

تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس‌های کبیرکوه و چناره در کمربند چین-راندگی زاگرس

فاطمه زینعلی^{۱*}، حسین حاجی علی بیگی^۲، محمدرضا قاسمی^۳ و حمیدرضا کریم‌نژاد^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳. استادیار پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

۴. کارشناس ارشد مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۲۰

چکیده

تاقدیس‌های کبیرکوه و چناره در پهنه لرستان، در کمربند چین-راندگی زاگرس واقع شده‌اند. هندسه و تحول جنبشی چین‌ها در کمربند چین-راندگی زاگرس توسط گسل‌های راندگی کنترل می‌شود. در این مقاله، هندسه ساختاری تاقدیس‌های کبیرکوه و چناره به‌منظور تحلیل سبک دگرریختی آنها بررسی شده است. به‌منظور تحلیل سبک دگرریختی در تاقدیس‌های نامبرده، پنج برش عرضی ساختاری، عمود بر امتداد اثر محوری تاقدیس‌ها تهیه شده است. برپایه تحلیل هندسی و جنبشی انجام شده، تاقدیس‌های کبیرکوه و چناره هندسه‌ای شبیه به چین‌های فراکنشی گسلیده با چند سطح فراکنش دارند. سطح فراکنش عامل این چین‌خوردگی‌ها عمیق و احتمالاً در سری پالئوزوئیک زیرین است. همچنین برش‌های عرضی ساختاری ترسیم شده، بیانگر نقش مهم سازند دشتک به‌عنوان سطح فراکنش میانی عامل توسعه دگرریختی‌ها در این بخش از پهنه لرستان هستند.

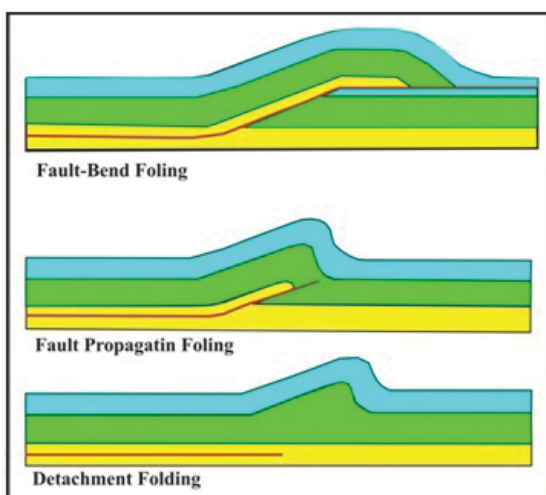
واژه‌های کلیدی: برش عرضی ساختاری، چین‌خوردگی مرتبط با گسلش و کمربند چین-راندگی زاگرس.

مقدمه

می‌شوند (Nemcok et al., 2005). افزون‌بر آن کوتاه‌شدگی پیوسته و دگرشکلی درونی از دیگر عوامل ایجاد چین‌ها با هندسه‌های متفاوت در نظر گرفته می‌شوند. چندین مدل هندسی در مورد ارتباط هندسی چین‌ها و گسل‌های راندگی، برای کمربندهای چین-راندگی نازک‌پوسته ارائه شده است که همگی براساس

انواع متفاوتی از ورقه‌های رانده‌شده در کمربندهای چین-راندگی وجود دارد که توسعه، سازوکار حرکت و دگرشکلی درونی آنها متفاوت است. این تفاوت‌ها سبب ایجاد انواع متفاوت چین‌ها در ورقه‌های راندگی

* نویسنده مرتبط: Zeinali.fatemeh.fz@gmail.com



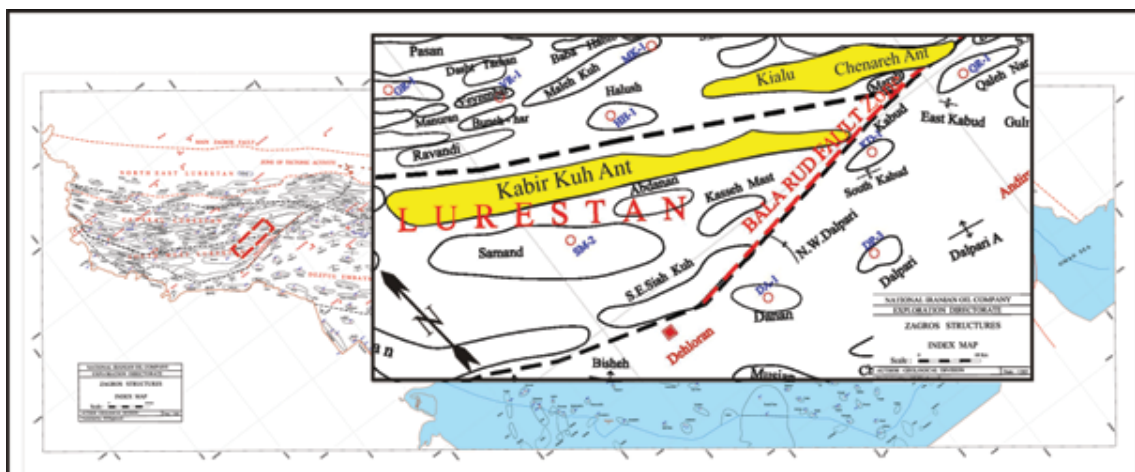
شکل ۱. انواع چین‌های مرتبط با گسلس (برگرفته از Jamison, 1987)

جایگاه زمین‌ساختی

تاقدیس کبیرکوه با طول حدود ۲۲۰ کیلومتر و عرض ۱۰-۲۰ کیلومتر یکی از بزرگ‌ترین و مرتفع‌ترین ساختارها در پهنه رسوبی - ساختاری لرستان است. تاقدیس‌های کاسه‌ماست و چناره - کیالو به ترتیب در جنوب باختر و شمال خاور این تاقدیس واقع شده‌اند. تاقدیس چناره که در انتهای شمال باختری، کیالو نیز نامیده می‌شود با طول حدود ۶۵ کیلومتر و عرض متوسط ۸ کیلومتر و راستای شمال باختر- جنوب خاور در ۵۰ کیلومتری شمال اندیمشک واقع شده است. تاقدیس‌های خوشاب و مراب به ترتیب در شمال و جنوب این ساختار قرار دارند (شکل ۲). دسترسی به این تاقدیس از طریق جاده اصلی خرم‌آباد-پلدختر (در مجاورت تنگه فنی) و آزادراه خرم‌آباد - پلزال امکان‌پذیر است.

موازنه طول و حجم هستند و عنوان چین‌خوردگی‌های مرتبط با گسلس^۱ به آنها داده شده است. این ارتباط توسط محققین بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است که منجر به ارائه تقسیم‌بندی‌های متعددی برای آن شده است (Suppe, 1985; Jamison, 1987). جمیسون (Throbjornsen and Dunne, 1997). جمیسون (Jamison, 1987) چین‌های مرتبط با گسل را در سه گروه کلی چین‌های خم گسلی^۲، پیشروی گسلی^۳ و چین‌های فراکنشی^۴ قرار داده است (شکل ۱). این مدل‌ها شاخص‌هایی برای تفسیرهای لرزه‌ای و بازسازی برش‌های ترازمند فراهم می‌کنند و ابزار با ارزشی برای فهم هندسه مخازن هیدروکربنی هستند. دو نوع عمومی چین‌های تاخورده و چین‌های مرتبط با گسل‌های راندگی در کمربند زاگرس وجود دارد که توزیع، وضعیت قرارگیری و هندسه این چین‌ها به‌طور مستقیم در ارتباط با هندسه حوضه و ویژگی‌های مکانیکی توالی پوشش رسوبی است (Sepehr et al., 2006). به دلیل تغییر سطوح فراکنشی در بخش‌های مختلف، به صورت جانبی و طولی، ویژگی‌های فیزیکی این لایه‌ها تغییر می‌کند و همین امر عاملی برای حضور سبک‌های ساختاری متفاوت در بخش‌های مختلف کمربند زاگرس است. همچنین جنبش گسل‌های رانده به همراه عملکرد سطوح فراکنش، عواملی هستند که در طی تکامل چین، بیشترین اثر را بر هندسه و الگوی چین دارند. در این مقاله با مطالعه ساختاری تاقدیس‌های چناره و کبیرکوه در پهنه رسوبی-ساختاری لرستان با استفاده از ترسیم برش‌های عرضی ساختاری ترازمند، به بررسی هندسه و الگوی این تاقدیس‌ها پرداخته خواهد شد و افزون بر آن تأثیر سطوح فراکنش در برش‌ها نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

