



تحلیل ساختاری و اثر سیستم گسلش در مخزن آسماری- جهرم میدان گلخاری

سلیمان سنائی^۱، علی یساقی^۲، امیرحسین صدر^۳، مجتبی همایی^۴، سمیه دریکوند^{۵*}

۱- کارشناس ارشد دانشگاه بوعلی سینا، ایران

۲- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

۳- استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، ایران

۴- کارشناس شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب، ایران

۵- استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳

چکیده

تاق‌دیس گلخاری در زیرپهنه فروبار دزفول واقع شده و سنگ مخزن نفتی این تاق‌دیس، سازند آسماری- جهرم می‌باشد. وجود دو گسل راندگی زیرسطحی با شیب‌های مخالف هم در دو یال تاق‌دیس باعث ایجاد ساختار بالاآمدگی شده است. سبک چین‌خوردگی در تاق‌دیس گلخاری بر مبنای دلایلی چون وجود سازند دشتک به عنوان سطح جدایش میانی در منطقه، شکل جعبه‌ای آن در برش‌های عرضی و تحلیل پارامترهای هندسی برشها و مقایسه آنها با انواع مدل‌های ارائه شده برای چین‌های مرتبط با راندگی، نیز جدایشی بودن چین را تأیید می‌کند. میزان کوتاه‌شدگی در پهلوی پیشانی ۱۶۰۵ m پهلوی خلفی ۲۱۶۰ m محاسبه شده است. برای شناسایی شکستگی‌های کششی در سازند آسماری، از روش دایره محاطی استفاده شده است. با استفاده از این روش، اثر سطح محوری چین در زیر سازند گچساران به دست آمده و با مقایسه آن با اثر سطح محوری روی سطح زمین، میزان جابجایی سطح محوری محاسبه شده است. ارتباط جنبشی گسل‌های عرضی- برشی و گسل‌های پی سنگی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه ژئومغناطیسی و مقایسه روندهای غالب آنها تحلیل گردیده است. بر این اساس، دو گسل اصلی با سازوکار غالب راستالغز که در غرب (L₁) و شرق (L₂) تاق‌دیس گلخاری قرار دارند هم‌روند با گسل‌های پی سنگی می‌باشند، لذا این روند به عنوان پهنه اصلی دگرشکلی طبق مدل ریدل در نظر گرفته شده است.

واژه‌های کلیدی: کمربند چین- رانده زاگرس، چین جدایشی، تحلیل ساختاری، سطح جدایشی میانی، گسل عرضی- برشی، تاق‌دیس

گلخاری



Structural analysis and affect of fault system in in Asmari-Jahrom Reservoir of Golkhari Field

Sanaei .S¹; Yassaghi .A²; Sadr. S³; Homaei. M⁴; Derikvand. S⁵

1- M.Sc, Bu-Ali Sina University, Iran

2- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Tarbiat modares University, Iran

3- Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Bu-Ali Sina University, Iran

4- Expert of the National Iranian South Oil Company, Iran

5- Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Lorestan University, Iran.

