

# تحلیل هندسی چین خوردگی مرتبط با گسلش مدفون فعال بالارود، مطالعه موردی: تاقدیس سیاه‌کوه، جنوب باختر ایران

حسین حاجی‌علی‌بیگی<sup>(\*)</sup>، سید احمد علوی<sup>۱</sup>، جمشید افتخار نژاد<sup>۲</sup> و محمد مختاری<sup>۴</sup>

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

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

۳. استاد سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

۴. استادیار پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

تاریخ دریافت: ۸۹/۳/۸

تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۲۷

## چکیده

تاقدیس سیاه‌کوه در حاشیه گسل جبهه کوهستان قرار دارد و از جمله تاقدیس‌های کمربند چین‌خورده-رانندگی زاگرس است. گسل جبهه کوهستان، به عنوان یک جبهه ریختاری کمربند چین‌خورده-رانندگی زاگرس را به چندین منطقه شامل ایذه، فارس، لرستان و فروافتادگی دزفول تقسیم می‌کند. منطقه گسلی بالارود که به صورت یک گسل رانندگی مدفون بخشی از گسل جبهه کوهستان است، بین منطقه لرستان (شمال) و منطقه فروافتادگی دزفول (جنوب) قرار دارد. منطقه گسلی بالارود با عبور از حاشیه جنوبی تاقدیس سیاه‌کوه، این تاقدیس و تاقدیس‌های هم‌جوار را تحت تاثیر عملکرد خود قرار داده است. برداشت‌های صحرایی و تحلیل پارامترهای هندسی تاقدیس و مقایسه آنها با مدل‌های ارائه شده برای انواع چین‌های مرتبط با گسلش، حکایت از آن دارد که تاقدیس سیاه‌کوه را می‌توان به عنوان نمونه‌ای از چین‌های انتشاری گسلی انتقال یافته<sup>۱</sup> که دچار برش متاثر از عملکرد منطقه گسلی بالارود شده، پیشنهاد کرد. قرارگیری این تاقدیس در مجاورت بلافصل این منطقه گسلی این دیدگاه را تایید می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** تاقدیس سیاه‌کوه، چین‌خوردگی مرتبط با گسلش، کمربند چین‌خوردگی-رانندگی زاگرس، منطقه گسلی بالارود

## مقدمه

(Jamison, 1987). هدف اصلی این مقاله به کارگیری و استفاده از مدل‌های هندسی ارائه شده و برش عرضی تهیه‌شده (بر اساس برش‌های لرزه‌ای تفسیرشده)، برای تعیین سبک چین‌خوردگی تاقدیس سیاه‌کوه است.

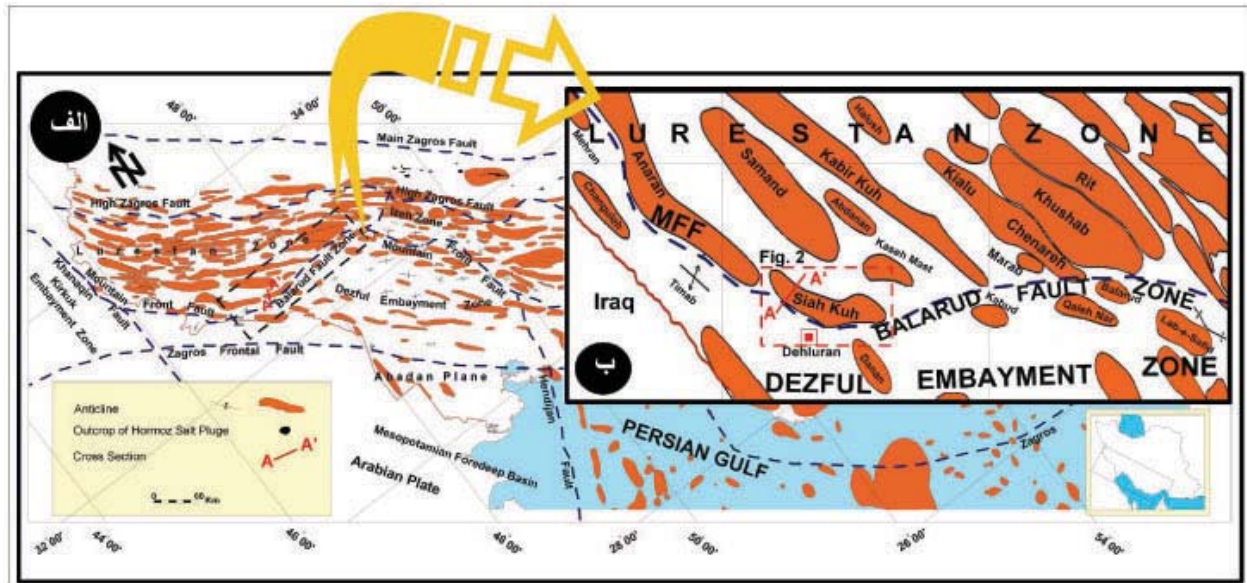
چین‌خوردگی مرتبط با گسلش<sup>۱</sup>، یکی از سازوکارهایی است که معمولاً از آنها برای توصیف، تشریح و تحلیل هندسی چین‌های کمربند‌های چین‌خورده-رانده<sup>۲</sup> استفاده می‌شود. این نوع چین‌خوردگی به صورت مدل‌های هندسی متنوعی تقسیم بندی شده اند (Thorbjornsen and Dunne, 1997). از جمله مهم‌ترین کاربردهای این مدل‌ها، استفاده از آنها برای ترسیم برش‌های عرضی است (Dahlstrom, 1969; Laubscher, 1977; Suppe, 1983).

## جایگاه زمین‌ساختی

تاقدیس سیاه‌کوه یکی از تاقدیس‌های شمال منطقه فروافتادگی دزفول و جنوب منطقه لرستان است که در کمربند چین‌خورده-

\* نویسنده مرتبط h-alibeigi@sbu.ac.ir

1- Transported Fault-Propagation Fold  
2- Fault-Related Folding  
3- Fold-Thrust Belt



شکل ۱. الف- نقشه کمربند چین‌خورده-رانده شده زاگرس و ایالت‌های زمین‌شناسی آن (N.I.O.C, 1969). ب- نمای بزرگ تر از تاقدیس سیاه‌کوه و تاقدیس‌های هم‌جوار متأثر از عملکرد منطقه گسلی بالاورد. موقعیت تاقدیس سیاه‌کوه و شکل‌های ۲ و ۳ در این نقشه مشخص شده است.

با توجه به مناطق اطراف و چاه‌های حفاری شده در تاقدیس‌های هم‌جوار، در زیرگروه بنگستان، سازند گرو (شامل شیل‌های آهکی با سن کرتاسه پائینی) قرار گرفته است. در زیر سازند گرو به ترتیب نهشته‌های پیش از تریاس و پیش از پرمین قرار گرفته‌اند. سازند پایده (شامل آهک‌های مارنی با سن ائوسن-پالئوسن) و بخش‌هایی از سازندهای پایده-گورپی و سازند گورپی (شامل شیل‌های کربناتی با سن کرتاسه بالایی) و بخش آهکی امام حسن، که عمدتاً در منطقه لولا رخنمون شده‌اند، سازندهای بعدی به شمار می‌آیند. سازندهای گروه بنگستان، شامل سازندهای سروک (شامل آهک‌های ضخیم لایه با سن کرتاسه پسین) و ایلام (شامل آهک‌های نازک‌لایه و گاهی شیلی با سن کرتاسه پسین) سازندهایی هستند که به ترتیب بر روی سازند گرو قرار می‌گیرند. سازند سروک (از گروه بنگستان) قدیمی‌ترین سازندی است که در هسته این تاقدیس رخنمون دارد. سازند آسماری (شامل نهشته‌های آهکی و ماسه‌ای با سن الیگومیوسن) با گسترش متفاوت، در هر دو یال رخنمون شده است. این سازند در یال جلویی، به صورت بخش‌های کوچک و مجزا رخنمون شده، اما در یال پشتی به صورت نواری با ضخامت نسبتاً کمتر، تنها گاهی با گسل‌های امتدادلغز جابه‌جایی مختصری یافته است. در منطقه دماغه، این سازند به طور چشم‌گیری گسترش یافته است به گونه‌ای که این منطقه تقریباً شامل بر این سازند است. سازند گچساران (شامل تناوبی از ژپس، نمک و سیلتستون با سن میوسن)، نسبتاً گسترده‌ترین سازندی است که در منطقه مطالعاتی این تاقدیس وجود دارد. گسترش این سازند در یال جلویی نسبت به یال پشتی (یال شمال خاوری) بسیار کمتر است. سازند آغاچاری (شامل تناوبی از آهک، ماسه‌سنگ، سیلتستون