1. Fault-related folding
2. Fault bend fold
3. Fault propagation fold
4. Fault detachment fold



شکل ۲. A) نقشه کمربند ساده چین‌خورده زاگرس، B) موقعیت تاق‌دیس‌های کبیرکوه و چناره (برگرفته از N.I.O.C, 2003)

چینه‌شناسی

این واحد سنگ‌شناختی در پس‌یال به سازندهای امیران (سیلتستون، ماسه‌سنگ، کنگلومرای چرت‌دار و آهک شیلی به سن ماستریشتین-پالئوسن)، تله‌زنگ (آهک متوسط دانه تا توده‌ای به سن پالئوسن-اؤوسن میانی) و کشکان (شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ و سیلتستون به سن اؤوسن میانی) تبدیل می‌شود. سازند گورپی (مارل‌های آب‌های عمیق و شیل به سن سانتونین-ماستریشتین) در هر دو یال تاق‌دیس‌ها رخمون یافته است. گروه بنگستان شامل سازندهای ایلام (سانتونین-کامپانین) مشتمل بر آهک‌های نازک لایه و شیلی. سازند سورگاه (تورونین-سانتونین) حاوی شیل‌های پیریت‌دار و آهک نازک لایه. سازند سروک (آلبین-تورونین)، سنگ آهک آب‌های عمیق با لایه‌بندی نازک سنگ‌آهک نریتیک و سازند کژدمی (آلبین-سنومانین زیرین) شامل مارل‌های خاکستری با شیل‌های فرعی و تیره، سنگ‌آهک آرژیلیتی) در محور تاق‌دیس چناره رخمون دارد و سازند سروک قدیمی‌ترین سازند رخمون یافته در هسته تاق‌دیس کبیرکوه می‌باشند. با توجه به اطلاعات چاه‌های حفاری‌شده در تاق‌دیس‌های هم‌جوار، در زیر گروه بنگستان، گروه خامی شامل سازندهای فهلپان

توالی رسوبی و واحدهای سنگ‌شناختی تاق‌دیس‌های کبیرکوه و چناره به ترتیب از جدید به قدیم و به اختصار براساس James and Wynd (۱۹۶۵) و مطیعی (۱۳۷۴) عبارتند از: نهشته‌های کواترنری و پس از آن سازند بختیاری (شامل کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های به سن پلیوسن پسین-پلیستوسن) که به صورت رخمون‌های کوچکی در یال جنوب‌باختری تاق‌دیس کبیرکوه دیده می‌شوند. سازند آغاچاری (شامل ماسه‌سنگ و کنگلومرای به سن میوسن میانی تا پلیوسن) در بخش‌هایی از یال جنوب‌باختری هر دو تاق‌دیس قابل مشاهده است. سازند گچساران (شامل تناوب انیدریت - هالیت، مارل و سنگ‌آهک به سن میوسن زیرین) در ناودیس‌های مجاور دو تاق‌دیس رخمون گسترده‌ای دارد. رخمون عمده در تاق‌دیس کبیرکوه به سازند آسماری (سنگ آهک نریتیک به سن الیگوسن-میوسن زیرین) و در تاق‌دیس چناره به سازند آسماری-شهبازان متعلق است. سازند پابده (شیل‌های خاکستری و سنگ آهک‌های آرژیلیتی نازک به سن پالئوسن تا الیگوسن) در هر دو یال تاق‌دیس کبیرکوه رخمون یافته اما در تاق‌دیس چناره

برش‌های عرضی ساختاری به‌منظور کمک به تحلیل و ارتقای برش‌های عرضی و امکان آزمودن اعتبار هندسه ساختاری رسم‌شده انجام شده است. برش‌های عرضی ساختاری ترسیم‌شده به روش موازنه خط با طول ثابت و با در نظر گرفتن خط میخ^۲ در محور ناودیس‌های بلافصل تاقدیس‌های مورد مطالعه به حالت پیش از دگرریختی بازگردانده شده‌اند و محاسبات لازم برای تعیین میزان کوتاه‌شدگی در این تاقدیس‌ها انجام شده است (جدول ۱).

برش‌های ساختاری عرضی

جهت بررسی تغییرات هندسی تاقدیس‌های چناره و کبیرکوه پنج برش عرضی ساختاری (شکل ۳) به‌صورت عمود بر تاقدیس‌های نامبرده ترسیم شده است (شکل ۴). در ترسیم برش‌های عرضی ساختاری به محل قرارگیری سطوح فراکنش معرفی شده در ستون چینه‌شناسی این تاقدیس‌ها توجه شده است.

با استفاده از این برش‌ها و اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به یک سطح چین‌خورده (شکل ۵) و نمودارهای استریوگرافیک چین‌ها (شکل ۶) جدول ۱ تهیه شده است. بر پایه این جدول می‌توان بیان نمود که تاقدیس‌های چناره و کبیرکوه از نوع چین‌های غیراستوانه‌ای می‌باشند. با توجه به طول و شیب متفاوت یال‌ها و عدم تقارن آنها نسبت به لولا در هر دو تاقدیس و همچنین بر پایه وضعیت لایه‌بندی در یال‌های شمال‌خاوری و جنوب‌باختری تاقدیس‌ها در برش‌ها (شکل ۵) مشخص گردید که تاقدیس‌های مورد بحث به‌طور کلی نامتقارن^۳، با پیش‌یال پرشیب‌تر و با تمایل^۴ به سمت جنوب-جنوب‌باختر می‌باشند. مقادیر برآورد شده برای زاویه بین دو یال^۵ و زاویه چین‌خوردگی^۶ این

