



Research Article

Kinematic and geometry analysis of the Dalan anticline in the central Zagros

Saeed Zarei^{1*} , Ali Asghar Moridi farimani², Saeede Keshavarz³

1-Department of Geophysics, faculty of Nano and Bio Science and Technology, Persian Gulf University, Bushehr, Iran

2-Department of Earth Sciences, faculty of sciences, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

3-Department of Earth Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

Received: 11 Feb 2021 Accepted: 06 Aug 2021

Extended Abstract

Introduction

The Zagros Mountains as a central part of the Alpine-Himalayan orogenic belt is one of the most seismically active intracontinental fold-and-thrust belts on the Earth, and has an important role in active tectonics of the Middle East. This belt resulted from the closure of the Neo-Tethys Ocean and convergence between the Arabian and Iranian plates from. The shortening is still ongoing at a rate of $\sim 20 \pm 2$ mm/a. This belt has been divided by NW-SE dextral strike-slip faults in to several morphotectonics units. These faults often show en-echelon geometry on surface because of the presence of the basal detachment (Hormoz formation) and within the cover sequence. The Hormuz Salt and several intermediate decollement levels, appears to be responsible for the most aseismic deformation of the Zagros sedimentary cover, and also to control the development of a large panel of fold structures, from detachment to fault-propagation folds with varying wavelength and rooting depth.

Materials and Methods

The Study area is located in the south of the Farashband city in the Fars province. The Dalan anticline is partly whaleback anticline that mantled by soft Oligo-Miocene sediments in SW of Central Zagros. Various evidences in this anticline show its active folding structure. The Dalan anticline oriented parallel to the Zagros fold and thrust belt trend that have good potential for gas hydrocarbon reservoirs. For the kinematic and geometric analysis of the anticline based on satellite images, geological maps and field observations, three structural cross section perpendiculars to fold axis have been studied.

Results and Discussion

The constructed cross sections at the Dalan anticline indicate a detachment lift off fold geometry with large wave length for this anticline. Comparing the position of the Dalan fold axis and axial plane in the aa', bb' and cc' cross sections indicates that in the axis of the anticline was rotated about 15 degrees toward the southeast. Regard to interlimb angle estimations and Ramsay classifications from all three cross sections, Dalan anticline is the open fold and 1B-1C classes, respectively.

Citation: Zarei, S. et al, 2021. Kinematic and geometry analysis of the Dalan anticline in the central Zagros, *Res. Earth. Sci.* 12(3), (40-57) DOI: 10.48308/esrj.2021.100885

* Corresponding author E-mail address: Szarei@pgu.ac.ir





Researches in Earth Sciences

Journal homepage: <https://esrj.sbu.ac.ir>



Based on geometrical and kinematic analysis and comparison from studied models such as Sattarzadeh et al, (2000) and Mitra (2003), the Dalan anticline is detachment fold type and compatible with the Lift –off Model with syncline evacuation model. In this model, limb rotation, migration of ductile sediment in outer hinges and syncline to core of anticline occurred.

Conclusion

Also, the Dalan anticline is most likely of the type of Pseudo-Similar Folds that this group of folds occurs in folds that consist of alternating layers of brittle and ductile layers. In such a case, the brittle layers retain their thickness, While the ductile layers in the crest of the fold increase in thickness. Despite the detachment folds having simple geometries, they have more complexities that require comprehensive studies.

Keywords: Fold-and-thrust belts, Dalan anticline, Geometric and kinematic analysis, Detachment fold.



تحلیل جنبشی و هندسی تاقدیس دالان در زاگرس میانی

سعید زارعی^{۱*}، علی اصغر مریدی فریمانی^۲، سعیده کشاورز^۳

۱- گروه ژئوفیزیک، دانشکده علوم و فناوری نانو و زیستی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۳- گروه علوم زمین، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی

صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۲۳ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۵/۱۵

چکیده

کوهزاد زاگرس به عنوان بخش میانی کمربند کوهزایی آلپ-همیالیا یکی از فعال‌ترین کمربندهای چین خورده-تراست در روی زمین و یکی از بخش‌های فعال در زمین ساخت خاورمیانه می‌باشد. به نظر می‌رسد نمک هرمز به عنوان سطح جدایش اصلی به همراه سایر سطوح جدایش میانی مسئول رفتار غیرطبیعی پوشش رسوبی زاگرس میانی باشد و همچنین توسعه ساختارهای چین خورده بزرگ مانند چین‌های جدایشی و چین‌های مهاجرت گسلی با تغییر در طول موج و عمق را کنترل کنند. تاقدیس دالان در جنوب غربی زاگرس میانی و در پهنه فارس قرار دارد و در سطح آن نهشته‌های الیگو-میوسن برونزد دارند. با تحلیل برش‌های ساختاری رسم شده، مشخص شد که دالان به‌طور کلی یک تاقدیس متقارن و دارای تمایل اندک به سمت شمال شرق است. مقایسه موقعیت محور و سطح محوری تاقدیس در سه برش 'aa'، 'bb' و 'cc' نشان می‌دهد که در روند محور این تاقدیس حدود ۱۵ درجه چرخش به سمت جنوب شرقی صورت گرفته است. همچنین با توجه به زاویه بین یال‌ها در بخش‌های مختلف، تاقدیس در هر سه برش در محدوده چین‌های باز قرار دارد و در طبقه‌بندی رمزی در محدوده چین‌های 1B-1C قرار می‌گیرد. براساس تحلیل هندسی و جنبشی و مقایسه با مدل‌های موجود براساس تحلیل هندسی و جنبشی و مقایسه با مدل‌های موجود مانند ستارزاده و همکاران (۲۰۰۰) و میترا (۲۰۰۳)، تاقدیس دالان از نوع چین‌های جدایشی است که این چین‌ها با مدل چرخش در یال‌ها و انتقال مواد به سمت هسته تاقدیس مطابقت بیشتری دارند. تاقدیس دالان از نوع چین‌های جدایشی است که این چین‌ها با مدل چرخش در یال‌ها و انتقال مواد به سمت هسته تاقدیس مطابقت بیشتری دارند.

واژه‌های کلیدی: کمربندهای چین خورده-رانده، تاقدیس دالان، تحلیل هندسی و جنبشی، چین جدایشی.

مقدمه

کمربند چین خورده زاگرس شامل زاگرس مرتفع و کمربند چین خورده ساده زاگرس می باشد که این پهنه های ساختاری به موازات زمین درز قرار گرفته اند و هرکدام از این مناطق با سبک ساختاری و سنگ شناسی خاص خود از سایر مناطق مشخص می شود. گسل های زاگرس مرتفع، پیشانی کوهستان و راندگی اصلی زاگرس مرزهای جدایش این مناطق ساختاری می باشند (Berberian, 1974; Falcon, 1995). کمربند ساده چین خورده زاگرس شامل چین هایی از توالی ضخیمی رسوبات پالئوزوئیک تا سنوزوئیک می باشند که در حاشیه شمالی صفحه عربی انباشته شده اند (Casiello et al, 2009). در زاگرس خاوری (فارس) تغییر شکل شامل کوتاه شدگی موازی با همگرایی است (Talebian and Jackson, 2004). لازمه این تغییرات، کشیدگی در امتداد کمربند زاگرس است که می تواند در اثر گسل های کازرون، کره بس، سبزپوشان و سروستان باشد (Hessami et al, 2001). چین خوردگی مرتبط با گسلش یکی از سازوکارهایی است که معمولاً از آنها برای توصیف، تشریح و واکاوی هندسی چین های کمربند چین خورده-رانده شده استفاده می شود. این نوع چین خوردگی به صورت مدل های هندسی متنوعی تقسیم بندی شده اند. این مدل ها علاوه بر آنکه موجب درک بهتر چین خوردگی می شوند، ابزار مهمی برای ترسیم برش های عرضی و موازنه نمودن آنها محسوب می گردند (Dahlstrom, 1970; Suppe, 1983; Jamison, 1987). به دلیل وجود ذخایر هیدروکربوری مطالعات زیادی در کمربند چین خورده رانده زاگرس انجام شده است، همایون مطیعی در کتاب زمین شناسی نفت زاگرس (۱۳۷۴) به تشریح تاقدیس های زاگرس پرداخته است. افلاطونیان (۱۳۸۵) به تحلیل ساختاری

