

تأثیر گسل‌های راندگی سطحی و ژرفایی بر هندسه ساختاری تاقدیس قلاجه، لرستان، باختر زاگرس

رضا علیپور^{۱*}، علی جهانگیری^۱ و زهرا قاسمی^۱

اگره زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

چکیده

تاقدیس قلاجه با طول حدود ۶۰ کیلومتر و راستای شمال باختری - جنوب‌خاوری در شمال پهنه ساختاری لرستان و باختر کمربند چین‌خورده - رانده زاگرس واقع شده است. هندسه و ساختارهای چین‌خورده در این پهنه توسط گسل‌های راندگی و سطوح جدایشی کنترل می‌شود. در این پژوهش برای تحلیل هندسی تاقدیس قلاجه با استفاده از اطلاعات چاه‌ها و رسم سه نیمرخ ساختاری عمود بر محور تاقدیس، 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 تحت‌تأثیر دو سطح جدایش بالایی (سازند پابده) و میانی (سازند گرو) قرار گرفته است. سطوح جدایشی و راندگی‌های ژرفایی و سطحی در یال جنوب باختری تأثیر زیادی بر هندسه چین‌خوردگی ایجاد کرده‌اند که باعث سبتر شدن سطح جدایش میانی و برگشته شدن یال جنوبی در بخش جنوب باختری تاقدیس شده‌اند. در بخش‌های مرکزی و شمال باختری تاقدیس برگشتگی کمتر شده و لایه‌ها به حالت عادی تبدیل شده‌اند که این تغییر شیب لایه‌بندی با شکستگی‌های زیادی همراه است. تجزیه و تحلیل مشخصه‌های هندسی تاقدیس قلاجه نشان می‌دهد که این تاقدیس یک چین نامتقارن و استوانه‌ای و از نظر فشردگی باز و از نظر کندی چین در رده نیمه‌زاویه‌دار قرار دارد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:

چین‌خوردگی

جدایش

نیمرخ ساختاری

گرو

راندگی

۱- پیش‌نوشتار

کمربند چین‌خورده - رانده زاگرس به دلیل بسته شدن اقیانوس تیتیس جوان و برخورد صفحه‌های اوراسیا و عربی در اواخر کرتاسه تا سنوزویک تشکیل شده است (Alavi, 2007; Sarkarinejad et al., 2008; McQuarrie and Van Hansberger, 2013; Vernant et al., 2004; Mouthereau et al., 2012; Faghih et al., 2012). این کمربند از نظر ساختاری شامل تاقدیس‌ها، ناودیس‌ها، گسل‌های راندگی و چین‌های در ارتباط با آنها می‌باشد که بیشتر این ساختارها دارای روند شمال‌باختری - جنوب‌خاوری و موازی با یکدیگر می‌باشند (Berberian, 1995) در کمربند زاگرس وجود سطوح جدایش متعدد و گسلش راندگی طی مراحل مختلف دگرشکلی پیش‌رونده، هندسه چینه‌ای مرتبط با گسل را پیچیده کرده‌اند (McQuarrie, 2004). بیشتر گسل‌های راندگی در یال جنوب باختری چین‌ها واقع شده‌اند و عموماً باعث دگرریختی و رخدادهای لرزه‌ای در کمربند چین‌خورده - رانده زاگرس شده‌اند. زلزله ۱۲ نوامبر ۲۰۱۷ ازگله - سرپل‌ذهاب با بزرگای ۷/۳ ریشتر یکی از بزرگترین حوادث لرزه‌ای ثبت شده در این کمربند است که مسبب آن گسل راندگی و پی‌سنگی جبهه کوهستان بوده است (Tavani et al., 2018). در تحقیقات اخیر که راجع به ساختار کلی و چین‌خوردگی‌های زیرپهنه لرستان انجام شده است عموماً معطوف به گسلش راندگی و تغییرات سطوح جدایشی و چین‌خوردگی‌های ناهم‌انگ

بوده است. بنابراین هدف از این پژوهش تأثیر گسل‌های راندگی در ژرفا و سطح و چین‌خوردگی در زیرپهنه لرستان بر هندسه ساختاری تاقدیس قلاجه است.

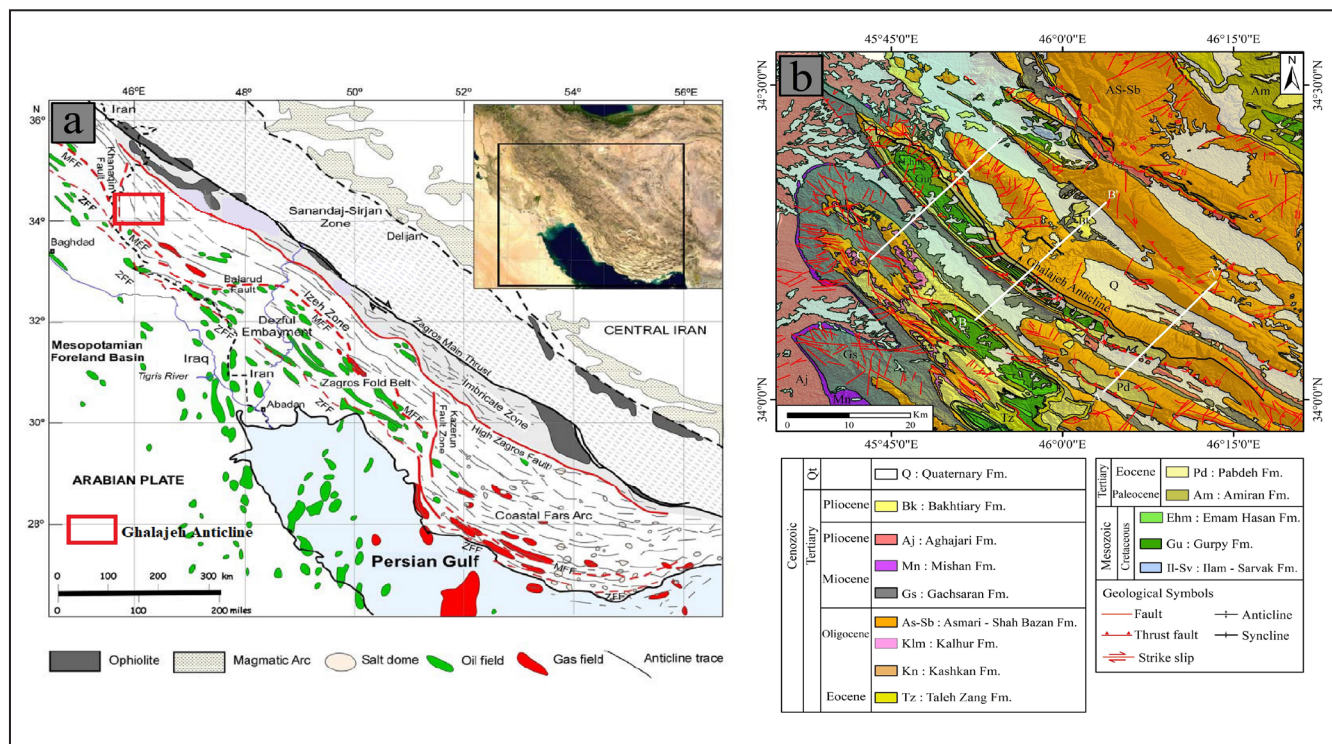
۲- جایگاه زمین‌شناسی و چینه‌شناسی گستره مورد مطالعه

کمربند چین‌خورده - رانده زاگرس به عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا، یکی از جوان‌ترین و فعال‌ترین مناطق برخورد قاره‌ای در روی زمین است (Bahroudi et al., 2004; Farzipour-Saein et al., 2009). شامل توالی از پوشش رسوبی به سبترای ۱۲-۷ کیلومتر با ترکیبی از لایه‌های مقاوم و نامقاوم می‌باشد که بر روی پی‌سنگ زاگرس نهشته است (Alavi, 2007; Allen and Talebian, 2011). از نظر تنوع رخساره‌ها این کمربند را به واحدهای زمین‌ساختی - چینه‌ای از شمال باختر به جنوب‌خاور به پنج زیرپهنه شامل زیرپهنه لرستان، زیرپهنه ایزه، فروافتادگی دزفول، زیرپهنه فارس و زاگرس مرتفع تقسیم‌بندی شده است (Sherkati et al., 2006). زیرپهنه لرستان برپایه ویژگی‌های زمین‌ساخت - چینه‌ای در راستای جنوب باختری - شمال‌خاوری به ۳ بخش جنوب باختری، مرکزی و شمال‌خاوری تقسیم شده است (Hessami et al., 2001; Blanc et al., 2003) (شکل ۱-ا). تاقدیس قلاجه با روند شمال باختر - جنوب‌خاور یکی از ساختارهای فعال زمین‌ساختی در زیرپهنه لرستان و

چینه‌شناسی، گستره مورد مطالعه دارای سازندهای از کرتاسه تا پلیوسن است. به طور کلی بیشترین رخنمون در منطقه بررسی شده را سازند آسماری-شهبازان به سن الگومیوسن تشکیل می‌دهد که در زیر آن سازند گچساران به سن میوسن و سازند آغاجاری به سن پلیوسن و روی آن سازند پابده به سن انوسن قرار دارد. سازند گورپی که کهن‌ترین سازند در محور تاقدیس قلاج است. در گستره مورد مطالعه باتوجه به شواهد گسلش سطحی و هندسه ساختاری چین‌های شکل گرفته در ژرفا و سطح، دو سطح جدایشی (۱) سازند پابده به عنوان سطح جدایش بالایی (۲) سازند گرو به عنوان سطح جدایش میانی بر هندسه چین خوردگی تاقدیس سطحی و ژرفایی تأثیر گذاشته است.

