



## تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس سرکان کمربند چین - خورده-رانده زاگرس، منطقه لرستان، جنوب غرب خرم آباد، استان لرستان

مرجان حمزه لوثی<sup>۱</sup>، حسین حاجی علی بیگی (نویسنده مسئول)<sup>۲</sup>، حمید رضا کریم نژاد لالمی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران  
marjan.hamzelouei@yahoo.com

<sup>۲</sup> استادیار گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران h-alibeigi@Sbu.ac.ir

<sup>۳</sup> دکتری تکتونیک، کارشناس مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، تهران Karimnejad@gmail.com

### چکیده

تاقدیس سرکان با روند شمال غربی-جنوب شرقی و روند اثر سطح محوری ۱۰۹ درجه از جمله تاقدیس‌های منطقه لرستان در کمربند چین خورده-رانده زاگرس می‌باشد. در این پژوهش با ترسیم یک برش عرضی زمین‌شناسی ساختاری عمود بر روند این تاقدیس و اندازه‌گیری پارامترهای هندسی مربوط به یک سطح چین خورده بر روی این برش، تاقدیس سرکان مورد تجزیه و تحلیل هندسی و جنبشی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از این اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که این تاقدیس با موقعیت فضایی محور صفر درجه و ۴۴° یک تاقدیس نامتقارن، استوانه‌ای و از نظر فشردگی از نوع چین‌های باز می‌باشد. از نظر رده‌بندی رمزی، ۱۹۶۷، تاقدیس امیران در رده IB قرار می‌گیرد. مقایسه این تاقدیس با مدل‌های ارائه شده برای انواع چین‌های مرتبط با گسلش، می‌توان تاقدیس سرکان را یک چین جدایشی و یا چین جدایشی گسل خورده با ساختار پس راندگی در نظر گرفت.

