

# بررسی پارامترهای هندسی و کینماتیکی تاقدیس سرکان، لرستان، غرب ایران

رضا علی‌پور<sup>۱</sup>، امیرحسین صدر<sup>۲</sup>، سمیرا شه‌مرادی<sup>۳</sup> و عارف شمس‌زاده<sup>۳</sup>

۱. استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
۲. کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان، ایران
۳. دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۱

## چکیده

تاقدیس سرکان در پهنه رسوبی-ساختاری لرستان و در کمربند چین‌خورده رانده زاگرس قرار دارد. هندسه و کینماتیک چین‌ها در این پهنه توسط گسل‌های راندگی و سطوح جدایشی کنترل می‌شود. سازندهای رخنمون یافته در این تاقدیس، سازندهای کرتاسه بالایی و سنوزوئیک هستند. در این پژوهش، با استفاده از تفسیر نیمرخ‌های لرزه‌ای، رسم چهار نیمرخ ساختاری و محاسبه پارامترهای هندسی، به بررسی هندسه و تحلیل سبک دگرریختی تاقدیس و نقش سطوح جدایشی بر سبک چین‌خوردگی آن پرداخته شده است. ساختار این تاقدیس تحت تاثیر دو سطح جدایش قرار می‌گیرد که سازند فلیشی امیران به‌عنوان سطح جدایش بالایی و سازند شیلی‌گرو به‌عنوان سطح جدایش میانی است. ضخامت زیاد سطح جدایش بالایی باعث جابجایی به سمت جنوب‌غرب محور تاقدیس سطحی نسبت به تاقدیس عمقی شده است. پارامترهای هندسی و نیمرخ‌های ساختاری تاقدیس سرکان نشان‌دهنده نامتقارن و استوانه‌ای بودن این تاقدیس است و از لحاظ فشردگی و نسبت ابعادی به ترتیب در رده، باز تا ملایم و پهن قرار می‌گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** پارامتر هندسی، تاقدیس، سرکان، زاگرس، لرستان.

## مقدمه

کمربند کوهزایی زاگرس در بخش میانی رشته‌کوه‌های آلپ-همالیا قرار گرفته و از جنوب‌شرق گسل آناتولی در ترکیه تا خطواره عمان با روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق امتداد دارد (Falcon, 1969; Takin, 1972; Haynes, 1974; Berberian and King, 1981; Alavi, 1994; Golonka, 2004; Agard et al., 2005; McQuarrie and Van Hinsbergen, 2013). وجود سطوح جدایشی متعدد و گسلش راندگی هندسه کمربند کوهزایی زاگرس را در این کمربند پیچیده کرده است (McQuarrie, 2004). چین‌خوردگی و چین‌جدايشی (Ramsay and Huber, 1987; Homza, 1996; Pobllet and McClay, 1996; Wallace and Wallace, 1995) از انواع رایج چین‌خوردگی‌های مرتبط با گسل هستند. همواره تجزیه و تحلیل هندسی این چین‌خوردگی‌ها منجر به ارائه مدل‌های هندسی متفاوت می‌شود (Suppe, 1985; Marret and Benthams, 1997; Tamagawa et al., 1998; Wallace and Homza, 2004).

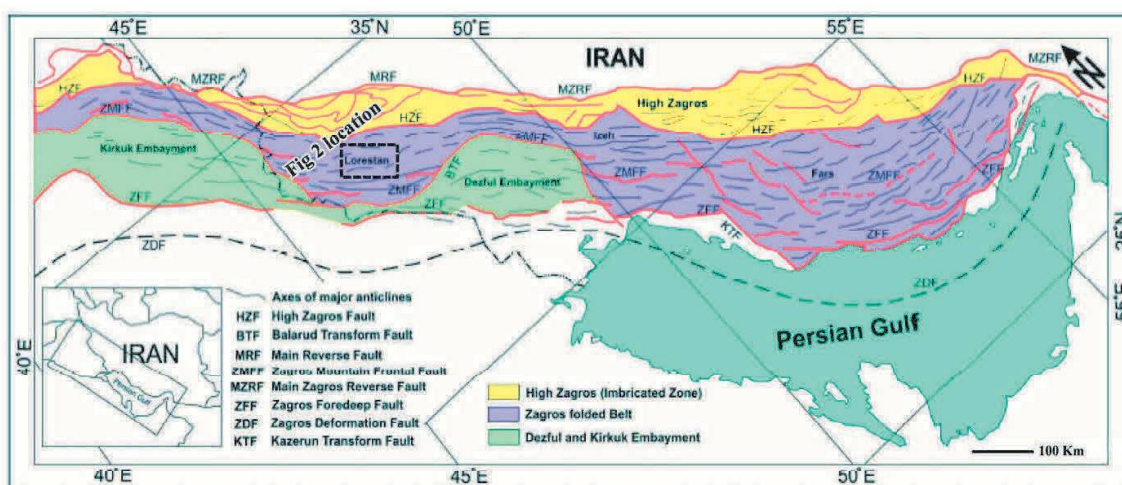
کمربند کوهزایی زاگرس در بخش میانی رشته‌کوه‌های آلپ-همالیا قرار گرفته و از جنوب‌شرق گسل آناتولی در ترکیه تا خطواره عمان با روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق امتداد دارد (Falcon, 1969; Takin, 1972; Haynes, 1974; Berberian and King, 1981; Alavi, 1994; Golonka, 2004; Agard et al., 2005; McQuarrie and Van Hinsbergen, 2013). وجود سطوح جدایشی متعدد و گسلش راندگی هندسه

\* نویسنده مرتبط: sadr\_struct@yahoo.com

تغییر کرده و باعث ایجاد سبک‌های ساختاری متفاوت شده است.

تاقدیس سرکان یکی از ساختارهای مهم ناحیه مرکزی لرستان با طولی معادل ۱۹ و عرض ۴/۵ کیلومتر است که با روند شمال غرب-جنوب شرق در ۱۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان پلدختر قرار می‌گیرد. تاقدیس‌های سلطان و سرگلان با روندی مشابه و به ترتیب در بخش جنوبی و شمالی تاقدیس سرکان قرار گرفته‌اند.

کمرند چین خورده رانده زاگرس و حوضه پیش‌بوم یکی از قدیمی‌ترین و غنی‌ترین ایالت‌های هیدروکربنی هستند که در دگربرختی آن زمین ساخت، فرسایش و رسوب گذاری به طور مستقیم درگیر است (Salvini and Storti, 2002). پیشانی تغییرشکلی این کمرند در ایران یک هندسه نامنظم در سطح دارد و با دو سالینت فارس و لرستان در دو سمت فروافتادگی دزفول شده است (Farzipour et al., 2009a) (شکل ۱). در بخش مرکزی لرستان به دلیل تغییر جانبی و طولی سطوح جدایشی در بخش‌های مختلف، ویژگی‌های فیزیکی لایه‌ها



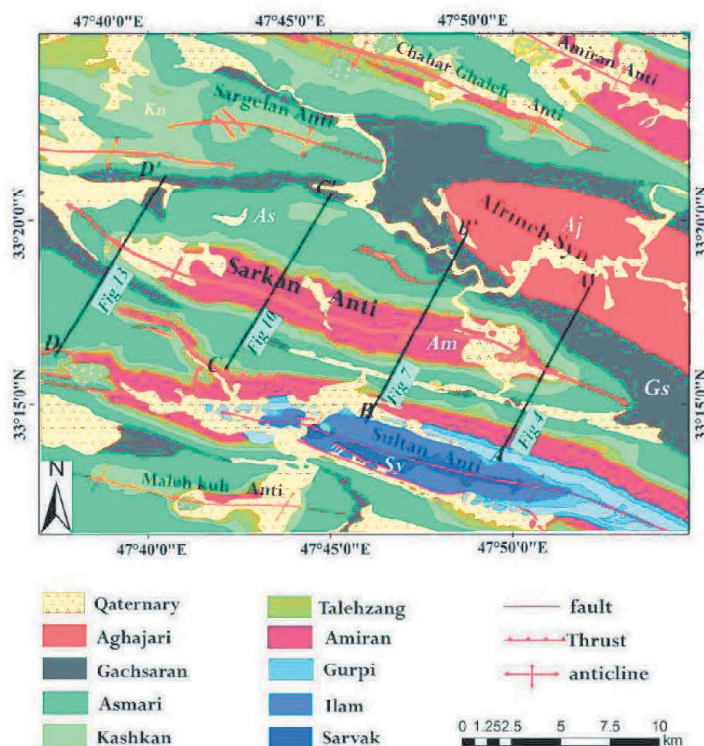
شکل ۱. نقشه جایگاه ساختاری و زیرپهنه‌های زمین‌ساختی کمرند چین خورده رانده زاگرس در جنوب غرب ایران و شمال شرق عراق و موقعیت گسل‌ها و تاقدیس‌های اصلی در حوضه پیش‌بوم کمرند زاگرس (Pirouz et al., 2011). چهارگوش سیاه رنگ موقعیت شکل ۲ را نشان می‌دهد