در محدوده استان‌های کرمانشاه و ایلام واقع شده است. رخنمون سطحی این تاقدیس را بیشتر سازند شیلی و قدیمی گورپی و پابده تشکیل داده و سازندهای آسماری-شهبازان، گچساران در یال‌های آنها قرار دارند. باتوجه به تصاویر استریوگرام تهیه شده، تاقدیس قلاج یک تاقدیس نامتقارن و با تمایل به سمت جنوب-جنوب‌باختر است (شکل ۱-ب).

ستون چینه‌شناسی گستره مورد مطالعه با استفاده از داده‌های موجود شامل نقشه‌ها و گزارش‌های چینه‌شناسی زاگرس رسم شده است (James and Wynd, 1965; Szabo and Kheradpir, 1978; Ghavidel - Syooki, 2001) (جدول ۱). از نظر



شکل ۱- (a) نقشه جایگاه ساختاری و زیرپهنه‌های زمین‌ساختی کمربند چین‌خورده رانده زاگرس در جنوب باختر ایران که چهارگوش قرمز رنگ موقعیت گستره مورد مطالعه را نشان می‌دهد (b) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در پهنه لرستان، موقعیت نیمرخ‌های ساختاری با خطوط سفید رنگ مشخص شده است. (Homke et al., 2004)

جدول ۱- ستون چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه در زیرپهنه لرستان (James and Wynd, 1965).

Strata			Formation	Thick (m)	Lithology	Structural role
Era	System	Series				
Cenozoic	Tertiary	Pliocene	Quaternary Bakhtiary	150	Evaporate	Very weak layers
		Pliocene Miocene	Aghajari Mishan Gachsaran	300		
		Oligocene Eocene	Asmari-Shahbazan Kalhor	350	Limestone	Stiff layers
			Kashkan	250		
			Talehzang	150		
		Paleocene	Pabdeh Amiran	1400	Shale, Marls Flysch	Weak layers

ادامه جدول ۱-

Strata			Formation	Thick (m)	Lithology	Structural role
Era	System	Series				
Mesozoic	Cretaceous Ilam-Sarvak Garau		Emam Hasan Gurpi	700	Shale, Marls	Stiff layers
			1000	Limestone Shale, Marls		
			850	Evaporate	Weak layers	
	Jurassic		Khaneh-Kat	600	Limestone Shale, Marls	Stiff layers
	Triassic		Kazhdomi	300	Dolomite	
Paleozoic	Permian			650	Limestone	
	Carboniferous		Lower Paleozoic rocks	1300	Sandstone Limestone Shale	Weak layers
	Devonian					
	Silurian					
	Ordovician					
	Cambrian		Pan-African basement			Very weak layers
	Neoproterozoic					

۳- روش پژوهش

در این پژوهش به منظور بررسی شواهد سطحی و زیرسطحی، گسل‌های راندگی، سبک ساختاری، هندسه چین خوردگی و سطوح جدایشی در محدوده تاقدیس قلاجه از داده‌های سطحی و زیرسطحی استفاده شده است. اطلاعات پایه و سطحی در این پژوهش شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های مدل ارتفاع رقومی (DEM) و همچنین اطلاعات ژرفایی چاه‌های حفاری شده است که برای رسم نیمرخ‌های عرضی ساختاری استفاده شده است. نیمرخ‌های عرضی رسم شده در راستای شمال خاوری- جنوب باختری گستره مورد مطالعه و در راستای عمود بر روند عمومی تاقدیس قلاجه و با در نظر گرفتن حفظ سبزی لایه‌ها، همچنین برای بررسی دقیق‌تر ساختارها نیمرخ ساختاری با استفاده از روش کینک رسم شده و در نهایت از این نیمرخ‌ها برای بررسی هندسه ساختاری، سطوح جدایشی و سبک چین خوردگی استفاده شده است.

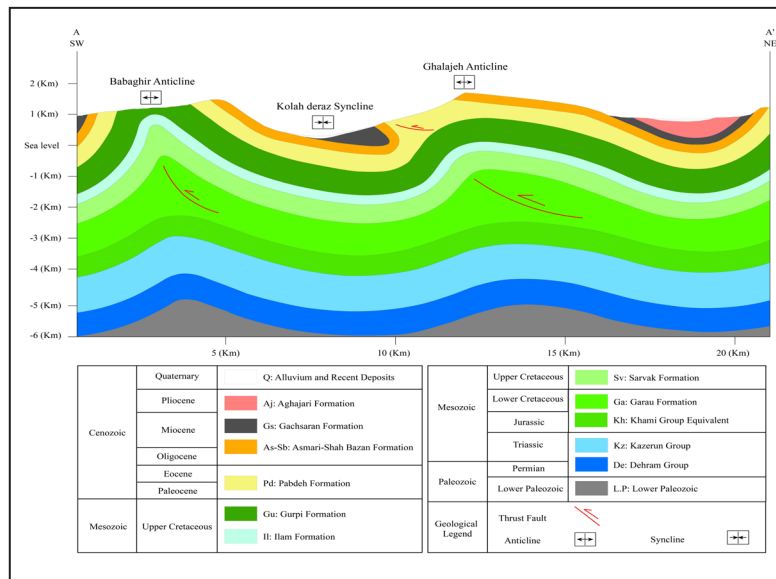
۴- نیمرخ‌های عرضی و هندسه ساختاری

تاقدیس قلاجه با راستای شمال باختری- جنوب خاوری با درازای حدود ۷۰ کیلومتر در شمال زیرپهنه لرستان قرار دارد. سطوح جدایش میانی در تشکیل ساختارهای

سطحی و همچنین سبک چین خوردگی در گستره مورد مطالعه تأثیر گذاشته‌اند. تبخیری‌ها و شیل‌های ژوراسیک (مانند سازند گرو) سطح جدایش میانی، مارن و شیل‌های ائوسن (سازند پابده) نیز نقش سطح جدایش بالایی را بازی می‌کند. بنابراین برای بررسی دقیق هندسه سطحی و ژرفایی تاقدیس، نیمرخ ساختاری عرضی و عمود بر محور تاقدیس با روش کینک رسم شده است.

۴-۱- نیمرخ AA'

نیمرخ ساختاری AA' با درازای ۲۲ کیلومتر و با راستای شمال خاوری- جنوب باختری در بخش جنوب خاوری تاقدیس قلاجه و باباقر و ناودیس کلاه‌دراز رسم شده است (شکل ۲). در امتداد این نیمرخ رخنمون سطحی تاقدیس باباقر سازند گورپی و تاقدیس قلاجه سازند پابده است (شکل ۳- b و c). جوان‌ترین رخنمون سطحی مربوط به سازند آغاچاری و گچساران در ناودیس کلاه‌دراز است (شکل ۳- a و d). در امتداد این نیمرخ ساختاری به دلیل این که سازند پابده از واحدهای نامقاوم تشکیل شده به عنوان سطح جدایش بالایی در نظر گرفته شده است.