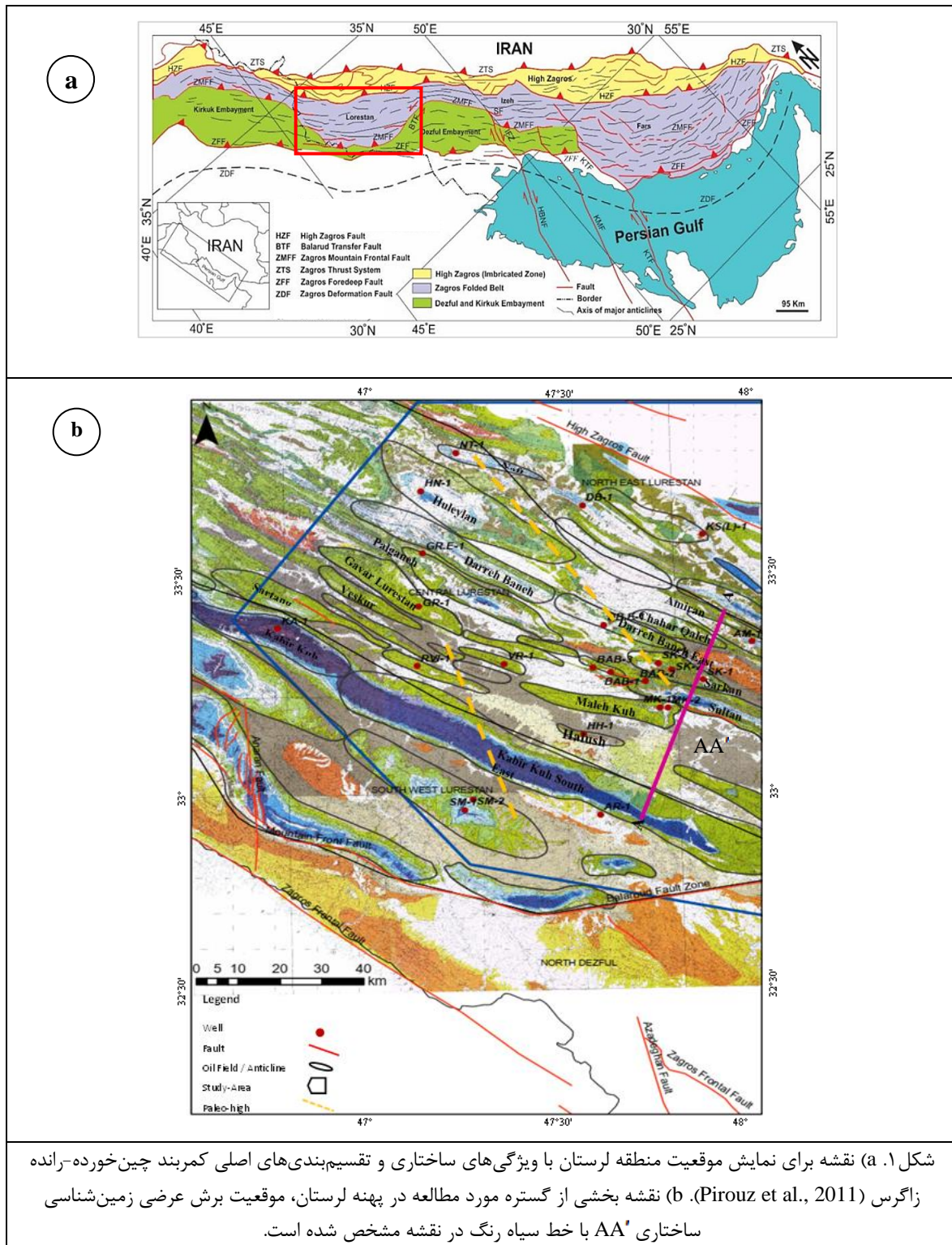
### واژه‌های کلیدی

کمربند چین خورده-رانده زاگرس، لرستان، تاقدیس سرکان، برش عرضی زمین‌شناسی ساختاری، چین خوردگی مرتبط با گسلش، افق‌های جدایشی، پارامترهای هندسی، سطح چین خورده



## ۱. مقدمه

کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس، با گسترشی در حدود ۲۰۰۰ کیلومتر از کوه‌های تاروس در ترکیه تا تنگه هرمز در جنوب شرق ایران امتداد داشته و در نتیجه برخورد قاره-قاره بین صفحه عربی و بلوک ایران مرکزی (بخشی از صفحه اورازیا) به وجود آمده است [۱] و [۲] (شکل ۱). جدایش صفحه عربی از آفریقا و برخورد آن با اورازیا از آخرین حوادث جدایشی-برخوردی به وجود آورنده سیستم کوهزاد آلپ-همیمالیا است [۳ و ۴]. گسل راندگی اصلی زاگرس به همراه افیولیت‌ها مرز شمالی کمربند را تشکیل می‌دهند و از ایران مرکزی جدا می‌گردند. این کمربند که بخشی از سیستم کوهزایی آلپ-همیمالیا است، به دلیل بسته شدن اقیانوس نئوتتیس و برخورد قاره‌ای پسین بین صفحات اوراسیا و عربی در اواخر کرتاسه تا سنوزوئیک تشکیل شد [۵]. این کمربند که بر روی پی‌سنگ زاگرس نهشته است، ترکیبی از لایه‌های مقاوم و نامقاوم می‌باشد که ضخامتی ۷-۱۲ کیلومتر دارد [۶ و ۷]. از ویژگی‌های این کمربند می‌توان به حضور گسل‌های راندگی و چین‌های مرتبط با روند عمومی شمال شرق-جنوب غرب و همچنین گسل‌های عرضی با روند شمال شمال شرق-جنوب جنوب غرب اشاره کرد [۸]. محققان مختلفی این کمربند را مورد مطالعه قرار داده‌اند، به عنوان مثال فالکون [۹] از دیدگاه زمین‌ساختی زاگرس را به سه بخش ساختاری از شمال غرب به جنوب شرق تقسیم کرده است: زون رورانده زاگرس<sup>۱</sup> (زون تاقدیسی پیچیده همراه با سنگ‌های دگرگونی)، زون هم‌آغوشی زاگرس<sup>۲</sup> و کمربند چین‌خورده ساده<sup>۳</sup>. پهنه لرستان بخشی از کمربند چین‌خورده ساده است. با توجه به اینکه اغلب سازندهای موجود در پهنه لرستان دارای رخساره پلاژیک و در مواردی تبخیری می‌باشند، لذا اکثر آنها به لحاظ وضعیت سنگ-شناسی می‌توانند واجد پتانسیل سطوح جدایشی موثر در فرآیند چین‌خوردگی باشند. سازندهایی که می‌توانند به لحاظ رفتار مکانیکی، با توجه به لیتولوژی نامقاوم آنها، به عنوان سطح جدایشی در نظر گرفته شوند عبارتند از: امیران، گورپی، گرو، گوتنیا، علن، عداپه، دشتک و همچنین رسوبات مربوط به پالئوزوئیک زیرین [۱۰]. وجود سطوح جدایش متعدد و گسلش راندگی در کمربند زاگرس، باعث پیچیدگی در هندسه چین‌های مرتبط با گسل شده است [۱۱ و ۱۲] (شکل ۱).





