرار می گیرد (شکل ۵). بر مبنای موقعیت قرارگیری لایه ها در پهلوهای شمالی و جنوبی، تاقدیس خانه سرخ، تاقدیسی نامتقارن با تمایل به سمت جنوب غرب می باشد (شکل ۶). اگر در تصویر استریوگرافی بیش از ۹۰ درصد قطب لایه ها در فاصله کمتر از ۱۰ درجه از دایره عظیمه p باشد، چین استوانه ای است ولی اگر بیش تر از ۹۰ درصد قطب ها در فاصله بین ۲۰-۱۰ درجه از صفحه پی باشد چین نیمه استوانه ای است و در غیر این صورت چین غیر استوانه ای خواهد بود (Ramsay et al., 1987). طبق این تقسیم بندی، تاقدیس خانه سرخ جز چین های نیمه استوانه ای قرار می گیرد. با توجه به نبود داده های ژئوفیزیکی و داده های چاه نگاری همان طور که قبلاً گفته شد با استفاده از برداشت ها در پیمایش صحرایی و نقشه زمین شناسی برش های عرضی تهیه شده و با قرارگیری موقعیت تاقدیس خانه سرخ در طبقه بندی Ramsay (1967) برای واحدهای آهکی برش های عرضی مشاهده شده، در رده B۱ می باشد و به منظور رسم برش های عرضی ساختاری مورد نظر از روش باسک یا روش قوس که برای چین های موازی است، استفاده شده است.



شکل ۵. موقعیت تاقدیس خانه سرخ با ستاره در طبقه بندی چین ها براساس شیب سطح محوری و زاویه میل (Fleuty (1964)

ب) تحلیل هندسه تاقدیس خانه سرخ

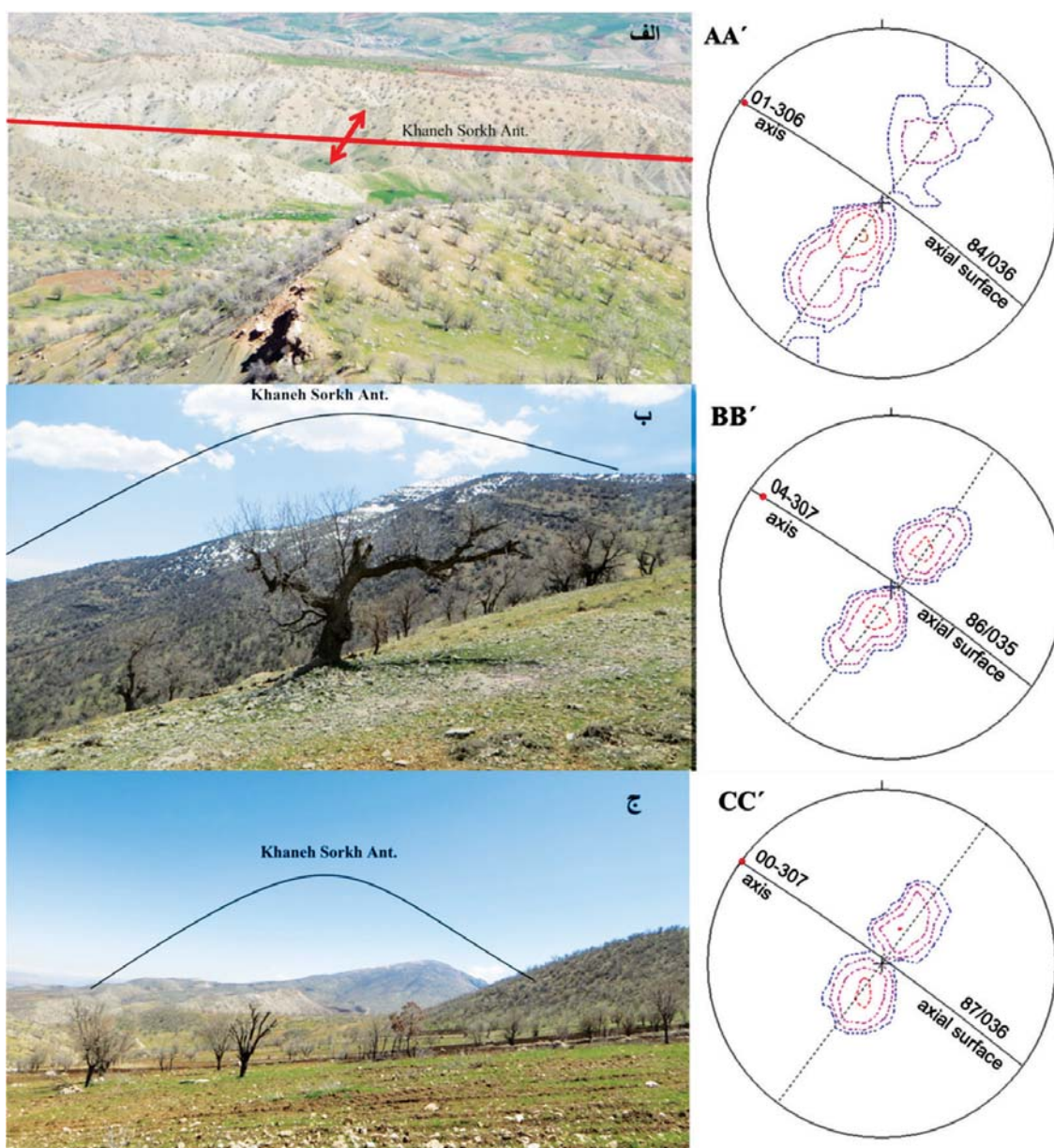
چین خوردگی مرتبط با گسلش، یکی از سازوکارهایی است که معمولاً از آنها برای توصیف، تشریح و تجزیه و تحلیل هندسی چین های کمربندهای چین خورده-رانده شده استفاده می شود. این نوع چین خوردگی ها به صورت مدل های هندسی متنوعی تقسیم بندی شده اند (Thorbiornsen, 1997) and Dunne, 1997) این مدل ها علاوه بر آنکه موجب درک بهتر چین خوردگی می شوند، ابزار مهمی برای رسم برش های عرضی و موازنه نمودن آنها محسوب می شوند (Dahlstrom, 1969; Laubscher, 1977; Suppe, 1983; Jamison, 1987)