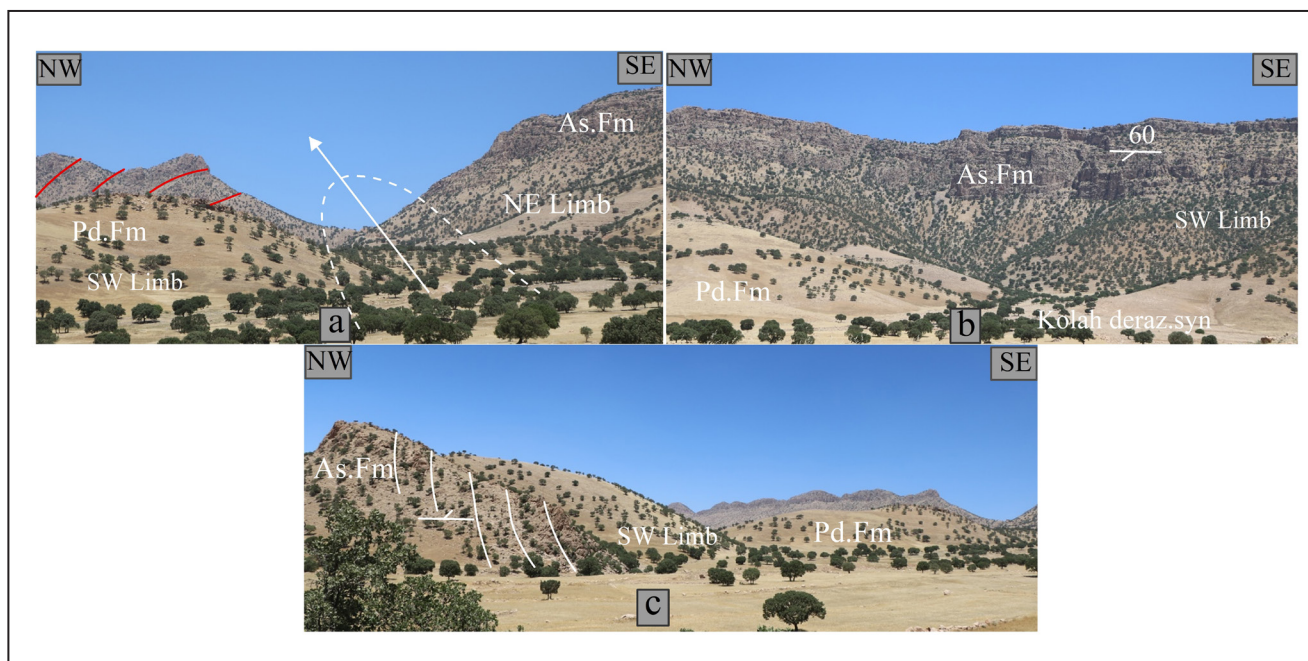
شکل ۲- نیمرخ ساختاری AA' که عمود بر روند تاقدیس‌های قلاجه و باباقیر و کلاه دراز رسم شده است. راندگی‌های تشکیل شده در پوشش رسوبی به همراه سطوح جدایشی باعث دگرریختی در ساختارهای چین خورده برگشته شدن یال جنوبی شده است.



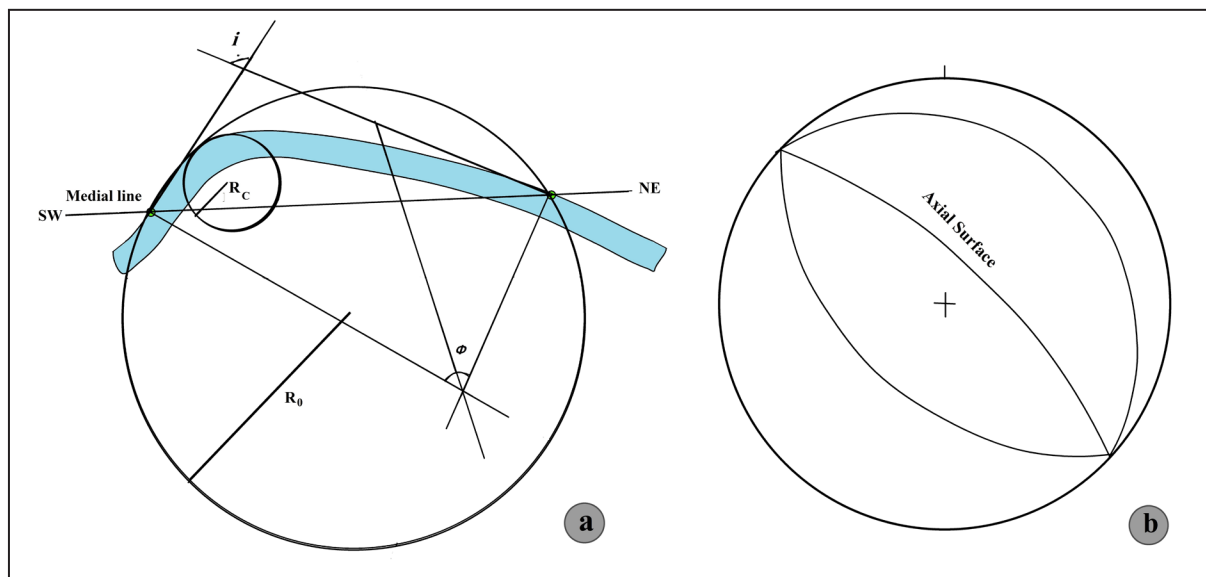
شکل ۳- (a) یال شمالی تاقدیس باباقیر و رخنمون سازند آسماری؛ (b) محور تاقدیس قلاجه و رخنمون سازندهای آسماری و پابده در یال‌های تاقدیس؛ (c) هسته تاقدیس قلاجه و شکستگی‌های کششی عمود بر محور چین در سازند آسماری؛ (d) ناودیس کلاه‌دراز در امتداد نیمرخ AA' و رخنمون یال جنوبی تاقدیس قلاجه و یال شمالی تاقدیس باباقیر.

است. با توجه به پارامترهای هندسی و رسم استریوگرام چین، در امتداد این نیمرخ تاقدیس قلاجه دارای موقعیت محوری ۱۳۳/۰ (میل/روند) و شیب سطح محوری ۰۴۳/۷۵ (شیب/جهت شیب) است (شکل ۵- a و b). مقادیر به‌دست آمده برای زاویه بین‌یالی نشان می‌دهد که این تاقدیس از نظر فشردگی از نوع چین‌های باز است. محاسبات لازم برای به‌دست آوردن کندی چین (Blutness) در این نیمرخ ساختاری نشان می‌دهد که $0.1 < b < 0.2$ و در رده نیمه زاویه‌دار قرار دارد. همچنین مقادیر به‌دست آمده برای نسبت ابعادی این نیمرخ $0.1 < p < 0.25$ می‌باشد که نشان‌دهنده عریض بودن چین است. همچنین مقدار کوتاه‌شدگی به‌دست آمده از این نیمرخ ۶/۲۵ درصد است (جدول ۲).

راندگی کم ژرف بالایی با ریشه در این سطح جدایشی باعث دگرریختی شده و همچنین لایه‌های شکل‌پذیر سازند پابده از رأس تاقدیس به سمت ناودیس‌های حاشیه‌ای حرکت کرده که سبب برگشته شدن یال جنوبی این تاقدیس در سطح (شکل ۴- a و c) شده است. راندگی‌های که از سطح جدایش میانی (سازند گرو) منتشر شده باعث دگرریختی و سترشدگی سطح جدایش میانی و تغییر ساختار تاقدیس قلاجه و باقی‌ر شده است. در این برش تاقدیس قلاجه به صورت چین جدایشی نامتقارن و بدون راندگی قابل ملاحظه در یال جنوبی است. تاقدیس قلاجه در قسمت هسته با هندسه شکستگی‌های کششی عمود بر محور چین در سازند آسماری (شکل ۳- c) و فعالیت راندگی در یال جنوبی گسترش یافته



شکل ۴- (a) محور تاقدیس قلاجه، یال جنوبی و برگشته تاقدیس قلاجه با رخنمون سازند آسماری در امتداد نیمرخ ساختاری AA'؛ (b) یال شمالی تاقدیس قلاجه با رخنمون سازند آسماری و پابده و ناودیس کلاه دراز در امتداد نیمرخ ساختاری AA'؛ (c) یال جنوبی تاقدیس قلاجه و لایه برگشته‌ای آسماری با شیب به سمت شمال‌خاور در امتداد نیمرخ ساختاری AA'.