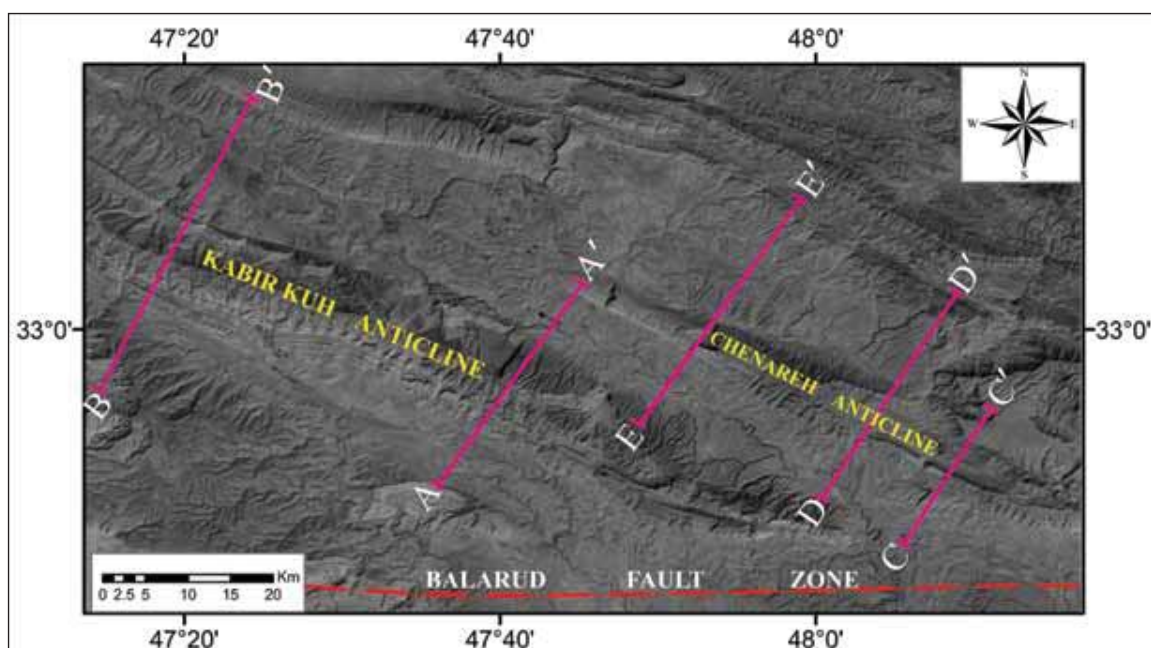
(سنگ آهک الیتی تا پلیتی به سن نئوکومین)، گدوان (سنگ‌آهک نریتیک و سنگ‌آهک آرژیلیتی به سن نئوکومین بالایی-آپتین) و داریان (سنگ‌آهک اربیتولینادار همراه با بین لایه‌های سیلیسی و آرژیلیتی اندک به سن آپتین) که به‌طور جانبی و به‌صورت بین‌انگشتی در لرستان به سازند شیلی‌گرو تبدیل می‌شوند، گروه کازرون شامل سازند دشتک (شیل، دولومیت، سیلتستون، انیدریت و آهک رسی به سن تریاس بالایی) و سازند نیریز، گروه دهرم شامل سازندهای فراقان (دونین-پرمین زیرین)، دالان (پرمین میانی-فوقانی) و کنگان (تریاس پیشین) قرار دارند. واحدهای پالئوزوئیک زیرین (شامل ماسه‌سنگ، شیل و اندکی کربنات است که لایه‌های کامبرین تا اردویسین را همراه با یک وقفه ناحیه‌ای از سیلورین تا کربونیفر در برمی‌گیرد) و سری هم‌ارز هرمز (؟) (واحد تبخیری همراه با نمک و کمی ژپس، شیل و سنگ‌های کربناته به سن پروتروزوئیک بالایی-کامبرین زیرین) از واحدهای زیرین گروه دهرم هستند.

روش مطالعه

در این بررسی به‌منظور مطالعه تغییرات جانبی در سبک ساختاری، تحلیل چین‌خوردگی و معرفی سطوح فراکنش عامل دگرریختی؛ داده‌های سطحی، اطلاعات چاه‌های حفاری شده در تاقدیس‌های همجوار و نقشه‌های زمین‌شناسی برای ترسیم برش‌های عرضی ساختاری از ساختارهای چین‌خورده ترکیب شده‌اند. تمام برش‌های عرضی به روش کینک^۱ و براساس حفظ سبک‌های لایه‌ها که متداول‌ترین روش در رسم برش‌های ساختاری است، ترسیم شده‌اند و در نهایت از برش‌های عرضی تهیه شده برای بررسی تغییرات هندسی ساختمان تاقدیس‌ها و پیش‌بینی وضعیت آنها در بخش‌های عمیق‌تر و تعیین سبک چین‌خوردگی آنها استفاده شده است. همچنین ترازمندی‌سازی این

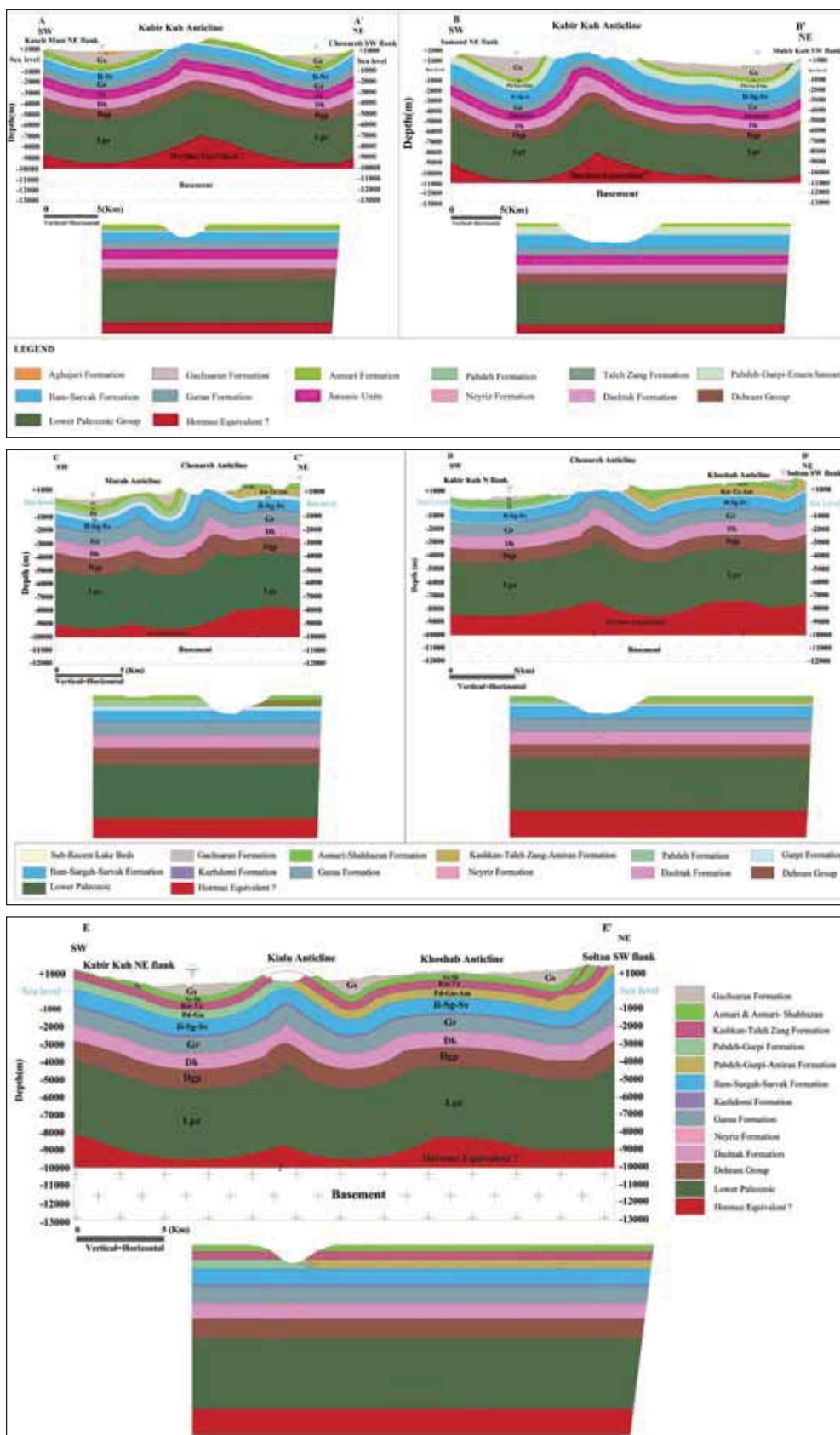
1. Kink method
2. Pine line
3. Asymmetrical fold
4. Vergence
5. Interlimb angle
6. Folding angle

دو تاقدیس را از نظر فشردگی^۱ به عنوان چین‌های باز^۲ نشان می‌دهند. محاسبات لازم برای توصیف خمیدگی نسبی چین از نظر کندی^۳ در تمامی برش‌های عرضی ساختاری ترسیم شده، نشان داده است که در همه برش‌ها r_0, r_c است، در برش‌های عرضی ساختاری AA' و BB' ، $0.4 \leq b \leq 0.8$ و در برش‌های CC' ، DD' و EE' ، $0.4 \leq b \leq 0.2$ است. بنابراین برش‌های AA' ، BB' و EE' را می‌توان با واژه نیمه‌گرد شده^۴ و برش‌های CC' و DD' را با واژه نیمه‌زاویه‌دار^۵ توصیف نمود. مقادیر نسبت ابعادی^۶ محاسبه شده و لگاریتم آن برای تمام برش‌ها در محدوده $0.1 \leq p \leq 0.25$ و $-1 \leq \text{Log } p \leq -0.6$ قرار دارد که این مقادیر واژه پهن^۷ را برای هر دو تاقدیس پیشنهاد می‌کند. همچنین محاسبات انجام شده بر روی سازند آسماری در تمامی برش‌ها رده^۸ $1c$ طبقه‌بندی Ramsay & Huber (1978) را برای برش‌های AA' ، BB' و EE' و رده ۲ را برای برش‌های CC' و DD' پیشنهاد می‌کند.