در ۳۵ میلیون سال پیش در اثر کافت ورق عربی و زیرراندگی آن به زیر ورق ایران شکل می‌گیرد (Stocklin, 1968; Dewey et al., 1973; Berberian and King, 1981; Koop and Stoneley, 1982; Ziegler and Stampfli, 2001; Blanc et al., 2003; McClay et al., 2004; Mouthereau et al, 2012). این کمرند بر پایه ویژگی‌های سنگ‌شناسی و رخساره‌ای و نیز سبک ساختاری توسط گسل‌های بزرگ مقیاسی از جمله راندگی اصلی زاگرس، گسل زاگرس مرتفع و گسل پیشانی کوهستان در راستای موازی با خط زمین درز زاگرس توسط پژوهشگران بسیاری به پهنه‌های مختلفی تقسیم شده است (Berberian, 1995; Falcon, 1969; Alavi, 2007; Mohajjel and Fergusson, 2014). این کمرند از شمال غرب به سمت جنوب شرق به

رخنمون سطحی تاقدیس سرکان را سازندهای گچساران، آسماری، کشکان، تله‌زنگ و امیران تشکیل می‌دهند. واضح نبودن هندسه ساختارهای عمقی و پیچیدگی ساختارهای سطحی، انجام مطالعات ساختاری را در منطقه مورد مطالعه دارای اهمیت می‌سازد. بنابراین این پژوهش به بررسی ساختاری تاقدیس سرکان در پهنه رسوبی-ساختاری لرستان با استفاده از رسم نیمرخ‌های عرضی ساختاری و محاسبه پارامترهای هندسی، الگوی چین خوردگی این تاقدیس و تاثیر سطوح جدایشی بر سبک چین خوردگی آن پرداخته است (شکل ۲).

## جایگاه ساختاری و چین‌شناسی

کوهزاد زاگرس یک کوهزاد برخوردی و بخشی از کمرند آلپ-همیالیا است که در نتیجه برخورد ورق عربی با اوراسیا



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (Takin et al., 1970) که در آن محل تاقدیس‌ها و همچنین موقعیت چهار نیم‌رخ عرضی 'AA' تا 'DD' مشخص شده است

با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی، ثبت برداشت‌های صحرایی روی نقشه‌های پایه و رسم چهار نیم‌رخ عرضی و محاسبه پارامترهای هندسی تاقدیس سرکان صورت می‌گیرد. در واقع با استفاده از این اطلاعات به تحلیل سبک چین‌خوردگی و وضعیت هندسی ساختارهای موجود در این تاقدیس پرداخته شده است. نیم‌رخ‌های عرضی در راستای عمود بر روند تاقدیس رسم شده و در نهایت از این نیم‌رخ‌های عرضی برای بررسی تغییرات هندسی ساختمان تاقدیس و پیش‌بینی وضعیت آن در بخش‌های عمیق‌تر و تعیین سبک چین‌خوردگی استفاده شده است. همچنین در نیم‌رخ‌های عرضی برای تعیین میزان کوتاه‌شدگی افق‌های خاصی مثل سازند سروک به حالت پیش از دگرریختی بازگردانده شده و محاسبات مربوط به کوتاه‌شدگی انجام می‌گیرد. در واقع در این مطالعه سازند سروک به‌عنوان یک سازند مقاوم جهت بررسی پارامترهای هندسی انتخاب و راس این سازند به‌صورت یک خط در نظر گرفته شده و به حالت پیش از دگرشکلی بازگردانده شده است.

سه زیرپهنه لرستان، فروافتادگی دزفول و فارس تقسیم‌بندی شده است که گسل بالارود جداکننده حد جنوب‌شرقی ناحیه لرستان از فروافتادگی دزفول است (Hessami et al., 2003; Blanc et al., 2001). همچنین ناحیه لرستان از سوی غرب و شمال غرب توسط گسل خانقین از فروافتادگی کرکوک جدا شده و از جنوب‌غربی و شمال‌شرقی به ترتیب با گسل‌های پیشانی کوهستان و زاگرس مرتفع محدود شده است (شکل ۱). سازندهای منطقه مورد مطالعه از قدیم به جدید براساس اطلاعات چاه‌های حفاری شده و مطالعات پیشین (مطیعی، ۱۳۷۴ و James and Wynd, 1965) در شکل ۳ نشان داده شده است.

## روش مطالعه

در این مطالعه به‌منظور بررسی سبک ساختاری، تحلیل چین‌خوردگی و معرفی سطوح جدایشی عامل دگرریختی، از ترکیب داده‌های سطحی و نقشه‌های زمین‌شناسی برای رسم نیم‌رخ‌های ساختاری استفاده شده است. گردآوری اطلاعات

km	Age	Lithotype	Formation	Structural Characterization
1	CENOZOIC	Pleistocene	Aghajari.Fm	Upper decollement level
		Pliocene	Gachsaran.Fm	
		Miocene		
		Oligocene		
		Eocene		
		Palaeocene		
2-8	MESOZOIC		Amiran.Fm	Local decollement level
			Gurpi.Fm	
		Cretaceous	Ilam.Fm	Intermediate decollement level
			Sarvak.Fm	
			Garu.Fm	
		Jurassic	Jurassic	Intermediate decollement level
		Triassic	Dashtak.Fm	

شکل ۳. ستون چینه‌شناسی سازندهای مزوزویک و سنوزویک در بخش مرکزی زیرپهنه لرستان که سطوح جدایشی و ضخامت رخساره‌های رسوبی را نشان می‌دهد

### بحث

به‌طور کلی، تاقدیس سرکان که در شمال تاقدیس‌های سلطان و ماله‌کوه و جنوب تاقدیس سرگلان قرار می‌گیرد، دارای یال‌هایی با شیب متفاوت است به طوری که یال جلویی (یال جنوبی) تاقدیس نسبت به یال پشتی پرسیبتر است و در بخش‌های میانی یال جلویی، شیب لایه‌ها در سطح به صورت برگشته می‌باشد. در این مطالعه با رسم نیمرخ‌های ساختاری عمود بر روند تاقدیس و اندازه‌گیری پارامترهای هندسی مربوط به سطح چین‌خورده و رسم نمودارهای استریوگرافیک، پارامترهای هندسی مثل زاویه بین‌یالی، زاویه چین‌خوردگی و نسبت ابعادی محاسبه شده است. بدین منظور برای مطالعه و بررسی تغییرات هندسی و ساختاری تاقدیس سرکان، چهار نیمرخ ساختاری AA' تا DD' از سمت جنوب‌غرب به شمال‌شرق کم‌وبیش در جهت عمود بر ساختار رسم شده است (شکل ۲). در زیر به توضیح هر کدام از این نیمرخ‌ها پرداخته شده است.

#### نیمرخ AA'

نیمرخ AA' با طول کم‌وبیش ۱۱ کیلومتر (شکل ۴)، عمود بر امتداد تاقدیس سرکان و ناودیس ملاوی، در نزدیکی پلانژ جنوب‌شرقی تاقدیس رسم شده است (شکل ۲) که در بخش

با توجه به اهمیت چین‌خوردگی جدایشی در کمربندهای چین‌خورده-رانده مثل زاگرس، نمودارهای مختلفی برای تحلیل هندسی و جنبشی این چین‌ها ارائه شده است. در این نمودارها با استفاده از اندازه‌گیری پارامترهای هندسی چین‌خوردگی، کوتاه‌شدگی، بالآمدگی محاسبه می‌شود (Poblet and McClay, 1996). در این مطالعه، پارامترهای متعددی برای محاسبه کوتاه‌شدگی تاقدیس سرکان اندازه‌گیری شده است که شامل طول یال جلویی، طول یال پشتی، شیب یال جلویی، شیب یال پشتی و نسبت RL است. سپس مقدار کوتاه‌شدگی به دست آمده بر اساس طول یال پشتی نرمالیزه شده و مقدار کوتاه‌شدگی واقعی در هر نیمرخ ساختاری محاسبه شده است. مقدار کوتاه‌شدگی واقعی و نسبت RL نیز از رابطه‌های زیر محاسبه شده است:

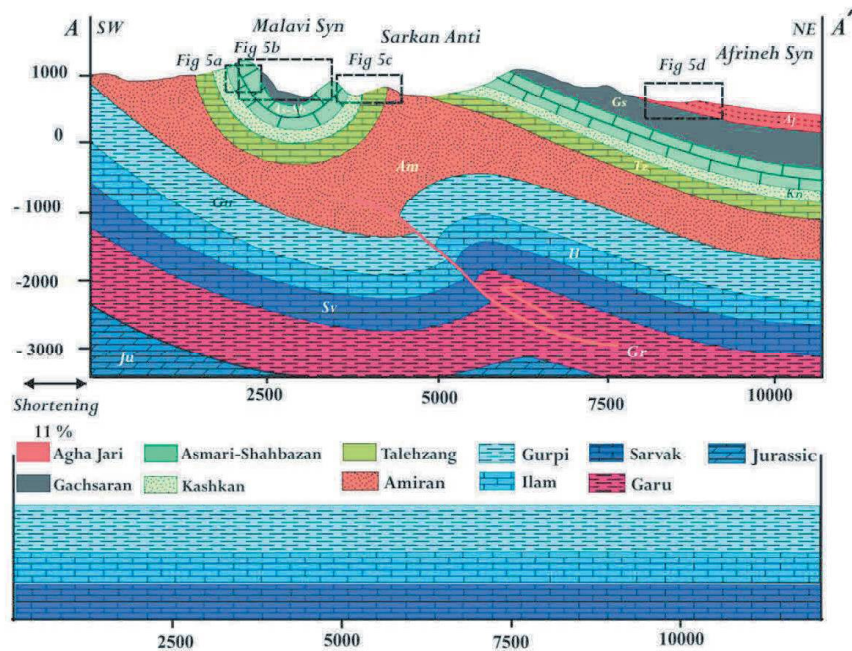
$$RL = \sin(\alpha) \quad S = (\text{Calculated Shortening } Lb) / 10$$

در واقع مقدار کوتاه‌شدگی واقعی، با جایگزینی کوتاه‌شدگی‌هایی که از نمودارها به دست آمده در رابطه بالا محاسبه می‌شود. اگر این مقدار کوتاه‌شدگی با میزان کوتاه‌شدگی که از بازگرداندن نیمرخ‌های ساختاری به دست آمده مطابقت داشته باشد در این صورت هندسه چین بر مدل منطبق است.