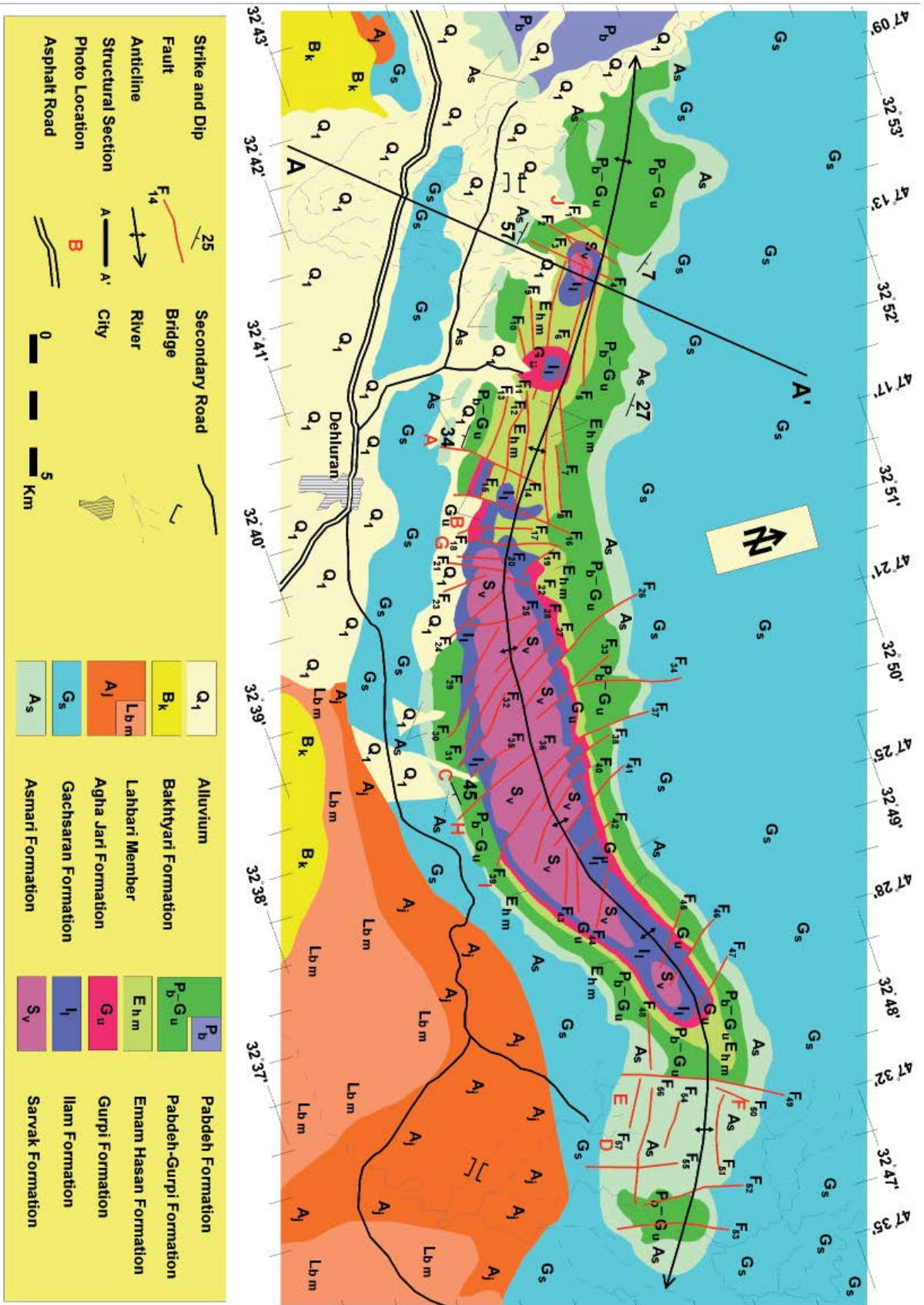
رانده شده زاگرس<sup>۱</sup> (Alavi, 2007) قرار دارد (شکل ۱).

تاقدیس سیاه‌کوه، تاقدیسی نسبتاً طویل با طول ۴۷/۵ کیلومتر بوده که عرض آن در بیشترین و کمترین رخنمون به ترتیب ۹ و ۳/۵ کیلومتر است. این تاقدیس در ۴ کیلومتری شمال شهر دهلران، در جنوب خاور تاقدیس کبیرکوه و جنوب تاقدیس سمنند و جنوب باختر تاقدیس‌های کاسه ماست و دالان قرار گرفته‌اند. منطقه گسلی بالاورد (Pattinson and Takin, 1971) و حاجی علی بیگی و همکاران، ۱۳۸۸) که خود یک گسلش مدفون فعال است، بخشی از گسل جبهه کوهستان<sup>۲</sup> (Berberian, 1995) است، که منطقه لرستان را از منطقه فروافتادگی دزفول جدا می‌کند. گسل جبهه کوهستان با شیب به سمت شمال و سازوکار اصلی راندگی، کمربند چین-راندگی زاگرس را به چندین منطقه تقسیم می‌کند (شکل ۱). تاقدیس سیاه‌کوه در منطقه لرستان قرار دارد. این منطقه از دیدگاه زمین‌شناسی یک پیش آمدگی<sup>۳</sup> (Talbot and Alavi, 1996) در کمربند چین‌خورده-رانده شده زاگرس به شمار می‌آید. تعداد زیادی از تاقدیس‌های منطقه از جمله تاقدیس سیاه‌کوه متأثر از عملکرد منطقه گسلی بالاورد هستند (شکل ۱). این منطقه گسلی، در قسمت‌های خاوری تر، تاقدیس‌های چناره و خوش‌آب (شکل ۱-ب) و در قسمت‌های باختری تر، تاقدیس اناران (شکل ۱-ب) را هم متأثر کرده است (حاجی علی بیگی و همکاران، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷) (Hajjalibeigi, 2010).

### چینه‌شناسی

نهشته‌های رسوبی و واحدهای سنگ‌شناسی تاقدیس سیاه‌کوه (شکل ۲) به ترتیب از قدیم به جدید (مطبعی، ۱۳۷۴، James and Wynd, 1965; Alavi, 2004) به طور اختصار شرح داده می‌شود.

- 1- Zagros Fold-Thrust Belt
- 2- Mountain Front Fault
- 3- Salient



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی تاق‌دیس سیاه‌کوه (حاجی علی بیگی، ۱۳۸۸). موقعیت این نقشه در شکل ۱ مشخص شده است. برش عرضی زمین‌شناسی AA' که موقعیت آن در این نقشه درج شده، در شکل ۳ نمایش داده شده است.



چین، در رسم شده است. در رسم این برش عرضی، به اطلاعاتی از قبیل مشاهدات صحرایی و داده‌های برداشت شده از نقشه‌های زمین‌شناسی (N.I.O.C, 1969)، داده‌های به دست آمده از چاه‌های حفاری شده و برش‌های لرزه‌ای بازتابی شرکت ملی نفت ایران، مراجعه شده است. در تهیه و رسم این برش، ویژگی‌هایی مدنظر بوده اند که عبارتند از: ۱) محل قرارگیری سطوح جدایش فرعی ستون چینه شناسی این تاقدیس و یا مناطق هم جوار، ۲) درج ساختارهای سطحی و زیرسطحی بر روی برش و کنترل آنها بر اساس برش لرزه‌ای بازتابی منتشر نشده شرکت ملی نفت، ۳) کنترل درستی برش با موازنه کردن و بازگرداندن برش به حالت پیش از دگرشکلی و رسم بهترین برش بر اساس واقعیت‌های زمین‌ساختی حاکم بر منطقه مطالعاتی. این برش عرضی به روش موازنه خط با طول ثابت، و در راستای عمود بر محور تاقدیس، به حالت پیش از دگرریختی برگردانده شده است (شکل ۳-B). هنگام ترسیم و موازنه، هندسه ساختارهای تحت الارضی به ویژه نحوه عملکرد منطقه گسلی بالا رود، مورد توجه بوده است. خط سوزن<sup>۴</sup> در شمال خاور برش عرضی در ناودیس بلا فصل ساختار تاقدیس سیاه‌کوه قرار داده شده است (شکل ۳). محاسبات انجام شده برای تعیین میزان کوتاه‌شدگی در این تاقدیس، مقدار آن را ۲۴/۸ درصد نشان می‌دهد.

### بحث

تاقدیس سیاه‌کوه تاقدیس سینوسی شکل است، که در حاشیه گسل جبهه کوهستان بین منطقه لرستان و منطقه فروافتادگی دزفول قرار دارد (شکل‌های ۱ و ۲). کوه سیاه‌کوه با ارتفاع ۱۴۰۸ متر در ۱۶ کیلومتری شمال خاور دهلران با روند شمال باختر- جنوب خاور از ارتفاعات این تاقدیس به شمار می‌رود. مختصات جغرافیایی قله آن به طول ۲۳' ۴۷" و عرض ۴۴' ۳۲" شمالی است. محور این تاقدیس دچار یک خمیدگی به سمت جنوب شده است. ضمن اینکه دو انتهای تاقدیس یک خمیدگی به سمت شمال را از خود نشان می‌دهند. خمیدگی در انتهای باختری این تاقدیس ملایم، اما خمیدگی انتهای خاوری شدید و با شکستگی‌های متعددی همراه است. به این ترتیب، شکل کلی و عمومی تاقدیس سیاه‌کوه به صورت یک نوار باریک پیچ و تاب خورده و یا مارپیچی است. بنابراین روند محور این تاقدیس متغیر است. روندهای شمال باختر- جنوب خاور، شمال خاور- جنوب باختر، حتی خاوری- باختری در طول محور این چین قابل مشاهده است. دماغه خاوری تاقدیس در جهت جنوب خاور و دماغه باختری آن در جهت شمال باختر پلانژ می‌شود.