هدف اصلی از انجام این پژوهش، تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس سرکان است که در منطقه لرستان واقع شده است. برای رسیدن به این هدف، بررسی و مطالعه هندسه و تعیین مکانیسم چین خوردگی در دو جهت عمودی و افقی در تاقدیس سرکان و نیز بررسی اثر سطوح جدایشی و رفتار مکانیکی توالی‌های رسوبی (به خصوص سازندهای رسوبی دارای پتانسیل سطح جدایشی) در فرآیند چین خوردگی، یک برش عرضی زمین‌شناسی ساختاری ترسیم شده است. در این پژوهش الگوی هندسی تاقدیس سرکان با استفاده از ترسیم برش عرضی ساختاری بررسی شده است.

### ۲. روش مطالعه

در این پژوهش، از داده‌های سطحی و زیرسطحی استفاده شده است تا سبک ساختاری، هندسه چین خوردگی تاقدیس سرکان تعیین شود. همچنین به نحوه عملکرد سطوح جدایشی در تاقدیس سرکان نیز توجه شده و مورد بررسی قرار گرفته اند. این داده‌ها شامل نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، اطلاعات چاه‌های منطقه و نقشه‌های مدل ارتفاع رقومی (DEM) است. برای ترسیم برش عرضی زمین‌شناسی ساختاری از این داده‌ها استفاده شده است. این برش در جهت عمود بر روند عمومی تاقدیس سرکان ترسیم شده است و به منظور بررسی هندسه و سبک ساختاری، نحوه عملکرد سطوح جدایشی و سبک چین خوردگی از این برش عرضی استفاده شده است.

### ۳. بحث

در این پژوهش برای تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس سرکان یک برش عرضی زمین‌شناسی ساختاری عمود بر محور تاقدیس ترسیم شده است. با استفاده از این برش و اندازه‌گیری پارامترهای هندسی مربوط به یک سطح چین خورده در تاقدیس سرکان و ترسیم نمودار استریوگرافیک، پارامترهای چین خوردگی اندازه‌گیری و محاسبه شده و در جدول ۱ نشان داده شده است. قبلاً این عملیات در برخی از تاقدیس‌های جنوب منطقه لرستان [۱۳ و ۱۴] و برخی از تاقدیس‌های منطقه فروافتادگی دزفول [۱۵] انجام شده و گزارش شده است. هندسه یک سطح چین خورده را می‌توان به وسیله سه عنصر نسبت ابعادی<sup>۴</sup>، فشردگی<sup>۵</sup> و کندی<sup>۶</sup> تعریف کرد.

نسبت ابعادی (P) عبارت است از نسبت دامنه (A) یک چین، که در طول سطح محوری اندازه‌گیری شده است به فاصله M که بین نقاط عطف مجاور که چین را احاطه کرده‌اند. فشردگی چین به وسیله زاویه چین خوردگی یا زاویه بین دو یال تعریف شده است. همانطور که درجه چین خوردگی افزایش می‌یابد، زاویه چین خوردگی نیز افزایش یافته و زاویه بین دو یال کاهش می‌یابد. کندی (b) چین خوردگی عبارت است از اندازه‌گیری انحنای نسبی چین در ناحیه بسته شدن آن.