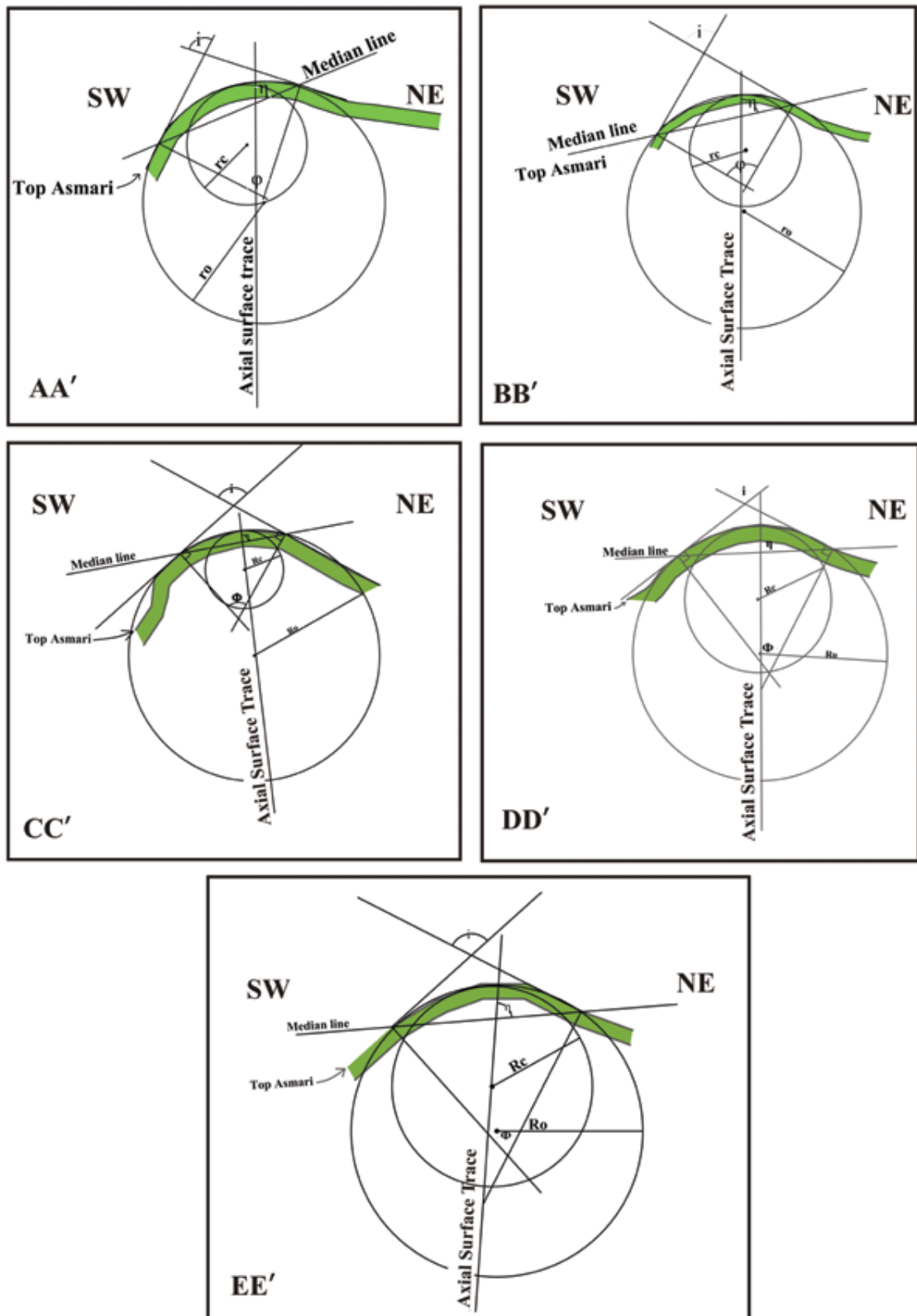


شکل ۳. نمایش محل برش‌های عرضی ساختاری بر روی تصویر ماهواره‌ای (موقعیت تصویر در شکل ۲ نشان داده شده است)

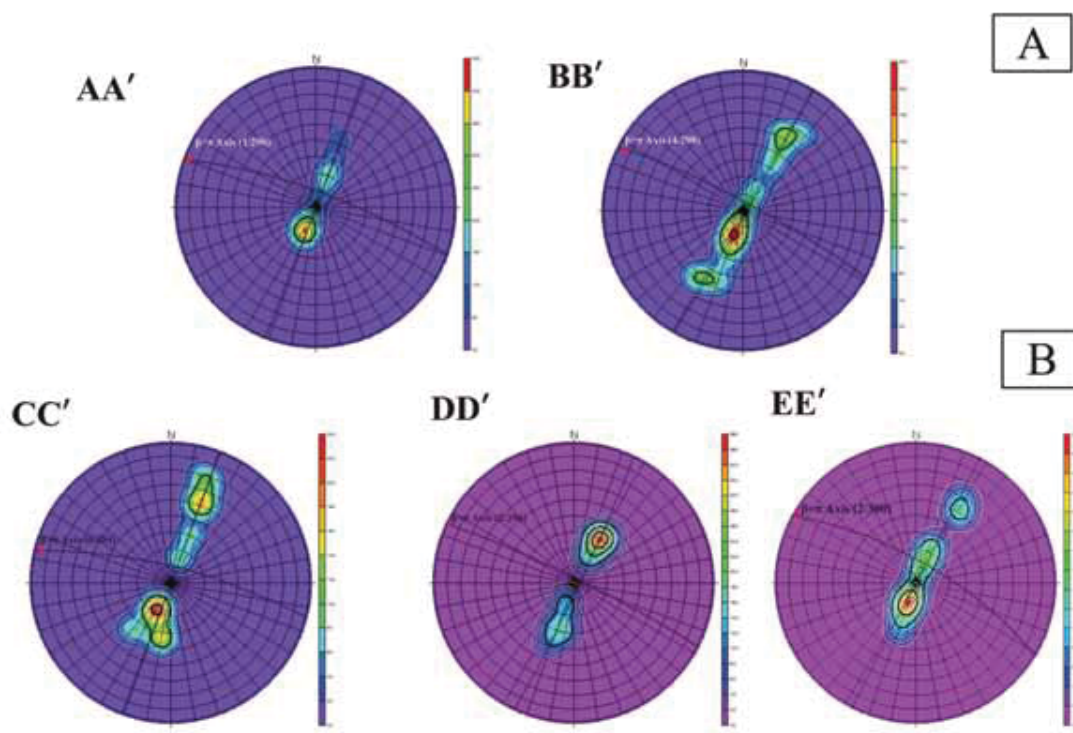
1. Tightness
2. Open
3. Bluntness
4. Subrounded
5. Subangular
6. Aspect ratio
7. Wide
8. Class



شکل ۴. برش‌های عرضی ساختاری AA', BB', CC', DD', EE' (بالا) و بازگردانی به حالت پیش از دگرریختی (پایین)، بر روی تاق‌دیس‌های کبیرکوه و چناره (جهت اطلاعات بیشتر به جدول ۱ رجوع شود)



شکل ۵. ترسیم‌های انجام شده برای اندازه‌گیری پارامترهای هندسی بر روی افق مرجع (سازند آسماری) در برش‌های عرضی ساختاری EE', DD', CC', BB', AA'



شکل ۶. استریوگرام برش‌های مختلف (A تاقدیس کبیرکوه، B تاقدیس چناره (جهت توضیحات بیشتر به جدول ۱ رجوع شود)