در حالی که شیب لایه های یال شمال خاوری کمتر ( $7^{\circ}$ ) تا  $28^{\circ}$ ) و شیب لایه های یال جنوب باختری بیشتر ( $15^{\circ}$  تا  $57^{\circ}$ ) است، شیوه رخنمون لایه های هر دو یال نیز ویژگی دیگری است

با سن میوسن-پلیوسن) نیز در باختر و خاور یال جلویی (یال جنوب باختری) مشاهده شده است. رخنمونی از بخش لهبری درخاور دهلران قابل مشاهده است (شکل ۲). جوان‌ترین واحد سنگ‌شناسی تاقدیس سیاه‌کوه، سازند بختیاری (شامل کنگلومرا با سن پلیوسن بالایی) است که در جنوب این تاقدیس مشاهده شده است.

### مدل‌های هندسی

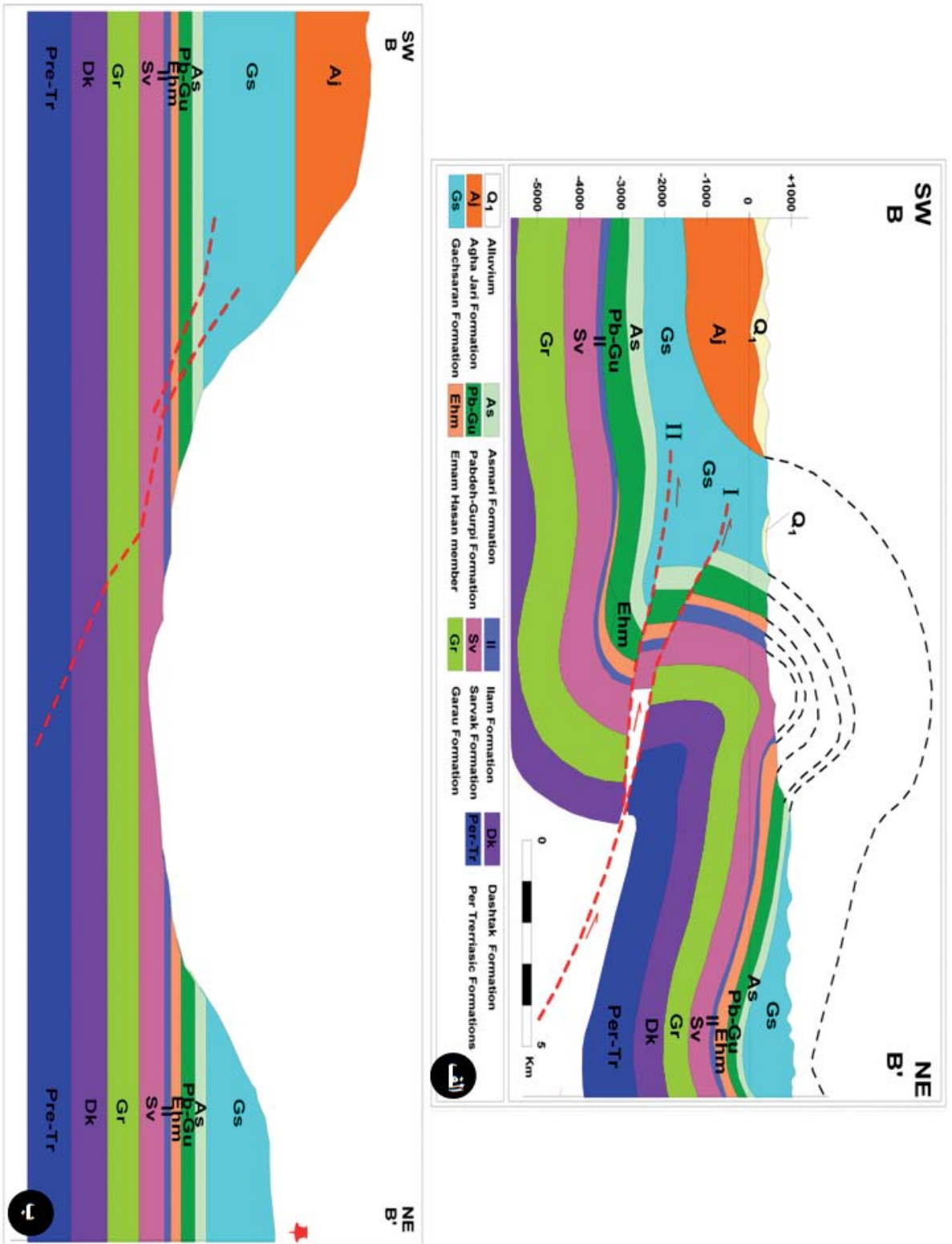
یک نوع از مدل‌های هندسی که برای چین‌های مرتبط با گسلش ارائه شده، چین انتشاری گسلی<sup>۱</sup> است (Jamison, 1987; Chester and Chester, 1990; Suppe and Medwedeff, 1990; Thorbjornsen and Dunne, 1997; Erickson, et al., 2001; Wallace and Homza, 2004).

چین‌های انتشار گسلی در بخش بالایی رمپ و در بالای نقطه راسی<sup>۲</sup> گسترش می‌یابند. در این نقطه جابه‌جایی صفر است و تغییر شکل نهایی، به صورت یک ساختار چین‌خورده در فرادیواره گسل راندگی تشکیل می‌شود. شناسایی این نوع چین‌ها با وجود یال پستی به موازات شیب (رمپ) فرادیواره، یال جلویی پرشیب تا برگشته و ناودیس‌های گسل خورده امکان‌پذیر است. اغلب ناودیس‌های یادشده در فرادیواره هستند. همچنین در این نوع چین‌ها سطح محوری ناودیس جلویی به نقطه راسی در شیب فرادیواره محدود می‌شود. در این نوع چین خوردگی در صورتی که زاویه بین دو یال ناودیس جلویی فشرده‌تر شود (و به حدود  $60^{\circ}$  تا  $70^{\circ}$  برسد)، در این صورت چین به علت مسئله کمبود فضا در هسته ناودیس جلویی قفل می‌شود. در نتیجه ممکن است، حالت‌های مختلفی رخ دهد. یکی از این حالت‌های خاص، تشکیل چین‌های انتشاری گسلی انتقال یافته<sup>۳</sup> است. بعد از تشکیل چین‌های انتشاری گسلی، در صورتی که راندگی از ساختار چین‌خورده عبور کند، چین انتشار گسلی انتقال یافته، تشکیل می‌شود (Suppe and Medwedeff, 1990; Chester and Medwedeff, 1990).

### برش عرضی

در طی این پژوهش، برای تفسیر و بررسی ساختار در تاقدیس سیاه‌کوه یک برش عرضی زمین‌شناسی ساختاری جدید از این تاقدیس رسم شده است (شکل ۳-الف). از این برش عرضی برای بررسی تغییرات هندسی ساختار تاقدیس سیاه‌کوه و پیش‌بینی هندسه آن، در بخش‌های عمیق‌تر این تاقدیس، کوتاه‌شدگی و دگرشکلی‌های ناشی از عملکرد منطقه گسلی بالا رود و مقایسه آن با انواع چین‌های مرتبط با گسلش و تعیین سبک چین خوردگی تاقدیس استفاده شده است. این برش عرضی با طول ۲۰ کیلومتر و روند  $N30^{\circ}E$  تقریباً عمود بر امتداد عمومی لایه‌ها و یا محور

1- Fault-Propagation Fold  
2- Tip Line  
3- Transported Fault-Propagation Fold  
4- Pin Line



شکل ۳: برش عرضی (الف) و موازنه شده (ب) تهیه شده برای تاقایس سیاهکوه (حاجی علی بیگی، ۱۳۸۸). این برش بر اساس داده‌های روسطوحی و زیرسطوحی (شامل اطلاعات چاهها و برش‌های لرزه‌ای تفسیر شده) تهیه و رسم شده است. موقعیت برش عرضی در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