(Sattarzadeh et al., 2000) براساس نسبت طول محور چین به نصف طول موج یا نسبت ابعادی چین های زاگرس را در دو گروه قرار داد:

۱. چین های کمانشی^۱: که در آنها برای چین هایی که در این گروه قرار می گیرند نسبت ابعادی برای تمام مقیاس ها بین پنج تا ده می باشد، که چین های جدایشی در این گروه جای دارد.
۲. چین های واداشته^۲: که چین هایی با نسبت ابعادی بیشتر از ۱۰ می باشند و چین های خم گسلی و انتشار گسلی در این گروه قرار دارند. برای مقایسه تاقدیس

1. Buckle folds
2. Forced folds

خاتون پیردادی و همکاران



شکل ۶. نمایی از مسیرهای مختلف چین و استریوگرام‌های تهیه شده که در آن محور و سطح محوری مشخص شده است

جدول ۱. مشخصات هندسی تاقدیس خانه سرخ در برش‌های عرضی

نام برش ساختاری عرضی	موقعیت سطح محوری	موقعیت محور	زاویه بین پهلوها (درجه)	شیب پهلوهای خلفی یا شیب پلکان گسل	ضخامت سازند در پهلوهای خلفی (متر)	ضخامت سازند در پهلوهای پیشانی (متر)	ضخیم شدگی پهلوهای پیشانی
AA'	۸۴/۰۳۶	۰۱-۳۰۶	۱۰۰	۳۴	۱۲۹۸	۱۶۹۳	۳۰/۴۳
BB'	۸۶/۰۳۵	۰۴-۳۰۷	۱۱۹	۲۷	-	-	-
CC'	۸۷/۰۳۶	۰۰-۳۰۷	۱۲۶	۲۴	-	-	-

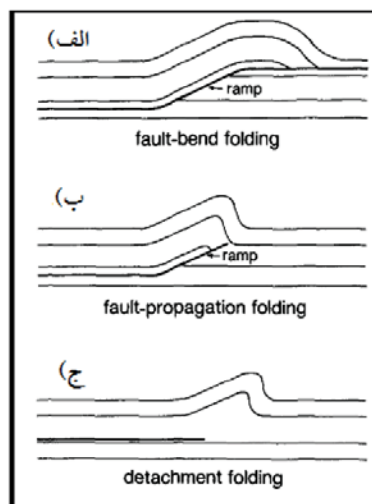
قوام باشد و با توجه به رخنمون سازند امیران و قابلیت تغییر ضخامت این سازند در پهلوی پیشانی، از این واحد سنگی برای اندازه‌گیری تغییرات ضخامت در سطح استفاده شد. این اندازه‌گیری تنها در برش عرضی AA انجام پذیرفت زیرا در سایر برش‌ها این واحد سنگی رخنمون ندارد و ضخامت واقعی آن قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد. میزان ضخیم‌شدگی سازند امیران برابر با ۳۰/۴۳ درصد می‌باشد. با درج پارامترهای به‌دست‌آمده برای تاقدیس خانه سرخ بر روی نمودارها مشاهده می‌شود (شکل ۸) که در نمودار مربوط به چین‌های خم گسلی، هندسه تاقدیس خانه سرخ در محدوده ۲۰ درصد نازک‌شدگی پهلوی پیشانی قرار می‌گیرد. موقعیت هندسه تاقدیس در نمودار چین‌های انتشار گسلی با ۱۵ درصد ضخیم‌شدگی پهلوی پیشانی همراه می‌باشد. قرارگیری موقعیت تاقدیس در نمودار چین‌های انتشار گسلی انتقال یافته، نازک‌شدگی ۲۱ درصد را نشان می‌دهد. پیاده کردن اطلاعات تاقدیس خانه سرخ بر نمودار چین‌های جدایشی ضخیم‌شدگی ۳۲ درصد را نشان می‌دهد که همان‌طور که مشاهده می‌شود این مقدار ضخیم‌شدگی با مقدار ضخیم‌شدگی محاسبه شده از برداشت‌های صحرایی هم‌خوانی دارد. در نتیجه تاقدیس خانه سرخ با توجه به موقعیت آن بر روی دیاگرام چین‌ها و برپایه برش‌های عرضی که ساختاری هندسه‌ای شبیه به چین‌های جدایشی دارد (شکل ۸) قرار می‌گیرد.