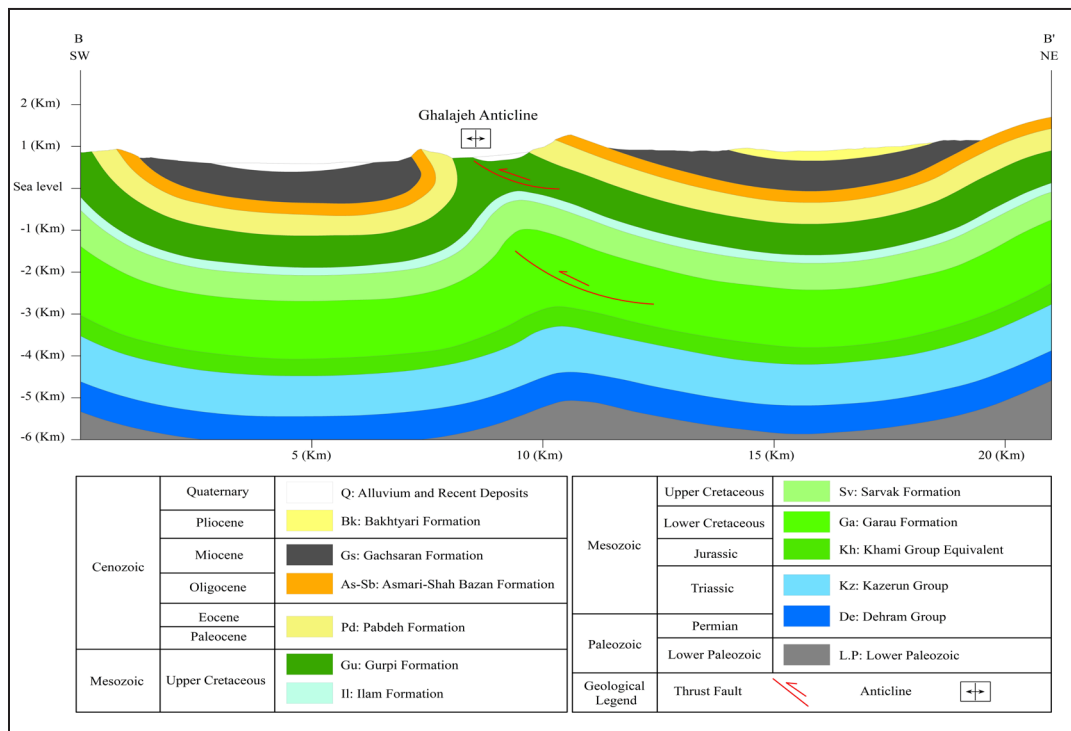


شکل ۵- (a) ترسیم‌های انجام شده برای اندازه‌گیری مشخصه‌های هندسی و (b) تصویر استریوگرام تاقدیس قلاجه در راستای نیمرخ عرضی AA'.

۴-۲- نیمرخ ساختاری BB'

این نیمرخ ساختاری ۲۲ کیلومتر در بخش مرکزی و عمود بر راستای تاقدیس قلاجه رسم شده است (شکل ۶). رخنمون سطحی در امتداد این نیمرخ را سازند گورپی در هسته و سازندهای پابده، آسماری و گچساران در یال‌ها را تشکیل می‌دهند (شکل‌های ۷ و ۸). در راستای این نیمرخ شیب لایه‌ها عادی

است (شکل ۷- b). همچنین در این بخش از منطقه بررسی شده سازند گورپی در منطقه محوری تاقدیس قلاجه به سطح نزدیک شده و راندگی کم‌ژرفای سطحی با ریشه در سازند گورپی باعث دگرشکلی و برگشته شدن یال جنوبی تاقدیس قلاجه شده است (شکل‌های ۷- c؛ ۸- a و c).



شکل ۶- نیمرخ ساختاری BB' که عمود بر روند تاقدیس قلاجه ترسیم شده است. راندگی‌های تشکیل شده در پوشش رسوبی به همراه سطوح جدایشی باعث دگرریختی در ساختارهای چین خورده و برگشته شدن یال جنوبی شده است.



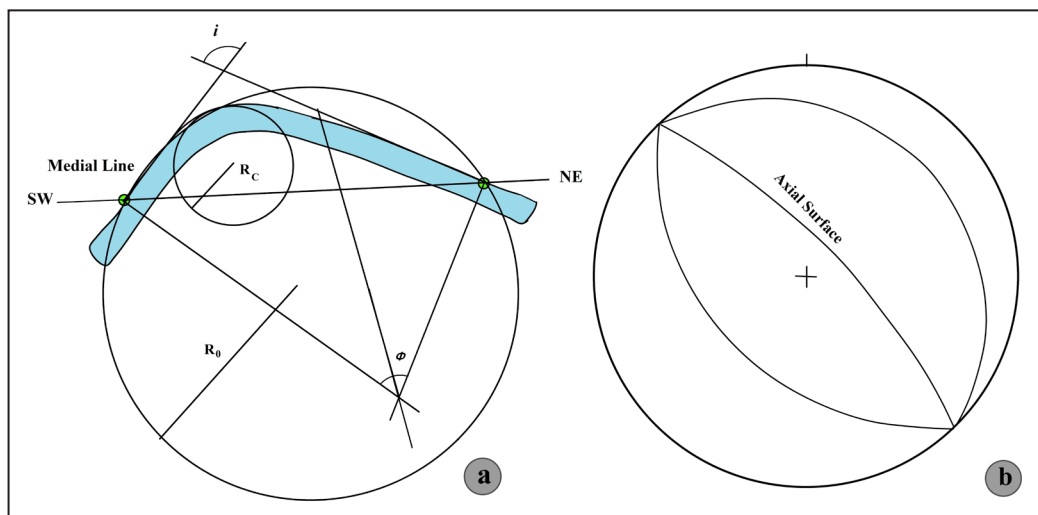
شکل ۷- (a) نمای کلی از یال جنوبی تاقدیس قلاجه همچنین یال شمالی که به راحتی نیز دیده می‌شود، در راستای نیمرخ BB'؛ (b) یال جنوبی تاقدیس قلاجه، شیب لایه‌ها در حال عادی شدن؛ (c) شکستگی‌های موجود در سازند برگشته آسماری یال جنوبی تاقدیس قلاجه.



شکل ۸- (a) گسل عرضی و لایه‌های برگشته سازند آسماری در یال جنوبی تاقدیس قلاجه در امتداد نیمرخ ساختاری BB'؛ (b) صفحه گسل موجود در سازند آسماری یال جنوبی؛ (c) لایه‌بندی آسماری در یال جنوبی برگشته تاقدیس قلاجه.

است (شکل‌های ۹- a و b). مقادیر به‌دست آمده برای زاویه بین یالی نشان می‌دهد که این تاقدیس از نظر فشردگی از نوع چین‌های باز است. محاسبات لازم برای به‌دست آوردن کندی چین (Blutness) در این نیمرخ ساختاری نشان می‌دهد که $0.1 < b < 0.2$ و در رده نیمه‌زاویه‌دار قرار دارد. همچنین مقادیر به‌دست آمده برای نسبت ابعادی این نیمرخ $0.1 < p < 0.25$ است که نشان‌دهنده عریض بودن چین است. مقدار کوتاه‌شدگی به‌دست آمده از این نیمرخ حدود $6/80$ درصد است (جدول ۲).

افزون بر این راندگی که از سطح جدایش میانی (سازند گرو) منتشر شده باعث دگرریختی و افزایش پهنای این سازند شده است. هندسه چین‌خوردگی تاقدیس قلاجه در راستای این نیمرخ به دلیل تفاوت شیب یال جنوبی و یال شمالی از نوع چین‌های جدایشی نامتقارن است. با توجه به پارامترهای هندسی و رسم استریوگرام چین، در امتداد این نیمرخ تاقدیس قلاجه دارای موقعیت محوری $136/0$ (میل/روند) و شیب سطح محوری $0.46/77$ (شیب/جهت شیب)



شکل ۹- (a) ترسیم‌های انجام شده برای اندازه‌گیری مشخصه‌های هندسی و (b) تصویر استریوگرام تاقدیس قلاجه در راستای نیمرخ عرضی BB'.