از برش عرضی رسم شده برای تاقدیس سیاه کوه برای بررسی تغییرات هندسی ساختار این تاقدیس و پیش بینی آن در بخش‌های عمیق‌تر این تاقدیس و مقایسه آن با انواع چین‌های مرتبط با گسلش و تعیین سبک چین خوردگی تاقدیس استفاده شده است. تغییرات ضخامت واقعی لایه‌های هر دو یال، در این برش عرضی به خوبی قابل مشاهده است. برش عرضی (شکل ۳) نشان می‌دهد که تاقدیس سیاه‌کوه با همگرایی<sup>۱۱</sup> عمومی به سوی جنوب باختر بر روی ناودیس جلویی (شکل الف-۳) و متاثر از عملکرد منطقه گسلی بالارود، رانده شده است. همچنین مطالعه این برش عرضی و بررسی پارامترهای هندسی اندازه‌گیری شده از آن و مقایسه آن با مدل‌های هندسی ارائه شده برای چین‌های مرتبط با گسلش (Jamison, 1987; Throbjornsen and Dunne, 1997) حاکی از آن است که تاقدیس سیاه‌کوه یک چین مرتبط با گسلش از نوع انتشاری گسلی انتقال‌یافته<sup>۱۲</sup>، متاثر از عملکرد منطقه گسلی بالارود است، زیرا تاقدیس سیاه‌کوه هنوز مستقیماً بر روی شیب راهه مربوطه قرار دارد. ضمن اینکه یال پشتی تاقدیس کم‌شیب‌تر و به موازات شیب راهه فرودپواره بوده و یال جلویی آن پرشیب‌تر است. این وضعیت در نمودار استریوگرافی تهیه شده برای تاقدیس هم مشاهده می‌شود. مراجعه به تصویر استریوگرافی همچنین با توجه به کمتر بودن شیب یال شمال خاوری (بین ۷۰° و ۲۸۰°) و بیشتر بودن شیب لایه‌ها در یال جنوب باختری (بین ۱۵۰° تا ۵۷۰°)، یال جنوب باختری تاقدیس سیاه‌کوه، به مراتب پرشیب‌تر از یال شمال خاوری آن است و تاقدیس از نوع نامتقارن است. این وضعیت در نمودار استریوگرافی نیز قابل مشاهده است. مراجعه به نمودار استریوگرافی و نقشه زمین‌شناسی این تاقدیس، حاکی از آن است که تاقدیس سیاه‌کوه یک چین از دو سو مایل است. به این ترتیب به نظر می‌رسد با گسترش فرآیند همگرایی و بسته شدن چین، یال جلویی به تدریج پرشیب‌تر شده، ضمن اینکه منطقه‌ای که در آن کوتاه‌شدگی صورت می‌گیرد، محدودتر نیز می‌شود و در مراحل بعدی راندگی از ساختار عبور کرده است. ویژگی دیگر این مقطع وجود یک ناودیس جلویی فشرده است که در حال حاضر با دو شاخه از راندگی گسلش یافته است (II, I در شکل الف-۳). در این نوع چین خوردگی مرتبط با گسلش، معمولاً زاویه بین دو یال ناودیس جلویی زیاد (بین ۶۰° تا ۷۰°) است و چین خوردگی به دلیل مسئله کمبود فضا<sup>۱۴</sup> در حین کوتاه‌شدگی در هسته ناودیس قفل می‌شود (Mitra, 1992) و به

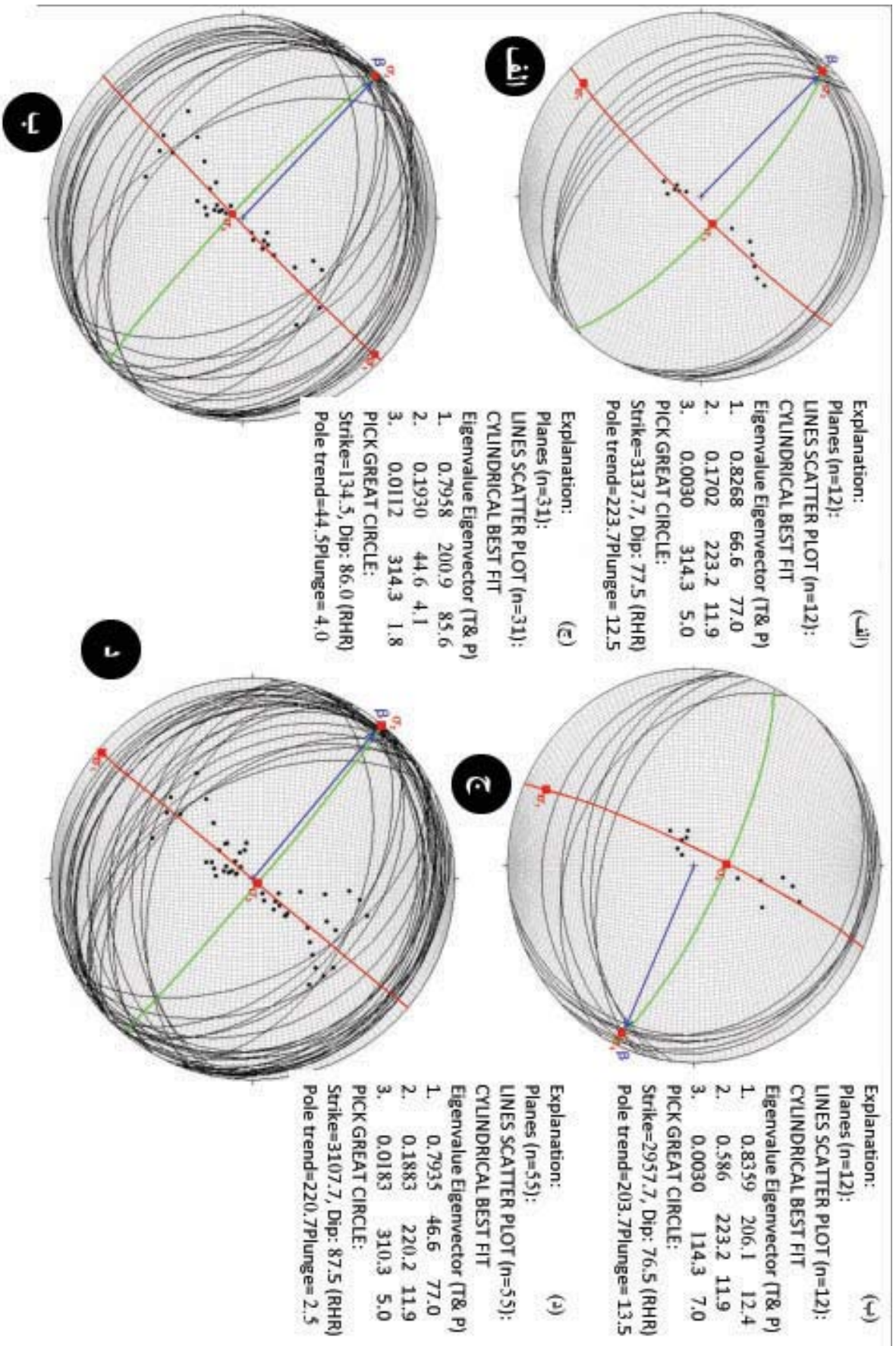
که از مراجعه به نقشه زمین‌شناسی تهیه شده برای این تاقدیس قابل برداشت است (شکل های ۲ و ۴). به گونه‌ای که گستره رخنمون شده از لایه‌ها در یال شمال خاوری بیشتر از یال جنوب باختری است. محور چین در جهت  $W50^{\circ}N$  در حدود  $5^{\circ}$  میل دارد. سطح محوری در جهت  $40^{\circ}$  به اندازه  $87^{\circ}$  شیب دارد. محور چین در انتهای شمال باختری در جهت  $W50^{\circ}N$  در حدود  $5^{\circ}$  و در انتهای جنوب خاوری چین در جهت  $E66^{\circ}S$  در حدود  $7^{\circ}$  میل دارد (شکل های ۴- الف و ۴- ب و ۴- ج و ۴- د).

پارامترهای هندسی تاقدیس سیاه‌کوه (Twiss and Moores, 1992) از روی برش عرضی محاسبه و در جدول ۱ درج شده است. بر اساس پارامتر فشردگی<sup>۱</sup>، واژه توصیفی انتخابی برای تاقدیس از نوع باز<sup>۲</sup> است. با توجه به برش عرضی و استفاده از واژه توصیفی برای هارمونی<sup>۳</sup> و تقارن<sup>۴</sup> تاقدیس، را به ترتیب غیرهارمونی<sup>۵</sup> و نامتقارن<sup>۶</sup> نشان می‌دهد. بر اساس این برش پارامتر تقارن سطح محوری<sup>۷</sup> تاقدیس واژه، پیچیده<sup>۸</sup> را برای تاقدیس می‌توان در نظر گرفت. بر اساس پارامترهای نسبت ابعادی<sup>۹</sup> و کندی<sup>۱۰</sup> اندازه‌گیری شده برای این تاقدیس، واژه‌های توصیفی انتخاب شده برای این تاقدیس به ترتیب پهن، نیمه‌گردشده<sup>۱۱</sup> است. محاسبات و اندازه‌گیری‌های انجام شده برای تعیین رده تاقدیس بر اساس رده‌بندی Ramsay and Huber (1987)، رده این تاقدیس را زیررده IC معرفی کرده‌اند (جدول ۱).