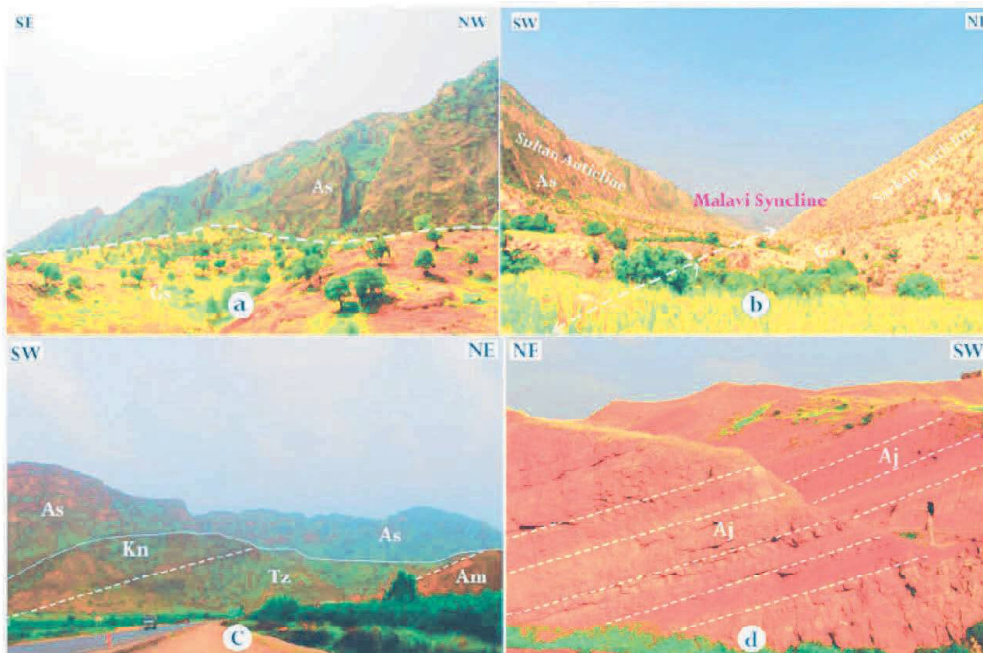


جنوب آن ناودیس تنگ و فشرده ملاوی (شکل ۵) و به سمت شمال، ناودیس بزرگ و باز افرینه با رخنمون سازند آغاچاری به طور گسترده قرار دارد (شکل ۵). در امتداد این نیمرخ

ویژگی های ساختاری تاقدیس سرکان در عمق نسبت به سطح متفاوت است و در واقع سازند امیران به عنوان سطح جدایش بالایی هندسه تاقدیس سطحی و عمقی را متفاوت کرده است.



شکل ۴. نیمرخ ساختاری AA' که عمود بر روند تاقدیس سرکان رسم شده است و در این نیمرخ تاقدیس سرکان به صورت چین جدایشی نامتقارن مشاهده می شود. راندگی عمقی با ریشه در سازند شیلی گرو به عنوان سطح جدایش پایینی به سمت بالا منتشر شده و در سازند امیران (سطح جدایش بالایی) حالت هموار پیدا کرده است. محور تاقدیس سطحی (سیاه رنگ) نسبت به تاقدیس عمقی (قرمز رنگ) به سمت جنوب غرب جابجا شده است. چهار گوش های سیاه رنگ محل شکل های بعدی را نشان می دهد



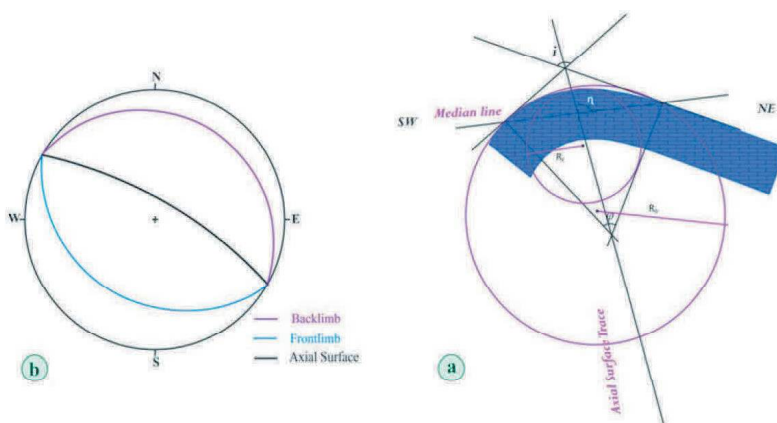
شکل ۵. تصویرهای صحرایی در امتداد نیمرخ عرضی AA' (a)، یال شمالی تاقدیس سلطان که سازندهای آسماری و گچساران در آن رخنمون دارد، (b) ناودیس تنگ ملاوی شکل گرفته بین دو تاقدیس سرکان و سلطان، (c) رخنمون سازندهای امیران، تله زنگ، کاشکان و آسماری واقع در یال جنوبی تاقدیس سرکان، (d) لایه بندی مارن های قرمز رنگ سازند آغاچاری در یال جنوب غربی ناودیس باز و بزرگ افرینه

ملاوی می‌باشد. همچنین مقدار کوتاه‌شدگی محاسبه شده برای این نیمرخ ۱۱ درصد و موقعیت محوری ۱۲۰ و شیب سطح محوری ۰۳۰/۸۲ (شیب/جهت شیب) است (شکل ۶).

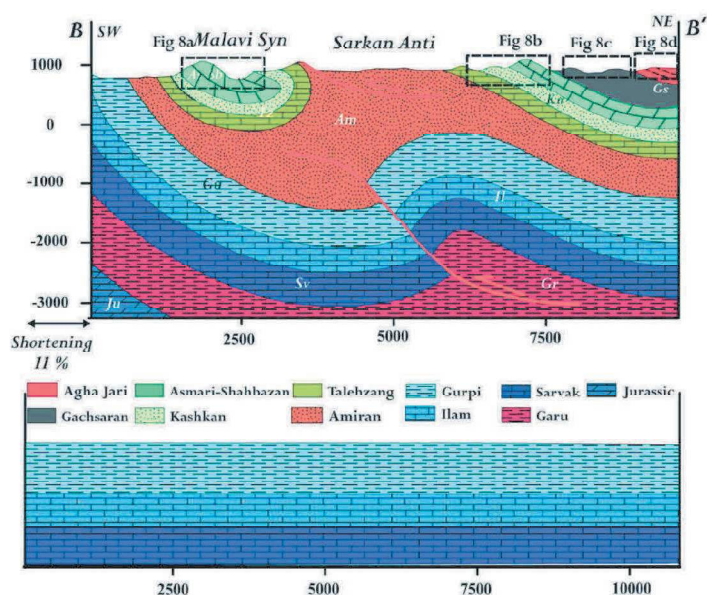
### نیمرخ BB'

نیمرخ ساختاری BB' با طول کم‌وبیش ۱۰ کیلومتر، روند شمال شرقی-جنوب غربی، در فاصله کم‌وبیش پنج کیلومتری نیمرخ AA' و عمود بر امتداد تاقدیس سرکان رسم شده است (شکل ۲). عملکرد راندگی سطحی با ریشه در سازند امیران باعث شده که تاقدیس سطحی سرکان در امتداد این نیمرخ همان طوری که در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده در سطح به‌طور کامل برگشته باشد.