جدول ۱. پارامترهای اندازه‌گیری شده بر روی برش‌های ترسیم شده از تاقدیس‌های کبیرکوه و چناره (شکل‌های ۵ و ۶)

نام برش					مشخصات و پارامترهای هندسی تاقدیس کبیرکوه
EE'	DD'	CC'	BB'	AA'	
۱۰۹	۹۵	۱۰۴	۹۰	۹۹	زاویه میان یالی (i) (درجه)
۷۱	۸۵	۷۶	۹۰	۸۱	زاویه چین خوردگی (φ) (درجه)
باز	باز	باز	باز	باز	فشردگی (T)
۹۰	۷۹	۸۹	۷۷	۶۸	زاویه تمایل (η) (درجه)
مستقرن	نامستقرن	نامستقرن	نامستقرن	نامستقرن	تقارن
غیراستوانه‌ای	غیراستوانه‌ای	غیراستوانه‌ای	غیراستوانه‌ای	غیراستوانه‌ای	Cylindricity
۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۴	نسبت ابعادی (p)
-۰/۸۵	-۰/۸۲	-۰/۸۵	-۰/۸۱	-۰/۸۶	
پهن	پهن	پهن	پهن	پهن	
۰/۶	۰/۴	۰/۵	۱/۲۳	۱/۲۲	کندی چین (b)
۱/۴۵	۱/۴	۱/۴	۲/۶	۲/۵	
۰/۴	۰/۲۸	۰/۳	۰/۴۷	۰/۴۹	
نیمه گرد شده	نیمه زاویه‌دار	نیمه زاویه‌دار	نیمه‌گرد شده	نیمه‌گرد شده	

ادامه جدول ۱

نام برش					مشخصات و پارامترهای هندسی تاقدیس کبیرکوه	
EE'	DD'	CC'	BB'	AA'		
۱۵	۱۰	۲۰	۱۲	۳۰	طبقه‌بندی چین در سازند آسماری بر پایه Ramsay and Huber (1987)	
۱/۵	۱/۳۵	۱/۴۵	۱/۱۵	۱/۳۵		
۱/۴۴	۱/۳	۱/۴	۱/۱	۱/۳		
۱/۴۲	۱/۲۹	۱/۳۶	۱/۱۳	۱/۲۵		
۱/۴۴	۱/۳	۱/۴	۱/۱	3/1		
۱/۰۴	۱/۰۳	۱/۰۳	۱/۰۴	03/1		
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۹	96/0		
C1	۲	۲	C1	C1		
۸/۹۸	۱۱/۱۰	۱۵/۲۲	۲۱/۷۰	۱۹/۹۲		طول موج (کیلومتر)
۴۵۸/۵۸	۵۱۲/۳۴	۳۸۹/۷۷	۸۹۵/۲۸	۴۸۶/۴۲		دامنه (متر)
۰۳°، ۲۹۴°	۰۶°، ۲۸۴°	۰۲°، ۳۰۰°	۰۴°، ۲۹۸°	۰۱°، ۲۹۴°	موقعیت فضایی محور (روند-میل)	
۱۱۶°، ۸۸°NE	۱۰۳°، ۸۰°NE	۱۱۶°، ۷۴°NE	۱۱۸°، ۸۶°NE	۱۱۲°، ۸۰°NE	سطح محوری	
۳۵	۳۰	۳۰	۳۰	۱۸	شیب پس یال (α) (درجه)	
۸/۴۵	۸	۹/۵	۱۰/۶۷	۶/۶۶	کوتاه‌شدگی (درصد)	
-	۳۱۱/۲۱	۵۰۰/۸۲	۴۲۳/۸۲	-	ستبرای سازند گوربی در پیش‌یال (متر)	
-	۲۲۹/۳۵۵	۳۴۷/۵۹	۳۳۷/۱۶	-	ستبرای سازند گوربی در پس‌یال (متر)	
-	۳۵/۶۸	۴۴/۱۰	۲۵/۷۰	-	ستبرشدگی پیش‌یال (درصد)	

بحث

چین‌خوردگی جعبه‌ای تاقدیس کبیرکوه و بخش‌های شیب‌دار در هر دو یال در ژرفا، به پیش‌بینی یک سطح فراکنش میانی در ژرفای معادل با مرز تریاس - ژوراسیک و سازند دشتک در برش‌ها منجر شده است. طول موج به‌نسبت بالای تاقدیس چناره نشان می‌دهد که سطح فراکنش در ژرفای زیادی قرار دارد و تبخیری‌های سازند دشتک یا واحدهای عمیق‌تر در پالئوزوئیک زیرین و یا حتی سری معادل هرمز (?) می‌توانند سطوح فراکنش بالقوه باشند.

در بررسی‌های انجام شده پیشین (حاجی علی بیگی و همکاران، ۱۳۸۶) تاقدیس چناره به‌عنوان یک چین مرتبط با گسلش از نوع چین‌های انتشار گسلی و متاثر از عملکرد منطقه گسلی بالارود معرفی شده است، در

مطالعه برش‌های عرضی ساختاری ترسیم شده و مقایسه آنها با مدل‌های هندسی ارائه شده برای چین‌های مرتبط با گسلش حاکی از آن است که تاقدیس‌های کبیرکوه و چناره از نوع چین‌های مرتبط با گسلش و از نوع چین‌های فراکنشی گسلیده معرفی شده توسط Mitra (2002) می‌باشند. در برش‌های ترسیم شده از این تاقدیس، تبخیری‌های تریاس دشتک یک سطح فراکنش میانی را شکل می‌دهند که تاقدیس کبیرکوه را متاثر کرده است.

در ژرفا، هندسه تاقدیس با تاکید بر حفظ ستبرایا برای گروه بنگستان (سازندهای کزدمی، سروک، سورگاه و ایلام) و سازند گرو در زیر آن بازسازی شده است. هندسه

1. Faulted detachment fold

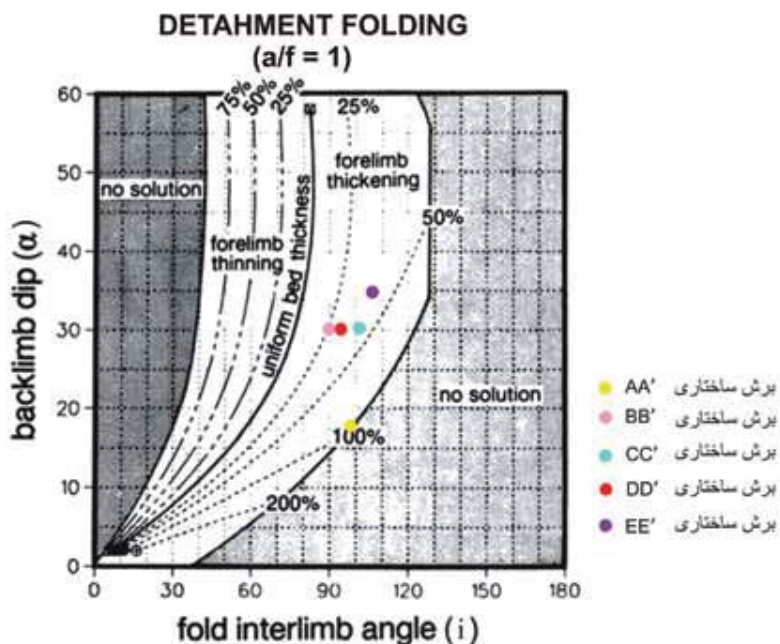
در هر سه برش (EE', DD', CC') حدود ۳۰ تا ۴۵٪ ستبرشدگی پیش‌یال را نشان می‌دهد.

برای مقایسه درصد ستبرشدگی به‌دست آمده از نمودار با ستبرای واقعی پیش‌یال چین‌ها، نیاز است تا درصد ستبرشدگی یا نازک‌شدگی پیش‌یال تاقدیس‌ها در سطح نیز اندازه‌گیری شود. با توجه به رخنمون سازند گورپی در هر دو یال تاقدیس‌های مورد مطالعه و قابلیت تغییر ستبرای آن، از این واحد سنگ‌شناختی برای اندازه‌گیری میزان تغییرات ستبرای پیش‌یال چین‌ها در سطح استفاده شده است. لازم به‌ذکر است که در برش AA' به‌دلیل نبود رخنمون سازند گورپی و در برش EE' به‌دلیل نبود تغییر ستبرای این واحد، اندازه‌گیری در سطح انجام نشده است.