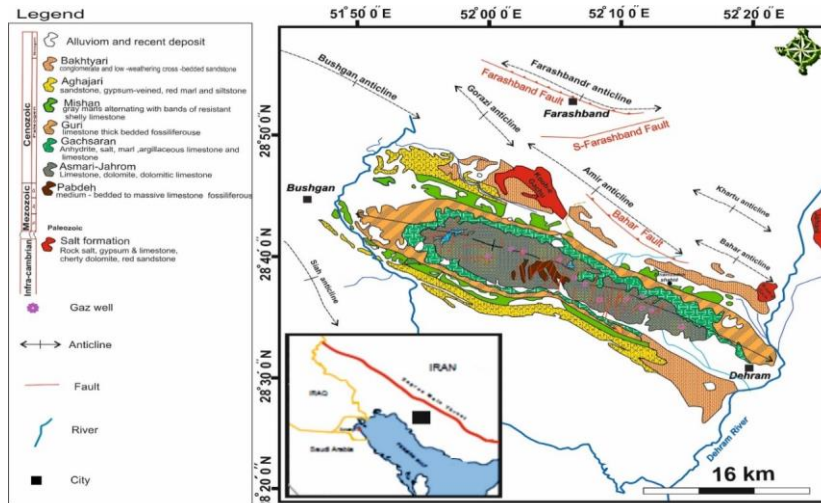
تاقدیس سلطان در زاگرس پرداخته و کینماتیک این تاقدیس را بررسی نموده است. شرکتی (۱۳۸۴) نیز تکتونیک پوشش رسوبی و پی سنگ در کمربند کوهزایی زاگرس را بررسی نموده است. همچنین مطالعات گسترده ای در خصوص چین های جدایشی و سبک چین خوردگی در زاگرس مطالعاتی انجام شده است که به بررسی ساختاری چین خوردگی ها در این کمربند کوهزایی پرداخته اند (O'Brien, 1950; Player et al, 1966; Sattarzadeh et al, 2000; Sepehr, 2001; Sherkati et al, 2005; Yan et al, 2016). در این مطالعه وضعیت هندسی و کینماتیکی تاقدیس دالان مورد مطالعه قرار گرفته است. این تاقدیس یک تاقدیس مهم از لحاظ هیدروکربوری بوده و پالایشگاه گاز دالان با مخزن گروه دهرم بر روی آن در حال استخراج گاز می باشد. تحلیل ساختاری این تاقدیس می تواند کمک بزرگی به ابهامات موجود در وضعیت نفتگیر و تحلیل ساختاری منطقه نماید. اولین چاه اکتشافی در سال ۱۳۵۴ در این تاقدیس حفر شده است.

منطقه مورد مطالعه

تاقدیس دالان در زاگرس میانی در کمربند چین خورده-رانده زاگرس قرار دارد که در فاصله طول های جغرافیایی $47^{\circ} 51'$ تا $20^{\circ} 52'$ خاوری و عرض های جغرافیایی $25^{\circ} 28'$ تا $28^{\circ} 50'$ شمالی قرار گرفته است. این منطقه از نظر تقسیم بندی کشوری در جنوب باختری استان فارس و در فاصله تقریبی ۱۵ کیلومتری جنوب شهر فراهبند قرار دارد. این تاقدیس با روند عمومی شمال باختری- جنوب خاوری در مجاورت تاقدیس های "بهار" و "امیر" و "گرازی" در شمال-شمال خاوری بوده و تاقدیس "سیاه" در باختر واقع شده است (شکل ۱). طول این تاقدیس حدود ۵۷ کیلومتر و پهنای آن براساس رخنمون سازند آسماری حدود ۵/۶ تا ۱۲/۴ کیلومتر است. شیب هر دو یال تاقدیس ملایم

کرتاسه و سنوزوئیک هستند و به ترتیب از قدیم به جدید شامل سازندهای گورپی، آسماری، گچساران، بخش گوری و میشان دریاها شمالی و جنوبی آن می‌باشد (شکل ۱).

بوده و براساس لایه آهکی سازند آسماری شیب در حدود ۳۰ درجه است، و میل^۱ محور چین در انتهای جنوب خاوری این تاقدیس در حدود ۱۰ درجه است. رخنمون‌های سنگی آن بیشتر از نهشته‌های

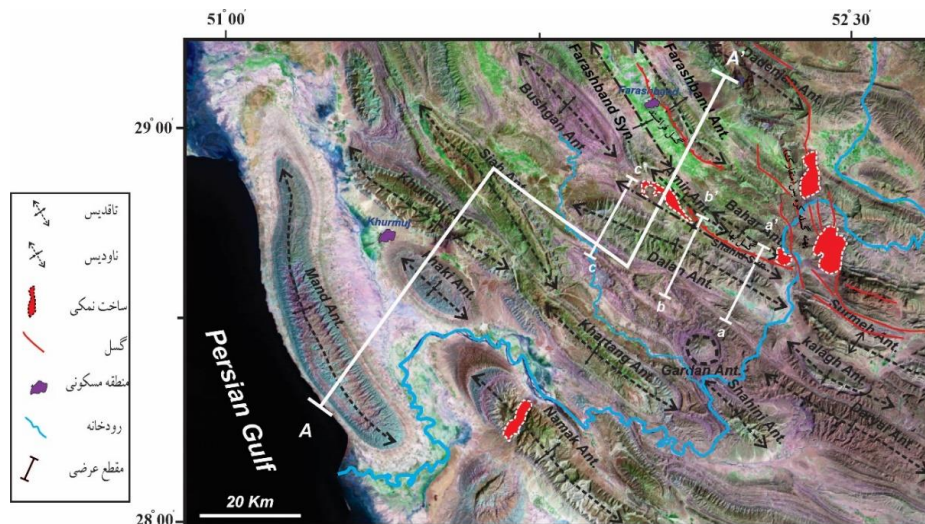


شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی تاقدیس دالان و موقعیت آن در رشته کوه زاگرس

بخش ساحلی خلیج فارس تا بخش‌های مرکزی زاگرس میانی و سه برش ساختاری (a-a', b-b', c-c') بر روی تاقدیس دالان رسم شده است (شکل ۲).

مواد و روش‌ها

جهت بررسی ویژگی‌های هندسی و کینماتیکی منطقه مطالعاتی، یک برش ساختمانی (A-A') از



شکل ۲: تصویر ماهواره‌ای MrSID بخشی از زاگرس میانی که در آن موقعیت تاقدیس‌ها، گسل‌ها و ساخت‌های نمکی و محل برش‌های ساختمانی نشان داده شده است.

کیلومتر می‌باشد که از موقعیت جغرافیایی (51° : A: $28^\circ 29' N$, $24' E$) در حاشیه خلیج فارس شروع شده و با عبور از تاقدیس‌های مند، کاک، خورموج، سیاه، دالان، امیر و فراشبند به موقعیت (52° : A': $28^\circ 29' N$, $21' E$) در زاگرس میانی می‌رسد. به علت عدم دسترسی به اطلاعات دقیق نیمرخ‌های لرزه‌ای و داده‌های چاه‌نگاری، برای ترسیم برش‌های ساختاری از نقشه‌های زمین‌شناسی و عمق سرسازندها (عمق شروع هر سازند از سطح زمین) در ۱۰ حلقه چاه گاز حفر شده در تاقدیس دالان (برگرفته از شرکت ملی نفت ایران) و یک نیمرخ بازتاب لرزه‌ای تفسیر شده (پیروز، ۱۳۸۳) استفاده شده است (شکل ۴). با بازگرداندن برش‌های رسم شده به طول اولیه مقدار کوتاه شدگی محاسبه شده و تحلیل صورت گرفته است. سپس وضعیت هندسی تاقدیس با نمودارهای تورنر و ویس (Turner and Weiss, 1963)، فلوتی (Fluty, 1964)، رامسی (Ramsay, 1967)، جامیسون (Jamison, 1987) و دیپک (Deepak, 2004) بررسی و نتایج تحلیل شده است.

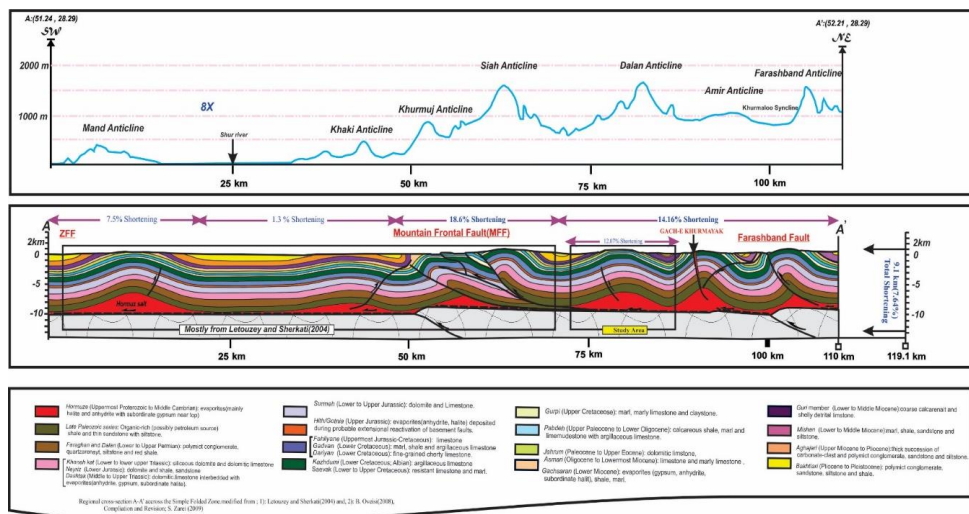
بحث و نتایج

در منطقه مورد مطالعه کوتاه‌شدگی با استفاده از روش Line length به وسیله بازگرداندن طول اولیه لایه‌ها و مقایسه آن با طول نهایی، در حدود ۹/۱ کیلومتر یا ۷/۶۴ درصد محاسبه گردید. در این روش مطابق شکل ۳ از رابطه $e = (L_1 - L_0) / L_0$ استفاده می‌شود که طول اولیه (L_0) و طول آن پس از دگرشکلی (L_1) است. بنابراین با توجه به شروع چین خوردگی در ۵ میلیون سال پیش (Molinaro et al, 2005)، نرخ کوتاه‌شدگی بلند دوره^۴ برابر با ۱/۸ میلی‌متر در سال می‌باشد که با توجه به تأخیر در چین خوردگی‌ها برای مناطق جلویی زاگرس و اینکه چین خوردگی از منطقه برخورد شروع شده