عملکرد این سطح جدایشی باعث جابجایی محور تاقدیس سطحی به سمت جنوب غرب نسبت به محور تاقدیس عمقی شده است. سازند آغا جاری به‌عنوان جوان‌ترین واحد چینه‌شناسی در بخش‌هایی از ناودیس افرینه رخنمون دارد و سازند امیران نیز به‌عنوان قدیمی‌ترین سازند، در محور تاقدیس رخنمون پیدا کرده است. راندگی یال جلویی در این تاقدیس از سازند گرو منشأ گرفته و توالی‌های بالایی را قطع کرده و در سطح جدایش بالایی (سازند امیران) حالت هموار پیدا کرده است. در واقع این سطح جدایش بالایی مانع انتشار زیاد دگرشکلی به سطح شده است. سازند امیران به دلیل مقاوم نبودن ضخامت یکسانی در سراسر تاقدیس ندارد و بیشترین ضخامت در مسیر این نیمرخ در زیر ناودیس



شکل ۶. (a) پارامترهای هندسی محاسبه شده بر روی سازند سرکان در امتداد نیمرخ عرضی AA', (b) تصویر استریوگرام تاقدیس سرکان

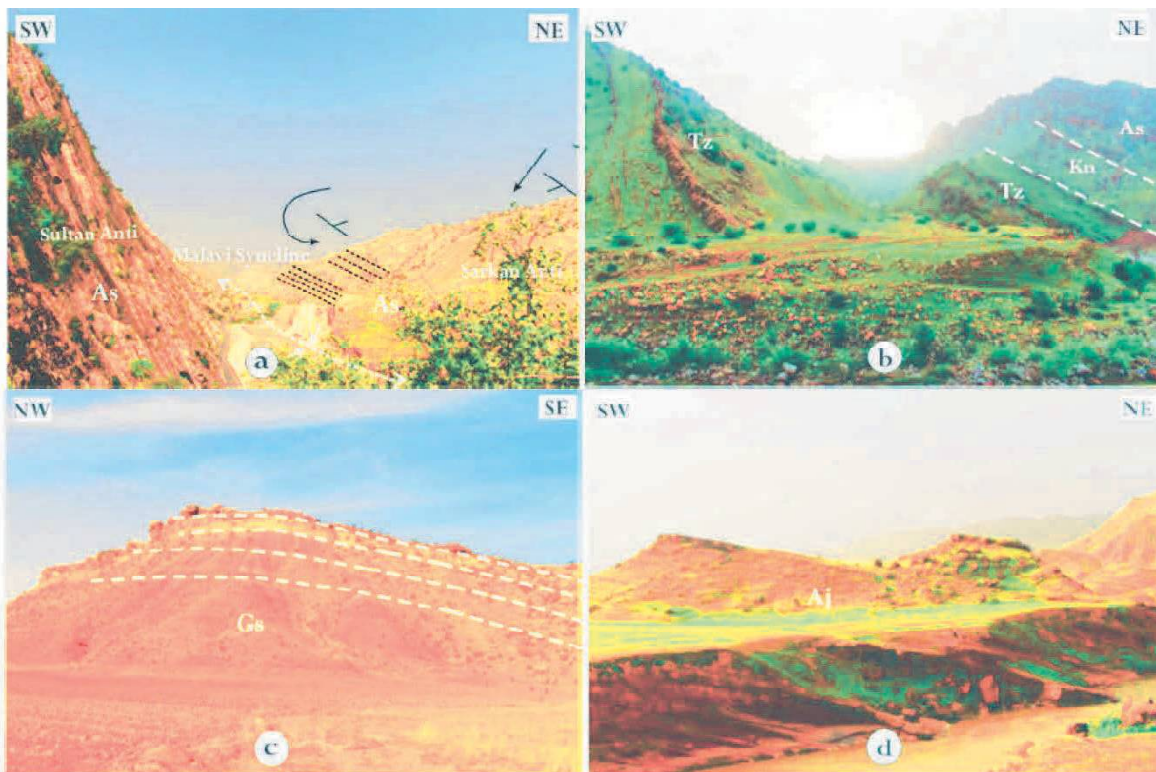


شکل ۷. نیمرخ ساختاری BB' از تاقدیس سرکان که یک راندگی عمقی از سازند گرو منشأ گرفته و باعث دگرپختی شده است. راندگی کم‌عمق بالایی با ریشه در سطح جدایش بالایی (سازند امیران) باعث برگشتگی یال جنوبی تاقدیس و همچنین افزایش ضخامت سازند امیران در ناودیس مجاور شده است. چهارگوش‌های سیاه‌رنگ محل شکل‌های بعدی را نشان می‌دهد

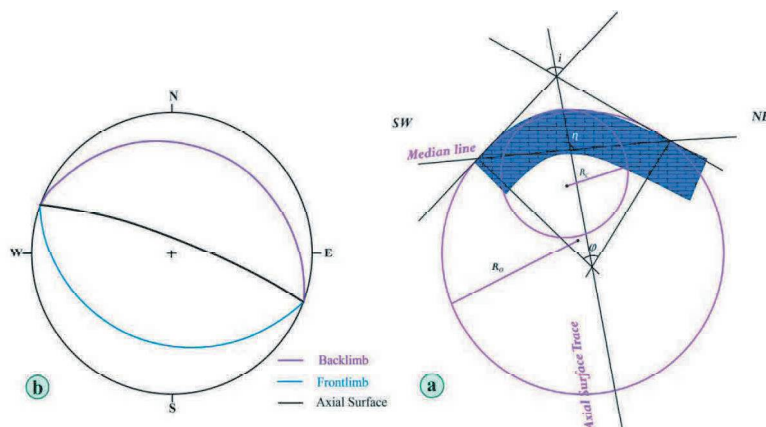


جنوب غرب نسبت به محور تاقدیس عمقی دیده می شود. مقدار کوتاه شدگی محاسبه شده از این نیمرخ نیز ۱۱ درصد می باشد و راندگی اصلی عمقی با ریشه در سازند گرو باعث دگرشکلی در تاقدیس شده است. در راستای این نیمرخ، موقعیت محوری تاقدیس ۱۱۰ و شیب سطح محوری آن ۰۳۰/۸۴ (شیب/جهت شیب) است (شکل ۹).

رخنمون بیشتر تاقدیس را سازند امیران که در واقع قدیمی ترین سازند رخنمون یافته تاقدیس است، تشکیل می دهد و بیشترین ضخامت این سازند در امتداد این نیمرخ در ناودیس حاشیه ای جنوبی (ناودیس ملاوی) می باشد. ضخامت زیاد سازند امیران در امتداد این نیمرخ بر هندسه سطحی تاقدیس سرکان اثر گذاشته است و مشابه نیمرخ قبلی، جابجایی محور تاقدیس سطحی به سمت



شکل ۸. تصاویر صحرایی واقع در امتداد نیمرخ BB'، (a) ناودیس تنگ ملاوی بین دو تاقدیس سرکان و سلطان با رخنمون سطحی سازند آسماری، که برگشته بودن یال جنوبی تاقدیس سرکان با پیکان سیاه رنگ مشخص شده است، (b) توالی از رخنمون سازندهای تله زنگ، کشکان و آسماری در یال شمالی تاقدیس سرکان، (c) سازند شکل پذیر گچساران در یال شمالی تاقدیس سرکان (ناودیس افرینه)، (d) لایه های جوان سازند آغاچاری در یال جنوبی ناودیس افرینه

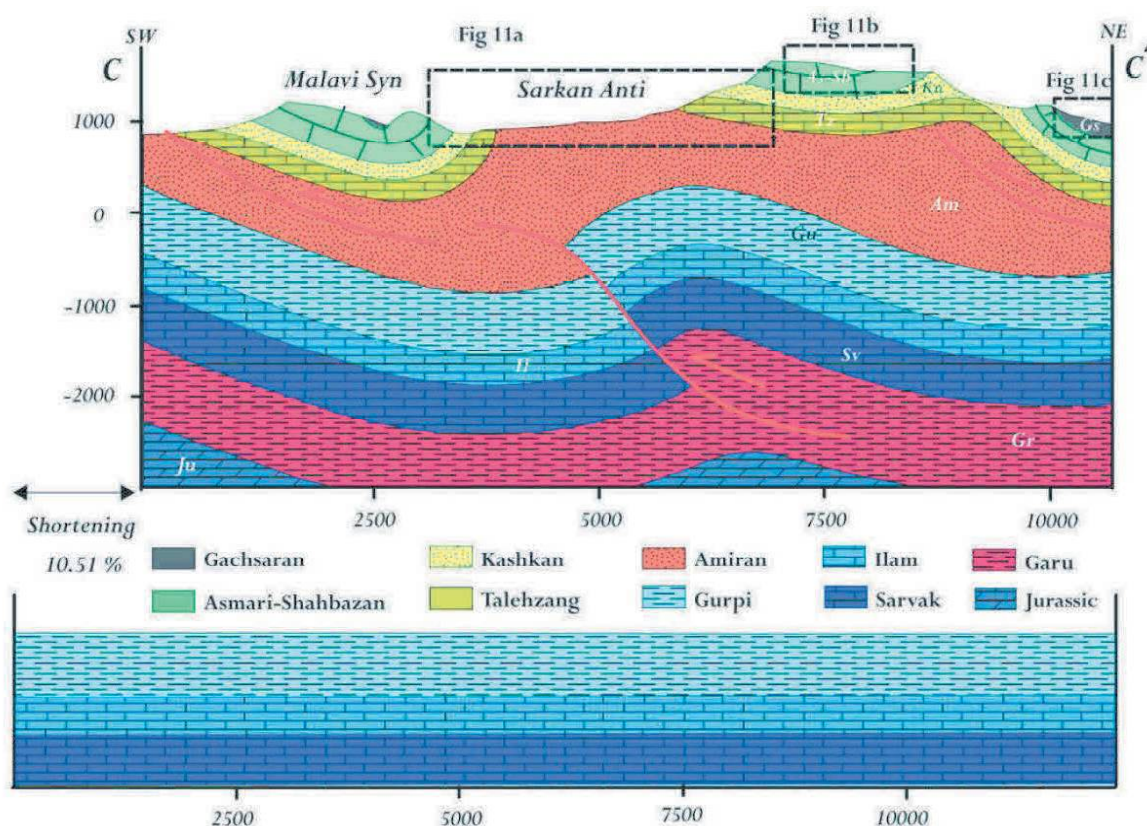


شکل ۹. (a) پارامترهای هندسی محاسبه شده برای تاقدیس سرکان در نیمرخ عرضی BB'، (b) تصویر استریوگرام تاقدیس سرکان