Abstract

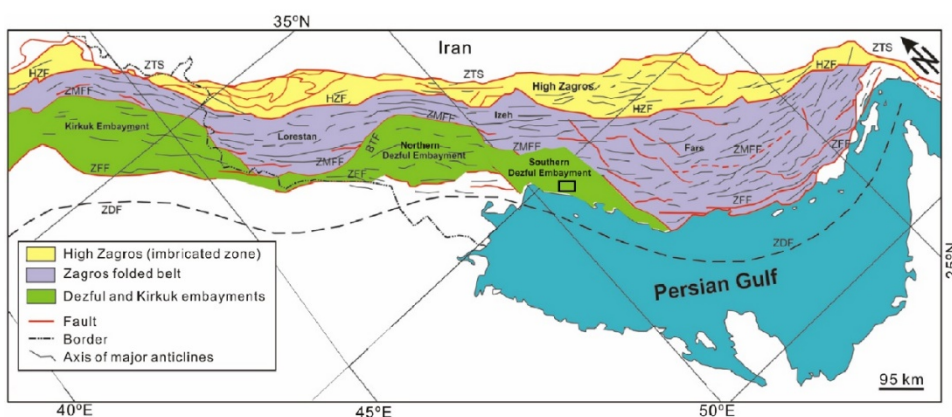
Golkhari anticline is located in the Dezful Embayment Subzone and the hydrocarbon reservoir is the Asmari-Jahrum Formation. The presence of two subsurface thrust faults with opposite dip direction the limbs of anticline, leads to the formation of a Pop-up Structure. Based on the existence of Dashtak Formation as median detachment surface in region, the box fold shape of the anticline in structural cross sections and analysis of the geometric parameters of the sections and their comparison with the models proposed for fault-related folds indicate detachment fold geometry is considered for folding style of the anticline. Respectively, the amount of shortening in the forelimb and backlimb is 1605 m and 2160 m. The inscribed circle analysis has been applied to detect fractures in the Asmari reservoir. Using this method, the trace of axial plane of the fold can be obtained under Gachsaran Formation. By comparison with the trace of axial plane in the surface of Earth, the displacement of axial plane was calculated. The inscribed circle analysis has been applied to detect extensional fractures in the Asmari reservoir. Using geomagnetic map, satellite images and comparing their dominant fault trends with basement faults in region, their kinematic relationship were analyzed. Based on this analysis, the main shear-transverse fault zones that are located at the west (L_1) and east (L_2) of the anticline, their trend are similar to the basement faults. This trend is considered as main deformation zone, according to Ridel model.

Keywords: Zagros fold-thrust belt, Detachment fold, Structural analysis, median detachment surface, shear-transverse fault, Golkhari anticline.

مقدمه

گلخاری، که یک چین مرتبط با گسل راندگی می‌باشد، پرداخته شده است. تاقدیس گلخاری در ۲۵ کیلومتری شمال شرق بندر گناوه، در بخش فروبار دزفول جنوبی و در کمربند چین- رانده زاگرس قرار دارد که یکی از میدان-های نفتی این بخش محسوب می‌شود (شکل ۱). روند عمومی تاقدیس گلخاری شمال غرب- جنوب شرق با آزمون اثر سطح محوری در ۱۱۷ درجه می‌باشد. تاقدیس‌های بینک در جنوب غرب آن و سولابدر در شمال شرق آن قرار دارد. رخنمون‌های سطحی این تاقدیس را عموماً نهشته‌های میوسن و پلیو- پلیستوسن تشکیل داده‌اند که به ترتیب از بالا شامل بختیاری، لهبری و آغاچاری می‌باشد (شکل ۲) و در زیر اینها سازندهای میشان، گچساران، آسماری، پابده، گورپی، ایلام، کژدمی، داریان، گدون، فهلپیان و سرمه قرار دارد. در این پژوهش، با مطالعه ساختاری تاقدیس گلخاری بر مبنای داده‌های میدانی، تصاویر ماهواره‌ای و برداشت‌های لرزه‌نگاری بازتابی، اثر خطواره‌ها و گسل‌های عرضی- برشی بر مخزن آن تحلیل شده است.

کمربند زاگرس بخشی از کمربند فعال آلپ- هیمالیا است و فعالیت آن حاصل همگرایی ورقه عربی و ایران مرکزی می‌باشد. این همگرایی از زمان میوسن یا الیگوسن و پس از بسته شدن دریای نئوتتیس آغاز شده است (Agard et al. 2005; Mcquarrie, 2004). دگرریختی پوشش رسوبی در کمربند چین- رانده زاگرس که بخش پیش‌بوم کوهزاد آلپی زاگرس را تشکیل می‌دهد، شبیه دیگر کمربند‌های چین- رانده با توسعه گسل‌های راندگی و چین‌خوردگی‌ها همراه می‌باشد. البته بر خلاف غالب این کمربند‌ها، گسل‌های رانده در زاگرس چین- رانده تظاهرات سطحی کمتری دارند و غالباً مدفون می‌باشند (Berberian, 1995). از آنجا که تشکیل بیشتر مخازن هیدروکربنی حوضه رسوبی زاگرس مرتبط با گسل‌های راندگی می‌باشند، تحلیل ساختاری این مخازن هیدروکربنی می‌تواند کمک زیادی به بهره‌وری بیشتر و کاهش هزینه‌ها نماید. در این پژوهش به تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس



شکل ۱: خصوصیات ساختاری و زیربخش‌های تکتونیکی کمربند چین- رانده زاگرس، جنوب غرب ایران و شمال شرق عراق. مکان گسل‌های اصلی و محور تاقدیس‌های بزرگ در حوضه پیش‌بوم کمربند کوهزایی زاگرس رسم شده است (اصلاح شده بعد از Pirouz et al. 2011). HZF گسل زاگرس مرتفع، BTF گسل بالارود، ZMFF گسل پیشانی کوهستان زاگرس، ZTS سیستم راندگی زاگرس، ZFF گسل فروبار زاگرس، ZDF گسل دگرشکلی زاگرس و KTF گسل کازرون (اقتباس از Seraj et al. (2020)). منطقه مورد مطالعه در بخش جنوبی فروبار دزفول قرار دارد. موقعیت آن روی نقشه با یک مستطیل نشان داده شده است.

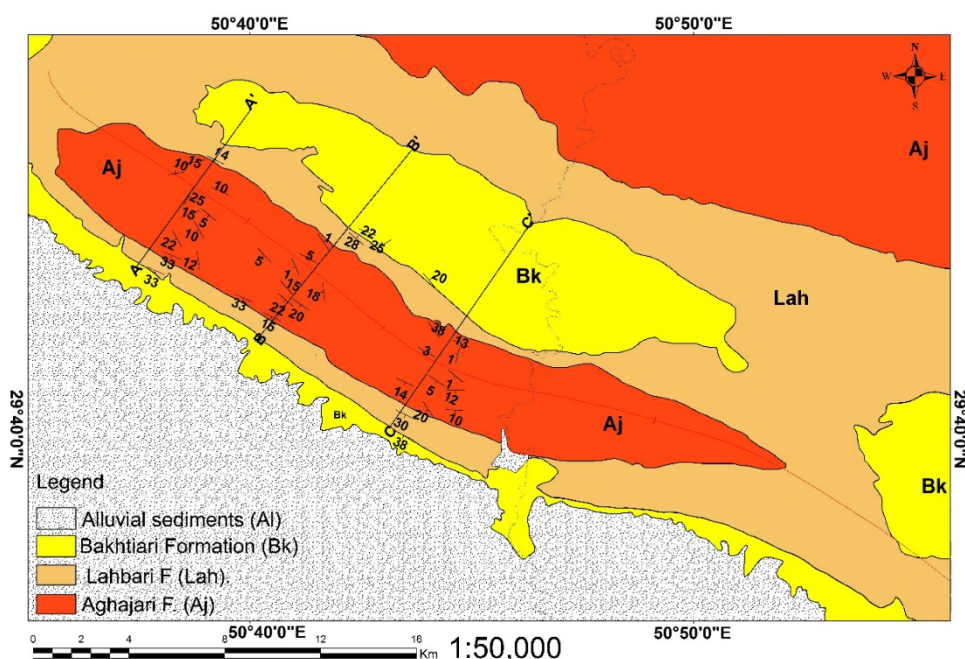


روش کار

(1996) استفاده گردیده است. جهت بررسی دقیق تر هندسه ساختاری تاقدیس گلخاری، سه پیمایش ساختاری AA'، BB' و CC' به صورت تقریباً عمود بر محور تاقدیس تهیه گردیده است (شکل ۴) که مسیر برش BB' منطبق با برش لرزه‌نگاری بازتابی (تهیه شده توسط شرکت ملی نفت ایران) می‌باشد (شکل ۵). داده های سطحی با استفاده از پیمایش‌های صحرائی و داده‌های زیرسطحی به کمک اطلاعات چاه‌های حفاری شده و برش‌های لرزه‌نگاری بازتابی برای ترسیم این برش‌های ساختاری به روش کینک گردآوری شده‌اند.

تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس گلخاری

با توجه به موقعیت ساختاری تاقدیس گلخاری در بخش چین-رانده زاگرس، این تاقدیس به عنوان چین مرتبط با راندگی فرض شده است (McQuarrie, 2004). برای تحلیل هندسه‌ی تاقدیس در واحدهای مخزنی یا هندسه سنگ مخزن با استفاده از مدل‌های تحلیل هندسی چین‌ها در کمربندهای چین-رانده، مدل Jamison (1987)، روش دایره محاطی و مدل Poblet and McClay



شکل ۲. نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه. مسیر پیمایش و برش‌های عرضی بر روی نقشه مشخص شده است.

است، این موضوع بر روی نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه (شکل ۲) نیز قابل مشاهده است. از آنجا که مخزن اصلی این میدان نفتی سازند آسماری می‌باشد بررسی‌های انجام گرفته شده به این سازند معطوف شده است. میانگین زاویه بین یالی اندازه‌گیری شده در سازند آسماری در سه برش ساختاری عرضی تهیه شده برابر با ۱۰۱ درجه می‌باشد که با توجه به رده‌بندی فلوتی در رده چین‌های باز قرار می‌گیرد.

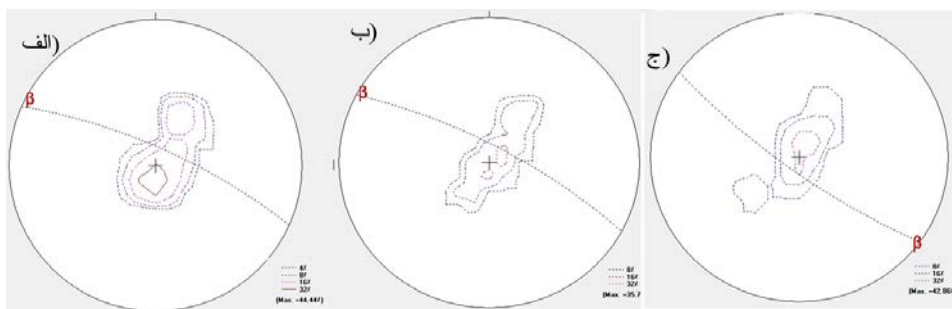
تحلیل هندسی تاقدیس گلخاری با استفاده از

پیمایش‌های ساختاری

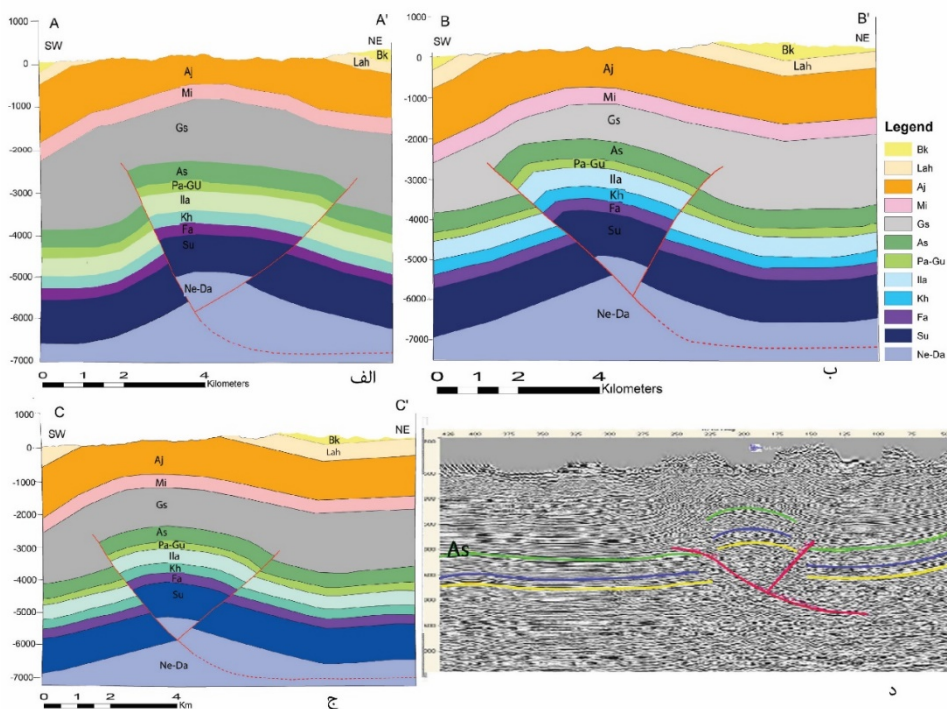
مشخصات محور چین، سطح محوری و زاویه بین یالی در سه پیمایش ساختاری در جدول (۱) ارائه شده‌اند. مقایسه موقعیت محور و سطح محوری تاقدیس گلخاری در سه مسیر AA'، BB'، CC' نشان می‌دهد (شکل ۴) در روند محور این تاقدیس حدود ۹ درجه چرخش صورت گرفته