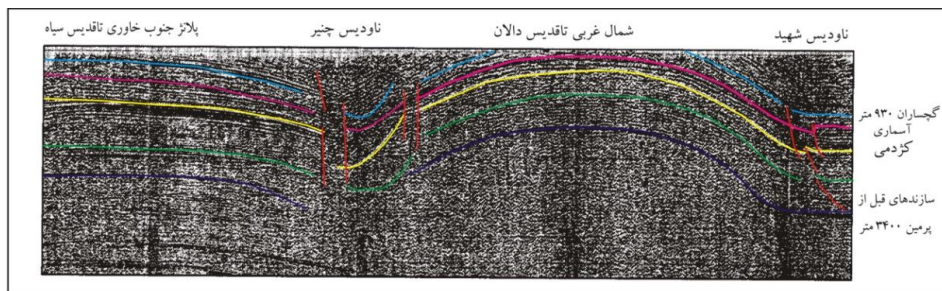
به منظور رسم برش ساختاری، در سه مسیر به طور تقریبی موازی و عمود بر محور تاقدیس، پیمایش و برداشت اطلاعات ساختاری صورت پذیرفت. سپس برش‌های ساختاری با استفاده از الگوی شکنج^۲ با نرم‌افزار Autodesk map رسم و سپس در نرم‌افزار Arc GIS نهایی و ترسیم و حتی‌الامکان ساده شده است. در این پژوهش برش عرضی از روش Dip domain با مقیاس برابر افقی و قائم استفاده شده است. بهترین جهت برای رسم مقاطع عرضی راستای عمود بر محور تاقدیس می‌باشد. در برخی موارد به دلایلی مانند عملکرد گسل‌های پی‌سنگی و یا گنبد‌های نمکی روند تاقدیس‌ها عوض می‌شود لذا برای داشتن یک برش عرضی مناسب ناگزیر از یک مسیر غیر مستقیم و با یک جابه‌جایی عمود، ادامه برش عرضی به صورت تقریبی به موازات قبل ادامه می‌یابد. نکته قابل توجه اینست که مقطع از جایی عبور کند که اطلاعات کافی زیر سطحی موجود بوده و حتی‌الامکان به واقعیت نزدیک باشد. در این مطالعه مسیری انتخاب شده است که اطلاعات آن در مقاطع رسم شده در مقالات یا نقشه‌های تهیه شده توسط شرکت ملی نفت ایران موجود باشد. همچنین برای به‌دست آوردن ضخامت واحدها در برش‌های رسم شده بر روی تاقدیس از اطلاعات عمق سرسازندها براساس اطلاعات حفاری شده توسط شرکت ملی نفت ایران، برداشت‌های صحرائی، اطلاعات و داده‌های نقشه‌های زمین‌شناسی موجود و همچنین الگوی برش بعضی واحدها استفاده شده است. شکل ۳ برش ساختاری جنوب‌باختری- شمال‌خاوری منطقه چین‌خورده- ساده زاگرس را نشان می‌دهد که این برش نشان‌دهنده تفاوت در الگوی تقارن چین‌ها است. در شمال‌خاور و بخش مرکزی برش، تمایل^۳ مرکز چین‌ها به سمت SW است و شیب یال پیشانی از شیب یال پشتی بیشتر است. طول برش ۱۱۰

شده حدود ۲۳/۴۷ درصد در تاقدیس دالان، حدود ۳۶/۲ درصد در تاقدیس‌های سیاه و خورموج که بر روی رمپ فعال گسل پیشانی کوهستان (MFF) و نزدیک به آن قرار دارند، ۱۳/۹ درصد توسط تاقدیس‌های مند و کاکي و ۲۶/۱ درصد نیز توسط تاقدیس‌های امیر و فراشبند جذب شده است.

و به سمت جنوب‌باختری در حال مهاجرت است، این نرخ، یک نرخ نسبی است و نشان می‌دهد که تغییر شکل‌های جوان از سمت زاگرس مرتفع به سمت حاشیه خلیج فارس در حال انتقال است. به نظر می‌رسد تاثیر تغییر شکل‌های جوان در دماغه شمال‌باختری بیشتر از دماغه جنوب‌خاوری تاقدیس باشد. از مقدار کل کوتاه‌شدگی محاسبه



شکل ۳: برش ساختاری جنوب‌باختر- شمال خاور منطقه چین خورده ساده زاگرس، پروفیل منطقه و ستون چینه‌شناسی به ترتیب در بالا و پایین مقطع نشان داده شده است. (اقتباس از Oveisi et al, 2008).



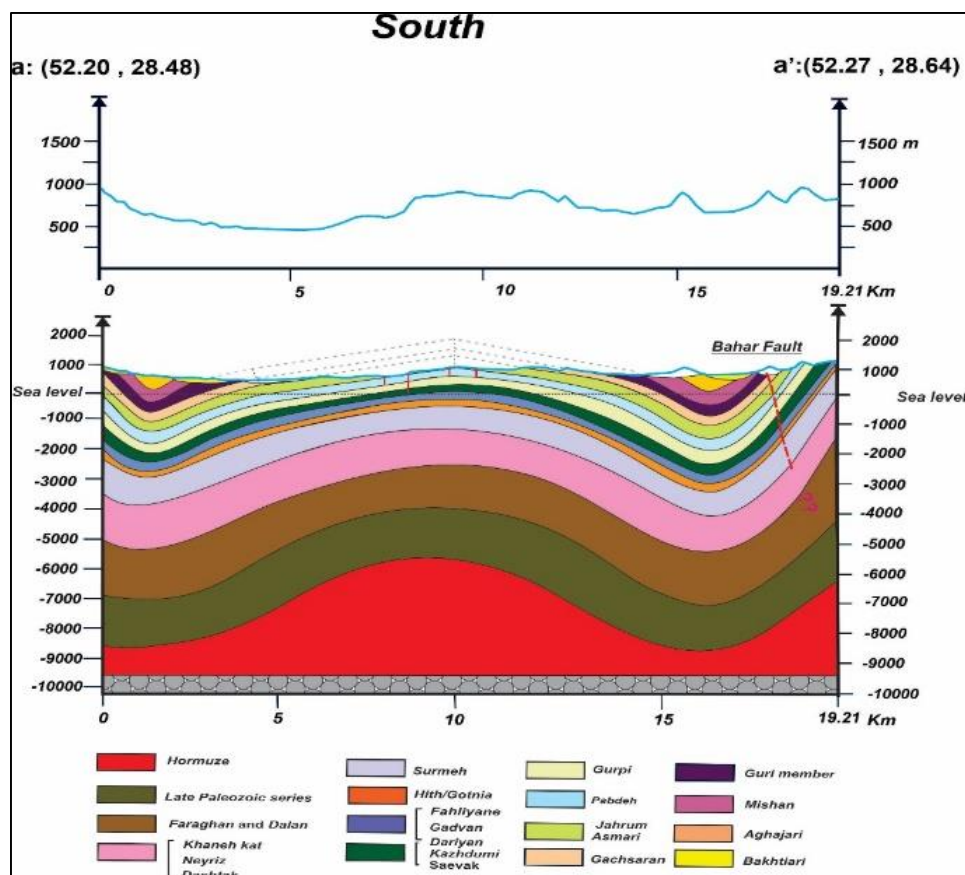
شکل ۴: نیمرخ بازتاب لرزه‌ای از تاقدیس دالان در راستای SW-NE. محل نیمرخ در نزدیکی برش 'cc' می‌باشد (پیروز، ۱۳۸۳).

برش‌های ساختاری
 ۱- برش‌های ساختاری عرضی 'aa'
 این برش حدود ۱۹/۲۱ کیلومتر طول و مختصات ابتدا و انتهای آن در سیستم مختصاتی جغرافیایی به ترتیب:
 a: (52° 27' E , 28°) و (52° 20' E, 28° 48' N)
 می‌باشد (شکل ۵). این برش با راستای تقریبی N30°E در شمال تاقدیس انتخاب شده است. در هسته تاقدیس سازندهای آسماری و جهرم رخنمون دارند. براساس رخنمون سازند آسماری در

برش‌های ساختاری
 ۱- برش‌های ساختاری عرضی 'aa'
 این برش حدود ۱۹/۲۱ کیلومتر طول و مختصات ابتدا و انتهای آن در سیستم مختصاتی جغرافیایی به ترتیب:

شده است نبوده و در لایه‌های مختلف عملکردهای متفاوتی را نشان بدهد (پیروز، ۱۳۸۳). طول موج تاقدیس دالان براساس رخنمون واحد گوری در این برش حدود ۹/۶ کیلومتر و زاویه بین یال‌ها بر روی سطح فوقانی گروه بنگستان حدود ۱۱۵ درجه است (جدول ۱) بنابراین طبق تقسیم بندی فلوتی (Fluty, 1964) تاقدیس دالان در این برش یک چین باز محسوب می‌شود. در جدول ۱ طول موج و زاویه بین یالی^۵ در هر برش آورده شده است.