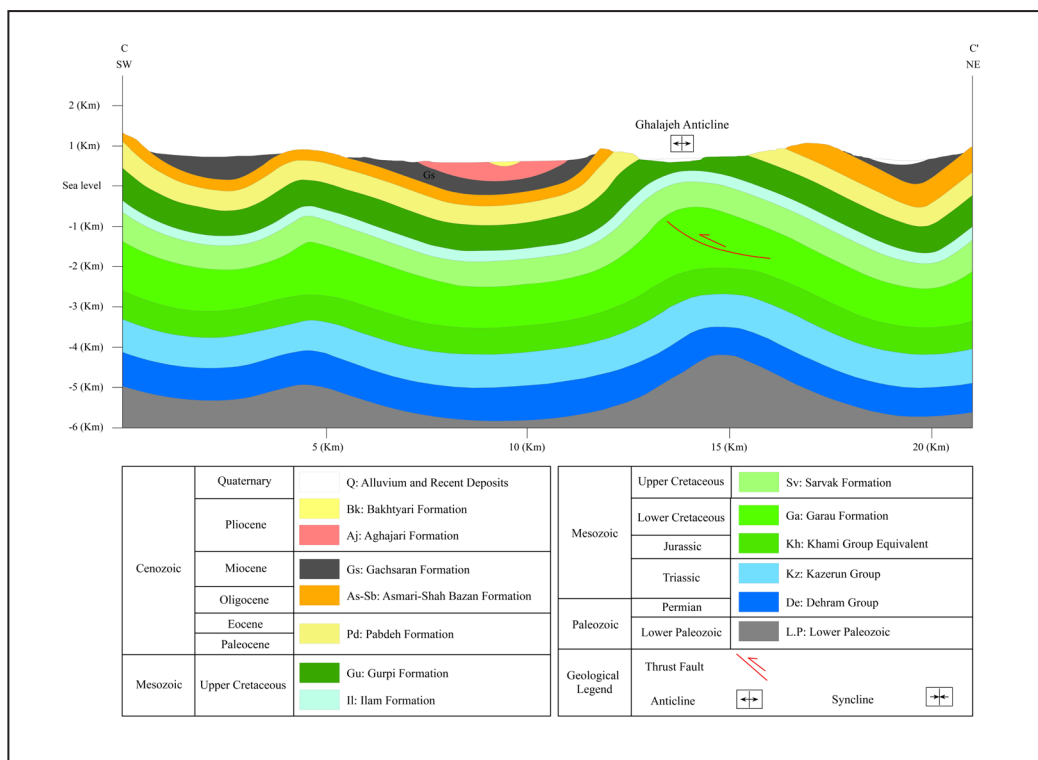
جدول ۲- مشخصات هندسی چین‌های سطحی و زیرسطحی تاقدیس و پارامترهای هندسی لازم برای استفاده در نمودارها.

مقطع	AA'	BB'	CC'
زاویه میان یالی	101	104	112
زاویه چین خوردگی	85	77	69
فشرده‌گی	باز	باز	باز
زاویه تمایل	107	102	100
تقارن	نامتقارن	نامتقارن	نامتقارن
Cylindriy	استوانه‌ای	استوانه‌ای	استوانه‌ای
موقعیت فضایی محور	133/0	136/0	135/0
سطح محوری	043/75	046/77	045/82
A	1.6	1.7	1.5
M	9.7	12.2	8.9
P	0.16	0.14	0.16
	عریض	عریض	عریض
R _c	1.6	1.2	1
R ₀	6	4.1	4.9
b	0.26	0.29	0.20
	نیمه‌زاویه‌دار	نیمه‌زاویه‌دار	نیمه‌زاویه‌دار
L _b	8.5	5.7	5.5
L _f	4.4	3.3	3.8
V _b	24	25	26
V _f	55	51	43
R _L	2.02	1.83	1.58
کوتاه‌شدگی بر حسب نمودار	6.25	6.80	5.20

۳-۴- نیمرخ CC'

نیمرخ ساختاری CC' با طول ۲۲ کیلومتر عمود بر راستای تاقدیس قلاجه و ناودیس کلاه‌دراز رسم شده است (شکل ۱۰). رخنمون سطحی در هسته تاقدیس را سازند گورپی و سازندهای پایده و آسماری را یال‌های تاقدیس تشکیل می‌دهند (شکل‌های ۱۱-a و ۱۲-b و c). همچنین ناودیس کلاه‌دراز را سازندهای گچساران و آغاچاری تشکیل می‌دهند (شکل ۱۱-d و c). راندگی که در سطح جدایش میانی منشأ گرفته باعث دگرشکلی و افزایش ستبرای سازند گرو شده است. همچنین گسل عرضی باعث ایجاد چین جعبه‌ای و Drag fold در یال شمالی تاقدیس شده است (شکل ۱۲-a). با توجه به پارامترهای هندسی و رسم استریوگرام چین،

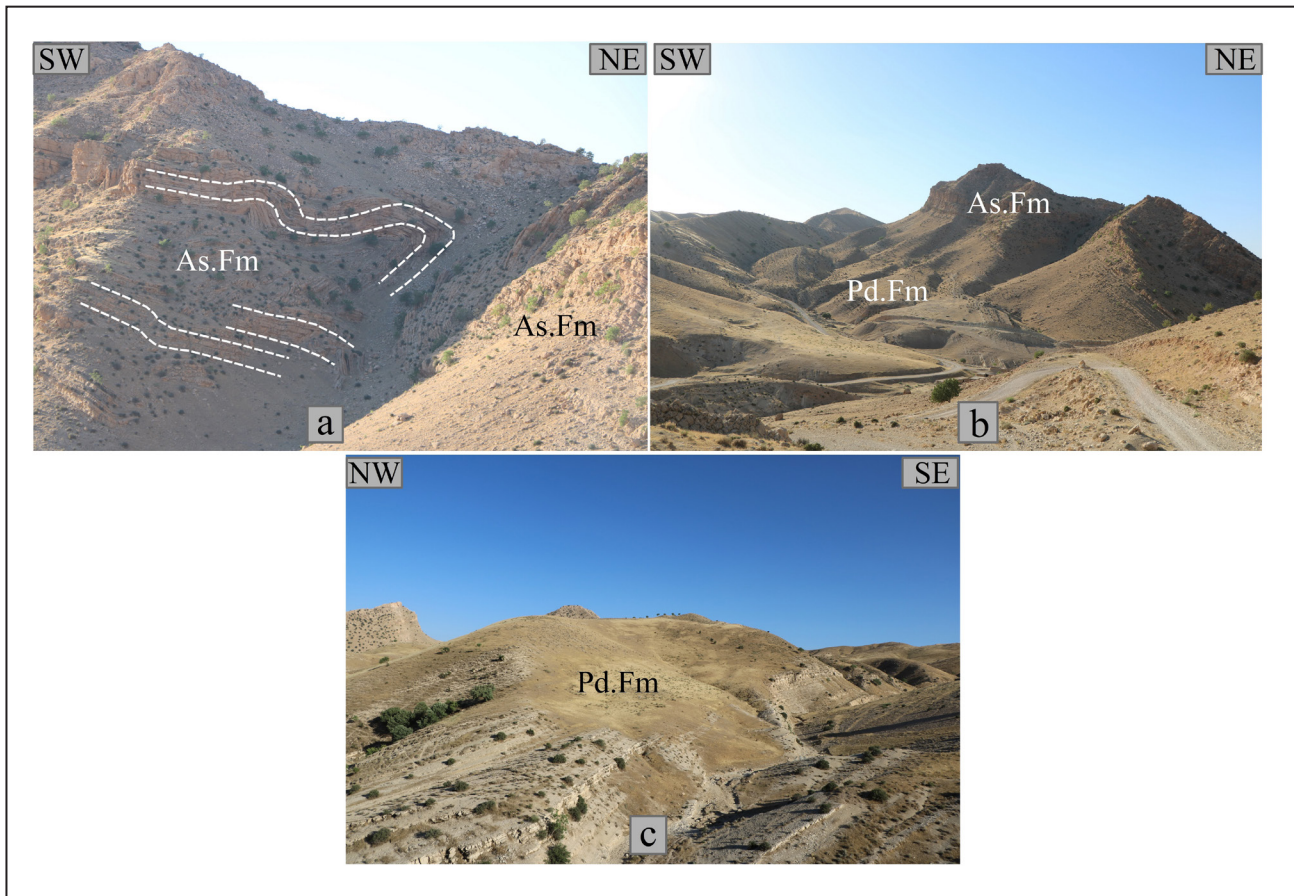
در امتداد این نیمرخ تاقدیس قلاجه دارای موقعیت محوری ۱۳۵/۰ (میل/روند) و شیب سطح محوری ۰۴۵/۸۲ (شیب/جهت شیب) است (شکل ۱۳-a و b). مقادیر به‌دست آمده برای زاویه بین یالی نشان می‌دهد که این تاقدیس از نظر فشرده‌گی از نوع چین‌های باز است. محاسبات لازم برای به‌دست آوردن کندی چین (Blutness) در این نیمرخ ساختاری نشان می‌دهد که $0.1 < b < 0.2$ و در رده نیمه‌زاویه‌دار قرار دارد. همچنین مقادیر به‌دست آمده برای نسبت ابعادی این نیمرخ $0.1 < p < 0.25$ است که نشان دهنده عریض بودن چین است. هم‌چنین مقدار کوتاه‌شدگی به‌دست آمده در این نیمرخ ۵/۲۰ درصد است (جدول ۲).