شناسایی شده است. در مسیر پیمایش AA' شواهدی از شکل گیری چین هم رشدی در سازند آغاچاروی مشاهده شده است. سازند بختیاری همزمان با چین خوردگی سازند آغاچاروی ته نشست شده است (شکل ۵ الف). در مسیر پیمایش BB' در ناحیه لولایی تاقدیس گسل های نرمالی مشاهده شده است که می تواند نشانه ای از نیروی کششی ایجاد شده در هنگام چین خوردگی باشد (شکل ۵ ب).

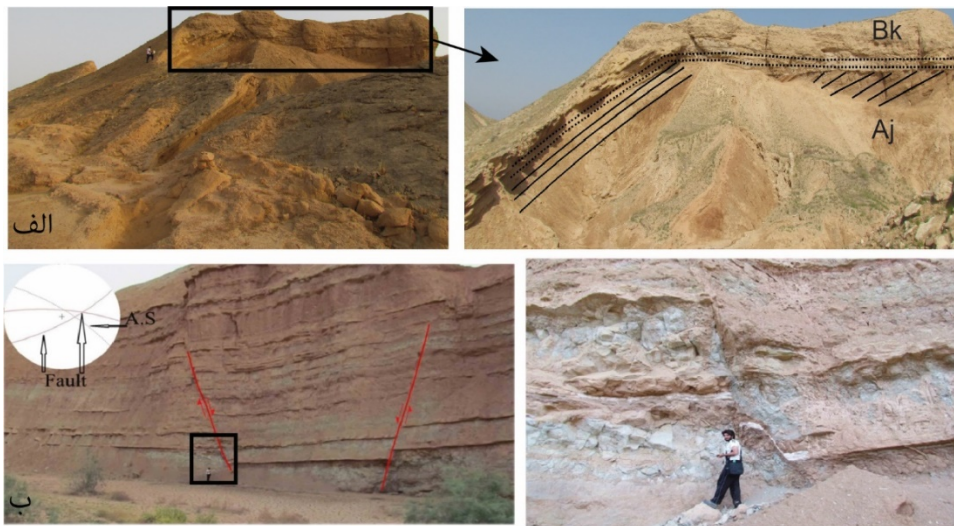
سازند آسماری توسط دو گسل راندگی در یال جنوب- غربی و شمال شرقی بریده شده است و محدوده بین این دو گسل یک ساختار بالآمدگی را به وجود آورده است و تاقدیس گلخاری هندسه ای شبیه به چین های جدایشی جعبه ای گسل خورده (Mitra, 2002) دارد (شکل ۴). لایه جدایشی عامل توسعه تاقدیس، سازند دشتک می باشد. این نوع چین های جدایشی که سازند دشتک لایه جدایشی آنهاست در ناحیه ایذه توسط (Sherkati et al. (2005



شکل ۳. موقعیت سطح محوری و محور چین در برش های عرضی الف) AA' (ب) BB' (ج) CC'



شکل ۴. برش های عرضی تاقدیس گلخاری. الف) برش عرضی AA' (ب) برش عرضی BB' (ج) برش عرضی CC' (د) برش عرضی BB' منطبق بر برش لرزه ای R-710 شرکت مناطق نفت خیز جنوب