در این تاقدیس شکستگی‌ها به صورت گسل‌های متعددی وجود دارند (شکل ۵). این گسل‌ها از  $F1$  تا  $F59$  نامگذاری شده‌اند (جدول ۲). این گسل‌ها در هر دو یال دیده می‌شوند. ویژگی‌های هندسی این گسل‌ها (امتداد، طول و نوع آنها) در جدول ۲ درج شده است. تمرکز شکستگی‌ها در بخش‌های میانی حد فاصل دو یال بیشتر است. پیچش روند محور تاقدیس از دو سو در جهت مخالف یکدیگر سبب شده است که شکستگی‌های متعددی در این بخش ایجاد شود (شکل ۲). در طی مطالعات صحرایی و یا از روی عکس‌های هوایی و نقشه، نوع این گسل‌ها به صورت گسل‌های نرمال (شکل ب-۶) و امتداد لغز (شکل های ج-۶) تعیین شده است. تهیه نمودار گل سرخی از جهت‌گیری روند این شکستگی‌ها نشان می‌دهد، احتمالاً این امکان وجود دارد که بتوان برخی از این شکستگی‌ها را به عنوان شکستگی‌های ریدل و آنتی ریدل نسبت به منطقه گسلی با مؤلفه چپ‌گرد بالارود تفکیک کرد (شکل های ج-۶ و ب-۶).

- 1- Tightness
- 2- Open
- 3- Harmony
- 4- Symmetry
- 5- Disharmonic
- 6- Asymmetric
- 7- Axial Surface Geometry
- 8- Convolute
- 9- Aspect Ratio
- 10- Bluntness
- 11- Subrounded
- 12- Vergence
- 13- Transported Fault-Propagation Fold
- 14- Room Problem



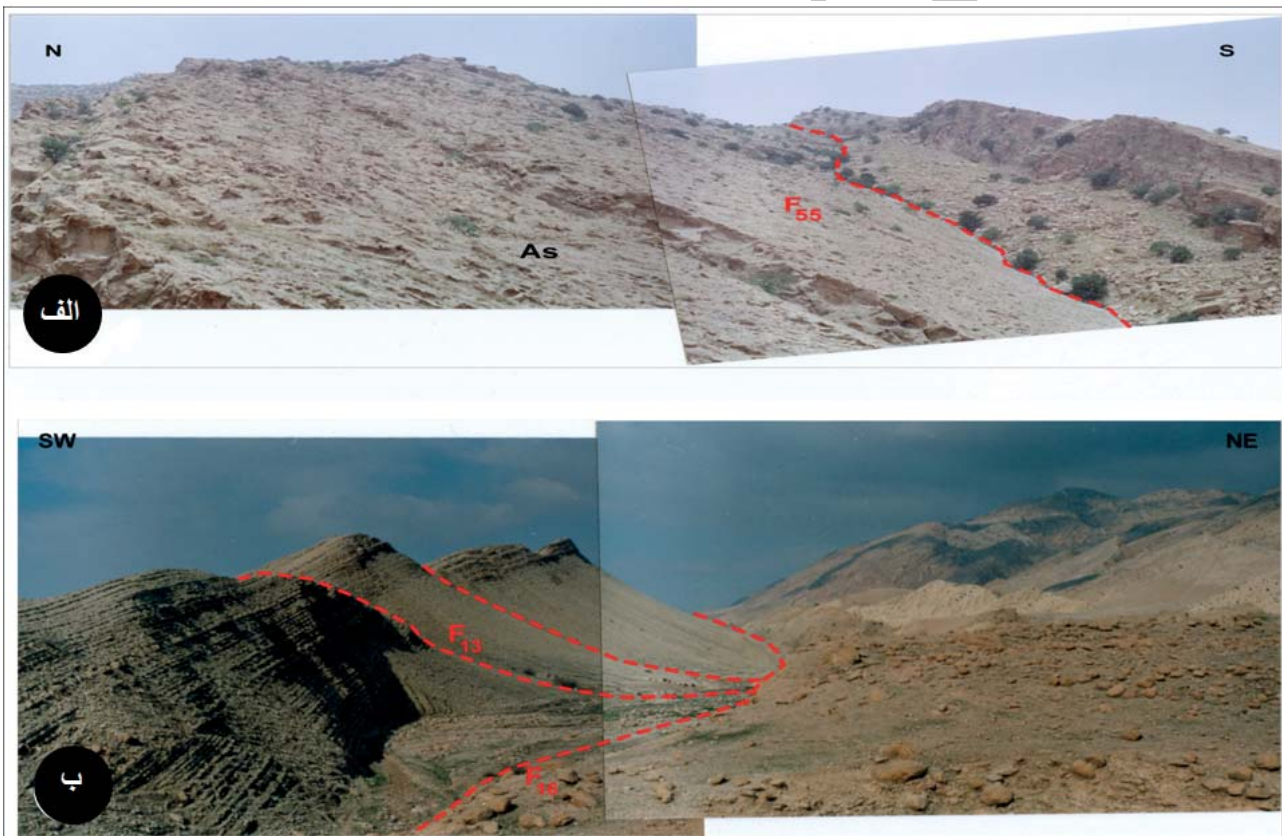


شکل ۴. تصویر استریو گرافی تهیه شده برای تحلیل تاقدیس سیاهکوه (حاجی علی بیگی، ۱۳۷۸). الف: داده‌های برداشت شده از بخش جنوب باختری تاقدیس، ب: داده‌های برداشت شده از بخش شمال باختری تاقدیس، ج: داده‌های برداشت شده از بخش جنوب باختری تاقدیس، د: کل داده‌های تاقدیس.

تا ۳۰ درصد دچار ضخیم‌شدگی شده است. البته با توجه به برش عرضی ضخیم‌شدگی یال جلویی این تاقدیس نیز در برش قابل مشاهده است.

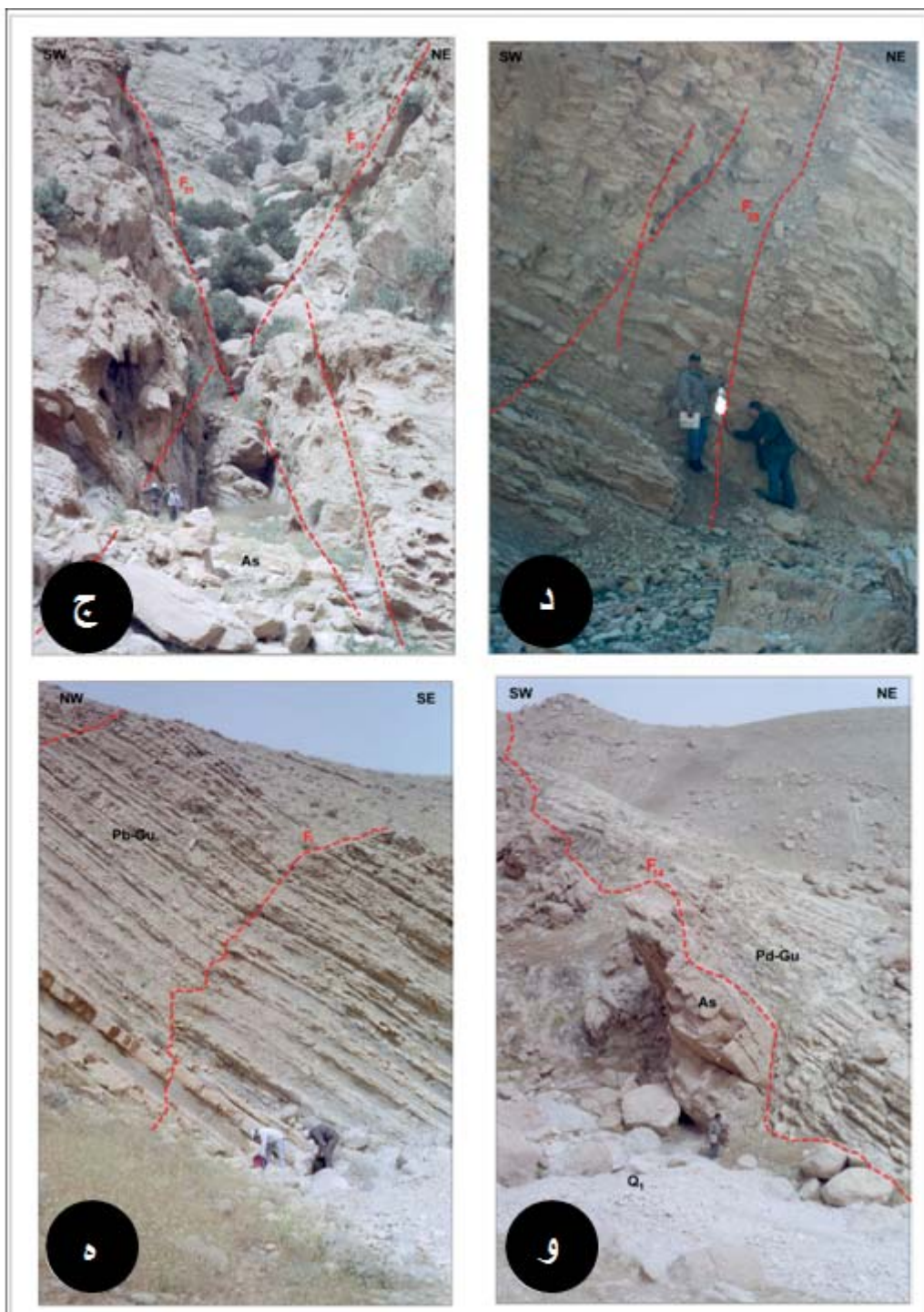
برش عرضی تهیه شده از تاقدیس سیاه‌کوه، از نظر ساختاری و نوع چین‌خوردگی، شباهت بسیار زیادی با نمونه‌ای که Suppe (1985) از کمربند چین‌خورده-رانده شده تایوان ارائه کرده است، دارد. با این تفاوت که مقدار زاویه شیب‌راهه در نمونه چین انتشار گسلی انتقال‌یافته توسط Suppe (1985) خیلی زیاد و نزدیک  $50^\circ$  است و یال جلویی دچار نازک‌شدگی شده است، که در مورد تاقدیس سیاه‌کوه هر دو مورد برعکس است. به این ترتیب که زاویه شیب راهه کوچک‌تر بوده ( $\theta=20^\circ$ ) و یال جلویی دچار ضخیم‌شدگی شده است.