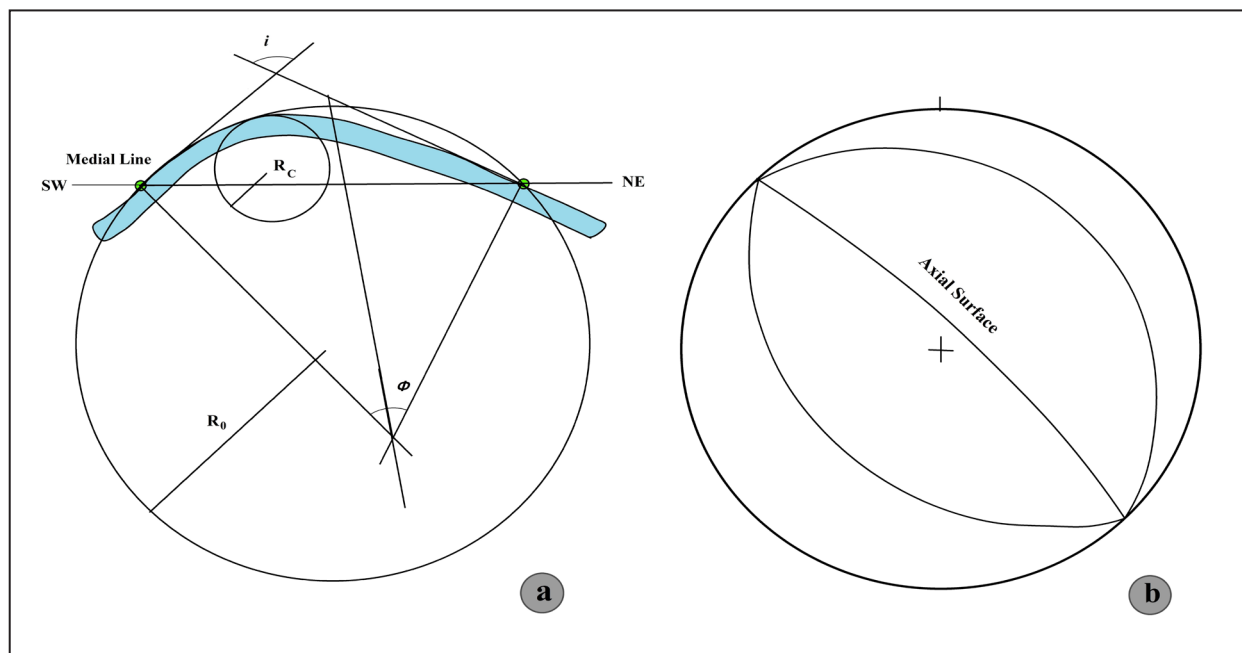
شکل ۱۰- نیمرخ ساختاری CC' که عمود بر روند تاقدیس‌های قلاجه و باباقیر و کلاه دراز رسم شده است. راندگی‌های تشکیل شده در پوشش رسوبی به همراه سطوح جدایشی باعث دگرریختی در ساختارهای چین خورده شده است.



شکل ۱۱- (a) هسته تاقدیس قلاجه با رخنمون سازند گورپی و سازندهای پاینده و آسماری در یال‌های تاقدیس در امتداد نیمرخ ساختاری CC'; (b) یال شمالی تاقدیس قلاجه با رخنمون سازند پاینده و آسماری؛ (c) یال جنوبی تاقدیس قلاجه با رخنمون سازند آسماری و ناودیس بین تاقدیس‌های قلاجه و دانه خشک با رخنمون سازند گچساران؛ (d) سازند آسماری واقع در یال شمالی تاقدیس قلاجه، ناودیس ایجاد شده بین یال شمالی تاقدیس قلاجه و یال جنوبی تاقدیس دانه خشک.



شکل ۱۲- (a) گسل عرضی و ساختار چین جعبه‌ای و Drag fold در یال شمالی تاقدیس قلاجه که در امتداد نیمرخ 'CC' تشکیل شده است؛ (b) رخنمون سازند آسماری و پابده در یال شمالی تاقدیس قلاجه؛ (c) مشاهده سازند پابده در یال شمالی تاقدیس قلاجه در امتداد نیمرخ ساختاری 'CC'.



شکل ۱۳- (a) ترسیم‌های انجام شده برای اندازه‌گیری مشخصه‌های هندسی و (b) تصویر استریوگرام تاقدیس قلاجه در راستای نیمرخ عرضی 'CC'.

۵- تحلیل هندسی تاقدیس قلاجه با استفاده از نمودارهای پابلت و مک‌کلی (Poblet and McClay, 1996) و تغییر شیب لایه‌بندی تاقدیس

برای بررسی هندسه ساختاری و کینماتیکی تاقدیس قلاجه سه نیمرخ ساختاری عرضی و عمود بر محور تاقدیس رسم شده است. دگرشکلی کلی منطقه به وسیله گسل‌های راندگی و چین خوردگی‌های مرتبط کنترل شده که گسل‌های راندگی در سطح قابل مشاهده هستند. سازندهای گرو و گورپی از سطوح جدایش اساسی در منطقه مورد مطالعه هستند و تاقدیس از نوع چین‌های جدایشی است. همچنین در این پژوهش با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری پارامترهای هندسی یک سطح چین‌خورده و رسم نمودار استریوگرافیک چین‌های مربوطه مقادیر عددی در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به داده‌های به‌دست آمده، تاقدیس قلاجه از نوع چین‌های استوانه‌ای و نامتقارن است و عدم تقارن آن به دلیل تفاوت در شیب و طول یال‌ها است. با توجه به اهمیت چین خوردگی جدایشی در کمربند چین‌خورده - رانده زاگرس نمودارهای مختلفی برای تحلیل جنبشی و هندسی این چین خوردگی‌ها ارائه شده است و باور دارند که چنانچه میزان شیب یال‌های تاقدیس و نسبت سینوس آنها اندازه‌گیری شود می‌تواند برای محاسبه میزان کوتاه‌شدگی لایه مقاوم بالای لایه جدایشی شکل‌پذیر که چین در آن توسعه یافته است، استفاده شود. در واقع این نمودارها با استفاده از پارامترهای هندسی چین خوردگی، کوتاه‌شدگی، بالاآمدگی محاسبه می‌شوند (Poblet and McClay, 1996). بنابراین پارامترهایی مثل زاویه بین یالی، زاویه چین خوردگی، طول یال جلویی، طول یال پشتی، شیب یال جلویی، شیب یال پشتی و نسبت RL برای محاسبه کوتاه‌شدگی مورد نیاز است (جدول ۱). برای به‌دست آوردن میزان کوتاه‌شدگی واقعی باید مقدار کوتاه‌شدگی به‌دست آمده از نمودار را بر مبنای طول پس‌یال بهنجار کرد. مقدار کوتاه‌شدگی واقعی و همچنین