### نیمرخ CC'

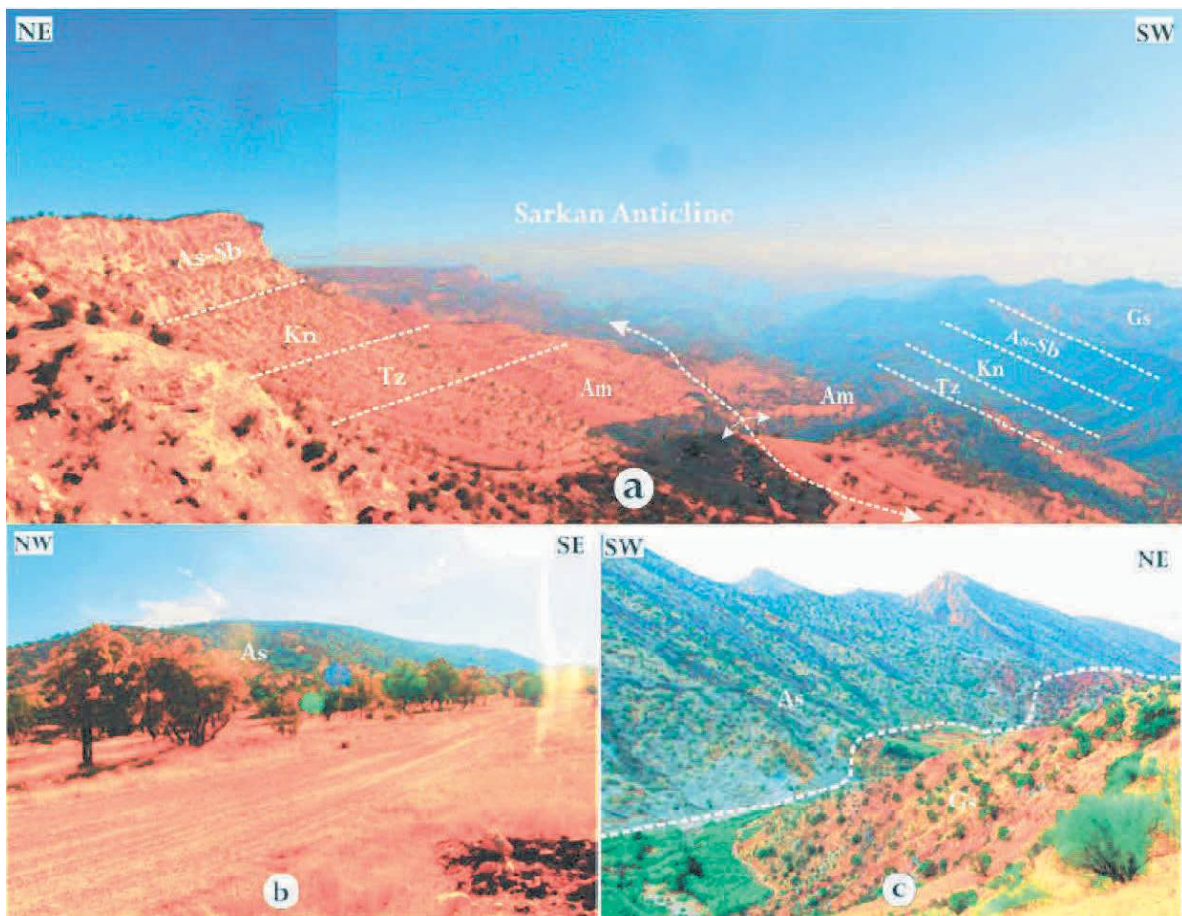
را در امتداد این نیمرخ نشان می‌دهند. تاقدیس عمقی در امتداد این نیمرخ در عمق کمتری نسبت به سطح قرار گرفته و نسبت به تاقدیس سطحی جابجایی دارد. راندگی عمیق و راندگی کم‌عمق بالایی با ریشه در سطوح جدایشی باعث دگرشکلی توالی‌ها شده است. همچنین مقدار کوتاه‌شدگی محاسبه شده در راستای این نیمرخ حدود ۱۰ درصد می‌باشد (شکل ۱۰). در راستای این نیمرخ، موقعیت محوری ۱۲۵ و شیب سطح محوری آن  $۰.۳۰/۸۲$  (شیب/جهت شیب) است (شکل ۱۲).

نیمرخ CC' (شکل ۱۰) با طول کم‌ویش ۱۰ کیلومتر، در فاصله کم‌ویش شش کیلومتری نیمرخ BB' عمود بر امتداد و در بخش‌های میانی تاقدیس سرکان رسم شده است (شکل ۲). تاقدیس سطحی سرکان در امتداد این نیمرخ به صورت عادی و در واقع یال جنوبی پرشیب دارد. در هسته تاقدیس توالی کاملی از سازندهای گچساران، آسماری-شهبازان، کشکان، تله‌زنگ و امیران در رخنمون سطحی مشاهده می‌شود (شکل ۱۱). سازند امیران بیشترین رخنمون بخش محوری چین و همچنین سازند آسماری رخنمون سطحی یال‌ها

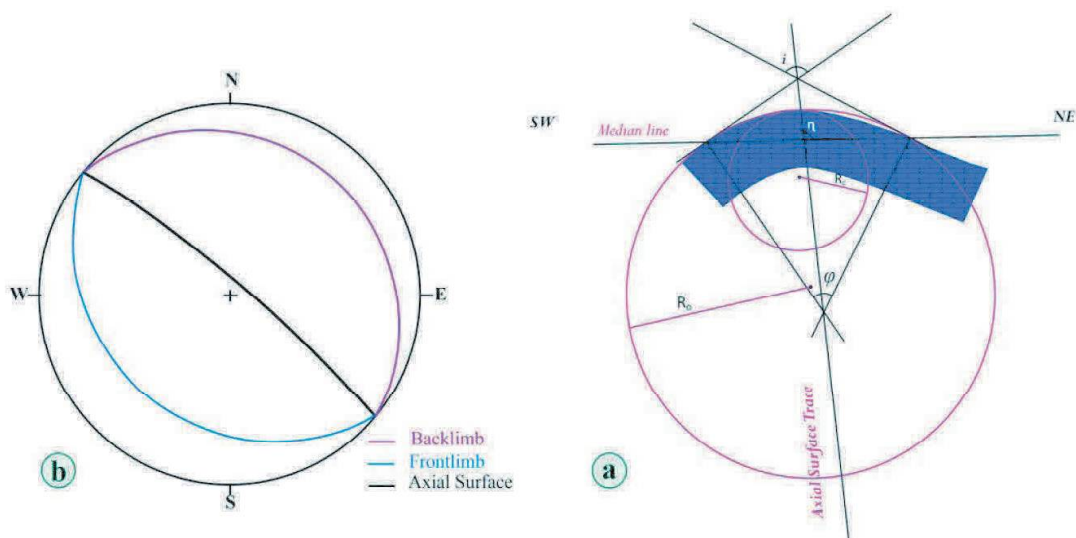


شکل ۱۰. نیمرخ ساختاری CC' که عمود بر روند تاقدیس سرکان رسم شده است و در این نیمرخ تاقدیس سطحی سرکان به صورت عادی و نامتقارن است. جابجایی راندگی عمقی و راندگی‌های سطحی به ریشه در سازند امیران باعث دگرریختی تاقدیس شده است. جابجایی محور تاقدیس سطحی نسبت به تاقدیس عمقی در این نیمرخ نیز دیده می‌شود. چهارگوش‌های سیاه‌رنگ محل شکل‌های بعدی را نشان می‌دهد





شکل ۱۱. تصویرهای صحرایی واقع در امتداد نیمرخ 'CC' (a)، توالی کامل و منظم از سازندهای رخنمون یافته در محل محور تاقدیس سرکان که از قدیم به جدید شامل: سازندهای امیران، تله‌زنگ، کشکان، آسماری-شهبازان و گچساران، (b) یال شمالی تاقدیس سرکان با رخنمون سازند آسماری، (c) رخنمون سازندهای آسماری و گچساران در ناودیس شکل گرفته در یال شمال شرقی تاقدیس