ج) تحلیل جنبشی تاقدیس خانه سرخ

به‌طور معمول برای تعیین منشأ جنبشی بسیاری از چین‌های مرتبط با گسل‌های رانندگی از روش‌های هندسی استفاده می‌شود. سه شکل اصلی هندسی و جنبشی برای چین جدایشی پیشنهاد شده است:

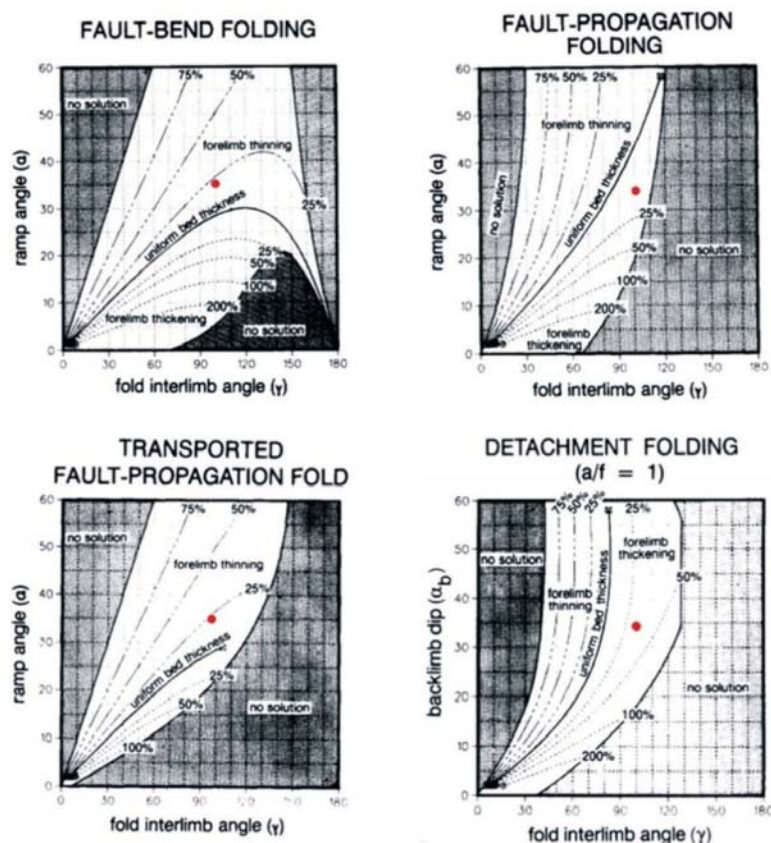
۱. مدل اول توسط Mitchell and Woodward (1988) ارائه شد. طبق این مدل چین خوردگی به‌صورت ساختارهای دارای طول موج کوچک با شیب ثابت یال و سطوح محوری است و به‌واسطه افزایش طول یال، چین خوردگی شکل می‌گیرد و مرزهای چین خوردگی به بیرون مهاجرت می‌کنند تا ادامه کوتاه شدن را فراهم کنند.

خانه سرخ با این دو گروه نیاز به اندازه‌گیری طول محور چین و طول موج تاقدیس می‌باشد. میزان نسبت ابعادی برای این تاقدیس برابر با ۸/۸۶ محاسبه گردید که نشان می‌دهد تاقدیس خانه سرخ در گروه چین‌های کم‌انرژی تقسیم‌بندی (Sattarzadeh et al., 2000) قرار می‌گیرد. بنابراین با توجه به قرارگیری تاقدیس خانه سرخ در این محدوده، براساس این رده‌بندی به تحلیل هندسی تاقدیس خانه سرخ با استفاده از نمودارهای (Jamison, 1987) که برای چین‌های در ارتباط با گسل ارائه شده است، پرداخته می‌شود. در این نمودارها چین‌های خم گسلی، چین‌های انتشار گسلی و چین‌های جدایشی سه گروه اصلی از چین‌های مرتبط با گسل می‌باشند (شکل ۷).



شکل ۷. سه نوع از گسل‌های مرتبط با چین خوردگی. الف) چین خم گسلی، ب) چین انتشار گسلی، ج) چین جدایشی (Jamison, 1987)

به‌جز این سه گروه، حالت‌های حد واسط نیز وجود دارد مانند چین‌های جدایشی انتقال یافته. به‌منظور استفاده از این نمودارها، پارامترهایی لازم است که این پارامترها با استفاده از مطالعه برش‌های عرضی و مقایسه آنها با مدل‌های هندسی ارائه شده و همچنین داده‌های پیمایش صحرایی و تجزیه و تحلیل آنها حاصل می‌شود. این پارامترها شامل شیب پلکان گسل (α) و یا شیب پهلوی خلفی (α_p)، زاویه بین پهلوه‌ها (γ) و درصد نازک‌شدگی یا ضخیم‌شدگی یک سازند در پهلوی پیشانی نسبت به پهلوی خلفی می‌باشد. با توجه به اینکه سازند انتخابی باید در صورت امکان کم



Khaneh Sorkh Ant. ●

شکل ۸. موقعیت تاق‌دیس خانه سرخ بر روی نمودارهای (Jamison, 1987)