همانطور که مشاهده می‌شود مقادیر ستبرشدگی محاسبه شده در سطح با مقادیر ۳۵ تا ۴۵٪ ستبرشدگی پیش‌یال به‌دست آمده در نمودار چین‌های فراکنشی (شکل ۷) برای تاقدیس چناره و مقدار ۲۵/۷٪ ستبرشدگی برآورد شده برای تاقدیس کبیرکوه تطابق نسبتاً خوبی دارد.

حالیکه (Goodarzi 2007) در بررسی‌های خود این تاقدیس را به‌عنوان یک چین فراکنشی معرفی کرده است. همچنین در بررسی‌های اخیر انجام شده توسط Verges et al. (2011) بر روی تاقدیس کبیرکوه، این تاقدیس نیز به‌عنوان یک چین فراکنشی یافته بر روی سطح فراکنش دشتک معرفی شده است که با نتایج به‌دست آمده از برش‌های ترسیم‌شده در این بررسی همخوانی دارد.

جهت بررسی میزان تغییرات ستبرای چین‌ها از نمودار نازک‌شدگی و ستبرشدگی پیش‌یال چین‌های فراکنشی (Jamison 1987) استفاده شده است (شکل ۷). به این منظور، پارامترهای هندسی لازم شامل شیب کژگسل و یا شیب پس‌یال (α_p) و زاویه بین دو یال (i) جهت استفاده از این نمودارها از برش‌های ساختاری استخراج شده‌اند. با پیاده کردن پارامترهای نامبرده بر روی نمودار مربوطه همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود تاقدیس کبیرکوه در برش AA' در محدوده بدون راه حل و در برش BB' در محدوده ۲۵٪ ستبرشدگی پیش‌یال قرار گرفته است و تاقدیس چناره



شکل ۷. موقعیت تاقدیس‌های کبیرکوه و چناره در برش‌های عرضی ساختاری AA', BB', CC', DD' و EE' بر روی نمودار نازک‌شدگی و ستبرشدگی پیش‌یال چین‌های فراکنشی (Jamison 1987)

هندسی چین‌های فراکنشی به‌وجود آمده براساس تکامل جنبشی مدل (Dahlstrom 1990) نمودارهایی را معرفی نموده‌اند و معتقدند چنانچه میزان شیب یال‌های چین و نسبت سینوس آنها اندازه‌گیری شود، می‌تواند جهت محاسبه میزان کوتاه‌شدگی لایه پرقوام بالای لایه فراکنشی شکل‌پذیر که چین در آن توسعه یافته است، استفاده گردد. برای تعیین میزان کوتاه‌شدگی از طریق نمودارهای ارائه شده توسط (Poblet and McClay 1996) پارامترهایی چون طول پیش‌یال، طول پس‌یال، شیب پیش‌یال، شیب پس‌یال و نسبت R_1 مورد نیاز است که این متغیرها از برش‌های عرضی ترسیم شده محاسبه شده‌اند (جدول ۲).

مقدار کوتاه‌شدگی به‌دست آمده از نمودار باید بر مبنای طول پیش‌یال و پس‌یال تاقدیس نرمالیزه گردد تا میزان کوتاه‌شدگی واقعی به‌دست آید. زوایای نشان داده شده در این نمودارها به درجه واقعی هستند ولی مقادیر خطی بر مبنای I_p و I_b برابر ۱۰ نرمالیزه شده‌اند. مقدار کوتاه‌شدگی واقعی برای پیش‌یال و پس‌یال از رابطه (۱) حاصل می‌شود:

$$S = \frac{\text{Calculated Shortening } l_f (I_b)}{10} \quad \text{رابطه ۱}$$

با جایگزینی کوتاه‌شدگی‌های به‌دست آمده از نمودارها در رابطه ۱ به‌صورت جداگانه برای پیش‌یال و پس‌یال، مقدار کوتاه‌شدگی واقعی به‌دست می‌آید. چنانچه این میزان با مقادیر کوتاه‌شدگی به‌دست آمده از اندازه‌گیری برش‌های ترسیم شده (AA' , BB' , CC' , DD' , EE') در تاقدیس‌های کبیرکوه و چناره مطابقت داشته باشد، بیانگر آن است که هندسه و تحول جنبشی چین مورد نظر منطبق بر مدل می‌باشند. برای این منظور، پارامترهای لازم بر روی سطح بالایی سازند مقاوم سروک در تاقدیس کبیرکوه و گروه بنگستان در تاقدیس چناره استخراج شده‌اند (جدول ۲) (به‌دلیل گسلیده بودن سطح گروه

تحلیل جنبشی تاقدیس‌های کبیرکوه و چناره

سه مدل هندسی و جنبشی برای چین‌های فراکنشی ارائه شده است (Poblet and McClay, 1996). بر پایه مدل اول که (Mitchel and Woodward 1988) ارائه کرده‌اند، چین فراکنشی با افزایش طول یال‌ها و ثابت ماندن شیب آنها شکل می‌گیرد. در مدل دوم که (De Sitter 1956) ارائه کرده است، چین فراکنشی با افزایش شیب یال‌ها و ثابت ماندن طول آنها به‌وجود می‌آید. در مدل سوم که توسط (Dahlstrom 1969) ارائه گردیده است چین فراکنشی بر مبنای قانون ثابت بودن مساحت لایه‌های ویسکوز و مقاوم و با افزایش تدریجی طول و شیب پهلوها شکل می‌گیرد. تحول جنبشی چین‌های فراکنشی در اکثر کمربندهای چین-راندگی عموماً منطبق بر مدل سوم است. زیرا مدل‌های اول و دوم به‌دلیل تغییر در مساحت منطقه شکل‌پذیر از نظر تحول جنبشی امکان‌پذیر نیستند، چون در فرایند تکامل چین فراکنشی، لایه شکل‌پذیر از پایین‌ترین بخش ناودیس به‌سمت بالاترین بخش تاقدیس مهاجرت می‌کند تا چین به‌وجود آید (Poblet and McClay 1996). بر مبنای مدل دالستروم با افزایش جابجایی راندگی، کوتاه‌شدگی در لایه شکل‌پذیر رخ می‌دهد و موجب مهاجرت آن به بالاترین بخش تاقدیس در ناحیه لولایی آن می‌گردد. چنین مهاجرتی موجب برخاستگی ناحیه لولایی تاقدیس می‌گردد. برخاستگی با میزان کوتاه‌شدگی رابطه مستقیمی دارد و در این صورت قانون ثابت بودن مساحت رعایت می‌شود. برای برقراری این قانون در هنگام تکامل جنبشی چین، باید همراه با افزایش طول یال‌ها شیب نیز افزایش یابد (مدل سوم). افزایش شیب یال‌ها با چرخش یال‌ها صورت می‌گیرد. چنین چرخشی در یال‌ها موجب توسعه ساختارهایی در یال‌های چین چون راندگی‌های توسعه یافته در یال‌های تاقدیس‌های کبیرکوه و چناره می‌گردد.