یال شمالی شیب لایه‌ها حدود ۱۰ تا ۲۰ درجه به سمت شمال باختری می‌باشند و در یال جنوبی ۱۲ درجه به سمت جنوب باختر می‌باشد. لایه‌ها در یال شمال باختری توسط گسل راندگی بهار با روند تقریبی شمال باختر-جنوب خاور بریده شده‌اند. اطلاعات در مورد گسل بهار زیاد نیست و برداشت‌های صحرائی نیز به دلیل عدم رخنمون مناسب اطلاعات دقیقی ارائه نمی‌کنند. احتمالاً عملکرد گسل بهار به این سادگی که در برش نشان داده



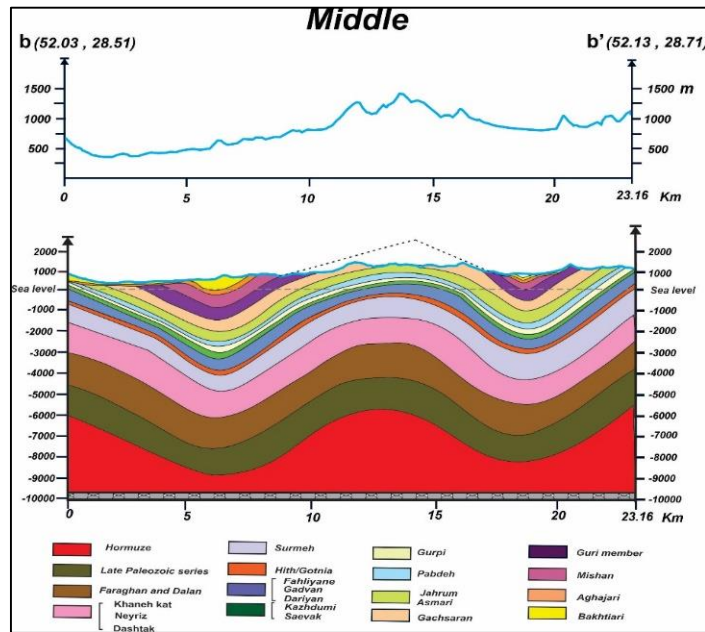
شکل ۵: برش ساختاری عرضی aa'

جدول ۱: طول موج و زاویه بین یال‌های تاقدیس دالان در مسیرهای مختلف

نام مسیر	طول موج (Km)	زاویه بین یالها γ (درجه)
cc'	۱۲/۳	۱۱۷
bb'	۱۰/۲	۱۱۰
aa'	۹/۶	۱۱۵

لایه‌ها به ۳۲ درجه سمت شمال‌خاور و در یال جنوبی حدود ۳۴ درجه به سمت جنوب باختر می‌باشد. این تاقدیس با زاویه بین یالی حدود ۱۱۰ درجه، نشان دهنده یک چین باز می‌باشد.

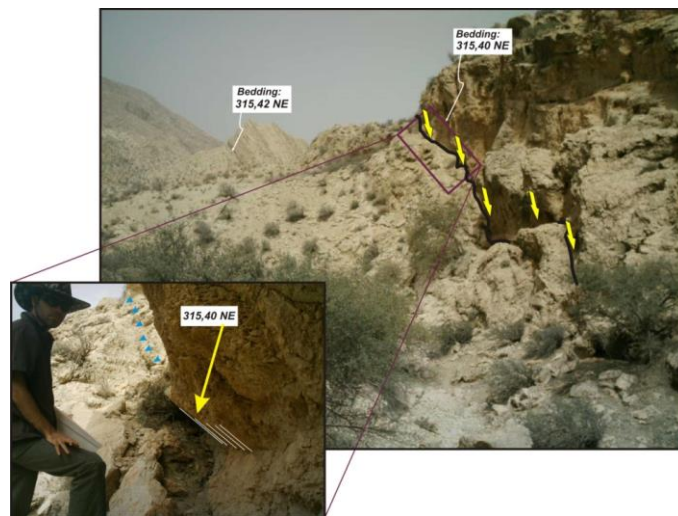
۲- برش ساختاری عرضی bb'
این برش با راستای $N31^\circ E$ حدود $23/16$ کیلومتر طول و مختصات ابتدا و انتهای آن به ترتیب: $b: 52^\circ 13' E, 28^\circ$ و $b': 52^\circ 03' E, 28^\circ 51' N$ ($71' N$) می‌باشد (شکل ۶). در این یال شمالی، شیب



شکل ۶: برش ساختاری عرضی bb'

مکانیزم چین‌خوردگی خمشی - لغزشی (Flexural Slip Folding) تشکیل شده است (شکل ۷).

آثار لغزش بین لایه‌های در لایه‌های آسماری نشان- دهنده این است که این تاقدیس احتمالاً تحت تاثیر

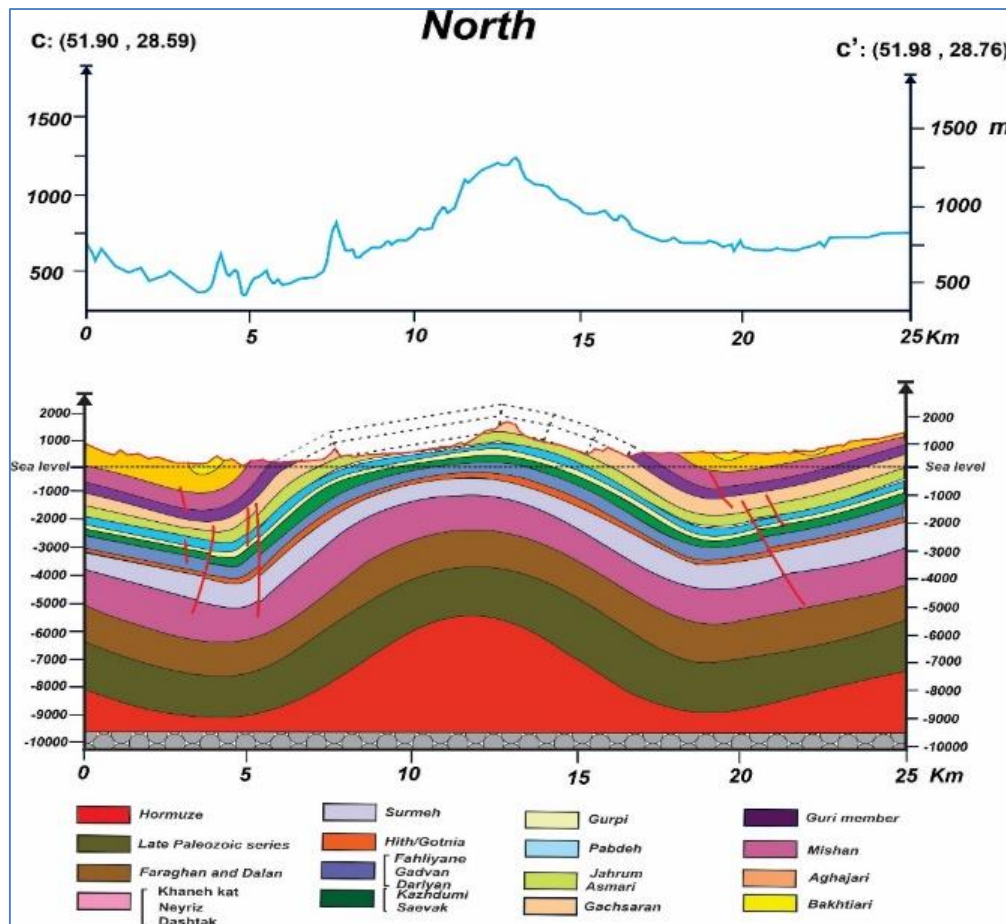


شکل ۷: لغزش در سطوح بین لایه‌های عضو آهکی گوری در یال شمالی تاقدیس دالان

پشتی آن حدود ۲۸ درجه به سمت جنوب‌باختر است. این تاقدیس با زاویه بین یالی حدود ۱۱۶ درجه، یک تاقدیس باز می‌باشد. همان‌گونه که در نیمرخ بازتاب لرزه‌ای (شکل ۴) و مقطع عرضی cc' دیده می‌شود در ناودیس‌های مجاور در بخش شمال باختری تاقدیس دالان گسل‌هایی شکل گرفته‌اند که به نظر می‌رسد ثانویه باشند.