این ترتیب راندگی از ساختار چین‌خورده عبور می‌کند. بنابراین عبور راندگی شرایط توسعه چین سیاه‌کوه به سمت جلو را فراهم کرده است. ظاهراً شیب راهه گسلی چندان گسترش یافته‌ای نیز در برش مشاهده نمی‌شود. از سوی دیگر، از آنجایی که بخش فرادپواره با عملکرد فرآیند فرسایش بعدی از بین رفته است، امکان شناسایی ساختار کوچک مقیاس (شکنج بازمانده) که از جمله ساختارهای رایج در چین‌های انتشار گسلی انتقال‌یافته است، در این مقطع فراهم نیست. البته این احتمال نیز وجود دارد که راندگی در طول سطح محوری تاقدیس اولیه شکل گرفته باشد (راندگی اصلی یا راندگی شماره I در شکل ۳-الف) و در مراحل بعدی به علت ادامه کوتاه‌شدگی در هسته ناودیس جلویی راندگی دوم (راندگی شماره II در شکل ۳-الف) تشکیل شده است. با مراجعه به شکل ۷ می‌توان مشاهده کرد که یال جلویی تاقدیس

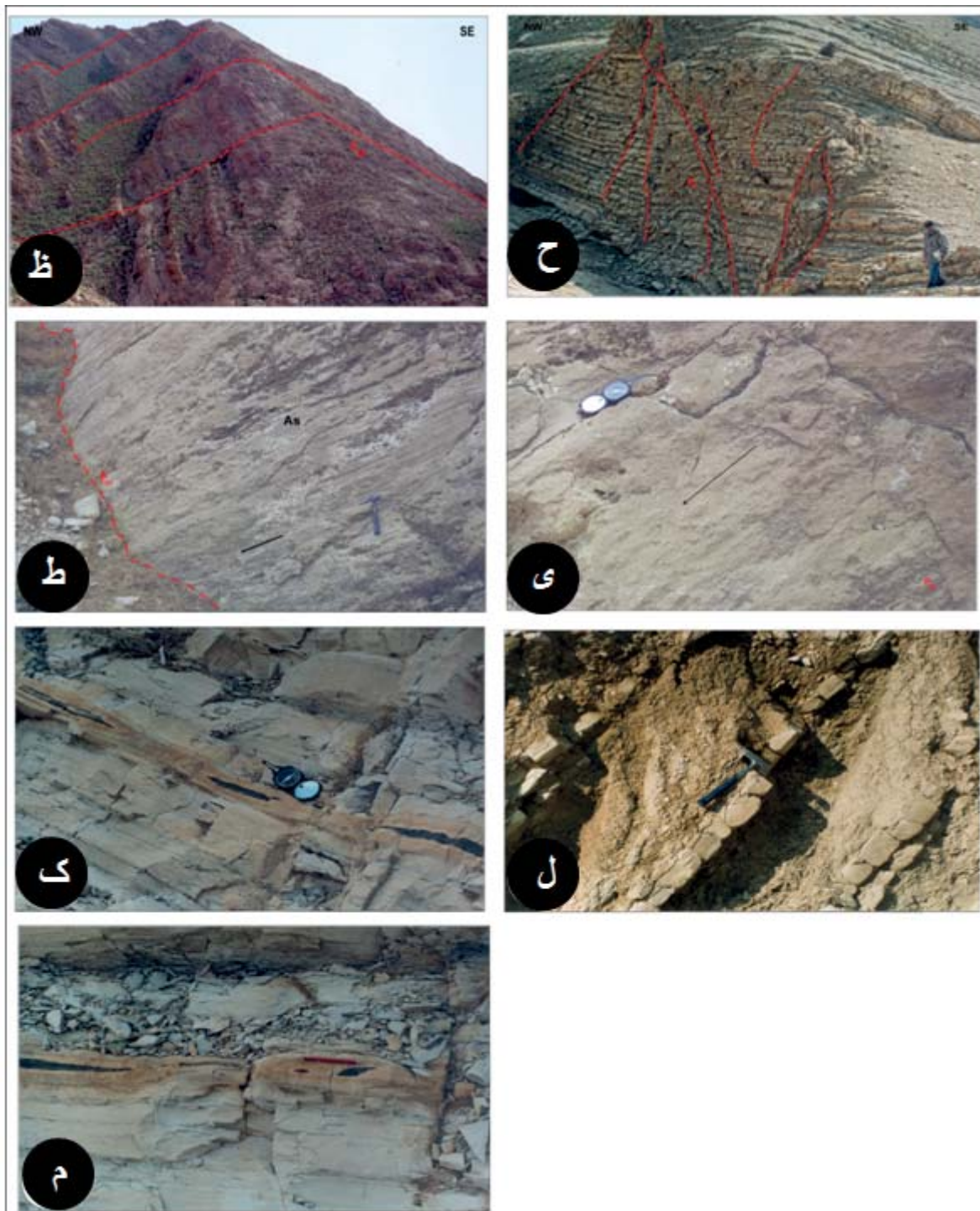


شکل ۵. تصاویر تهیه شده از تاقدیس سیاه‌کوه در محل برونزد (حاجی علی بیگی، ۱۳۸۸). موقعیت تصاویر در شکل ۳ مشخص شده است. الف- نمونه‌ای از گسل‌های نرمال در تاقدیس سیاه‌کوه. در تصویر گسل F55 با امتداد  $N55^\circ W$  در سازند آسماری دیده می‌شود. دید به سمت شرق. ب- نمایی از یال جنوب غربی تاقدیس سیاه‌کوه برای نمایش گسل F13 (با امتداد  $N68^\circ W$  و از نوع نرمال) و گسل F16 (با امتداد  $N53^\circ W$  و از نوع نرمال)، دید به سمت شمال غرب.





ادامه شکل ۵. ج- یال جنوب غربی تاقدیس سیاهکوه برای نمایش نمونه‌ای از گسل‌های امتدادلغز و نرمال در سازند آسماری شامل گسل F31 (با امتداد  $N30^{\circ}W$ ) و از نوع نرمال) و F32 (با امتداد  $N42^{\circ}W$  و از نوع امتدادلغز با مولفه راست‌گرد)، دید به سمت شمال غرب. د- نمونه‌ای از گسل‌های امتدادلغز در مرکز تاقدیس سیاهکوه در سازند پابده‌گورپی (گسل F39 با امتداد  $N40^{\circ}W$  و از نوع امتدادلغز با مولفه چپ‌گرد). ه- نمونه‌ای از گسل‌های نرمال در تاقدیس سیاهکوه در سازند پابده‌گورپی (گسل F1 با امتداد  $N55^{\circ}E$ ). و- نمونه‌ای از گسل‌های نرمال در تاقدیس سیاهکوه. بلوک فرادیواره ضمن حرکت به سوی شمال‌شرق بر روی بخشی از سازند آسماری قرار گرفته است (گسل F14 با امتداد  $N64^{\circ}W$ ).



ادامه شکل ۵. ط- نمائی نزدیک از گسل F35 در سازند آسماری تاقدیس سیاهکوه (با امتداد  $N13^{\circ}E$  و از نوع امتدادلغز راست‌گرد). ح- نمائی نزدیک از یک گسل امتدادلغز در سازند پایده‌گورپی در تاقدیس سیاهکوه (گسل F18 با امتداد  $N15^{\circ}E$  و از نوع امتدادلغز با مولفه راست‌گرد). ط- نمونه‌ای از سطوح گسلی در تاقدیس سیاهکوه در سازند آسماری. آینه گسلی مربوط به گسل F57 (گسل نرمال با امتداد  $N22^{\circ}E$ ). ی- نمائی نزدیک از سطح گسل F50 (گسل نرمال با امتداد  $N72^{\circ}E$ ). ک، ل و م- سه نمونه از بودیناژهای مشاهده شده در مرکز تاقدیس سیاهکوه در سازند پایده‌گورپی.