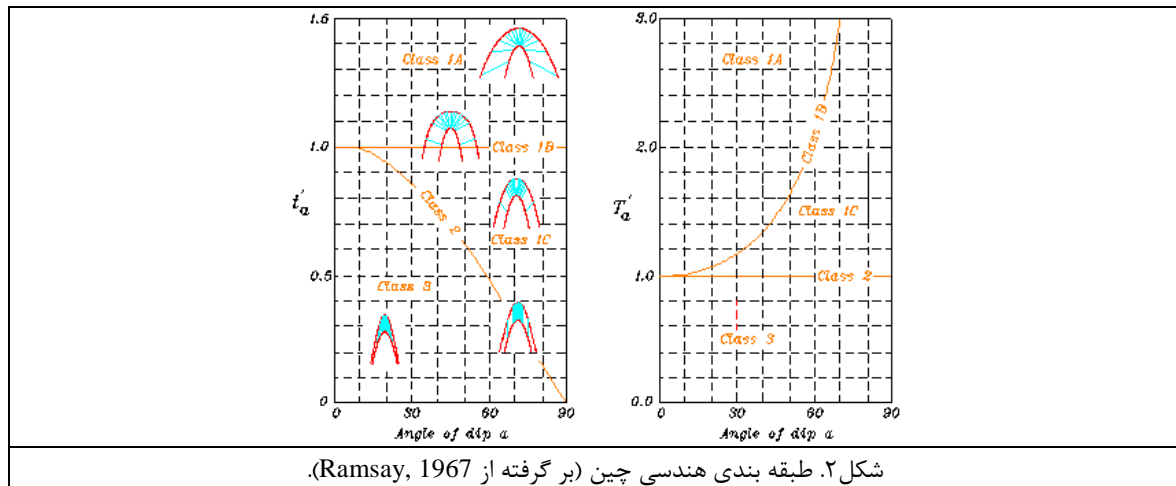
پارامتر نسبت ابعادی نسبت دامنه چین به خطی است که دو نقطه عطف چین را به هم وصل می‌کند. این پارامتر می‌تواند در تحلیل و بررسی چین‌ها و خطوط منحنی کمک کند. همچنین، پارامتر فشردگی به وسیله اندازه‌گیری زاویه بین دو یال به دست می‌آید. این پارامتر می‌تواند در توصیف و تحلیل شکل و فرم چین‌ها مفید باشد. همچنین، پارامتر کندی چین نیز از نسبت شعاع خمیدگی بستگی چین به شعاع دایره مماس بر نقاط عطف یال‌های چین به دست می‌آید. این پارامتر نیز در توصیف و تحلیل خصوصیات هندسی چین‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر پایه این جدول می‌توان بیان نمود که تاقدیس از نوع چین غیراستوانه‌ای می‌باشد. با توجه به طول و شیب متفاوت یال‌ها و عدم تقارن آنها نسبت به لولا در تاقدیس و همچنین بر پایه وضعیت لایه‌بندی در یال‌های شمال‌خاوری-جنوب‌باختری تاقدیس در برش AA' (شکل ۱b و ۴a) مشخص گردید که تاقدیس مورد بحث به طور کلی یک تاقدیس نامتقارن می‌باشد. مقادیر برآورد شده برای زاویه بین دو یال و زاویه چین خوردگی این تاقدیس را از نظر فشردگی به عنوان چین باز نشان می‌دهد. محاسبات لازم برای توصیف خمیدگی نسبی چین از نظر کندی در برش عرضی ترسیم شده برای تاقدیس سرکان، نشان داده است که شعاع خمیدگی از مقدار شعاع مبنای چین کمتر ( $\Gamma_c < \Gamma_0$ ) است. مقادیر ابعادی محاسبه شده برای تاقدیس سرکان، در محدوده  $0.1 \leq P \leq 0.25$  قرار دارد. این مقادیر واژه توصیفی پهن را برای تاقدیس سرکان پیشنهاد می‌کند. در سال ۱۹۶۷ میلادی رمزی با استفاده از شیب‌های هم راستا، چین‌ها را تقسیم بندی کرد. رمزی نشان داد که چگونه یک مقطع صحیح از شکل چین می‌تواند استفاده از نمودار را برای پلات کردن خمیدگی صفحه چین خورده روی آن و انجام اندازه‌گیری به کار برد [۱۶]. این طبقه‌بندی یک طبقه‌بندی توصیفی و هندسی



می‌باشد. اساس این طبقه‌بندی بر روی مقاطع عمود بر محور چین می‌باشد. با چندین اندازه‌گیری از چین می‌توان به مکانیسم چین خوردگی حتی بدون مشاهده چین نائل آمد. بنابراین این طبقه‌بندی نسبت به سایر طبقه‌بندی‌ها بسیار سودمند و راحت‌تر می‌باشد. این طبقه‌بندی مستلزم یک رابطه مستقیم بین ضخامت حقیقی لایه ( $t\alpha$ )، ضخامت به موازات سطح محوری ( $T\alpha$ ) و زاویه بین افق و مماس بر یال چین ( $\alpha$ ) می‌باشد. در ناحیه لولا،  $t_0 = T_0$  می‌باشد.

$$t'_\alpha = t\alpha/t_0 \quad \text{یا} \quad T'_\alpha = T\alpha/T_0$$

مقدار  $t\alpha$  یا  $T\alpha$  با تغییر در مقدار زاویه  $\alpha$  تغییر می‌کند. اساس این طبقه‌بندی بر روی روابط بین ایزوگون‌ها (همگرا، واگرا یا موازی) خلاصه شده است (شکل ۲).