که در مساحت منطقه شکل‌پذیر چین تغییر ایجاد می‌شود از نظر تحول جنبشی امکان‌پذیر و قابل قبول نمی‌باشد. بر مبنای مدل (Dahlstrom 1990) ساختار چین‌خوردگی با طول موج کوچک و کوتاه‌شدگی با مهاجرت سطوح محوری به سمت بیرون همراه با چرخش یال انجام می‌گیرد و این کوتاه‌شدگی با میزان برخاستگی رابطه مستقیم دارد که شرایط برقراری قانون ثابت بودن سطح رعایت می‌شود. Poblet and McClay (1996) برای تحلیل هندسی چین‌های جدایشی به وجود آمده براساس مدل تکامل جنبشی Dahlstrom (1990) نمودارهایی را معرفی نموده‌اند و معتقدند که چنانچه میزان شیب پهلوهای چین و نسبت سینوس آن‌ها اندازه‌گیری شود، جهت محاسبه میزان کوتاه‌شدگی لایه مقاوم بالای لایه جدایشی که چین در آن توسعه یافته، می‌تواند استفاده شود. برای تجزیه و تحلیل سازوکار جنبشی چین‌ها، به پارامترهای هندسی از چین‌های جدایشی شامل:

۲. در مدل ۲ (De Sitter 1956)، چین‌خوردگی با افزایش تدریجی شیب یال زیاد می‌شود و طول یال ثابت باقی می‌ماند. طبق مدل فوق، مرزهای چین‌خوردگی در موقعیت نهایی‌شان وابسته به واحد مقاوم تشکیل می‌شوند و کوتاه شدن به وسیله چرخش لایه‌بندی اتفاق می‌افتد. سطوح محوری می‌چرخند تا ضخامت طبقات ثابت باقی بماند.

۳. در مدل سوم (Dahlstrom 1990) براساس قانون ثابت بودن سطح لایه‌های مقاوم و شکل‌پذیر یال‌های چین با افزایش شیب طویل‌تر می‌شوند که در حقیقت چین جدایشی به واسطه چرخش دو یال و افزایش طول یال توسعه می‌یابد (Poblet and McClay, 1996).

(Poblet and McClay 1996) معتقدند که تحول جنبشی چین‌های جدایشی در کمربند چین‌خورده-رانده با مدل سوم مطابقت دارد چون مدل اول و دوم به این دلیل

با استفاده از روابط ۱ و ۲ می توان میزان کوتاه شدگی (S) و برخواستگی (u) را محاسبه نمود.

$$u = Lb \sin(\theta b) = Lf \sin(\theta f) \quad \text{رابطه ۱}$$

$$S = Lb [1 - \cos(\theta b)] + Lf [1 - \cos(\theta f)] \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\gamma - 90^\circ = (\theta b/2) - (\theta f/2) \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\gamma = 180^\circ - \theta f - \delta \quad \text{رابطه ۴}$$

که Lb و Lf به ترتیب طول پیشانی و خلفی و θb و θf به ترتیب شیب پهلو پیشانی و خلفی می باشد.

اگر مقدار برخواستگی و کوتاه شدگی را در روابط ۳ و ۴ قرار دهیم میزان نصف زاویه بین پهلوئی (۷) و زاویه بین سطح محوری و افق جدایش (δ) محاسبه می شود (جدول ۲).

جدول ۲. پارامترهای هندسی به دست آمده از برش عرضی ترسیمی AA' براساس مدل Poblet and McClay, 1996

نام	U	δ	γ	RI	ηb	ηf	Lb(m)	Lf(m)
محاسبه شده از U	محاسبه شده از S	محاسبه شده از S	محاسبه شده از S	روی نمودار (m)	روی برش (m)	روی نمودار (m)	روی برش (m)	روی برش (m)
خانه سرخ	۴۰۰	۴۳۵۰	۴۶	۳۴	۱/۲۸	۵۰	۸۴	۲۳۲۰

آن است که هندسه و تحول جنبشی چین مورد نظر منطبق بر مدل است.

$$S = (Lf)/10 \quad \text{رابطه ۶}$$

مقایسه نتایج به دست آمده از مقادیر کوتاه شدگی برای تاقدیس خانه سرخ از روی برش های عرضی جدول (۲) با مقادیر تحلیل شده با استفاده از نمودارهای شکل (۸) بیانگر آن است که هندسه تاقدیس خانه سرخ مشابه هندسه چین های جدایشی است و تکامل تحلیل شده بر مبنای مدل (Poblet and McClay, 1996) معتبر است.

مقدار کوتاه شدگی برای یال خلفی این تاقدیس برابر ۴/۲۵ و مقدار کوتاه شدگی برای یال پیشانی برابر با ۵/۳ می باشد این مقادیر را می بایست در رابطه (۶) قرار داده تا مقدار واقعی کوتاه شدگی محاسبه گردد. مقادیر برخواستگی، زاویه بین یالی و شیب سطح محوری با قرار دادن کوتاه شدگی به دست آمده از نمودار شکل (۹-الف)، در نمودارهای (ج)، (د) و (ه)، محاسبه می شود.