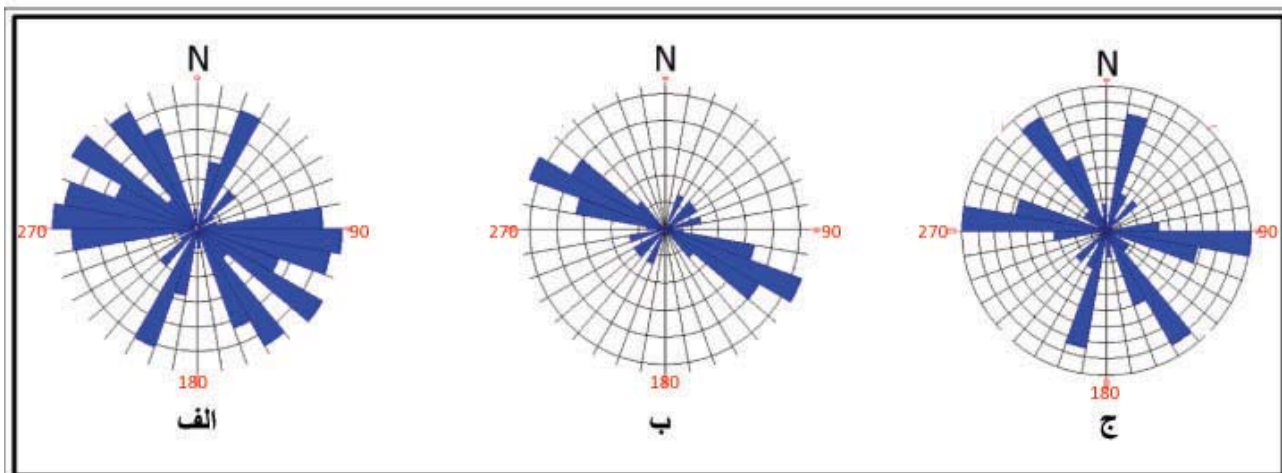
جدول ۱. نتایج حاصل از تحلیل هندسی تاقدیس سیاه‌کوه بر اساس (Twiss and Moores (1992) (حاجی علی بیگی و همکاران، ۱۳۸۸). این تحلیل‌ها بر روی مقطع عرضی AA' (شکل ۳) انجام شد است. برای توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود.

AA'	برش عرضی پارامترهای هندسی	
۸۲	(درجه) (i) زاویه بین دو یال	
۱۰۰	(درجه) (φ) زاویه چین خوردگی	
غیراستوانه‌ای	استوانه‌ای شکل	
نامتقارن	تقارن	
۸۶	(درجه) (η) زاویه تمایل	
شکل S	شکل چین	
SW	تمایل	
باز	(T) فشردگی	
غیرهارمونیک	هارمونی	
پیچیده	هندسه سطح محوری	
۰/۸۵	P=A/M	نسبت ابعادی (P)
-۰/۶۱	LogP	
پهن	واژه توصیفی	
۱/۶	rc (سانتی‌متر)	کندی (b)
۲/۶	ro (سانتی‌متر)	
۰/۶۱	rc/ro = b	
نیمه‌گردشده	واژه توصیفی	
۳۷	α (درجه)	
۰/۴	Tα (سانتی‌متر)	
۰/۴	To (سانتی‌متر)	
۰/۳	tα (سانتی‌متر)	
۰/۴	to (سانتی‌متر)	
۱	T'α = Tα /To	
۰/۷۵	t'α = tα /to	
tα < to	tα , to	
T'α > Sec α	T'α , Sec α	
۱ t'α <	t'α	
1C	رده چین	
۲۰	شیب یال پستی (α) (درجه)	



جدول ۲. داده‌های مربوط به گسل‌های برداشت شده در تاق‌دیس سیاه‌کوه (حاجی علی بیگی و همکاران، ۱۳۸۸). برای توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود.

گسل	طول گسل (کیلومتر)	امتداد گسل	نوع گسل				
F1	۲	N55E	نرمال	F31	۲/۴	N30W	نرمال
F2	۲/۸	N53E	نرمال	F32	۳/۱	N42W	امتدادلغز با مولفه راست‌گرد
F3	۲/۸	N78E	نرمال	F33	۵/۵	N10W	امتدادلغز با مولفه راست‌گرد
F4	۳/۲	N48E	نرمال	F34	۳/۳	N25W	امتدادلغز با مولفه چپ‌گرد
F5	۴/۳	N64W	نرمال	F35	۳/۵	N13E	امتدادلغز با مولفه راست‌گرد
F6	۹/۸	N75W	نرمال	F36	۴/۸	N10W	امتدادلغز با مولفه راست‌گرد
F7	۵/۵	N60W	نرمال	F37	۴/۱	N15W	امتدادلغز با مولفه راست‌گرد
F8	۲/۵	N74W	نرمال	F38	۲/۵	N25W	امتدادلغز با مولفه راست‌گرد
F9	۱/۳	N82W	نرمال	F39	۳/۳	N40W	امتدادلغز با مولفه چپ‌گرد
F10	۱/۹	N75W	نرمال	F40	۳	N40W	امتدادلغز با مولفه راست‌گرد
F11	۲/۵	N75W	نرمال	F41	۳/۷	N45W	نرمال
F12	۴/۴	N65W	نرمال	F42	۳/۳	N35W	نرمال
F13	۱/۸	N68W	نرمال	F43	۲/۲	N68W	نرمال
F14	۳/۴	N64W	نرمال	F44	۲/۳	N72W	نرمال
F15	۳/۵	N42E	نرمال	F45	۱/۷	N30W	امتدادلغز با مولفه راست‌گرد
F16	۲/۴	N53W	امتدادلغز	F46	۲/۵	N60W	امتدادلغز با مولفه راست‌گرد
F17	۱/۴	N52W	نرمال	F47	۲/۳	N54W	نرمال
F18	۲/۵	N15E	امتدادلغز	F48	۲/۷	N40W	نرمال
F19	۴/۱	N40E	نرمال	F49	۲/۵	N40W	نرمال
F20	۳/۱	N24E	امتدادلغز	F50	۲/۱	N72W	نرمال
F21	۱/۵	N22W	امتدادلغز	F51	۵/۴	N25W	نرمال
F22	۱/۷	N25E	نرمال	F52	۱/۲	N42E	نرمال
F23	۲	N30E	امتدادلغز با مولفه چپ‌گرد	F53	۳	N65W	نرمال
F24	۲/۹	N43E	نرمال	F54	۱/۸	N52W	نرمال
F25	۲/۵	N25W	امتدادلغز با مولفه راست‌گرد	F55	۴/۴	N55W	نرمال
F26	۲/۱	N10E	امتدادلغز با مولفه راست‌گرد	F56	۲	N50W	نرمال
F27	۲/۳	N40W	امتدادلغز با مولفه چپ‌گرد	F57	۲/۹	N22E	نرمال
F28	۲/۴	N30W	امتدادلغز با مولفه راست‌گرد	F58	۳/۶	N20E	نرمال
F29	۲/۲	N40W	امتدادلغز با مولفه راست‌گرد	F59	۳/۹	N20E	نرمال
F30	۳/۵	N40W	امتدادلغز با مولفه چپ‌گرد				



شکل ۶. نمودارهای گل سرخی تهیه شده برای نمایش شکستگی های تاقدیس سیاه کوه از امتداد کل گسل ها الف و گسل های نرمال ب و گسل های امتداد لغز ج (حاجی علی بیگی و همکاران، ۱۳۸۸). برای توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود.

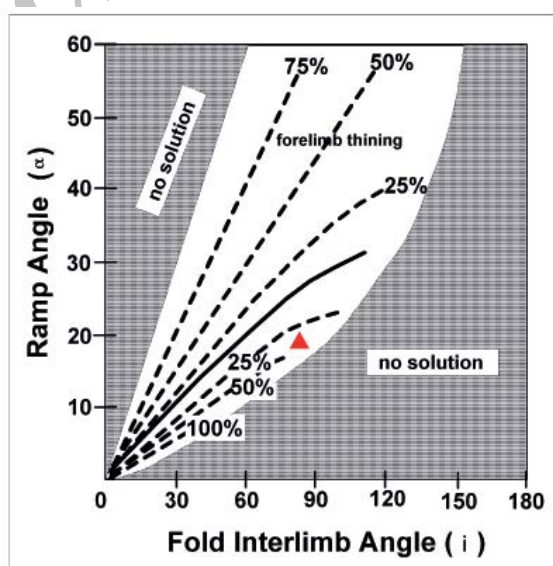
با مؤلفه چپ گرد منطقه گسلی راندگی بالارود است، با راستای نسبتا خاوری - باختری این منطقه گسلی، همخوانی خوبی دارد. به نظر می رسد عملکرد منطقه گسلی بالارود بر تاقدیس سیاه کوه نیز مشابه تاقدیس اناران باشد. به گونه ای که منطقه گسلی بالارود با راستای نسبتا خاوری-باختری، ساختار تاقدیس را تحت تاثیر عملکرد خود قرار داده و موجب تغییر روند آن شده است. روند فعلی این تاقدیس (شکل ۲) نیز مشابه روندهای ساختارهای چین خورده واقع در مناطق برشی با مؤلفه چپ گرد است. ضمن اینکه این برش منجر به ایجاد شکستگی های متعددی در پال های تاقدیس شده که روند اغلب آنها همخوانی خوبی با شکستگی های R و R' و P دارند (شکل های ۶- ج و ۶- ب).