محاسبات انجام شده برای طبقه‌بندی چین‌ها بر اساس طبقه‌بندی رمزی [۱۶] بر روی سازند آسماری رده 1B این طبقه‌بندی را برای تاقدیس سرکان پیشنهاد می‌کند. جهت بررسی میزان تغییرات ستبرای یال چین‌ها از نمودار نازک‌شدگی و ستبر شدگی پیش یال برای چین‌های جدایشی استفاده شده است [۱۷] (شکل ۴). به این منظور پارامترهای هندسی لازم شامل شیب پس یال و زاویه بین دو یال، جهت استفاده از این نمودار، از برش عرضی زمین‌شناسی ساختاری استخراج شده‌اند. با تعیین محل دقیق این تاقدیس بر روی نمودار مربوطه، می‌توان اظهار داشت که تاقدیس سرکان در محدوده بدون تغییر<sup>۷</sup> قرار گرفته است (شکل ۵).

<sup>7</sup> No Solution



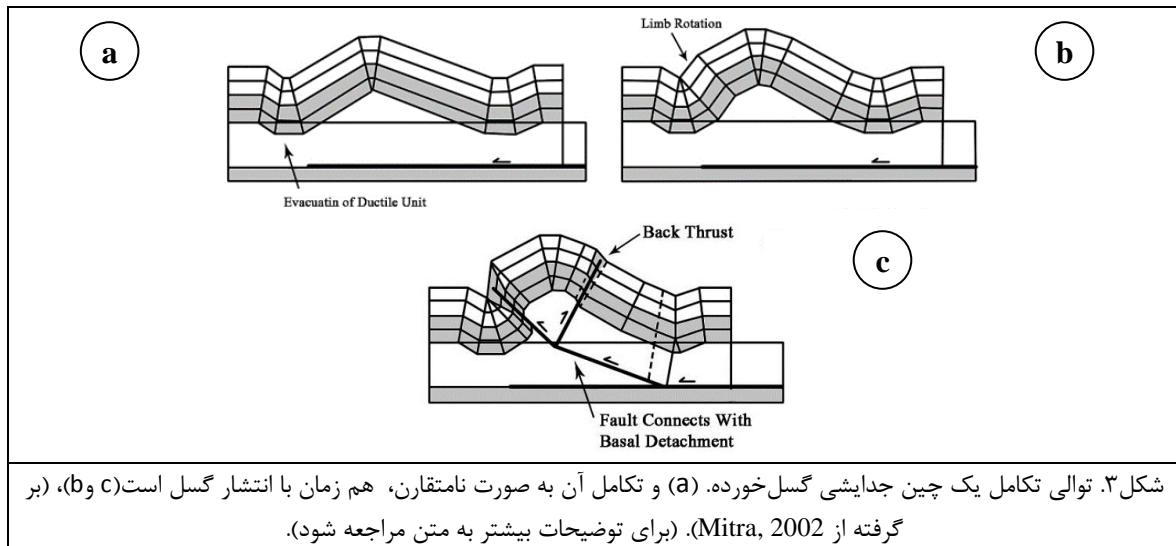
جدول ۱. پارامترهای اندازه گیری شده بر روی برش عرضی زمین شناسی ساختاری ترسیم شده از تاقدیس سرکان (برای توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود).