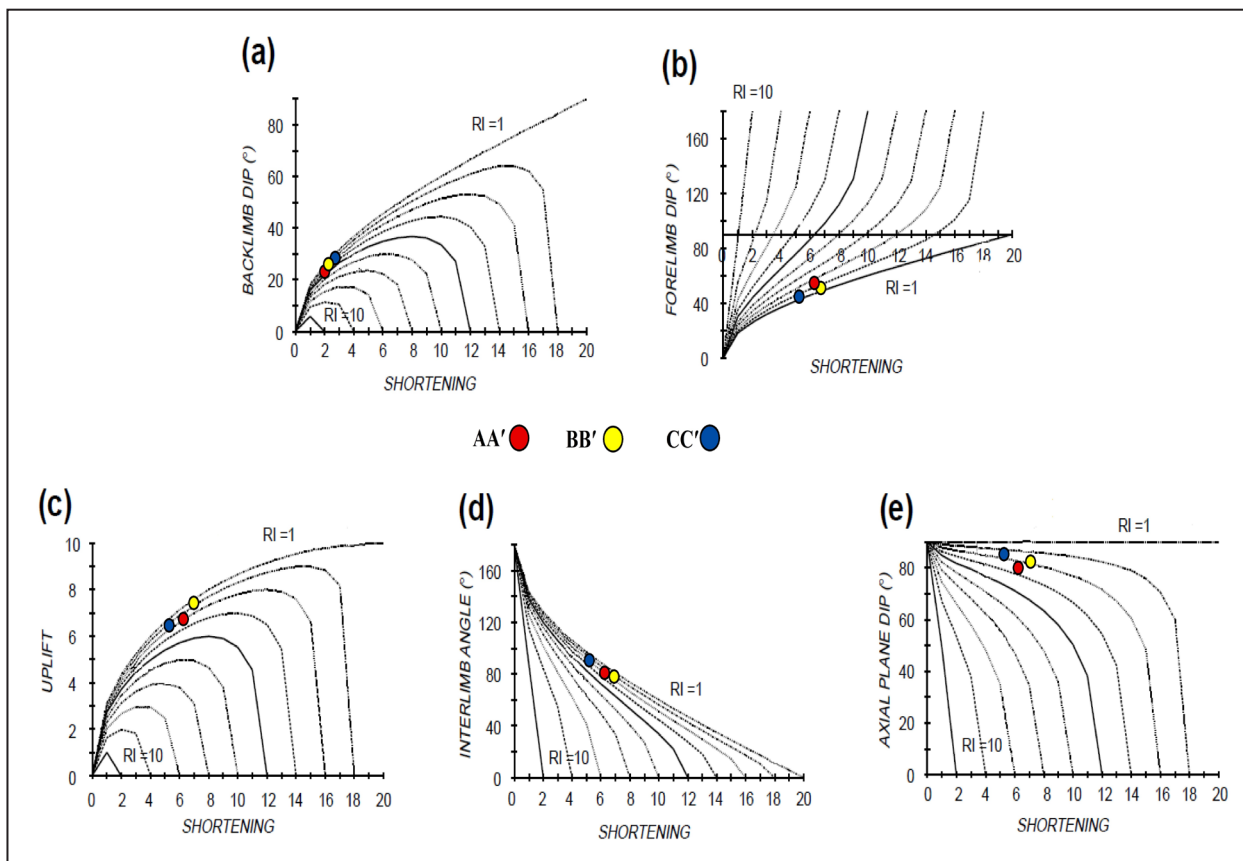
نسبت RL از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$S = (\text{Calculated Shortening } L_b)/10 \quad \text{رابطه ۱}$$

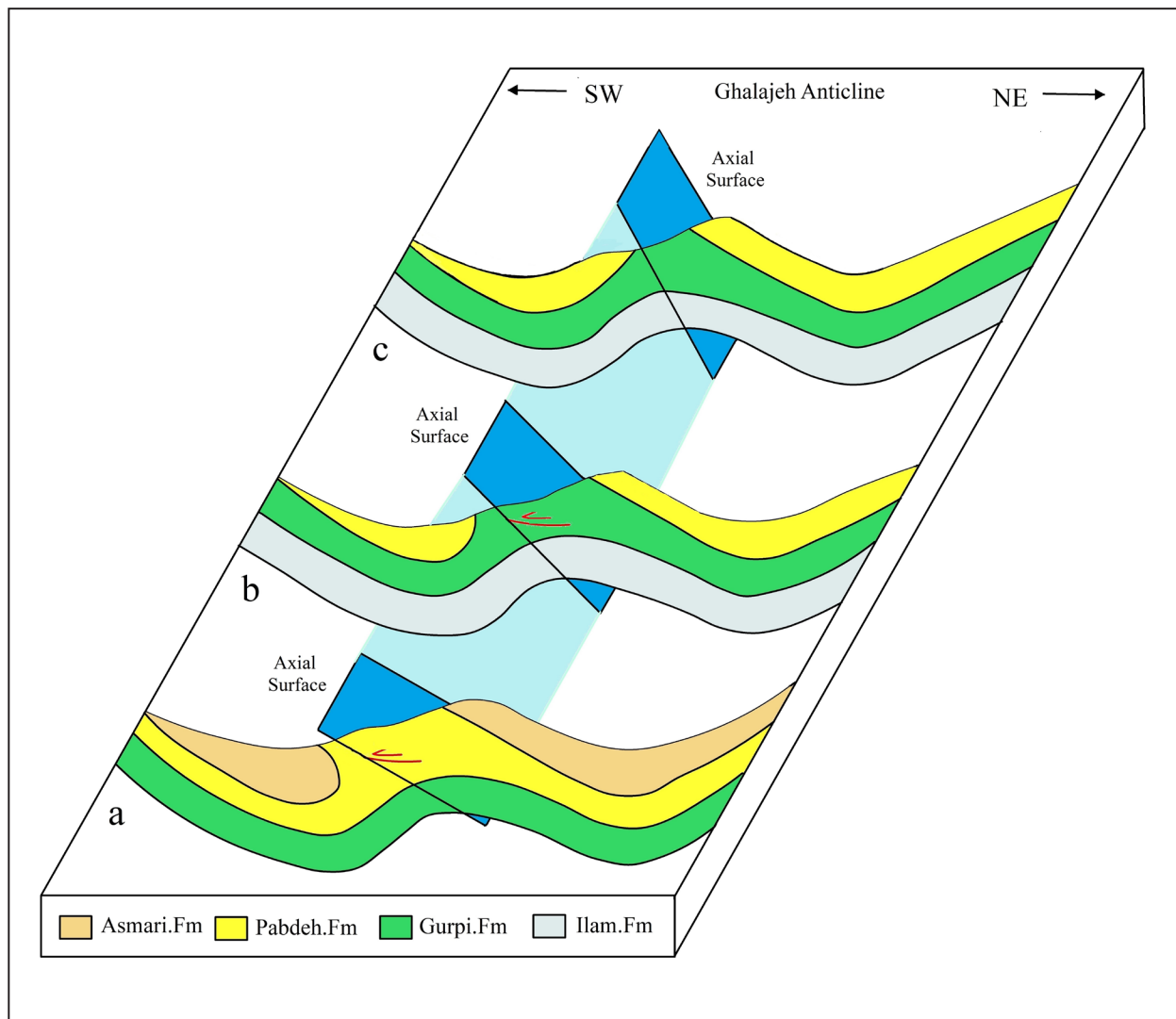
$$RL = \sin \alpha_f / \sin \alpha_b \quad \text{رابطه ۲}$$

مقدار کوتاه‌شدگی به‌دست آمده از نمودار باید در رابطه ۱ جایگزین شود تا میزان کوتاه‌شدگی واقعی به‌دست آید. با توجه به پارامترهای محاسبه شده در جدول ۲ موقعیت تاقدیس قلاجه برای برآورد میزان کوتاه‌شدگی بر روی نمودار (شکل ۱۴) نشان داده شده است.

با توجه به هندسه ساختاری تاقدیس قلاجه، وجود راندگی‌های کوچک سطحی در یال جنوبی تاقدیس باعث برگشتگی سازند آسماری در یال جنوبی در بخش جنوب‌خاوری تاقدیس شده است و شکستگی‌های کششی عمود بر محور چین در سازند آسماری را تشکیل دادند (شکل‌های ۱۵-ا و ۳-ب). هر چه به سمت مرکز و شمال‌باختری تاقدیس حرکت کنیم مقدار برگشتگی لایه‌ها کمتر شده و لایه‌ها در یال جنوبی به حالت قائم و سپس نرمال تبدیل شده‌اند. این تغییر شیب لایه‌بندی از برگشته به عادی شدن از لایه‌های شکننده آسماری به لایه‌های پایینی سازندهای پاینده و گورپی رسیده است (شکل‌های ۱۵-ب و ۷-ج) که این تغییر شیب باعث ایجاد گسل‌های عرضی می‌شود (شکل ۸-ا). منطقه تغییر شیب لایه‌بندی با شکستگی‌هایی همراه است در منطقه‌ای که شیب لایه‌بندی تقریباً قائم است شکستگی‌های موازی در یال جنوبی ایجاد شده است. در منطقه در حال تبدیل شدن از حالت برگشته به نرمال، ساختارهای فلسی شکل و شکستگی‌های زیادی وجود دارد (شکل ۷-ج).



شکل ۱۴- نمودارهای تعیین پارامترهای هندسی چین‌های جدایشی (Poblet and McClay, 1996). منحنی‌های نمودارها منطبق بر پارامترهای RL به ترتیب ۱، ۱/۱، ۱/۲۵، ۱/۴۳، ۱/۶۷، ۲/۵۰، ۳/۳۳، ۵ و ۱۰ هستند. موقعیت تاقدیس قلاجه براساس پارامترهای هندسی آن بر روی نمودار نشان داده شده است.