اگرچه به علت وجود تعدادی رانندگی کوچک در پهلوئی تاقدیس (شکل های ۱۰ و ۱۱) تاقدیس خانه سرخ می تواند

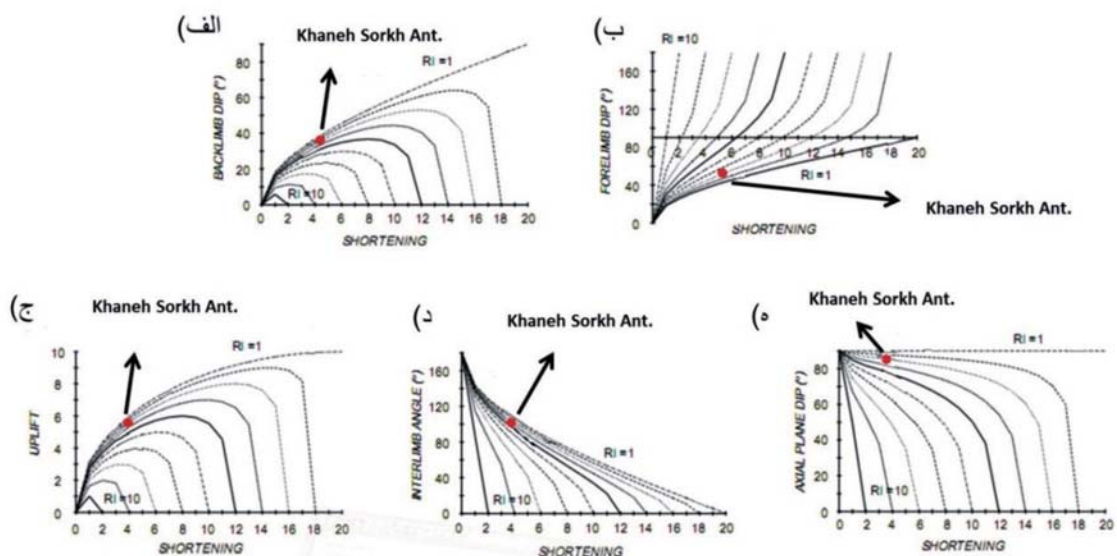
طول پهلوئی پیشانی، طول پهلوئی خلفی، شیب یال پیشانی، شیب یال خلفی، میزان برخواستگی، زاویه بین یالی، شیب سطح محوری نیاز می باشد. برای به دست آوردن پارامترهای فوق، نیاز به داشتن داده های صحرایی و برش عرضی است. برش عرضی باید عمود بر محور چین خوردگی تهیه شود و همچنین برای تعیین پارامترها جهت تحلیل هندسه، چین ها بایستی به عنوان چین های جناغی، شکنجی یا جعبه ای فرض شوند. در این روش، اندازه گیری طول و زوایا آسان می گردد. باید توجه داشت که شیب یال خلفی، یال پیشانی و سطح محوری بایستی وابسته به سطح جدایش و بدون در نظر گرفتن میل سطح جدایش اندازه گیری شود.

یک روش نموداری برای تعیین پارامترها طراحی شده، که با استفاده از روش گرافیکی نیازمند چندین مرحله است. در مرحله اول، نسبت (RI) بایستی محاسبه شود.

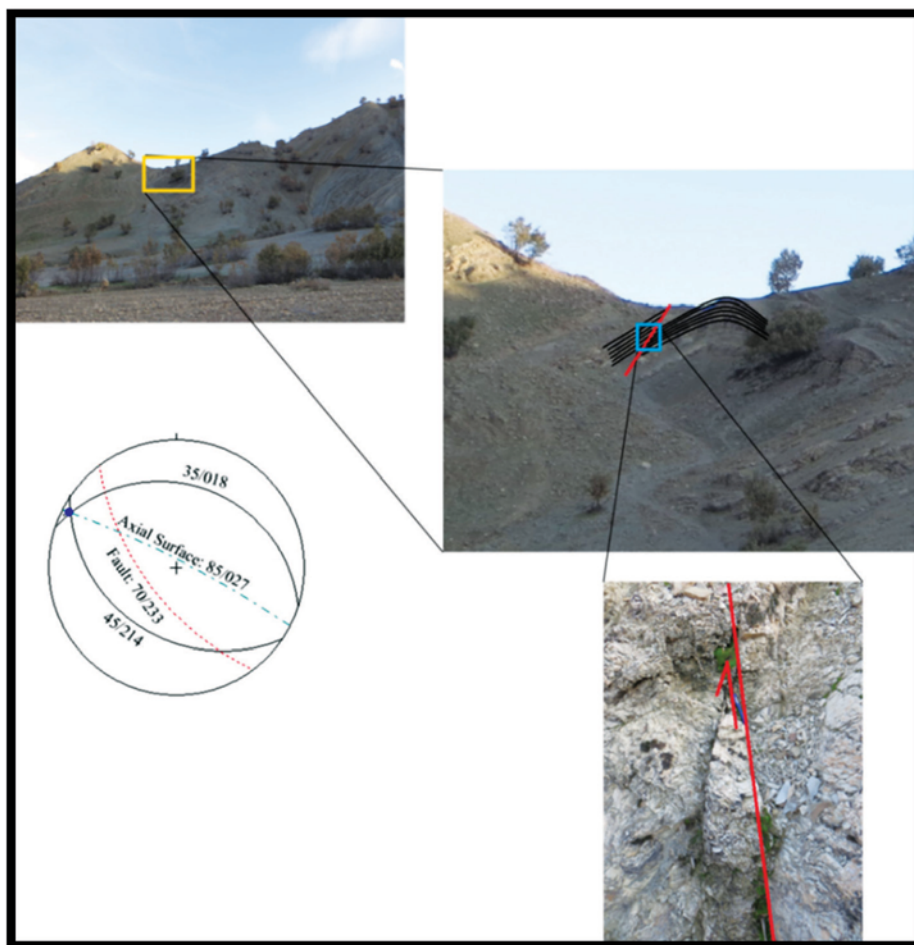
$$RI = \sin(\theta f)/\sin(\theta b) \quad \text{رابطه ۵}$$