(Poblet and McClay 1996) برای تحلیل

چینه‌شناسی کمتر شناخته شده است. حضور و فعالیت این سطوح فراکنشی در توالی چینه‌شناسی برش‌های مورد مطالعه سبب گردیده است که احتمالاً در شرایط عدم کارایی موثر سطح فراکنش قاعده‌ای هندسه و تکامل چین‌ها را کنترل نماید. توالی پالئوژئیک زیرین و سازند دشتک، دو واحد لیتولوژیکی کم‌قوام شناخته شده در ناحیه مورد مطالعه هستند که سبب جدایش دگرریختی و اختلاف سبک ساختاری شده‌اند. برش‌های عرضی تا حد امکان ترازمند در تاقدیس‌های چناره و کبیرکوه نشانگر یک چین فراکنشی گسلیده^۱ با چند سطح گسستگی^۲ است. مشاهده و تفسیر مقطع در عمق، مکانیسم چین‌خوردگی فراکنشی بر روی سطح فراکنش قاعده‌ای را برای این تاقدیس‌ها نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل برش‌ها نشان از عملکرد سازند دشتک به‌عنوان سطح فراکنش میانی دارد. احتمالاً کاهش کارایی موثر سطح فراکنش قاعده‌ای باعث شده است که در مراحل اولیه چین‌خوردگی بخشی از کوتاه‌شدگی با گسستگی در امتداد سری پالئوژئیک زیرین تعدیل شود اما در مراحل پیشرفته چین‌خوردگی، یک گسل رانده در پیش‌یال چین تشکیل شده و به سطح گسستگی قاعده‌ای متصل گردیده است و هم‌زمان با تداوم چین‌خوردگی، سطح گسستگی میانی (سازند دشتک) فعال شده و کوتاه‌شدگی را تعدیل کرده است و واحدهای چین‌های واقع در طرفین این سطح، سبک و هندسه چین‌خوردگی متفاوتی را تجربه کرده‌اند. این افق فراکنشی از ناودیس‌های اطراف به‌طرف هسته تاقدیس، سبب رشد و فرازگیری تاقدیس با هندسه متفاوتی نسبت به آنچه در عمق دیده می‌شود، شده است. عملکرد سازندهای پابده و گورپی نیز به‌عنوان سطوح فراکنشی باعث تشکیل چین‌های کوچک و فرعی شده است.

بنگستان در برش CC' محاسبات در این برش انجام نشده‌اند).

با توجه به پارامترهای محاسبه شده موقعیت تاقدیس‌های کبیرکوه و چناره در نمودارهای شکل ۹ a و b جهت برآورد میزان کوتاه‌شدگی تاقدیس‌ها در این برش‌ها مشخص شده است.

همچنین با استفاده از رابطه ۲ نیمی از زاویه بین دو یال نیز محاسبه شده است

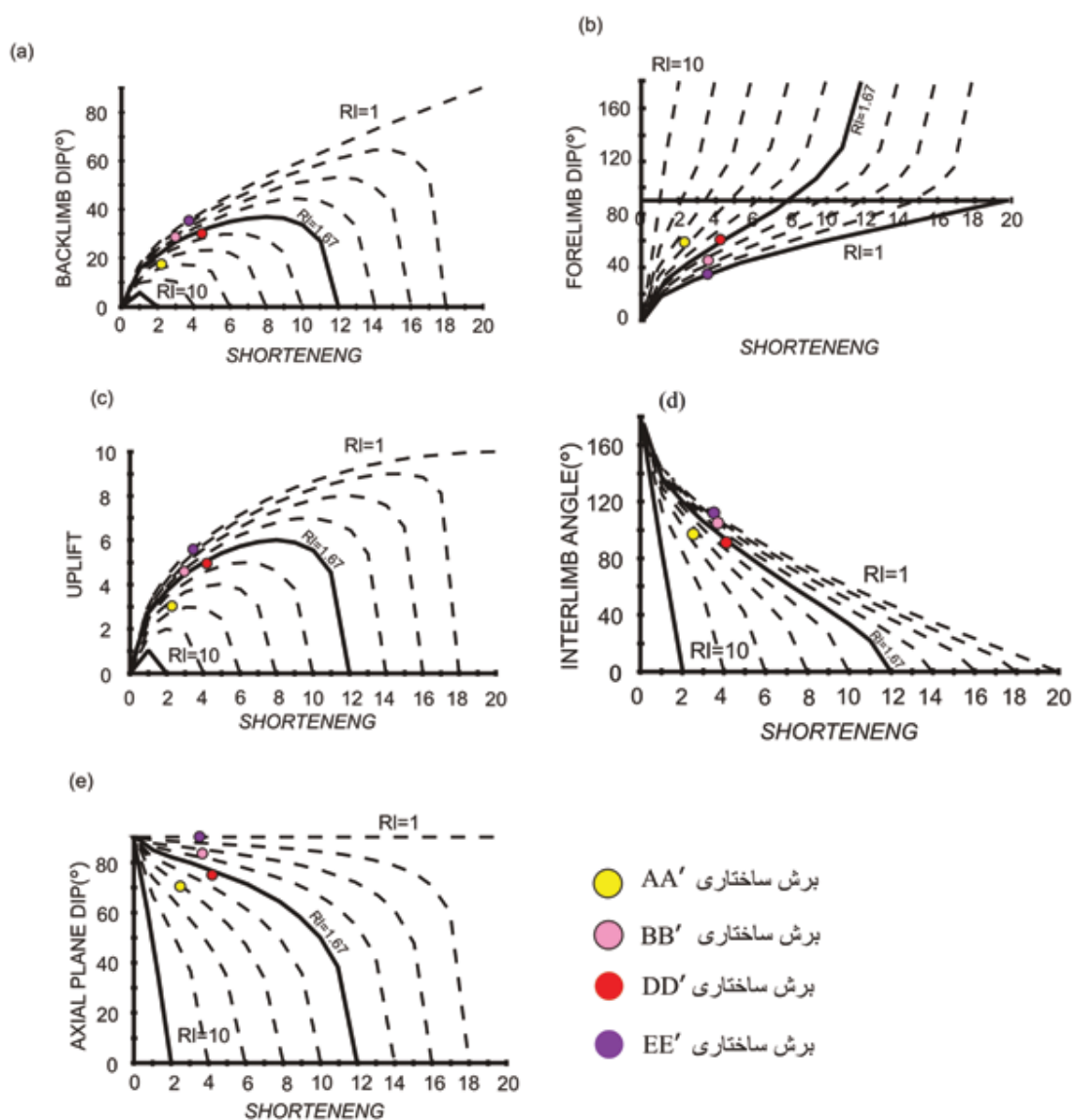
$$\text{رابطه ۲} \quad i = 90 - (V_b/2) - (V_f/2)$$

با قرار دادن مقدار کوتاه‌شدگی به‌دست آمده از نمودار شکل ۸ a یا b در نمودارهای ۸ c و d به‌ترتیب مقادیر زاویه بین دو یال و شیب سطح محوری چین نیز قابل محاسبه‌اند.

با توجه به مقدار R_1 به‌دست آمده، مقدار کوتاه‌شدگی برای پس‌یال تاقدیس کبیرکوه در برش‌های AA' و BB' به ترتیب ۲/۲ و ۳/۰ و برای تاقدیس چناره در برش‌های DD' و EE'، ۴/۵ و ۳/۸ است، در حالی که مقادیر به‌دست آمده برای پیش‌یال تاقدیس کبیرکوه ۲/۴ و ۳/۷ و برای تاقدیس چناره به ترتیب ۴/۱ و ۳/۵ است که با قرار دادن این مقادیر در رابطه ۱ می‌توان مقدار کوتاه‌شدگی واقعی را بدست آورد. طبق رابطه ۲ میزان زاویه بین دو یال در تاقدیس‌های کبیرکوه و چناره محاسبه شده است (جدول ۲). مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از نمودارها با مقادیر حاصل از روابط و همچنین ترسیم‌های هندسی انجام شده (شکل‌های ۵ و ۶ و جدول ۱) حاکی از تشابه نزدیک این مقادیر با یکدیگر است.