۳- برش ساختاری عرضی cc'

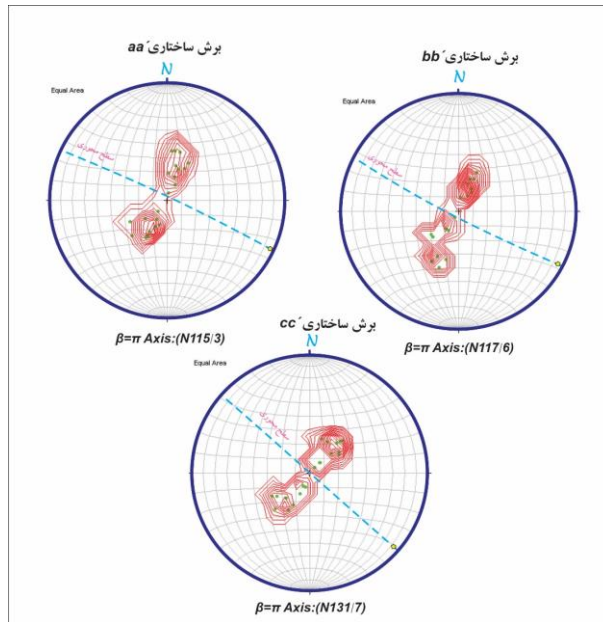
این برش حدود ۲۵ کیلومتر طول دارد و مختصات ابتدا و انتهای آن به ترتیب ($51^{\circ} 90' E, 28^{\circ} 59' N$) و ($51^{\circ} 98' E, 28^{\circ} 76' N$) می‌باشد (شکل ۸). مسیر این برش دارای راستای تقریبی $N30^{\circ}E$ می‌باشد. شیب لایه‌ها در یالی پیشانی این تاقدیس حدود ۳۰ درجه به سمت شمال‌خاور و در یالی



شکل ۸: برش ساختاری عرضی cc'

در برش bb' برابر با $N117/6$ و موقعیت سطح محوری آن $119/84 SW$ و در این برش cc' برابر با $N312/1$ و موقعیت سطح محوری آن $130/89NE$ می‌باشد. راستای سطح محوری در برش‌های ساختاری حدود ۱۵ درجه با یکدیگر اختلاف دارد.

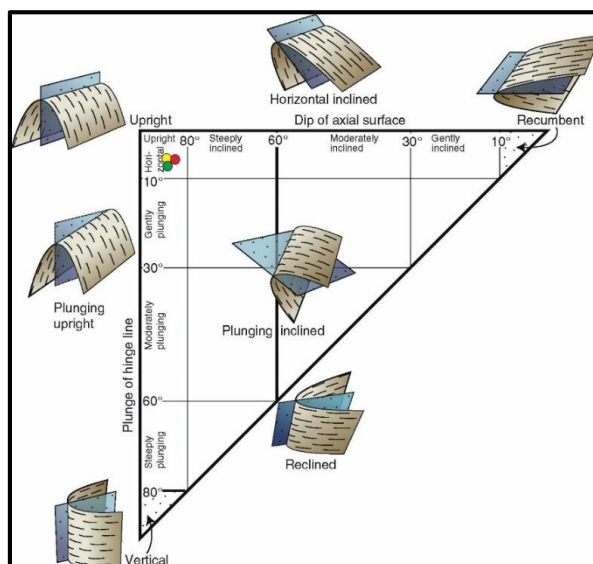
برای تشخیص موقعیت محور و سطح محوری چین، اطلاعات مربوط به لایه‌بندی‌ها در یال شمال‌خاوری و جنوب باختر تاقدیس بر روی استریونت پیاده و نمودار π تهیه گردید (شکل ۹). بر این اساس موقعیت محور تاقدیس دالان در برش aa' برابر با $N115/3$ و موقعیت سطح محوری آن $115/86 NE$ ،



شکل ۹: کنتوردیگرام قطب‌های لایه‌بندی یال‌های شمال خاور و جنوب باختر تاقدیس دالان در نیمه پایینی شبکه استریوگرافیک، تهیه شده برای مسیرهای 'aa'، 'bb' و 'cc'.

- بررسی هندسی و جنبش‌شناختی تاقدیس دالان برای ارائه مدلی مناسب جهت تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس دالان براساس داده‌های برداشت شده، برشی بر روی تاقدیس زده شد که محل این برش ('AA') بر روی شکل (۲ و ۳) مشخص است.

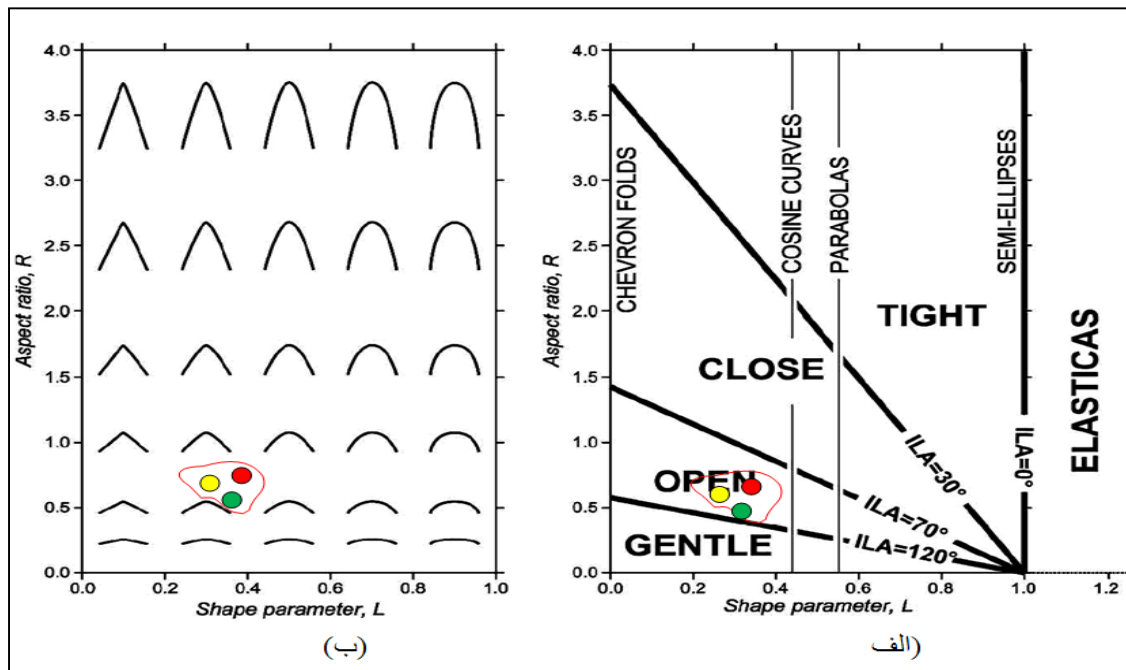
در تقسیم‌بندی چین‌ها براساس میل محور چین و شیب سطح محوری (Fluty, 1964) هر سه برش در گروه چین‌های ایستاده با میل تقریباً افقی (Upright horizontal) قرار می‌گیرند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: ترسیم نوع چین‌ها براساس میل محور و شیب سطح محوری چین. دایره‌های قرمز زرد و سبز به ترتیب بخش‌های شرقی، غربی و کل تاقدیس دالان را نشان می‌دهند.

(۱ الف و ب) به خوبی این قابلیت‌ها را در دو نمودار جداگانه نشان می‌دهند. در این نمودارها دایره‌های قرمز، زرد و سبز به ترتیب بخش‌های شرقی، غربی و کل تاقدیس دالان را نشان می‌دهند. هر یال جداگانه با استفاده از این روش تحلیل شده و بر روی نمودار تصویر اندازی شده است که با استفاده از این روش و به کارگیری نمودار اصلاح شده (Hudleston, 1973) می‌توان برای تصویراندازی داده‌ها و تعیین نوع چین در چین‌های نامتقارن نیز استفاده کرد (جدول ۲).

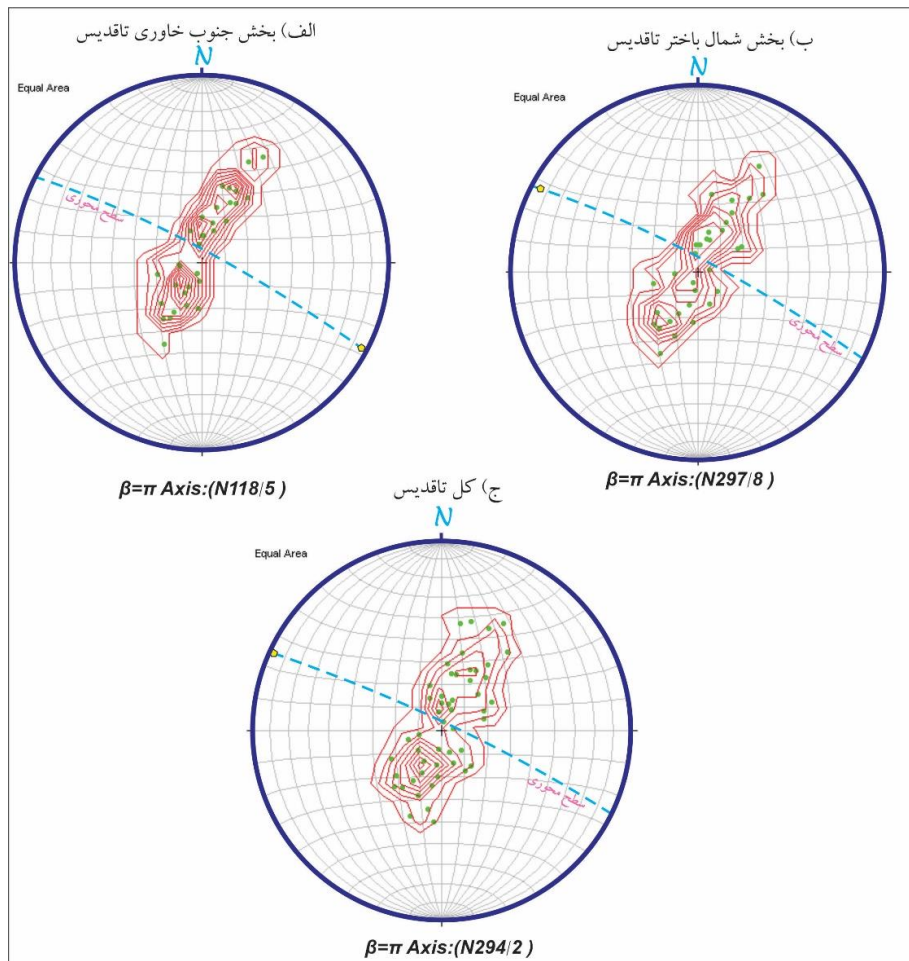
برای طبقه‌بندی چین‌ها از روش (Deepak et al, 2004) از دو پارامتر R و L برای آنالیز چین‌ها استفاده می‌شود، که پارامتر L وابسته به توزیع منحنی از نقطه لولا تا نقطه عطف می‌باشد و مقدار آن از صفر در یال‌ها به مقدار یک در لولا می‌رسد. پارامتر R نسبت بین دامنه و طول موج چین را نشان می‌دهد. از این طبقه‌بندی می‌توان برای تعیین قابلیت لایه‌های چین‌خورده و مکانیزم چین‌خوردگی استفاده کرد. از مزایای این روش، سادگی و سرعت بالا برای آنالیز می‌باشد. شکل