پارامترهای مورد نیاز در روش نموداری، طول و شیب های یال های خلفی و پیشانی می باشد هم چنین محاسبه (RI) هر نقطه روی دیاگرام ها یک شکل ویژه چین خوردگی را نمایش می دهند. مقادیر زاویه ای نشان داده شده در نمودارها مقادیری واقعی بر حسب درجه هستند، اما مقادیر خطی طبق واحدهای $Lf=10$ نرمالیزه شده است. یعنی بر مبنای طول یال خلفی و پیشانی نرمالیزه می شوند. کوتاه شدگی واقعی (S) با استفاده از رابطه ساده ۶ مشتق می شود. که با جایگزین کردن مقدار کوتاه شدگی به دست آمده (Lf) از نمودارها در رابطه ۶، مقدار کوتاه شدگی واقعی محاسبه می شود. با جایگزین کردن u به جای S می توان میزان برخواستگی واقعی را نیز محاسبه کرد. چنانچه این میزان با مقادیر کوتاه شدگی به دست آمده از اندازه گیری برش های رسم شده در تاقدیس خانه سرخ مطابقت داشته باشد بیانگر

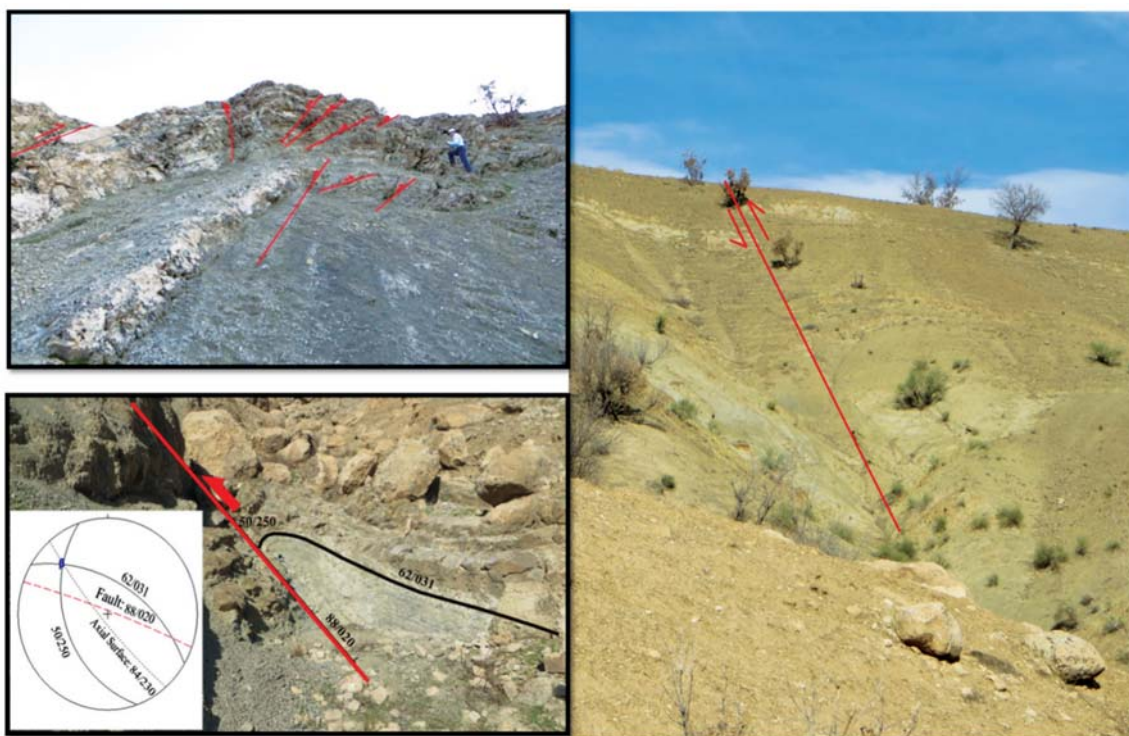
خاتون پیردادی و همکاران



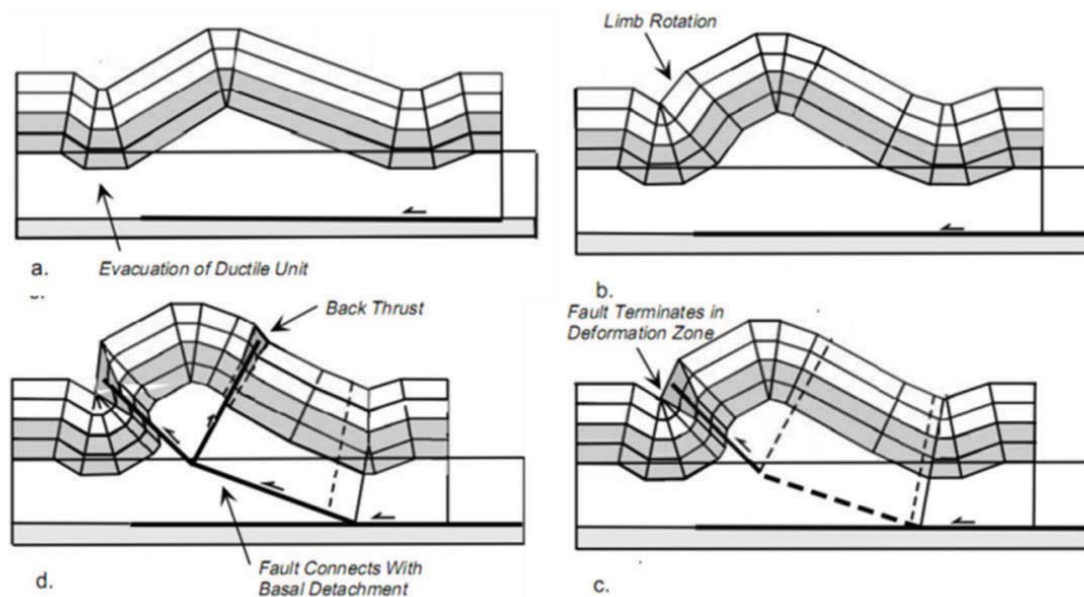
شکل ۹. نمودارهای تعیین پارامترهای هندسی چین‌های جدایشی (Poblet and McClay, 1996). منحنی‌های ترسیم شده در نمودارها به ترتیب از راست به چپ با مقادیر R_1 ، ۱، ۱/۱۱، ۱/۲۵، ۱/۴۳، ۱/۶۷، ۲، ۲/۵۰، ۳/۳۳، ۵ و ۱۰ می‌باشند (موقعیت تاقدیس خانه سرخ در برش‌ها بر پایه پارامترهای هندسی آن در نمودارها، با دایره قرمز مشخص شده است)