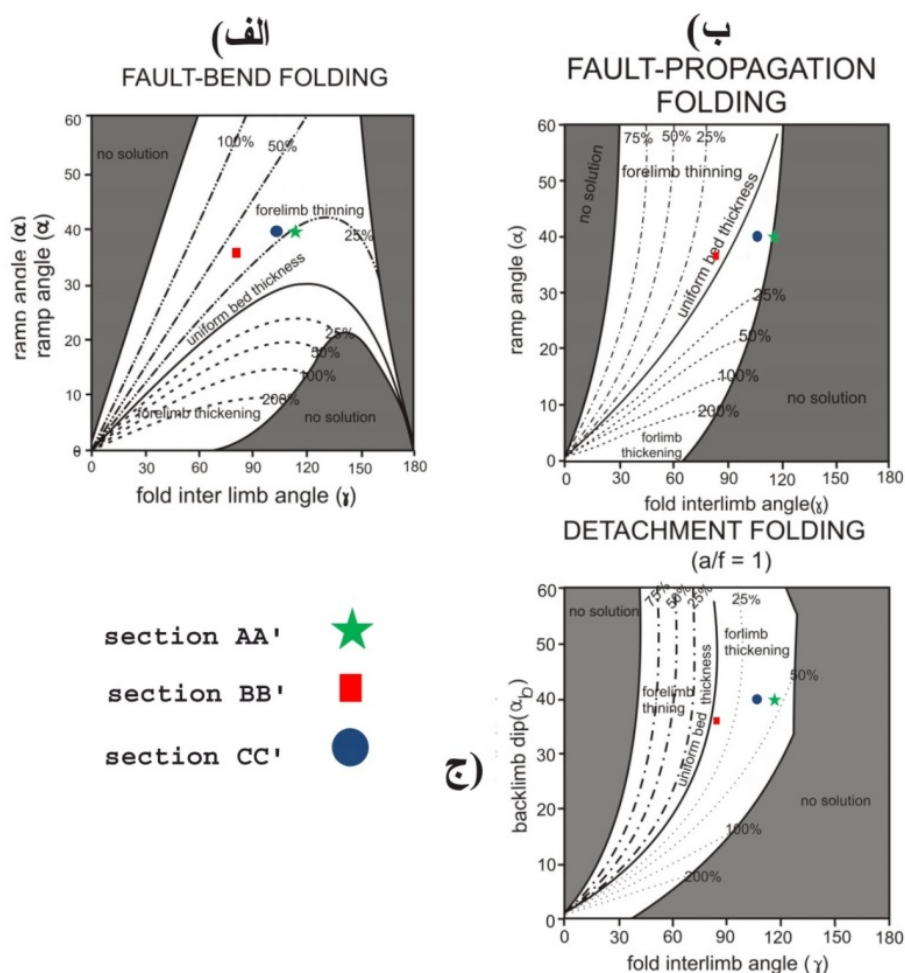
شکل ۵. الف) هم‌رشدی سازند بختیاری همزمان با چین خوردگی سازند آغاچاری (دید به سمت شمال شرق) ب) ساختار گرابنی در مرکز تاقدیس، سازند آغاچاری (دید به سمت جنوب غرب)

تحلیل هندسی تاقدیس گلخاری با استفاده از

نمودار (Jamison, 1987)

شدگی پهلوی پیشانی برای برش عرضی AA' و نازک شدگی ۵٪ برای پهلوی پیشانی برش عرضی BB' و ۱۵٪ ضخیم شدگی برای پهلوی پیشانی برش عرضی CC' دارد. با توجه به این که ضخیم شدگی و نازک شدگی پهلوی پیشانی این محدوده با ضخامت محاسبه شده همخوانی ندارد پس نمی‌توان تاقدیس گلخاری را چین انتشار گسلی دانست. در نمودار مربوط به چین‌های جدایشی (شکل ۶ ج) برش‌های AA' و CC' ضخیم شدگی بیش از ۲۵٪ پهلوی پیشانی را نشان می‌دهند که با مقدار ضخیم شدگی محاسبه شده همخوانی ندارد. برای برش عرضی BB' میزان ضخیم شدگی حدود ۴٪ برای پهلوی پیشانی به دست آمده که با مقدار ضخیم شدگی محاسبه شده مطابقت دارد و بیانگر آن است که تاقدیس گلخاری هندسه‌ای شبیه به چین‌های جدایشی دارد. گرچه وجود راندگی‌ها با چین‌های فرادیواره همراه نزدیک به هندسه چین‌های انتشار گسلی، ممکن است دلالت بر هندسه مشابه در تاقدیس باشد، لیکن چنین راندگی‌هایی بر اساس مدل (Mitra, 2002) می‌تواند در پهلوی چین‌های جدایشی نیز توسعه یابد.