شکل ۱۱: الف) این دیاگرام اقتباسی از طبقه‌بندی هودلستون (Hudleston, 1973) می‌باشد. شکل چین به وسیله پارامترهای L و R مشخص شده است. ب) طبقه‌بندی زاویه بین یالی بر طبق Fleuty (1964) می‌باشد.

مشخص شد (شکل ۱۲، جدول ۲). انحراف کم سطح محوری از حالت قائم نشان می‌دهد که تاقدیس به طور کامل متقارن نیست.

در ادامه تحلیل هندسی، تاقدیس دالان به دو بخش جنوب خاوری و شمال باختری تقسیم گردید و در نهایت برای کل تاقدیس موقعیت فضایی محور (N293/ 87 NE) و سطح محوری (N294/ 2)



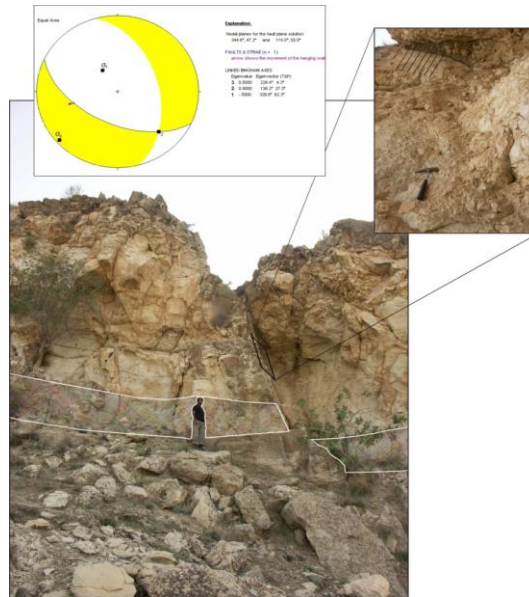
شکل ۱۲: کنتوردیگرام قطب‌های لایه‌بندی در نیمه پایینی شبکه استریوگرافیک تهیه شده برای بخش‌های؛ الف) جنوب خاوری، ب) شمال باختری و ج) کل تاقدیس دالان.

جدول ۲: مشخصات کلی و طبقه‌بندی بخش‌های جنوب خاوری، شمال باختری و کل چین براساس برداشت‌های صحرایی و برش‌های رسم شده.

چین	صفحه محوری	محور بتا	زاویه بین یالی	Fold king	Turner & Weiss (1963)	کلاس چین		
						Fleuty (1964)	Ramsay (1967)	Deepak (2004)
بخش جنوب خاوری	N117/83 NE	N118/5	۱۱۵	مشابه	Upright horizontal	Open	1C-1B	$120 < ILA < 170$
بخش شمال باختری	N118/85 NE	N297/8	۱۱۰	مشابه	Upright horizontal	Open	1C-1B	$120 < ILA < 170$
کل تاقدیس دالان	N293/87 NE	N294/2	۱۱۷	مشابه	Upright horizontal	Open	1C	$120 < ILA < 170$

انتهایی تکامل باشد. گسل‌هایی نرمالی که در لایه-های بالایی رخنمون دارند ناشی از کشش راس تاقدیس می‌باشند (شکل ۱۳).

با توجه به برونزد واحدها و ویژگی‌های ریخت-شناسی به نظر می‌رسد این تاقدیس از نوع چین‌های جدایشی است، که می‌تواند در مراحل

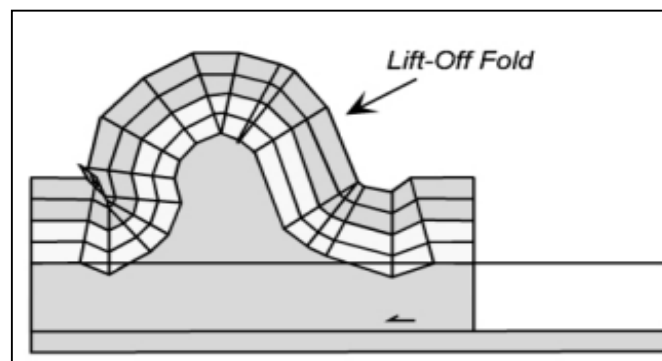


شکل ۱۳: گسلش نرمال در رأس تاقدیس. خش لغزش‌ها و سازوکار گسل و همچنین محل محورهای تنش در شکل مشخص است.

در مدل Lift-off Model Without syncline evacuation در هسته واحدهای رسوبی چین‌خورده یک فضای خالی وجود دارد و در مدل Lift-off Model With syncline evacuation از بخش زیرین ناودیس‌های کناری (لایه‌هایی که خاصیت شکل‌پذیر دارند) به سمت هسته تاقدیس مهاجرت کرده و فضای خالی را پر می‌کنند. چنانچه بعد از این مهاجرت فضای خالی در هسته باقی بماند ممکن است توسط بلوک‌هایی از پوسته فوقانی و یا پوشش رسوبی پر شود.

در ادامه جهت فهم ماهیت نوع همگرایی رخ داده، حالات مختلف سازوکارهای چین جدایشی مورد بررسی قرار گرفته است که به خوبی شرایط همگرایی مورب (Oblique convergence) را توجیه کند. مدل Lift-off می‌تواند در توجیه هندسی تاقدیس به عنوان چین جدایشی استفاده شود (شکل ۱۴)، که خود به دو زیر گروه تقسیم می‌شود (Mitra, 2003):

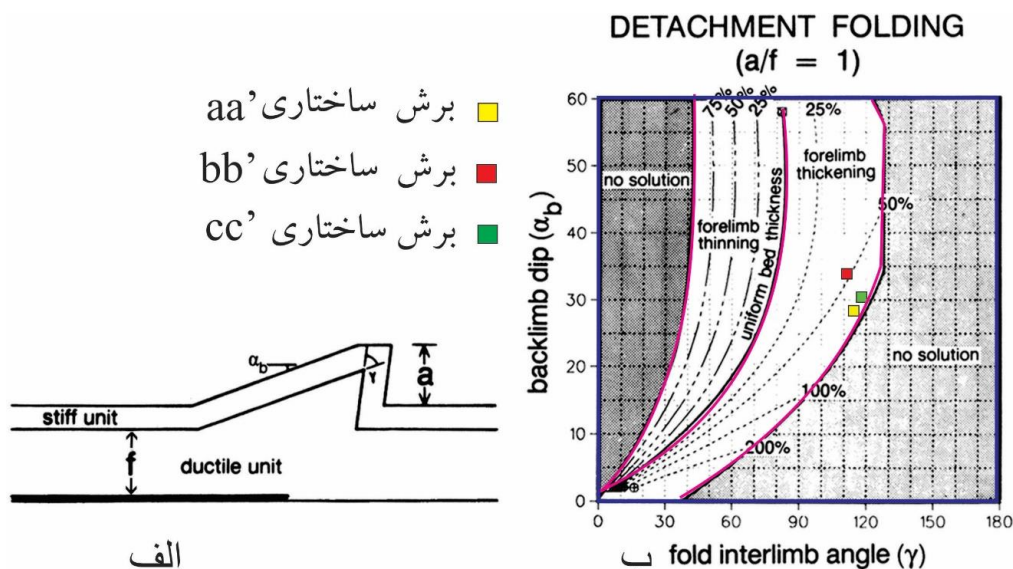
- ۱- Lift-off model without syncline evacuation
- ۲- Lift-off model with syncline evacuation



شکل ۱۴: مدل Lift-off (Mitra, 2003).