لزوم حضور یک سطح فراکنش قاعده‌ای در تشکیل چین‌های فراکنشی توسط مولفین مختلفی (مثل Mitra, 2002 and 2003; Homza and Wallace, 1995; Dahlstrom, 1990) مورد تأکید قرار گرفته است. با این حال نقش سطوح فراکنش میانی فعال در توالی

1. Fault detachment fold
2. Multi detachment



شکل ۸. نمودارهای تعیین پارامترهای هندسی چین‌های فراکنشی (برگرفته از Poblet and McClay, 1996). منحنی‌های ترسیم‌شده در نمودارها به ترتیب از راست به چپ با مقادیر R_1 ، ۱، ۱/۱۱، ۱/۲۵، ۱/۴۳، ۱/۶۷، ۲، ۲/۵، ۵ و ۱۰ متناظر می‌باشند. (موقعیت تاقدیس‌های کبیرکوه و چناره در برش‌های AA', BB', CC' و EE' بر پایه پارامترهای هندسی آن در نمودارها با دایره مشخص شده است)

جدول ۲. پارامترهای هندسی تاقدیس‌های کبیرکوه و چناره در برش‌های AA', BB', EE' جهت تحلیل جنبشی آنها به روش Poblet & McClay (1996)

EE'	DD'	BB'	نام برش	طول پس‌یال (l _p) (متر)
۵۲۰۳/۱۸	۳۴۱۵/۹۱	۱۳۷۸۵/۴۳	۱۰۸۹۷/۶۳	طول پیش‌یال (l _p) (متر)
۵۹۱۳/۸۸	۳۹۸۱/۵۸	۱۰۱۰۱/۷	۸۲۹۰/۲۰	شیب پیش‌یال (v _p) (درجه)
۳۵	۶۰	۴۵	۶۳	شیب پس‌یال (v _p) (درجه)
۳۵	۳۰	۳۰	۱۸	$Rl = \sin^{V_f/V_p}$
۱/۰۰	۱/۷۳	۱/۴۱	۲/۹۷	کوتاه‌شدگی محاسبه شده از روی نمودار (نرمالیزه شده برپایه پس‌یال) (متر)
۱۹۷۷/۲۱	۱۵۷۱/۳۲	۴۱۳۵/۶۳	۲۳۹۷/۴۸	کوتاه‌شدگی محاسبه شده از روی نمودار (نرمالیزه شده برپایه پیش‌یال) (متر)
۲۰۶۹/۸۵	۱۶۳۲/۴۵	۳۷۳۷/۲۷	۱۹۸۹/۶۵	کوتاه‌شدگی محاسبه شده از روی برش (متر)
۳	۱۶۵۱/۹۷	۳۹۱۷/۶۳	۵	برخاستگی محاسبه شده از روی نمودار (نرمالیزه شده برپایه پس‌یال) (متر)
۲۹۱۳/۷۸	۱۷۰۷/۹۵۵	۶۲۰۳/۴۴	۳۲۶۹/۲۸۹	زاویه بین دو یال محاسبه شده از روی نمودار (درجه)
۱۱	۹۳	۱۰۲	۱۰۰	نیمی از زاویه بین دو یال محاسبه شده از طریق رابطه (درجه)
۵۵	۹۰	۵۲/۵	۴۹/۵	شیب سطح محوری محاسبه شده از طریق نمودار (درجه)
۸۹	۷۵	۸۴	۷۰	شیب سطح محوری محاسبه شده از طریق نمودار (درجه)

نتیجه‌گیری

ساختاری تهیه‌شده از تاقدیس‌ها با الگوهای ارائه شده پیشین برای چین‌های مرتبط با گسلش راندگی حاکی از آن است که این تاقدیس‌ها از نوع چین‌های فراکنشی گسلیده با چند سطح فراکنش می‌باشند. تاقدیس‌های چناره و کبیرکوه، نمونه‌های بارزی از تکامل ساختمان‌های چین‌خورده در حضور سطوح فراکنش میانی هستند. فعالیت این سطوح کنترل‌کننده هندسه چین در مراحل پیشرفته دگرشکلی است و واحدهای سنگی واقع در دوسوی این سطوح هندسه‌های متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. با استفاده از روش تصویر عمق و حفظ ضخامت، تاقدیس چناره سطح فراکنش اصلی را در عمقی متناظر با تبخیری‌های تریاس دشتک نشان داد که این سطح با سطح فراکنش میانی اصلی در تاقدیس کبیرکوه نیز متناظر است. هندسه این

تاقدیس‌های نامتقارن کبیرکوه و چناره از نوع چین‌های غیراستوانه‌ای با تمایل به سمت جنوب، جنوب‌باختر هستند و اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به یک سطح چین‌خورده هر دو تاقدیس را به‌عنوان چین‌های باز و پهن معرفی کرده است که در رده IC و ۲ طبقه‌بندی (Ramsay and Huber (1978) قرار می‌گیرند. از نظر فشردگی و نسبت ابعادی به‌ترتیب واژه‌های باز و پهن برای هر دو تاقدیس پیشنهاد می‌شود. بر پایه مقادیر به‌دست آمده برای خمیدگی نسبی چین (کندی) واژه نیمه‌زاویه‌دار تا نیمه‌گرد شده برای توصیف تاقدیس‌ها مناسب به‌نظر می‌رسند. تجزیه و تحلیل پارامترهای چین‌خوردگی مرتبط با گسلش برای تاقدیس‌های کبیرکوه و چناره و مقایسه برش‌های عرضی

., 49,2182-2245.

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

- McClay, K.R., 2003. *Structural Geology for Petroleum Exploration*, Lecture Notes., 503.

- Mitra, S., 2002. Structural models of faulted detachment folds. *AAPG Bulletin*, 86,9, 1673-1694.

- Mitra, S., 2003. A unified kinematic model for the evolution of detachment folds. *Journal of Structural Geology*, 25, 10, 1659-1673.

- Mitchel, M. and Woodward, N.B., 1988. Kink detachment fold in the southwest Montana fold and thrust belt. *Geology*. 16,162-165

- Nemcok, M., Schamel, S. and Gayer, R., 2005. *Thrust belt*, Cambridge Press, 541.

- Poblet, J.A. and McClay, K.R., 1996. Geometry and kinematics of single layer detachment folds. *AAPG Bulletin*, 80,1085-1109.

- Ramsay, J.G. and Huber, M.I., 1978. *The Techniques of Modern Structural Geology*, Volume.1: Strain Analysis. Academic Press, London, 307.

- Sepehr, M., Cosgrove, J.W. and Moieni, M., 2006. The impact of cover rock rheology on the style of folding in the Zagros fold-thrust belt. *Tectonophysics*, 427, 265-281.

- Suppe, J., 1985. *Principles of Structural Geology*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 537.

- Throbjornsen, K.L. and Dunne, W.M., 1997. Origin of thrust-related fold: geometric vs kinematic tests. *Journal of Structural Geology*, 19, 303-319.

ساختارها در سطح با هندسه آنها در عمقی که سازند دشتک واقع شده است، متفاوت است که این امر به دلیل نقشی است که سازند دشتک به عنوان سطح فراکنش میانی بازی کرده است.

منابع

- حاجی علی بیگی، ح.، علوی، س.ا، افتخارنژاد، ج.، مختاری، م.، آدابی، م.ح.، ۱۳۸۶. استفاده از شکستگی‌ها در تفسیر ساختاری یک تاقدیس، مطالعه موردی: تاقدیس چناره، جنوب باختر ایران. فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین. ۴۴، ۷۴-۳۳.

- مطیعی، ه.، ۱۳۷۴. چینه‌شناسی زاگرس. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۵۴۰.

- Dahlstrom, C.A.D., 1969. The upper detachment in concentric folding. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 10, 7, 326-346.

- Dahlstrom, C.D.A., 1990. Geometric constraints derived from the law of conservation of volume and applied to evolutionary models for detachment folding. *AAPG Bulletin*, 74, 3, 336-344.

- De Sitter, L., 1959. *Structural Geology*. McGraw Hill, London, 552.

- Homza, T.X. and Wallace, W.K., 1995. Geometric and kinematic models for detachment folds with fixed and variable detachment depths. *Journal of Structural Geology*, 17, 575-587.

- Goodarzi, M.H.A., 2007. Structure of the Chenareh anticline in Lurestan, Zagros: role of gravity in folding style. MSc thesis. Universit Barcelona, 63.

- James, G.A. and Wynd, J.G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. *AAPG Bulletin*