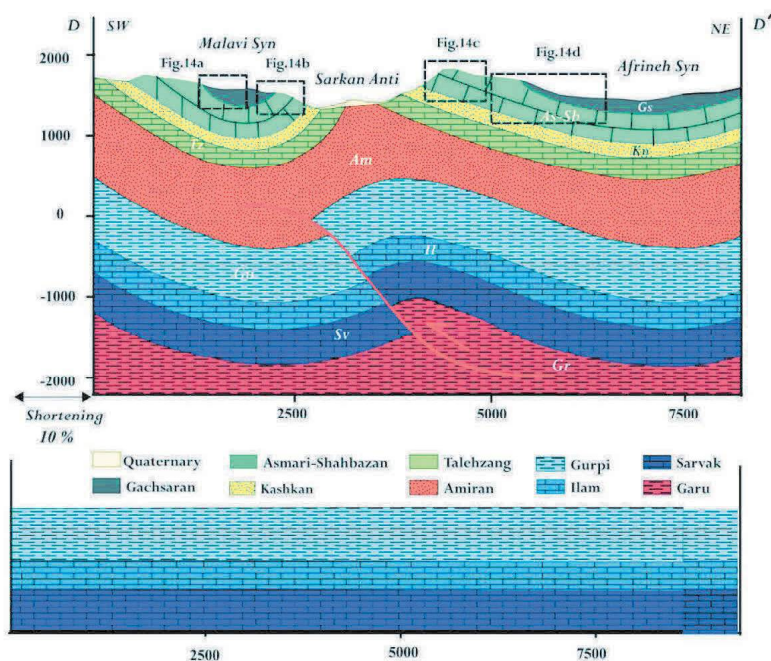


شکل ۱۲. (a) پارامترهای هندسی محاسبه شده برای تاقدیس سرکان در سازند سروک در نیمرخ عرضی 'CC'، (b) تصویر استریوگرام تاقدیس سرکان

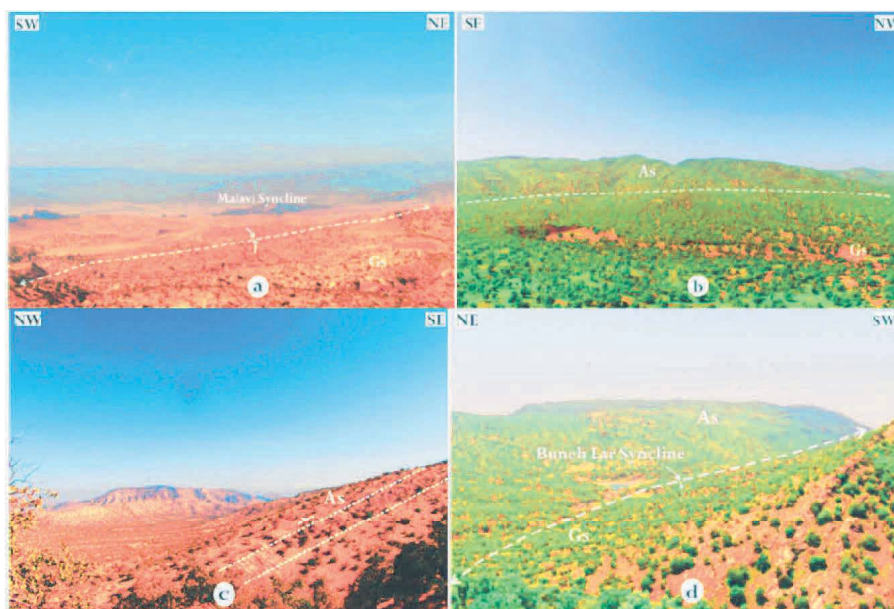
تاقدیس سرکان رسم شده است (شکل ۱۳). تاقدیس سطحی سرکان در مسیر این نیمرخ نیز به صورت عادی و در بخش جنوب غرب آن ناودیس ملاوی و در سمت شمال شرق آن ناودیس تنگ بنیه لار قرار می گیرد (شکل ۱۴).

### نیمرخ DD'

این نیمرخ ساختاری با طول تقریبی ۱۰ کیلومتر، در فاصله کم و بیش شش کیلومتری شمال غرب نیمرخ CC' (شکل ۲)، عمود بر امتداد و در نزدیکی پلانژ شمال غربی



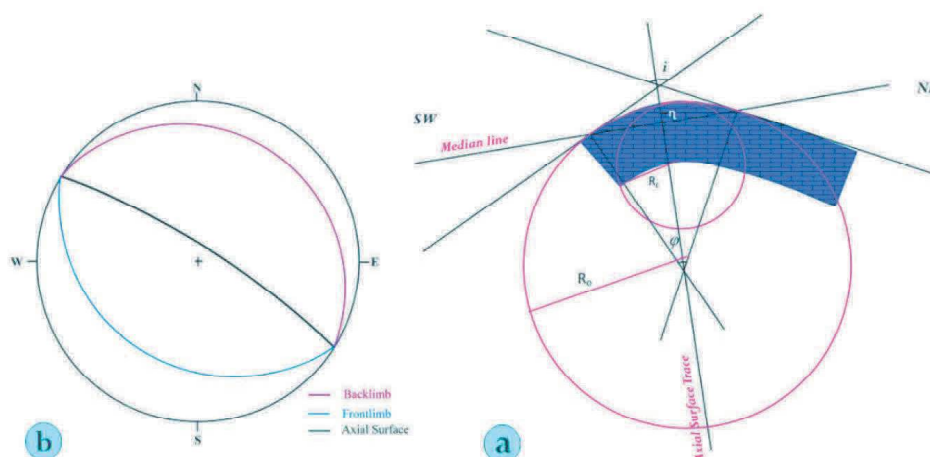
شکل ۱۳. نیمرخ ساختاری DD' که عمود بر روند تاقدیس سرکان رسم شده است. در این نیمرخ ساختاری تاقدیس سطحی سرکان به صورت عادی و نامتقارن با یال جنوبی پرشیب است، راندگی عمقی در سطح جدایش گرو در یال جنوبی تاقدیس به سمت بالا منتشر شده و باعث دگرریختی شده است. چهارگوش‌های سیاه‌رنگ محل شکل‌های بعدی را نشان می‌دهد



شکل ۱۴. تصاویر صحرایی واقع در امتداد نیمرخ DD'، (a) ناودیس ملاوی با رخنمون سازند گچساران، (b) یال جنوبی تاقدیس سرکان که سازندهای آسماری و گچساران بر روی آن مشخص شده، (c) یال شمالی تاقدیس سرکان با رخنمون سازند آسماری، (d) ناودیس تنگ بنیه لار واقع شده بین دو تاقدیس سرکان و سرگلان

است و مقدار کوتاه‌شدگی محاسبه شده برای این نیمرخ حدود ۱۰ درصد می‌باشد. در راستای این نیمرخ موقعیت محوری تاقدیس ۱۲۵ و شیب سطح محوری آن ۳۰/۸۲ (شیب/جهت شیب) است (شکل ۱۵).

رخنمون سطحی تاقدیس سرکان در راستای این نیمرخ را بیشتر سازند آهکی آسماری و سازند شکل‌پذیر گچساران تشکیل می‌دهد (شکل ۱۴). جابجایی محور تاقدیس سطحی نسبت به تاقدیس عمقی در این نیمرخ نیز قابل مشاهده



شکل ۱۵. (a) پارامترهای هندسی محاسبه شده برای تاقدیس سرکان در سازند سروک در نیمرخ عرضی DD'، (b) تصویر استریوگرام تاقدیس سرکان

## تفسیر نیمرخ‌ها

می‌باشند (Farzipour-Saein et al., 2009a). در منطقه مورد مطالعه نیز با توجه به نیمرخ‌های ساختاری و تفسیر نیمرخ‌های لرزه‌ای دوبعدی، دو سطح جدایش اصلی باعث دگرشکلی در ساختارهای چین‌خورده شده است. سازند گرو به‌عنوان سطح جدایش زیرین و سازند امیران به‌عنوان سطح جدایش بالایی عمل کرده است که در اثر عملکرد سطح جدایش بالایی ناهماهنگی در محور چین‌خوردگی عمیق و سطحی دیده می‌شود.