محدوده‌ای واقع شده که نشانگر ضخیم‌شدگی در یالی پیشانی است، اما همان‌طور که قبلاً اشاره شد این تاقدیس دارای صفحه محوری تقریباً قائم با یال‌هایی با شیب مساوی است. بررسی اطلاعات چاه‌های تاقدیس دالان و نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ نشان می‌دهد که ضخامت یال‌ها در دو سمت تاقدیس تقریباً مساوی به سمت رأس تاقدیس افزایش می‌یابند. به عنوان مثال، ضخامت حقیقی سازند نسبتاً نامقاوم گورپی در یال شمالی ۲۸۰ متر در یال جنوبی ۲۷۸ متر و در هسته تاقدیس ۲۹۸ متر می‌باشد.

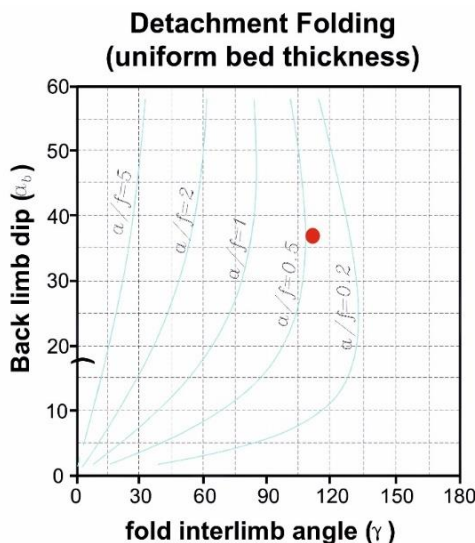
آنچه که در این دو زیر گروه مشترک است، مربوط به اختلاف سطح ساختاری است که در اثر جابه‌جایی واحدها ایجاد شده است. ضخامت پوشش رسوبی برای منطقه زاگرس تقریباً ۱۰-۱۱ کیلومتر می‌باشد (Alav, 2007; Allen and Talebian, 2011). در نمودارهای (Jamison, 1987) جهت تعیین هندسه چین از پارامترهای شیب پلکان گسل (α) و یا شیب یالی پشتی (α_b)، زاویه بین یال‌ها (γ) و میزان نازک‌شدگی یا ضخیم‌شدگی خاصی در یالی پیشانی نسبت به یالی پشتی استفاده می‌شود. چنانکه در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود تاقدیس دالان در تمام مسیرها در



شکل ۱۵: نمودار ارتباط بین نسبت (a/f) ، زاویه بین یال‌ها و شیب یالی پشتی و شکل، (ب) موقعیت تاقدیس دالان براساس برش‌های صورت گرفته در نمودار ستبر شدگی و نازک‌شدگی پیش یال چین خوردگی‌های جدایشی (Jamison, 1987).

در چین‌های جدایشی مقادیر a/f (زاویه بین یال‌ها نسبت به زاویه شیب یالی پشتی) متغیر است (شکل ۱۶). محل قرارگیری تاقدیس نشان‌دهنده این است هیچ‌گونه تغییر ضخامتی وجود ندارد. چنانچه قبلاً گفته شد، تاقدیس دالان ضخیم‌شدگی در یال‌ها ندارد، به نظر می‌رسد مدل‌های ارائه شده توسط

چندان جوابگوی وضعیت خاص تاقدیس دالان نمی‌باشد. لذا چین‌های جدایشی، اگر چه از نظر هندسی ساده به نظر می‌رسند، اما از لحاظ کینماتیکی بسیار پیچیده‌تر از چین‌های مهاجرت گسله و چین‌های خم گسله می‌باشند.



شکل ۱۶: نمودار ارتباط بین نسبت (a/f)، زاویه بین یال‌ها و شیب یالی پستی (Jamison, 1987).

نیمرخ بازتاب لرزه‌ای به نظر می‌رسد تاقدیس دالان در طی تکامل خود دچار چرخش در یال‌ها شده است. اگرچه با توجه به نیمرخ بازتاب لرزه‌ای به نظر نمی‌رسد که انتقال مواد در لایه‌های شکل‌پذیر ناودیس‌ها به سمت هسته تاقدیس‌ها را داشته باشیم، اما با وجود فضای خالی زیاد زیر تاقدیس حتی با انتقال مواد باز هم بخش زیادی از فضای خالی توسط تبخیری‌های هرمز پر می‌شود که این حجم زیاد می‌بایست آثار فعالیت خود را در سطح نشان بدهد. شواهد بالا آمدگی نمک (گنبد نمکی فراشبند) در یال‌های شمال باختری گواهی بر این موضوع است. لذا به نظر می‌رسد تاقدیس دالان از نوع چین‌های جدایشی با چرخش در یال‌ها و انتقال مواد (احتمالاً فقط در لایه‌های شکل‌پذیر) همراه باشد. چین‌هایی که ضخامت لایه‌بندی ثابتی را در دامنه‌های خود نشان می‌دهند، به واسطه فرآیند خمشی-لغزشی پدید آمده‌اند. به طوری که لایه‌های مجاور در حین کمانش بر روی هم می‌لغزند (Twiss and Moore, 2007). وجود لغزش‌هایی بین لایه‌های تائیدی بر این موضوع می‌باشد. تغییر ضخامت یک لایه چین خورده در بردارنده اطلاعاتی در مورد سازوکار تشکیل چین‌هاست، از این رو یک

با توجه به مکانیسم کوتاه شدگی پیشرونده^۶ در واحدهای رسوبی در زاگرس مدلهایی برای چین‌خوردگی‌های ایجاد شده بر روی سطوح جدایشی ارائه می‌شود. تکامل پیشرونده جنبشی که موجب تکامل هندسه چین می‌شود متأثر از تفاوت در سازوکار تغییر شکل در طی زمان می‌باشد. تفاوت در هندسه ساختار بستگی به چینه‌شناسی مکانیکی و مقدار کرنش دارد. دو بحث مهم در چین‌های جدایشی که باعث تشکیل چین و تغییر شکل در واحدهای شکل‌پذیر سطح مبنا می‌شود عبارتند از (Mitra, 2003):

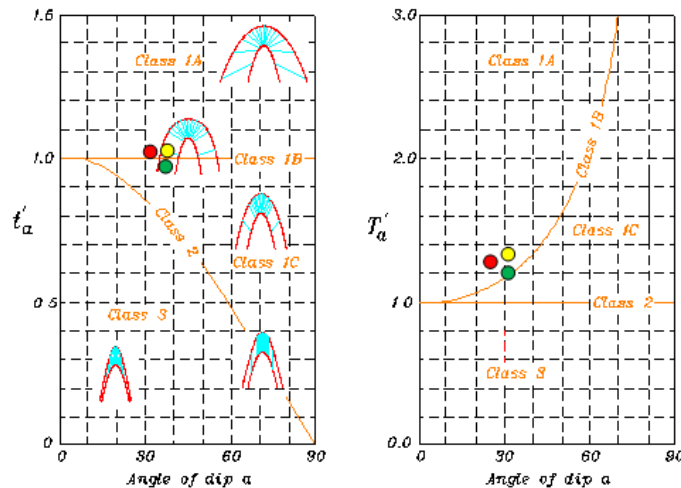
۱- چرخش یال‌ها^۷

۲- انتقال لولاها^۸

مدل‌های چین خوردگی در واحدهای رسوبی روی واحد شکل‌پذیر سطح مبنا، شامل چین‌های خم گسله، چین‌های جدایشی با چرخش در یال‌ها و تغییر شکل داخلی، چین‌های جدایشی با چرخش در یال‌ها و انتقال مواد به داخل هسته تاقدیس و چین‌های جدایشی با چرخش در یال‌هایی با طول ثابت و انتقال لولاها و خمیدگی در ناودیس‌های کناری می‌باشد. با توجه به مدل‌های ارائه شده و برش‌های ساختاری عرضی رسم شده و همچنین

ویژگی مهم به شمار می‌رود. این گونه چین‌های خمشی در رده‌بندی ریخت‌شناسی (Ramsay, 1967) در محدوده چین‌های 1B-1C قرار می‌گیرند (شکل ۱۷).

شکل ۱۷: طبقه‌بندی هندسی چین (Ramsay, 1967)، نمودار سمت چپ براساس t'_α و نمودار سمت راست براساس T'_α . نقاط مشخص شده برای رنگ‌های قرمز زرد و سبز به ترتیب برای بخش جنوب خاوری، شمال باختری و کل تاقدیس دالان می‌باشد.