شکل ۱۵- تغییر شیب لایه‌بندی از برگشته به عادی و تغییر شیب سطح محوری.

۶- نتیجه‌گیری

نامتقارن و استوانه‌ای است. همچنین شیب بیشتر یال‌جلویی از یال‌پشتی و طول کمتر یال‌جلویی از یال‌پشتی نامتقارنی بودن چین را تأیید می‌کند. از لحاظ فشردگی، چین در گستره مورد مطالعه از نوع باز است. نسبت ابعادی در هر سه نیمرخ ساختاری در یک محدوده نزدیک به هم بوده و در بررسی‌های انجام شده در گروه چین عریض قرار دارد. اندازه‌گیری پارامتر کندی‌چین در نیمرخ‌های ساختاری در رده نیمه‌زاویه‌دار را نشان می‌دهد. در نیمرخ‌های ساختاری رسم شده گسل‌های راندگی که از سطح جدایش میانی (سازند گرو) منشأ گرفته باعث تغییر ستیرا در واحدهای نامقاوم گرو شده است. فعالیت راندگی‌های سطحی در این تاقدیس باعث برگشته شدن یال جنوبی تاقدیس شده است.

تاقدیس قلاجه با راستای شمال‌باختر- جنوب‌خاور در شمال زیرپهنه لرستان قرار دارد. با توجه به الگوهای چین‌های مرتبط با گسل، تجزیه و تحلیل پارامترهای هندسی و بررسی نیمرخ‌های ساختاری تاقدیس قلاجه از نوع چین‌های جدایشی است و ساختار این تاقدیس دو سطح جدایشی ۱- سازند پابده به عنوان سطح جدایش بالایی؛ ۲- سازند شیلی گرو نیز به عنوان سطح جدایش میانی معرفی شده است که باعث دگرشکلی گستره مورد مطالعه نیز شده است. عملکرد سطح جدایش بالایی در زمان دگرشکلی پیش‌رونده باعث جابه‌جا شدن محور تاقدیس به سمت جنوب‌باختر شده باشد. با توجه به تصاویر صحرایی و اندازه‌گیری پارامترهای هندسی بر روی سه نیمرخ ساختاری رسم شده عمود بر روند تاقدیس قلاجه، این تاقدیس یک چین

References

- Alavi, M., 2007. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American journal of science*. 307,1064–1095. <http://dx.doi.org/10.2475/09.2007.02>.
- Allen, M., and Talebian, M., 2011. Structural variation along the Zagros and the nature of the Dezful Embayment. *Geological Magazine*, 148, 911-924. <https://doi.org/10.1017/S0016756811000318>.
- Bahrudi, A., Hemin, A., and Koyi., 2004. Tectono-sedimentary framework of the Gachsaran Formation in the Zagros foreland basin. *Marine and Petroleum Geology* 21.10, 1295-1310. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.marpetgeo.2004.09.001>.
- Berberian, M., 1995. Master "Blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics* 241, 193–224. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)00185-C](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)00185-C).
- Blanc, E. P., Allen, M. B., Inger, S., and Hassani, H., 2003. Structural styles in the Zagros simple folded and folding style of the Lurestan region in the Zagros FoldThrust Belt, Iran. *J. Geol. Soc. Lond.* 166, 1101-1115. <http://dx.doi.org/10.1144/0016-764902-110>.
- Faghih, A., Samani, B., Kusky, T., Khabazi, S., and Roshanak, R., 2012. Geomorphologic assessment of relative tectonic activity in the maharlou lake basin, Zagros mountains of Iran. *Journal of Geology* 471, 30-40. <https://doi.org/10.1002/gj.1329>.
- 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*, 5-19. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2009.00432.x>.
- Ghavidel-Syooki, M., 2001. Biostratigraphy and palaeogeography of Late Ordovician and Early Silurian chitinozoans from the Zagros Basin, Southern Iran. *An International Journal of Paleobiology*. 15, 29-39. <https://doi.org/10.1080/10292380109380580>.
- Hessami, K., Koyi, H. A., Talbot, C. J., Tabasi, H., and Shabanian, E., 2001. Progressive unconformities within an evolving foreland fold-and-thrust belt, Zagros Mountains: Geological Society, London, Vol: 158, p: 969-981. <https://doi.org/10.1144/0016-764901-007>.
- Homke, S., Vergés, J., Garcés, M., Emami, 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*, v. 225, p.397-410. *International*, v. 156, p. 506-526. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2004.07.002>.
- James, G. A., and Wynd, J. G., 1965. Stratigraphic Nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area: *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, Vol: 49, p: 2182-2245. <https://doi.org/10.1306/A663388A-16C0-11D7-8645000102C1865D>.
- McQuarrie, N., 2004. Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Journal of Structural Geology* 519-535. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsg.2003.08.009>.
- McQuarrie, N., and Van Hinsbergen, D. J., 2013. Retrodeforming the Arabia-Eurasia collision zone: Age of collision versus magnitude of continental subduction. *Geology* 315-318. <https://doi.org/10.1130/G33591.1>.
- Motiei, H., 1994. *Geology of Iran: Stratigraphy of Zagros*. Geological Survey of Iran Publication, Tehran, 583p.
- Mouthereau, F., Lacombe, O., and Verges, J., 2012. Building the zagros collisional orogeny: Timing, strain, distribution and the dynamics of Arabia/Eurasia plate convergence, *Tectonophysics* 532-535, 27-60. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.tecto.2012.01.022>.
- Poblet, J. A., and McClay, K. R., 1996. Geometry and kinematics of sin-gle layer detachment folds. *AAPG Bulletin*, 80, 1085-1109. <https://doi.org/10.1306/64ed8ca0-1724-11d7-8645000102c1865d>.
- Sarkarinejad, K., Faghih, A., and Grasemann, B., 2008. Transpressional deformations within the Sanandaj-Sirjan Metamorphic Belt (Zagros Mountains, Iran). *Journal of Structural Geology*, 30, 818-826. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.jsg.2008.03.003>.
- Sherkati, 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* TC4007. <https://doi.org/10.1029/2004TC001766>.
- Szabo, F., and Kheradpir, A., 1978. Permian and Triassic stratigraphy, Zagros basin, south-west Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 1, 2, 57-82. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.1978.tb00611.x>.
- Tavani, S., Parente, M., Puzone, F., Corradetti, A., Gharabeigli, Gh., Valinejad, M., Morsalnejad, D., and Mazzoli, S., 2018. The seismogenic fault system of the 2017 Mw 7.3 Iran–Iraq earthquake: constraints from surface and subsurface data, cross-section balancing, and restoration: *Solid Earth*, 9, 821–831. <https://doi.org/10.5194/se-9-821-2018>, 2018.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H.R., Martinod, J., Ashtiany, A., Bayer, R., Tavakoli, F., and Chéry, J., 2004. Present-day deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophys. J. Int.* 157, 381–398. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02222.x>.

Original Research Paper

Effect of deep and surface thrust faults on structural geometry of the Ghalajeh anticline, Lurestan, West Zagros

Reza Alipoor^{1*}, Ali Jahangiri¹ and Zahra Ghasemi¹¹Department of Geology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2021 December 28

Accepted: 2022 February 26

Available online: 2022 December 22

Keywords:

Folding

Detachment

Structural cross-section

Garu

Thrust

ABSTRACT

The Ghalajeh anticline with about 60 km length and NW-SE trend is located in Lurestan sub-zone and the Zagros fold and thrust belt. Geometry and kinematic of the folds of this zone are controlled by thrust faults and detachment levels. In this research, geometry and deformational style analysis of the Ghalajeh anticline and the role of the detachment levels on folding style have been investigated interpreting well data and construction of three cross-sections and calculation of geometric parameters. The structure of this anticline is affected by two detachment levels, which include the Pabdeh and Garu formations as the upper and middle detachment levels. Detachment levels and deep-seated and surface thrust faults in the southwestern limb affected the folding geometry and have caused the high thickness of the middle detachment level and inversion of the southern limb which waning southwestern part of the anticline, and the dip of the layers are normal which in turn caused fracturing. Analysis of geometrical parameter along the Ghalajeh anticline indicate that this anticline is an asymmetrical, cylindrical fold is an open half-angle round fold.

* Corresponding author: Reza Alipoor; E-mail: rezaalipoor116@gmail.com

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/GSJ.2022.317171.1961

 dor: 20.1001.1.10237429.1401.32.4.6.2



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)