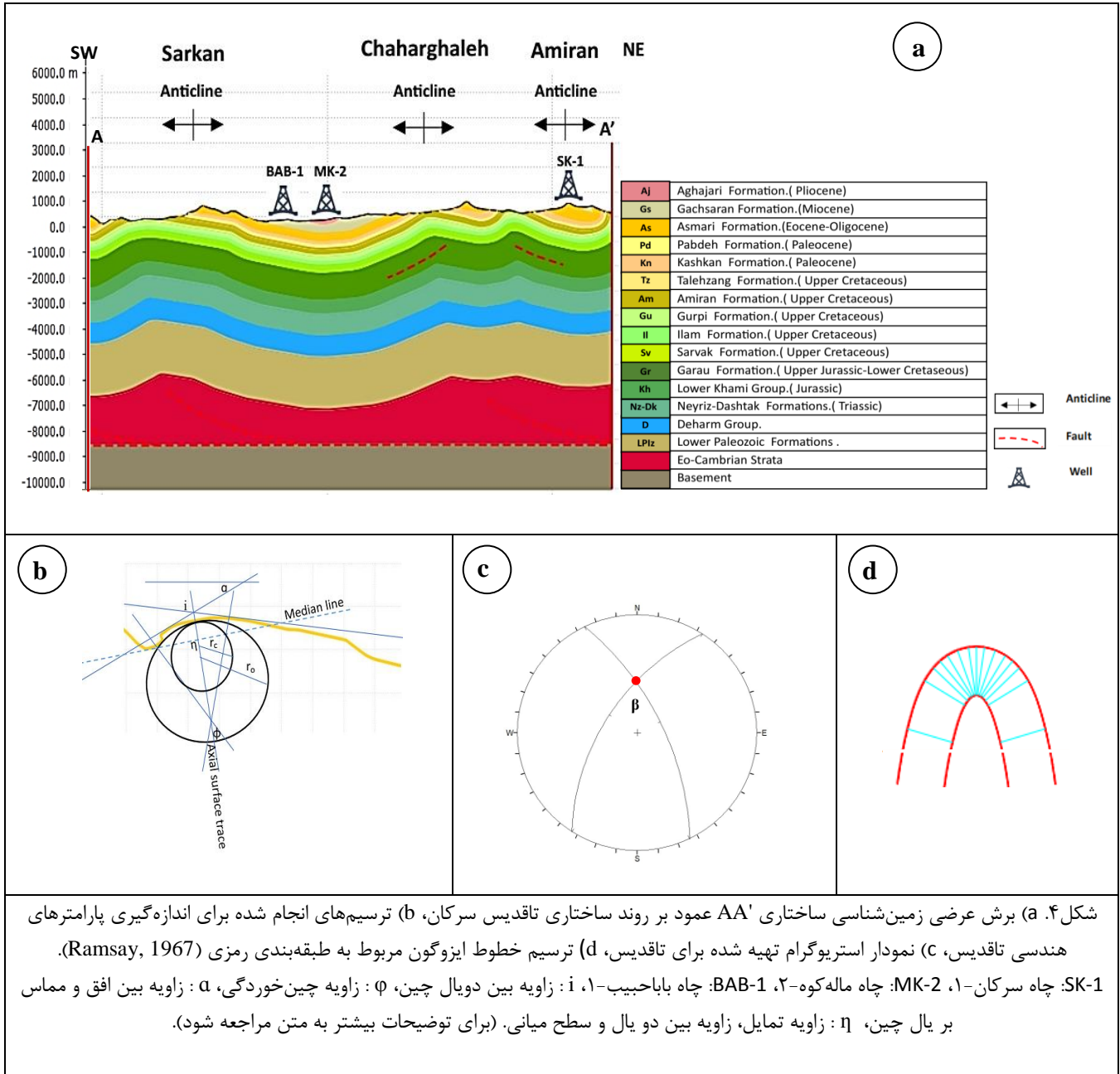
پارامترهای هندسی	برش عرضی	تاقدیس سرکان
زاویه بین دو یال چین (Interlimb angle) (i) (درجه)	۱۴۴	
زاویه چین خوردگی (Folding angle) (φ) (درجه)	۳۶	
استوانه‌ای شکل (Cylindricity)	غیراستوانه‌ای	
تقارن (Symmetry)	نامتقارن	
زاویه تمایل (Inclination angle) (η) (درجه)	۷۰	
شکل چین (Fold Shape)	Z شکل	
تمایل (Vergence)	SW	
فشردگی (T) (Tightness)	ملایم	
هارمونی (Harmony)	غیرهارمونیک	
نسبت ابعادی (Aspect Ratio) (P)	$P=A/M$	۰/۳
	واژه توصیفی	پهن
کندی (b) (Bluntness)	rc (سانتی‌متر)	۰/۷
	ro (سانتی‌متر)	۱/۵
	$rc / ro = b$	۰/۴
	واژه توصیفی	نیمه گرد شده
Fold ) (Classification) طبقه‌بندی چین‌ها براساس رمزی Ramsay & Huber (1987)	$\alpha$ (درجه)	۲۹
	ta (سانتی‌متر)	۰/۵
	to (سانتی‌متر)	۰/۵
	$t'a = ta/to$	۱
	ta , to	to=ta
	$t' a$	$t' a=1$
	رده چین	1B
شاخص تقارن چین (FSI)		۱

تاقدیس سرکان با آزیموت اثر سطح محوری ۱۰۹ درجه، دارای طول ۲۶ کیلومتر و عرض ۷ کیلومتر برای افق آسماری می‌باشد. هر دو یال تاقدیس سرکان برگشته است. به طوری که یال شمالی دارای شیب ۶۴ درجه به سمت جنوب و یال جنوبی دارای شیب ۵۷ درجه به سمت شمال می‌باشد. برش ترسیم شده نشان می‌دهد که این برگشتگی‌ها عمیق نیستند و تا سازند گورپی قابل مشاهده هستند که در واقع نشان دهنده تاثیر سازند گورپی در این تاقدیس به عنوان سطح جداکننده می‌باشد. قدیمی‌ترین رخنمون در این تاقدیس مربوط به توالی سازند امیران است. سازندهای تله‌زنگ، کشکان و آسماری با توالی قدیم به جدید هستند که در برش رخنمون دارند. براساس برش ترسیم شده سازند گرو در این تاقدیس به عنوان سطح جداکننده تاثیر کمی بر روی هندسه تاقدیس دارد به طوری که هندسه سطحی