شکل ۱۰. نمایی از ریز چین در پهلوی خلفی تاقدیس خانه سرخ و گسل خوردگی پهلوی این ریز چین



شکل ۱۱. نمایی از تعدادی گسل خوردگی و چین در تاقدیس خانه سرخ



شکل ۱۲. توالی تکامل یک چین جدایشی گسل خورده (برگرفته از Mitra, 2002)

وجود توالی‌ها با اختلاف مقاومت زیاد از سطح تا عمق، سازوکار چین جدایشی گسل خورده طبق شکل ۱۲ برای تاقدیس خانه سرخ پیشنهاد می‌شود.

هندسه‌ای مشابه با چین‌های انتشارگسلی داشته باشد اما با توجه به مدل Mitra (2002) این‌گونه راندگی‌ها در پهلوی چین‌های جدایشی توسعه می‌یابند. براساس برش‌های ساختاری ترسیم شده و هندسه باز این تاقدیس و همچنین

نتیجه‌گیری

براساس مجموعه مطالعات صورت گرفته بر روی تاقدیس خانه‌سرخ در غرب لرستان و برطبق پارامترهای هندسی اندازه‌گیری شده، این تاقدیس در برش‌های AA' و BB' براساس طبقه‌بندی (Fleuty, 1964) جزء چین‌های باز و در برش عرضی CC' جزء چین‌های ملایم طبقه‌بندی می‌شود. همچنین برطبق خصوصیات محور و سطح محوری (Fleuty, 1964) این چین در رده چین‌های ایستاده نیمه افقی قرار می‌گیرد. با مقایسه بین برش‌های ساختاری ترسیم شده با انواع نمودارهای ارائه شده توسط (Jamison, 1987) تاقدیس فوق در ارتباط با گسلش بوده و در نتیجه، هندسه مشابه چین‌های جدایشی را دارد. شباهت بسیار نزدیکی بین داده‌ها روی نمودارها و مقادیر حاصل از معادلات و روابط در تاقدیس خانه‌سرخ، براساس مدل جنبشی پیشنهاد شده توسط (Poblet and McClay, 1996) وجود دارد. یعنی هندسه چین جدایشی و تکامل جنبشی تحلیل شده برای تاقدیس خانه‌سرخ براساس مدل فوق معتبر بوده و در رده چین‌های جدایشی قرار می‌گیرد. با استفاده از اطلاعات سطحی پردازش شده، این تاقدیس می‌تواند یک نمونه بارز از تکامل یافتن چین خوردگی در بالای سطح جدایشی باشد. در واقع سازند گرو به‌عنوان یکی از سطوح جدایشی موثر میانی تاقدیس مذکور می‌باشد. از طرفی می‌توان سازند گرو را به‌عنوان سطح جدایشی کنترل‌کننده هندسه ساختارهای سطحی از عمقی در منطقه معرفی کرد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که پهلوی خلفی تاقدیس خانه‌سرخ دگرریختی فراوانی را متحمل شده است که این موضوع نشان از نزدیکی و اثر گسل زاگرس مرتفع در منطقه دارد. اما ثابت بودن ضخامت طبقات مقاوم و وجود توالی‌های با اختلاف مقاومت زیاد از سطح تا عمق و گسل خوردگی و راندگی‌های کوچک در پهلوی این تاقدیس، نشان می‌دهند که چین خوردگی مذکور در اثر مکانیسم خمشی-لغزشی تشکیل شده است. با توجه به حضور گسلش در پهلوی چین جدایشی می‌توان پیشنهاد کرد که تاقدیس خانه‌سرخ براساس سازو کار چین جدایشی گسل‌خورده ایجاد شده است.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از زحمات سردبیر محترم مجله و پیشنهادهای علمی بسیار ارزنده دو داور محترم که سبب بر طرف شدن ایرادات و اشکالات پیش‌نویس مقاله فوق شده تشکر و قدردانی نمایند. همچنین نویسندگان از پشتیبانی و همکاری معاونت محترم آموزشی و پژوهشی دانشگاه گلستان تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- آقائباتی، س. ع.، ۱۳۸۹. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶.
- پیردادی، خ.، ۱۳۹۲. تحلیل ساختاری تاقدیس خانه‌سرخ در پهنه لرستان، کمربند چین خورده-رانده زاگرس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گلستان، ۱۰۲.
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۲. زمین‌شناسی ایران: چینه‌شناسی زاگرس. طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۳۶.
- Bahroudi, A. and Koyi, H.A., 2003. Effect of spatial distribution of Hormuz salt on deformation style in the Zagros fold and thrust belt: an analogue modelling approach. *Journal of the Geological Society, London*, 160, 719-733.
- Berberian, M., 1995. Master "Blind" Thrust Faults Hidden Under the Zagros Folds, Active Basement Tectonics and Surface Morphotectonic. *Tectonophysics*, 241, 193-224.
- Carruba, S., Perotti, C.R., Buonaguro, R., Calabro, R., Carpi, R. and Naini, M., 2006. Structural pattern of the Zagros fold-and-thrust belt in the Dezful Embayment (SW Iran). In: Mazzoli, S. and Butler, R.W.H. (eds) *Styles of Continental Contraction*. Geological Society of America, Special Papers, 414, 11-32.
- Casciello, E., Verges, J., Saura, E., Casini, G., Fernandez, N., Bianchi, E., Homke, S. and Hunt, D.W., 2009. Fold patterns and multilayer rheology of the Lorestan province, Zagros simply