نمودار گل سرخی تهیه شده از جهت گیری روند شکستگی های تاقدیس سیاه کوه، نشان می دهد که احتمالا این امکان وجود دارد

با رسم پارامترهای هندسی مربوطه ( $\alpha=20^\circ$  و  $i=82^\circ$ ) در نمودار نازک شدگی و ضخیم شدگی پال جلویی در چین های انتشاری گسلی انتقال یافته (Jamison, 1987) می توان ۳۰ درصد ضخیم شدگی برای پال جلویی در نظر گرفت (شکل ۷).

بررسی وضعیت روسطحی تاقدیس (شکل های ۱ و ۲) حکایت از یک پیچش در روند محور تاقدیس اولیه دارد. ضمن اینکه تفاوت چشمگیری در نوع و تعداد شکستگی های پال های شمال خاوری و جنوب باختری تاقدیس مشاهده می شود (شکل های ۲ و ۵).

قبلا نیز برش اعمال شده بر ساختار فرادیواره گسل راندگی بالارود یعنی تاقدیس اناران (در باختر تاقدیس سیاه کوه) محاسبه شده است (حاجی علی بیگی و همکاران، ۱۳۸۷). این مقدار برش ( $\alpha=87^\circ$ ) در تاقدیس اناران که ناشی از عملکرد برشی



شکل ۷. نمودار (Jamison (1987) برای تعیین میزان نازک شدگی و ضخیم شدگی پال جلویی در چین های انتشار گسلی انتقال یافته (حاجی علی بیگی، ۱۳۸۸). نماد مثلث موقعیت تاقدیس سیاه کوه را نشان می دهد.

م.، ۱۳۸۷. تحلیل هندسی چین خوردگی مرتبط با گسلش مدفون فعال، تاق‌دیس اناران، جنوب باختر ایران. فصلنامه علمی - پژوهشی زمین‌شناسی ایران، ۸، ۸۳-۷۱.

- حاجی علی بیگی، ح.، ۱۳۸۸. زمین ساخت و الگوی دگرریختی منطقه گسلی بالارود (شمال دزفول). پایان نامه دکتری زمین‌شناسی - تکنونیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۱۵.

- مطیعی، ه.، ۱۳۷۴. چینه شناسی زاگرس. طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران، ۵۴۰.

- Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science*, 304, 1-20.

- 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.

- Chester, J.S. and Chester, F.M., 1990. Fault-propagation folds above thrust with constant dip. *Journal of Structural Geology*, 12, 903-910.

- Dahlstrom, C.D.A., 1969. Balanced cross sections. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 6, 743-757.

- Erickson, S.G., Strayer, L.M. and Suppe, J., 2001. Initiation and reactivation of faults during movement over a thrust-fault ramp: numerical mechanical models. *Journal of Structural Geology*, 23, 11-23.

- Hajjalibeigi, H., Alavi, S.A., Eftekharneshad, J. Mokhtari, M. and Adabi, M.H., 2010. The geometric effects of the Balarud deep seated fault zone on Khushab anticline, SW Iran, An integrated study. *Journal of sciences, Islamic Republic of Iran, University of Tehran*, In press.

- James, G.S. and Wynd, J.G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 49, 2182-2245.

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

- Laubscher, H. P., 1977. Fold development in the Jura. *Tectonophysics*, 37, 337-362.

- Mitra, S., 1990. Fault-propagation folds: Geometry, kinematics evolution, and hydrocarbon traps. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 74, 921-945.

تا بتوان برخی از این شکستگی‌ها را به عنوان شکستگی‌های برشی ریدل و آنتی ریدل معرفی و تفکیک کرد. مقایسه نمودار گل سرخی تهیه شده به صورت جداگانه برای گسل‌های نرمال و کل داده‌ها حاکی از آن است که امتداد اصلی شکستگی‌ها در حاکمیت گسل‌های نرمال است. همچنین گسل‌های نرمال احتمالاً متأثر از فرآیندهای کششی در یک سامانه انبساطی عمود بر جهت تنش بیشینه ناحیه‌ای ایجاد شده‌اند. همچنین مقایسه نمودار گل سرخی تهیه شده برای گسل‌های امتدادلغز با گسل‌های نرمال نشان می‌دهد که شکستگی‌های نوع P در راستای  $N70^{\circ}W$  تا  $N80^{\circ}W$  (در نمودار ۶-ج و در مقایسه با نمودار ۶-ب) قرار گرفته‌اند. مقایسه این نمودارها نشان می‌دهد که شکستگی‌های نوع P در راستای  $N70^{\circ}-80^{\circ}W$  در جهت عکس ساعتگرد به اندازه‌ی بین  $25^{\circ}$  تا  $30^{\circ}$  چرخش یافته‌اند. این چرخش را می‌توان متأثر از حرکت برش چپ‌گرد منطقه گسلی بالارود دانست (شکل‌های ۶-ج و ۶-ب).

### نتیجه‌گیری

تاق‌دیس سیاه‌کوه با محور دارای روند متغیر، یک چین نامتقارن، غیراستوانه‌ای، ناهماهنگ با همگرایی به سوی جنوب باختر است. این تاق‌دیس در زیررده IC رده‌بندی (Ramsay and Huber (1987) قرار می‌گیرد. برای تعیین نوع یا هندسه ساختار سیاه‌کوه، از نظر فشردگی، واژه باز و با توجه به نسبت ابعادی محاسبه شده، واژه پهن و برای توصیف خمیدگی نسبی چین واژه نیمه گرد شده پیشنهاد می‌شود.

با توجه به محل قرار گرفتن این تاق‌دیس در کمربند چین‌خورده-رانده شده زاگرس و با مراجعه به برش عرضی تهیه شده از تاق‌دیس، نامگذاری و تعیین نوع چین خوردگی مرتبط با گسلش در این تاق‌دیس انجام شده است. به این ترتیب که تاق‌دیس ممکن است یک چین مرتبط با گسلش از نوع انتشاری گسلی انتقال یافته متأثر از عملکرد منطقه گسلی بالارود باشد. مقایسه این تاق‌دیس با مدل‌های قبلی ارائه شده برای چین‌های مرتبط با گسلش و تحلیل پارامترهای هندسی این نوع چین‌ها برای تاق‌دیس، نشان می‌دهد که این تاق‌دیس یک نمونه از چین‌های انتشار گسلی انتقال یافته است که دچار برش تحت تاثیر عملکرد منطقه گسلی بالارود نیز شده است. متأثر از عملکرد این برش، شکستگی‌های متعددی در یال‌های تاق‌دیس ایجاد شده‌اند که روند اغلب آنها همخوانی خوبی با شکستگی‌های ریدل و آنتی ریدل در مناطق برشی با مولفه چپ‌گرد دارند.

### منابع

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

- حاجی علی بیگی، ح.، علوی، ا.، افتخار نژاد، ج. و مختاری،



- Mitra, S., 1992. Balanced structural interpretation in fold and thrust belts. In S. Mitra and G. W. Fisher (eds). *Structural Geology of Fold and Thrust Belts*, 33-77.
- N.I.O.C., 1969. Geological map of Iran. South-west Iran, Scale 1:1 000 000, National Iranian Oil Company. Exploration and Production, Tehran.
- Pattinson, R. and Takin, M., 1971. Geological significance of the Dezful Embayment boundaries. Iranian Oil Operation Companies (unpublished).
- Suppe, J., 1983. Geometry and kinematics of fault-bend folding. *American Journal of Science*, 283, 684-721.
- Suppe, J., 1985. *Principles of Structural Geology*. Prentice Hall, Englewood cliff, New Jersey, 537.
- Suppe, J. and Medwedeff, D. A., 1990. Geometry and kinematics of fault-propagation folding. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 83, 409-454.
- Talbot, C. J. and Alavi, M., 1996. The past of a future syntaxis across the Zagros, In: Alsop, G. I., Blundell, D. J. and Davison, I. (eds.) 1996. *Salt Tectonics*, Geological Society Special Publication, 100, 89-109.
- Thorbjornsen, K. L. and Dunne, W. M., 1997. Origin of a thrust-related fold: Geometric vs. kinematics tests. *Journal of Structural Geology*, 19, 303-319.
- Twiss, R. J. and Moores, E. M., 1992. *Structural Geology*. W. H. Freedman and Co., New York, 532.
- 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.

Archive of SID