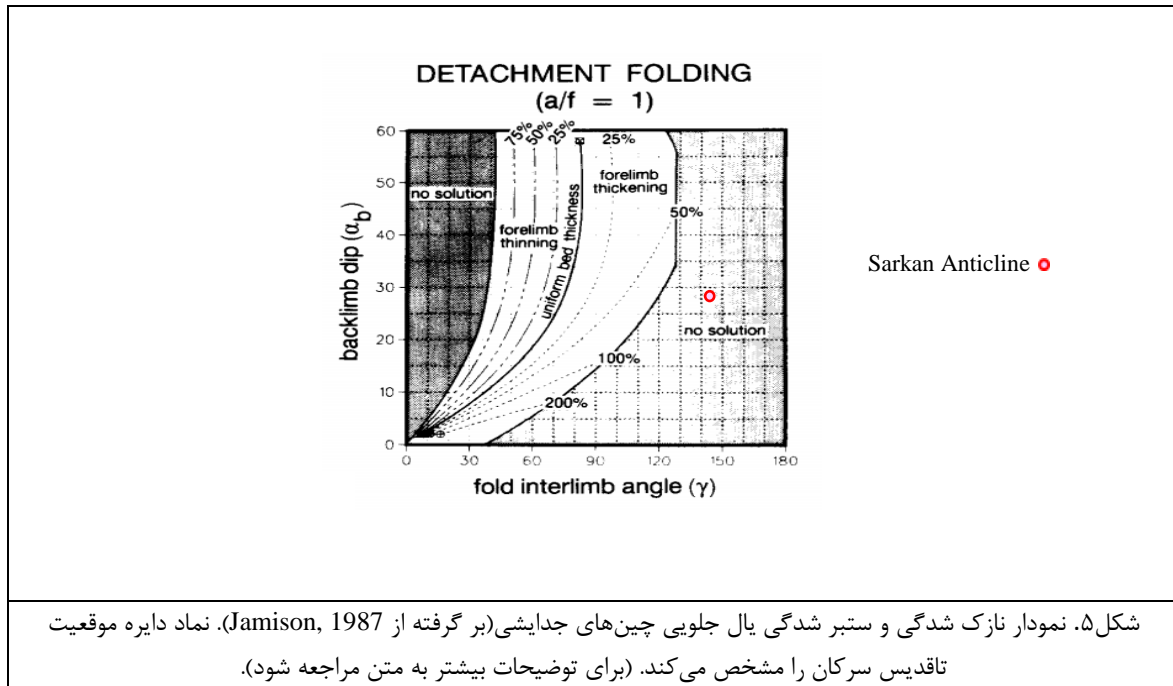


تاقدیس را می توان تا توالی پالئوزوئیک دنبال کرد. با مقایسه چین خوردگی های تاقدیس سرکان با چین های جدایشی حمل شده نظیر چین های جدایشی گسل خورده<sup>۸</sup> مطرح شده (شکل ۳) می توان دریافت که سازوکار تاقدیس سرکان از نوع چین های جدایشی و یا چین های جدایشی گسل خورده با انتشار پس راندگی می باشد [۱۸]. حضور و عملکرد افق های جدایشی در شکل گیری این سازوکار نقش داشته است. سازندهای کشکان و آسماری نیز در این برش رخنمون دارند. با توجه به پارامترهای هندسی و ترسیم استریوگرام چین (شکل ۴b)، در امتداد این برش موقعیت فضایی محور تاقدیس امیران با روند صفر درجه و پلانژ ۴۴ درجه است (شکل ۴c).