- folded belt, Iran, *Journal of the Geological Society*, London, 166, 947-959.
- Colman-Sadd, S.P., 1978. Fold development in Zagros simply folded belt, southwest Iran. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 62, 984-1003.
 - Dahlstrom, C.D.A., 1990. Geometric constraints derived from the law of conservation of volume and applied to evolutionary models of detachment folding. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 74, 336-344.
 - Dahlstrom, C. D. A., 1969. Balanced cross sections. *Anadian Journal of Earth Sciences*, 6, 743-757.
 - De Sitter, L., 1956. *Structural Geology*. McGraw-Hill, London. 375.
 - Falcon, N.L., 1969. Problems of the relationship between surface structure and deep displacements illustrated by the Zagros Range, In: Kent P., Satterthwaite G., Spencer A.(eds), *Time and Place Orogeny*. Geological Society of London, 9-22.
 - Fleuty, M.J., 1964. The description of Folds. *Geological Association Proceeding*, 75, 461-492.
 - Homke, S., Vergé's, J., Serra-Kiel, J., Bernaola, G., Sharp, I., Garcés, M., Montero-Verdú, I., Karpuz, R. and Goodarzi, M. H., 2009. Late Cretaceous-Paleoceneformation of the proto-Zagros foreland basin, Lurestan Province, SW Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 121, 963-978.
 - Jamison, W.J., 1987. Geometric analysis of fold development in overthrust terranes. *Journal of Structural Geology*, 9, 207-219.
 - Laubscher, H. P., 1977. Fold development in the Jura. *Tectonophysics*, 37, 337-362.
 - Macleod, J.H., 1972. Geological Compilation Map 1/100000, Iranian oil operating companies.
 - McQuarrie, N., 2004. Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt. Iran., *J. Structural. Geology*. 26 (3), 519-535.
 - Mitchell, M.M. and Woodward, N.B., 1988. Kink detachment fold in the southwest Montana fold and thrust belt. *Geology*, 16, 162-165.
 - Mitra, M., 2002. Structural models of faulted detachment folds., *AAPG Bulletin*, 86 (9) 1673-1694.
 - 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., 1967. *Folding and Fracturing of Rocks.* McGraw-Hill, New York.
 - Ramsay, J.G. and Huber, M.I., 1987. *The Techniques of Modern Structural Geology. Folds and Fractures*. Academic Press, London, 1.
 - Sattarzadeh, Y., Cosgrove, J. and Vita-Finzi, C., 2000. The interplay of faulting and folding during the evolution of the Zagros deformation belt. *Geological Society, London, Special Publications*, 169, 187-196.
 - 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 Letouzy, J., 2004. Variation of structural style and basin evolution in the Central Zagros (Izeh Zone and Dezful Embayment), Iran. *Journal of Marine and Petroleum Geology*, 21, 535-554.
 - Sherkati, S., Letouzey, J. and de Lamotte, D.F., 2006. Central Zagros Fold-thrust belt (Iran):

خاتون پیردادی و همکاران

New insight from seismic data, field observation, and sandbox modeling. *Tectonics*, 25, 1-27.

- Sherkati, S., Molinaro, M., de Lamotte, D.F. and Letouzey, J., 2005. Detachment folding in the central and eastern Zagros fold-belt (Iran): salt mobility, multiple detachments and late basement control. *Journal of Structural Geology* 27, 1680-1696.

- Suppe, J., 1983. Geometry and kinematics of fault-bend folding. *American Journal of Science*, 283, 684-721.

- Talbot, C. J. and Alavi, M., 1996. The past of a future syntaxis across the Zagros, In: Alsop, G. I., Blundell, D. J. and Davison, I.(eds.) 1996. *Salt Tectonics*, Geological Society Special Publication, 100, 89-109.

- Thorbjornsen, K. L. and Dunne, W. M., 1997. Origin of a thrust-related fold: Geometric vs. kinematics tests. *Journal of Structural Geology*, 19, 303-319.

- [http:// www.ngdir.ir](http://www.ngdir.ir)