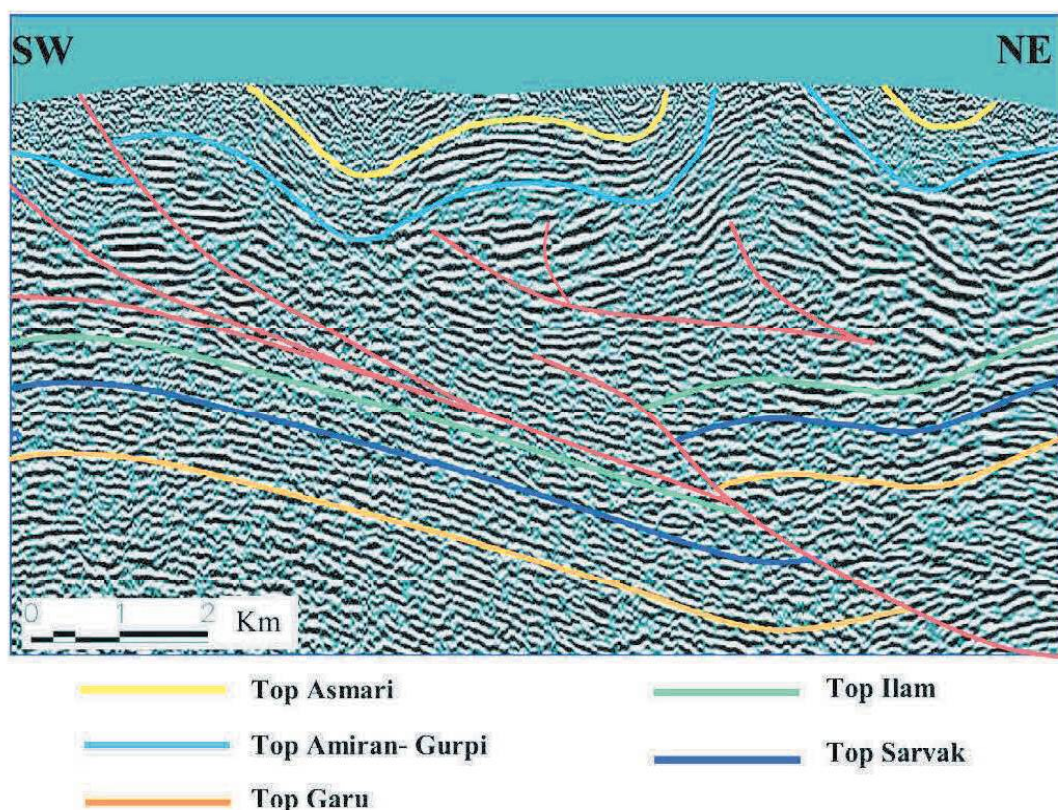
به‌طور کلی تفسیر نیمرخ‌های لرزه‌ای نبود هماهنگی بین ساختارهای سطحی و عمقی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد (شمس‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶ (شکل ۱۶)). در واقع با تفسیر این نیمرخ‌های لرزه‌ای، چهار نیمرخ عرضی ساختاری عمود بر روند چین‌خوردگی رسم و تحلیل‌های ساختاری مربوطه انجام می‌گیرد. اندازه‌گیری این پارامترهای هندسی در یک سطح چین‌خورده و رسم نمودارهای استریوگرافیک مربوطه کمک زیادی به تشخیص هندسه ساختاری تاقدیس سرکان می‌کند. بنابراین، در این مطالعه از سازند سروک به‌عنوان شاخص جهت محاسبه پارامترهای هندسی در

مطالعات آزمایشگاهی مختلف تأثیر سطوح جدایشی بر رفتار مکانیکی لایه‌ها حین چین‌خوردگی و به‌ویژه تغییر طول موج و دامنه چین‌خوردگی را نشان می‌دهد (Hudleston and Lan, 1993; Ramsay, 1967; Tanner, 1989). در چین‌خوردگی‌های ناحیه لرستان تغییرات قائم و جانبی در سبک ساختاری نشان می‌دهد که چینه‌شناسی مکانیکی نقش مهمی در کنترل هندسه ساختارها دارد (Blanc et al., 2003; Homke et al., 2004; Koyi et al., 2004; Sherkati and Letouzey, 2004; Sepehr et al., 2006; Sherkati et al., 2006; Farzipour-Saein et al., 2009a; Verges et al., 2011). بنابراین نقش چینه‌شناسی مکانیکی و تغییرات سنگ‌شناسی (تغییرات جانبی رخساره) باعث تشکیل سطوح جدایش متعددی شده است که هندسه چین‌خوردگی را کنترل می‌کنند. این سطوح جدایشی در ناحیه لرستان بیشتر مربوط به رسوبات شیلی پالئوزویک، تبخیری‌های تریاس و ژوراسیک و رسوبات کرتاسه بالایی پالئوسن‌پایینی



بنابراین از نوع نیمه‌گردشده می‌باشد و برای نیمرخ‌های  $CC'$  و  $DD'$  مقدار  $0/4 < b < 0/2$  است که نیمه‌زاویه‌دار است. همچنین مقادیر به‌دست‌آمده از نسبت ابعادی و لگاریتم آن برای همه نیمرخ‌های گستره، مقادیر  $0/1 < p < 0/25$  و  $0/6 < -\log p \leq 1$  است. بنابراین از نوع پهن یا عریض می‌باشند. زاویه بین‌یالی در بخش‌های مختلف تاقدیس از ۱۰۵ تا ۱۲۷ درجه متغیر است و مقدار کوتاه‌شدگی بین ۱۰ تا ۱۱ درصد متغیر است.

چهار نیمرخ ساختاری تاقدیس سرکان استفاده شده است (جدول ۱). براساس این داده‌ها، تاقدیس سرکان تاقدیسی غیراستوانه‌ای می‌باشد. همچنین مقادیر عددی به‌دست‌آمده برای زاویه بین‌یالی و زاویه چین‌خوردگی نشان می‌دهد که این تاقدیس از نظر فشردگی در نیمرخ‌های  $AA'$ ،  $BB'$  و  $CC'$  از نوع چین‌های باز و در نیمرخ  $DD'$  از نوع چین‌های ملایم است. همچنین محاسبه‌کنندگی چین برای نیمرخ‌های  $AA'$  و  $BB'$  نشان می‌دهد که مقدار  $0/4 < b < 0/8$  است.



شکل ۱۶. نیمرخ لرزه‌ای دوبعدی تفسیر شده در منطقه مورد مطالعه که تغییرات هندسه چین‌خوردگی و ضخامت سازندهای نامقاوم را نشان می‌دهد (شمس‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶)

است. در واقع حالت ۱ با ثابت بودن شیب یال‌ها، و وارد شدن مواد در حال رشد به درون چین‌های جدایشی تعریف می‌شود، یعنی مکانیزم چین‌های خودشکل را نشان می‌دهد و در حالت‌های ۲ و ۳ که بایستی هنگام رشد چین یال‌ها بچرخند، مکانیزم غیرخودشکل است. البته در کمربند‌های چین‌خورده رانده پیش‌بوم، حالت ۳ بهترین هماهنگی را با چین‌های جدایشی در طبیعت دارد (Hardy and Poblet, 1995; Poblet and McClay, 1996).

مدل جنبشی تکامل چین‌های جدایشی توسط پژوهشگران زیادی (Hozma and Wallace, 1995; Jamison, 1987; Poblet and McClay, 1996) بررسی شده است. در مدل ارائه شده توسط Poblet and McClay (۱۹۹۶) سه حالت اصلی از چین‌خوردگی جدایشی مطرح شده است. در حالت ۱، شیب یال ثابت و طول یال متغیر، در حالت ۲، شیب یال متفاوت و طول یال ثابت و در حالت ۳ شیب یال و طول یال هر دو متفاوت در نظر گرفته شده



جدول ۱. پارامترهای محاسبه شده بر روی نیمرخ‌های عرضی رسم شده از تاقدیس سرکان

نام برش				مشخصات و پارامترهای هندسی تاقدیس سرکان
DD'	CC'	BB'	AA'	
۵۲	۶۱	۷۸	۷۹	زاویه چین خوردگی (φ)
ملایم	باز	باز	باز	فشردگی (T)
۲۰	۳۰	۴۳	۲۰	
۱۴۹	۲۰۰	۲۰۶	۱۳۲	نسبت ابعادی (p)
پهن	پهن	پهن	پهن	
۶۵	۶۸	۶۷	۴۵	
۱۶۷	۱۸۳	۱۴۸	۱۰۲	کندی چین (b)
۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۴۵	۰/۴۴	
نیمه زاویه دار	نیمه زاویه دار	نیمه گرد	نیمه گرد	
۱۹	۲۰	۲۴	۲۰	شیب یال پشتی (Vb)
۳۵	۳۲	۳۶	۳۶	شیب یال جلویی (Vf)
۷۹	۱۱۵	۱۲۳	۷۱	طول یال پشتی (Lb)
۷۶	۹۵	۱۰۰	۶۷	طول یال جلویی (Lf)
۱/۸	۱/۵۵	۱/۴۴	۱/۷۲	$RI = \sin Vf / Vb$
۱۰/۵۶	۱۰/۳۲	۱۰/۹۷	۱۰/۳۷	درصد کوتاه شدگی محاسبه شده از روی نمودار
۱۱/۳۶	۱۰/۵۱	۱۱/۷۴	۱۱/۰۶	درصد کوتاه شدگی محاسبه شده از روی نیمرخ

## نتیجه گیری

رده نیمه زاویه دار را نشان می دهد. شیب یال جلویی در تمام نیمرخ‌ها از یال پشتی بیشتر است و طول یال جلویی در چهار نیمرخ بررسی شده کمتر از یال پشتی است که این بررسی‌ها نامتقارنی چین را تایید می کند. با توجه به الگوهایی مطرح شده برای چین‌های مرتبط با گسل و همچنین تجزیه و تحلیل پارامترهای هندسی و بررسی نیمرخ‌های ساختاری می توان به این نتیجه رسید که تاقدیس سرکان از نوع چین‌های جدایشی است و ساختار این تاقدیس تحت تاثیر دو سطح جدایش قرار می گیرد. سطوح جدایشی شامل سازند فلیشی امیران به عنوان سطح جدایش بالایی و سازند شیلی گرو نیز به عنوان سطح جدایش میانی معرفی می شود که نقش مهمی در دگرشکلی منطقه مورد مطالعه ایفا می کنند. عملکرد سطح جدایش بالایی حین دگرشکلی پیش رونده باعث شده است که محور تاقدیس سطحی نسبت به محور تاقدیس عمقی به سمت جنوب غرب جابجا شده باشد.