#### ۴. نتیجه‌گیری

بررسی هندسه چین‌خوردگی تاقدیس سرکان نشان می‌دهد که این تاقدیس با موقعیت فضایی محور صفر درجه و  $44^\circ$  یک تاقدیس غیر استوانه‌ای و نامتقارن است و از نظر فشردگی، چین باز می‌باشد. از نظر رده‌بندی رمزی، تاقدیس سرکان در رده 1B قرار می‌گیرد. تاقدیس سرکان ستبرشدگی یال پیشین بدون تغییر را نشان می‌دهد. سازوکار تاقدیس سرکان مشابه با ساز و کار چین‌های جدایشی و یا چین‌های جدایشی گسل خورده با انتشار پس راندگی می‌باشد. حضور و عملکرد افق‌های جدایشی در شکل‌گیری این سازوکار برای این تاقدیس نقش داشته است. با توجه به برش عرضی زمین‌شناسی ساختاری ترسیم شده، تفسیر تحلیل‌های هندسی انجام شده و همچنین وجود اختلاف مقاومت بین واحدهای مقاوم و نامقاوم و مقایسه‌های انجام شده با الگوهای مطرح شده برای چین‌های مرتبط با گسل می‌توان پیشنهاد نمود که تاقدیس سرکان یک چین‌خوردگی مرتبط با گسل از نوع چین‌های جدایشی است. در منطقه مورد مطالعه دو سطح جدایشی اصلی معرفی می‌شود که سطح جدایشی بالایی سازند فلیشی امیران است که بر هندسه ساختارهای آسماری و جوانتر تاثیر گذاشته و سطح جدایش میانی سازند گرو است که هندسه ساختارهای عمقی را تحت تاثیر قرار داده - است. بنابراین هندسه ساختارهای سطحی منطقه مورد مطالعه متأثر از سطح جدایش بالایی است و متفاوت با الگوی چین‌خوردگی عمقی است. در طی فرآیند تکامل در ساختار چین‌خورده تاقدیس سرکان، سطوح جدایش میانی و بالایی نقش مهمی در دگرشکلی کلی به عهده داشته‌اند، به طوری که ساختارهای بالا و پایین این سطوح جدایشی، وضعیت هندسی متفاوتی را نشان می‌دهند.

#### منابع

- [1] Takin, M., 1972. Iranian geology and continental drift in the Middle East. nature, 235(5334), pp.147-150.
- [2] Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian journal of earth sciences, 18(2), pp.210-265.



- [3] Dewey, J.F., PITMAN III, W.C., Ryan, W.B. and Bonnin, J., 1973. Plate tectonics and the evolution of the Alpine system. Geological society of America bulletin, 84(10), pp.3137-3180.
- [4] Dercourt, J.E.A., Zonenshain, L.P., Ricou, L.E., Kazmin, V.G., Le Pichon, X., Knipper, A.L., Grandjacquet, C., Sbertshikov, I.M., Geysant, J., Lepvrier, C. and Pechersky, D.H., 1986. Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias. Tectonophysics, 123(1-4), pp.241-315.
- [5] Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R. and Tavakoli, F., 2004. Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. Geophysical Journal International, 157(1), pp.381-398.
- [6] Alavi, M., 2007. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. American Journal of science, 307(9), pp.1064-1095.
- [7] Allen, M.B. and Talebian, M., 2011. Structural variation along the Zagros and the nature of the Dezful Embayment. Geological Magazine, 148(5-6), pp.911-924.
- [8] Berberian, M., 1995. Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. Tectonophysics, 241(3-4), pp.193-224.
- [9] FALCON, N.L., 1961. Major earth-flexuring in the Zagros Mountains of south-west Iran. Quarterly Journal of the Geological Society, 117(1-4), pp.367-376.
- [10] Farzipour- Saein, A., Yassaghi, A., Sherkati, S. and Koyi, H., 2009. Basin evolution of the Lurestan region in the Zagros fold- and- thrust belt, Iran. Journal of Petroleum Geology, 32(1), pp.5-19.
- [11] McQuarrie, N., 2004. Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. Journal of structural Geology, 26(3), pp.519-535.
- [12] Pirouz, M., Simpson, G., Bahroudi, A. and Azhdari, A., 2011. Neogene sediments and modern depositional environments of the Zagros foreland basin system. Geological Magazine, 148(5-6), pp.838-853.

[۱۳] حسین حاجی علی بیگی، ۱۳۹۳. تحلیل هندسی چین خوردگی مرتبط با گسلش، مطالعه موردی: تاقدیس کاسه‌ماست، جنوب منطقه لرستان، فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین.

[۱۴] فاطمه زینعلی، ۱۳۹۴. تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس‌های کبیرکوه و چناره در کمربند چین-راندگی زاگرس، فصلنامه زمین-شناسی ایران.

[۱۵] بهزاد دریکوند، ۱۳۹۷. نقش افق‌های جدایشی در سبک چین خوردگی بخش شمالی فروبار دزفول در جنوب‌باختر ایران، ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز.

- [16] Ramsay, J.G. and Huber, M.I., 1987. Folds and fractures. (No Title).
- [17] Jamison, W.R., 1987. Geometric analysis of fold development in overthrust terranes. Journal of structural Geology, 9(2), pp.207-219.
- [18] Mitra, S., 2002. Structural models of faulted detachment folds. AAPG bulletin, 86(9), pp.1673-1694.