نتیجه‌گیری
چین‌خوردگی در کوهزاد زاگرس به‌طور کلی از سبک چین‌خوردگی موازی تبعیت می‌کند. سبک چین‌خوردگی موازی در اثر ترکیبی از دو سازوکار خمشی-لغزشی و سازوکار سطح خنثی به وجود می‌آید. به نظر می‌رسد تاقدیس دالان علی‌رغم سادگی ظاهری با پیچیدگی‌های زیادی در تکوین ساختاری خود مواجه می‌باشد و رده بندی‌هایی مثل (Jamison, 1987) چندان جوابگوی ابهامات این چین‌خوردگی نمی‌باشد. طول محور تاقدیس دالان براساس رخنمون سازند گوری، حدود ۵۷ کیلومتر است. طول موج تاقدیس نیز در برش‌های مختلف از ۵/۶ تا ۱۲/۴ کیلومتر متغییر می‌باشد. با توجه به بیشترین طول موج تاقدیس، میزان Aspect Ratio (نسب طول محور چین به نصف طول موج حدود ۹/۱۹ محاسبه گردید که براساس آن تاقدیس دالان طی سازوکار چین‌های کم‌انرژی^۹ تشکیل شده و در مراحل انتهایی تکامل چین‌های

جدایشی می‌باشد. مقایسه موقعیت محور و سطح محوری تاقدیس دالان در سه برش ساختاری 'aa', 'bb' و 'cc' نشان می‌دهد که چرخشی در حدود ۱۵ درجه رخ داده است که می‌تواند بر اثر گسل‌های پی سنگی مثل خطواره امیر-شاهینی باشد طبقه‌بندی (Ramsay, 1978) نشان می‌دهد که کل چین با توجه به وجود میان لایه‌های شکل‌پذیر مثل تبخیری‌های تریاس، شیل‌های آلبین سازند کژدمی، مارن‌های ائوسن سازند پابده و تبخیری‌های میوسن سازند گچساران از حالت موازی خارج شده و در محدوده چین‌های 1B-1C قرار می‌گیرد. با توجه به تغییر کم ضخامت این واحدها به نظر می‌رسد، سری نمکی هرمز به‌عنوان سطح جدایش قاعده‌ای در این بخش از زاگرس میانی نیز موثر می‌باشد. براساس نتایج برداشت‌های صحرایی، مطالعه نیمرخ لرزه‌ای، سبک چین خوردگی کم‌انرژی و برش‌های ساختاری عرضی رسم شده، احتمال وجود گسلش راندگی در زیر این تاقدیس

را به عنوان مدل پیشنهادی منطقه ارائه نمود. تاقدیس دالان به احتمال زیاد از نوع چین‌های مشابه دروغین^{۱۰} می‌باشد. این گروه از چین‌ها، در طبقاتی شامل تناوبی از لایه‌های شکننده و شکل‌پذیر هستند. در چنین حالتی لایه‌های شکننده ضخامت خود را حفظ می‌نمایند در حالی که لایه‌های شکل‌پذیر در ستیغ چین دچار افزایش ضخامت می‌شوند.

ضعیف بوده و به نظر می‌رسد تاقدیس، از نوع چین‌های جدایشی با چرخش در یال‌ها است که با انتقال مواد (احتمالاً فقط در لایه‌های شکل‌پذیر) همراه می‌باشد. با توجه به مقدار کم نازک‌شدگی در یال‌ها و ضخیم‌شدگی در هسته تاقدیس، مدل چرخش در یال‌ها با انتقال مواد از لایه‌های نامتراکم به سمت هسته تاقدیس، می‌تواند مدل پیشنهادی برای تاقدیس دالان باشد. در اینجا ساده‌ترین مدل lift-off model with syncline evacuation- باشد که با منطقه مطابقت دارد و می‌توان این مدل

پانوش

- 1-Plunge
- 2-Kink method
- 3-Vergence
- 4-Long-term shortening rate
- 5-Inter limb angle

- 6-Increased Shortening
- 7-Limb rotation
- 8-Hinge migration
- 9-Buckling folds
- 10-Pseudo-Similar Folds

منابع

-شرکتی، ش.، ۱۳۸۴. تکتونیک پوشش رسوبی و پی سنگ در کمربند کوهزایی زاگرس، نکاتی در زمینه مدلسازی هندسی دگرشکلی، تهران، شرکت ملی نفت ایران، مدیریت اکتشاف.

-افلاطونیان، ع.، ۱۳۸۵. تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس سلطان در شمال شرق پلدختر در کمربند چین خورده رانده زاگرس، پایان‌نامه کارشناسی-ارشد زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.

-پیروز، م.، ۱۳۸۳. بررسی ساختاری پایانه جنوبی گسل منقارک، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۷۵ ص.

-Alavi, M., 2007. Structures of the Zagros fold thrust belt in Iran. Am. J. Sci., v. 307, p. 1064-1095.

-Allen, M. and Talebian, M., 2011. Structural variation along the Zagros and the nature of the Dezful Embayment. Geological Magazine, v. 148, p. 911-924.

-Authemayou, C., Chardon, D., Bellier, O., Malekzade, Z. and Shabanian, Z., 2006. Late Cenozoic partitioning of oblique plate convergence in the Zagros

Fold-and-Thrust belt (Iran), Tectonics, TC3002, 25 p.

-Berberian, M., 1995. " Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics", Tectonophysics, v. 241, p. 193-224.

-Casiello, E., Verges, J., Saura, E., Casini, G. and Fernandez, D.W., 2009. Fold patterns and multilayer rheology of the Lurestan province, Zagros simply folded belt, Iran, Journal of the

- Geological society, London, v. 166, p. 947-959.
- Dahlstrom, C.D.A., 1970. Structural geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountains. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 18, p. 332-406
- Deepak, C., Srivastava, R. and Lisle, J., 2004. Rapid analysis of fold shape using Be'zier curves, Journal of Structural Geology, v. 26, p. 1553-1559
- Falcon, N.L., 1974. "Southern Iran: Zagros Mountains, In Mesozoic Cenozoic orogenic belts: data for orogenic studies: Alpin-Himalayan orogens", Geol. Soc. London. Space, Pub., v. 4, p. 199-211.
- Fleuty, M.J., 1964. The description of folds: Proceeding of the Geologists Association, v. 75, p. 461-492.
- Jamison, W.R., 1987. Geometric analysis of fold development in overthrust terranes, Journal of Structural Geology, v. 9, p. 207-219.
- 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, v. 158(6), p. 969-981.
- Hudleston, P.J., 1973. Fold morphology and some geometrical implications of fold development; Tectonophysics, v. 46, p. 149-161.
- Molinaro, M., Leturmy, P., Guezou, J.C. and Frizon de Lamotte, D., 2005. The structure and kinematics of the southeastern Zagros fold-thrust belt, Iran: from thin- skinned to thick- skinned tectonics. Tectonics, v. 24, TC3007.
- Mitra, S., 2003. Structural models of fault detachment folds, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 86(9), p. 1673-1694.
- Mitra, S., 2003. A unified kinematic model for the evolution of detachment folds, Journal of Structural Geology, v. 25, p. 1659-1673.
- Mouthereau, F., Lacombe, O. and Meyer, B., 2006. The Zagros folded belt (Fars, Iran): constraints from topography and critical wedge modelling. Geophysical Journal International, v. 165, p. 336-356.
- Molinaro, M., Leturmy, P., Guezou, J.C., Frizon de Lamotte, D. and Eshraghi, S.A., 2005. The structure and kinematics of the southeastern Zagros fold-thrust belt, Iran: From thin-skinned to thick-skinned tectonics, Tectonics, p. 1-19.
- Ramsay, J.G., 1967. Folding and fracturing of rocks: Mc Graw-Hill, New York, 325 p.
- Ramsay, J.G. and Huber, M.I., 1978. The Techniques of Modern Structural Geology, v. 1, Strain Analysis. Academic Press, London, 307 p.
- O'Brien, C.A.E., 1950. Tectonic Problems of the Oil Field Belt of Southwest Iran. In: 18th International Geological Congress, Proceedings, Great Britain. Proc., London, pt., v. 6, p. 45-58.
- Oveisi, B., Lavé, J., van der Beek, P. and Carcaillet, J., 2008. Thick- and thin-skinned deformation rates in the central Zagros Simple Folded Zone (Iran) indicated by displacement of geomorphic surfaces, v. 176(2), p. 627-654.
- Oveisi, B., Lavé, J. and Beek, P., 2007. Rates and processes of active folding evidenced by Pleistocene terraces at the central Zagros front (Iran), in Thrust Belts and Foreland Basins, "Frontiers in Earth Sciences" Series, edited by O. Lacombe et al., Springer Verlag, New York, p. 265-285.
- Player, R.A., Halstrand, R.F. and Ghashghaie, M., 1966. The Central Lurestan Geological Survey 1963-1964 IOOC Report No. 1103 (Unpub.).

- Sattarzadeh, Y., Cosgrove, J.W. and Vita-Finzi, C., 2000. The interplay of faulting and folding during the evolution of the Zagros deformation belt. In: Cosgrove, J.W., Ameen, M.S. (Eds.), *Forced Folds and Fractures Special Publication no. 169*. Geological Society, London, p. 187-196.
- Sepehr, M., 2001. The Tectonic Significance of the Kazerun Fault Zone, Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. Thesis Submitted for the Degree for PhD, University of London, 215 p.
- Sepehr, M. and Cosgrove, J.W., 2004. "Structural Framework of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran." *Marine and Petroleum Geology*, v. 21, p. 829-834.
- Suppe, J., 1983. Geometry and kinematics of fault- bend folding, *American Journal Society*, v. 283, p. 684-721.
- Sherkati, S., Molinaro, M., Frizon de Lamotte, D. and Letouzey, J., 2005. Detachment folding in the Central and Eastern Zagros fold-belt(Iran): salt mobility, multiple detachments and late basement control. *Journal of Structural Geology*, v. 27, p. 1680-1696.
- Talebian, M. and Jackson, J., 2004. A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran", *Geophysical Journal International*: v. 156, p. 506-526.
- Twiss, R.J. and Moores, E.M., 2007. *Structural Geology*, Edition second, W. H. Freeman and Company, New York.