با توجه به مشاهدات صحرائی و اندازه گیری پارامترهای هندسی بر روی چهار نیمرخ ساختاری رسم شده عمود بر روند تاقدیس سرکان، این تاقدیس یک چین نامتقارن و استوانه‌ای است. در نیمرخ‌های جنوب شرقی و مرکزی (AA', BB', CC') تاقدیس به علت اینکه زاویه چین خوردگی مابین گستره ۶۰ تا ۱۱۰ می باشد، از لحاظ فشردگی، چین در منطقه مورد مطالعه از نوع باز می باشد و در نیمرخ ساختاری شمال غربی که در گستره صفر تا ۶۰ قرار گرفته چین از نوع ملایم تشخیص داده شده است. نسبت ابعادی در تمام نیمرخ‌ها در یک گستره نزدیک به هم بوده و در بررسی‌های انجام شده در گستره ۰/۲۵ تا ۰/۶۳ قرار گرفته که در گروه چین پهن قرار داده شده است. اندازه گیری پارامتر کندی چین در نیمرخ‌های ساختاری جنوب شرقی و مرکزی (AA', BB') تاقدیس در گستره ۰/۴ تا ۰/۸ قرار گرفته و نشان می دهد که چین خوردگی از نوع نیمه گرد است و در نیمرخ‌های مرکزی و شمال غربی (CC', DD') در گستره ۰/۲ تا ۰/۴ قرار گرفته و

## منابع

- placements illustrated by the Zagros Range. Geological Society, London, Special Publications, 3, 1, 9-21.
- Farzipour-Saein, A., Yassaghi, A., Sherkati, S. and Koyi, H., 2009a. Mechanical stratigraphy and folding style of the Lurestan region in the Zagros Fold Thrust Belt, Iran. *Journal of the Geological Society*, 166, 1101-1115.
  - Farzipour-Saein, A., Yassaghi, A., Sherkati, S. and Koyi, H., 2009b. Basin evolution of the Lurestan region in the Zagros fold and thrust belt. *Iran. Journal of Petroleum Geology*, 32, 1, 5-19.
  - Golonka, J., 2004. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic. *Tectonophysics*, 381, 1, 235-273.
  - Hardy, S. and Poblet, J., 1995. The velocity description of deformation. Paper 2: sediment geometries associated with fault-bend and fault-propagation folds. *Marine and Petroleum Geology*, 12, 2, 165-176.
  - Haynes, S.J. and McQuillan, H., 1974. Evolution of the Zagros suture zone, southern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 85, 5, 739-744.
  - Hessami, K., Koyi, H.A., Talbot, C.J., Tabasi, H. and Shabanian, E., 2001. Progressive unconformities within an evolving foreland fold-thrust belt, Zagros Mountains. *Journal of the Geological Society*, 158, 6, 969-981.
  - Homke, S., Verges, J., Garces, M., Emaami, H. and Karpuz, R., 2004. Magnetostratigraphy of Miocene-Pliocene Zagros foreland deposits in the front of the Push-e Kush arc (Lurestan Province, Iran). *Earth and Planetary Science Letters*, 225, 3, 397-410.
  - Homza, T.X. and Wallace, W.K., 1995. Geometric and kinematic models for detachment folds with fixed and variable detachment depths. *Journal of the Geological Society*, 152, 1, 1-10.
  - شمس‌زاده، ع.، علوی، ا.، ولی‌نژاد، م. و توکلی یرکی، م.، ۱۳۹۶. سبک چین‌خوردگی و پیچیدگی‌های ساختاری در زیرپهنه‌ی لرستان مرکزی (مطالعه موردی یکی از میادین نفتی ناحیه). ماهنامه علمی-ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، ۱۴۴، ۴۸-۵۳.
  - مطیعی، ه.، ۱۳۷۴. چینه‌شناسی زاگرس. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۵۴۰.
  - Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. and Mouthereau, F., 2005. Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International Journal of Earth Sciences*, 94, 401-41.
  - Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229, 211-238.
  - Alavi, M., 2007. Structures of the Zagros fold thrust belt in Iran. *American Journal of Science*, 307, 1064-1095.
  - Berberian, M., 1995. Master Blind thrust faults hidden under the Zagros folds: Active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 241, 193-224.
  - Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evaluation of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 210-265.
  - Blanc, E. P., Allen, M. B., Inger, S. and Hassani, H., 2003. Structural styles in the Zagros simple folded zone, Iran. *Journal of the Geological Society*, 160, 3, 401-412.
  - Dewey, J.F., Pitman, W.C., Ryan, W.B.F. and Bonnin, J., 1973. Plate tectonics and the evolution of the Alpine System. *Geological Society of America Bulletin*, 84, 3137-3180.
  - Falcon, N.L., 1969. Problems of the relationship between surface structure and deep dis-

- Journal of Structural Geology, 17, 575-588.
- Hudleston, P.J. and Lan, L., 1993. Information from fold shapes. Journal of Structural Geology, 15, 3, 253-264.
  - James, G.A. and Wynd, J.G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. AAPG Bulletin, 49, 12, 2182-2245.
  - Jamison, W.R., 1987. Geometric analysis of fold development in overthrust terranes. Journal of Structural Geology, 9, 207-219.
  - Koop, W.J. and Stoneley, R., 1982. Subsidence history of the Middle East Zagros Basin, Permian to Recent. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, 05, 149-168.
  - Koyi, H. A., Sans, M. and Bahroudi, A., 2004. Modelling the deformation front of fold-thrust belts containing multiple weak horizons. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, 45, 101-103.
  - Marrett, R. and Bentham, P.A., 1997. Geometric analysis of hybrid fault-propagation/detachment folds. Journal of Structural Geology, 19, 3-4, 243-248.
  - McClay, K.R., Whitehouse, P.S., Dooley, M. and Richards, M., 2004. 3D evolution of fold and thrust belts formed by oblique convergence. Marine and Petroleum Geology, 21, 857-877.
  - McQuarrie, N. and Van Hinsbergen, D.J., 2013. Retrodeforming the Arabia-Eurasia collision zone: Age of collision versus magnitude of continental subduction. Geology, 41, 3, 315-318.
  - McQuarrie, N., 2004. Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. Journal of Structural Geology, 26, 3, 519-535.
  - Mohajjel, M. and Fergusson, C.L., 2014. Jurassic to cenozoic tectonics of the zagros orogen in northwestern Iran. International Geology Review, 56, 3, 263-287.
  - Mouthereau, F., Lacombe, O. and Verges, J., 2012. Building the Zagros collisional orogen: timing, strain distribution and the dynamics of Arabia/Eurasia plate convergence. Tectonophysics, 532, 27-60.
  - 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, 838-853.
  - Poblet, J.A. and McClay, K.R., 1996. Geometry and kinematics of single layer detachment folds. AAPG Bulletin, 80, 1085-1109.
  - Ramsay, J.G., 1967. Folding and Fracturing of Rocks. McGraw-Hill Companies, 568.
  - Ramsay, J.G., and Huber, M.I., 1987. The Techniques of Modern Structural Geology, 2. Academic Press, 697.
  - Salvini, F. and Storti, F., 2002. Three-dimensional architecture of growth strata associated to fault-bend, fault-propagation, and decollement anticlines in non-erosional environments. Sedimentary Geology, 146, 1, 57-73.
  - Seppehr, 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.
  - Sherhati, S. and Letouzey, J., 2004. Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran. Marine and Petroleum Geology, 21, 535-554.
  - Sherhati, S., Letouzey, J. and Frizon de Lomotte, D., 2006. Central Zagros fold-thrust belt (Iran): New insights from seismic data, field observation, and sandbox modeling. Tectonics, 25, 1-27.
  - Stocklin, J., 1968. Structural history and

- tectonics of Iran: A review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52, 1229-1258.
- Suppe, J., 1985. Principles of Structural Geology. Englewood Cliffs New Jersey, Prentice Hall, 537.
  - Takin, M., Akbari, Y. and Macleod, J.H., 1970. Pul-e Dukhtar Geological Compilation Map 1: 100,000 (Sheet 20812 E). National Iranian Oil Company (NIOC).
  - Takin, M., 1972. Iranian geology and continental drift in the Middle East. Nature, 235, 147-150.
  - Tamagawa, T., Matsuoka, T. and Tamura, Y., 1998. Geometrical shape of fault-bend folding with simple shear deformation in the thrust sheet (in Japanese). Geoinformatics (Joho Chishitsu, Osaka), 9, 3-11.
  - Tanner, P.G., 1989. The flexural-slip mechanism. Journal of Structural Geology, 11, 6, 635-655.
  - Verges, J., Saura, E., Casciello, E., Fernandez, M., Villasenor, A., Jimenez-Munt, I. and Garcia-Castellanos, D., 2011. Crustalscale cross-sections across the NW Zagros belt: Implications for the Arabian margin reconstruction. Geological Magazine, 148, 739-761.
  - 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.
  - Ziegler, P.A. and Stampfli, G.M., 2001. Late Paleozoic-Early Mesozoic plate boundary reorganization: collapse of the Variscan orogen and opening of Neotethys. In: Cassinis, R. (Ed.), the Continental Permian of the Southern Alps and Sardinia (Italy) Regional Reports and General Correlations, Ed. 25. Annali Museo Civico Science Naturali, Brescia, 17-34.