برای شناسایی هندسه تاقدیس گلخاری از نمودارهای (Jamison, 1987) استفاده شده است. پارامترهای مورد استفاده شامل شیب پلکان گسل (α) و یا شیب پهلوی خلفی (α_b)، زاویه بین پهلوه‌ها (γ) و میزان نازک شدگی یا ضخیم شدگی سازند خاصی در پهلوی پیشانی نسبت به پهلوی خلفی می‌باشد که توسط داده‌های ژئوفیزیکی، برداشت‌های صحرائی و برش‌های عرضی (جدول ۱)، استخراج شده‌اند. تغییرات ضخامت سازند آسماری در پهلوی پیشانی و خلفی با استفاده از چاه‌های حفر شده در هر یک از این پهلوه‌ها اندازه‌گیری شده است. قرارگیری هندسه تاقدیس در سه برش ساختاری، در نمودار چین‌های خم گسلی (شکل ۶ الف) در محدوده‌ای که برش‌های عرضی مورد نظر با نازک شدگی پهلوی پیشانی همراه است با ضخامت محاسبه شده برای آن‌ها همخوانی ندارد، بنابراین تاقدیس گلخاری نمی‌تواند چین خم گسلی باشد. قرارگیری هندسه تاقدیس در سه پیمایش، در نمودار چین‌های انتشار گسلی (شکل ۶ ب) نشان از ۲۵٪ ضخیم



شکل ۶: موقعیت تاق‌دیس گلخاری با توجه به برش‌های عرضی بر روی نمودارهای (Jamison (1987)

جدول ۱: خصوصیات هندسی تاق‌دیس گلخاری در امتداد برش‌های عرضی مورد مطالعه

C-C'	B-B'	A-A'	نام مقطع
۱۰۴	۸۳	۱۱۴	زاویه بین یالی
N120E/05	N300E/01	N291E/03	محور چین
N126E/82SW	N113E/80NE	N114E/80NE	سطح محوری
۴۰	۳۶	۴۰	شیب پلکان گسل

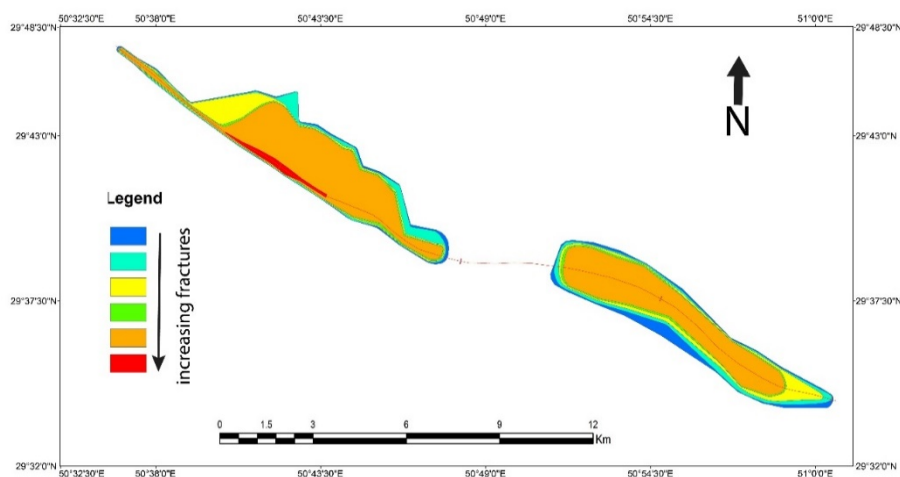


تحلیل هندسی با استفاده از روش دایره محاطی

هدف از به کارگیری روش تحلیل دایره محاطی تعیین محدوده گسترش شکستگی‌های باز ناشی از خمش عرضی چین خوردگی یا شکستگی‌های کششی ساختار تاقدیسی است. برای استفاده از روش دایره محاطی، بر روی جدیدترین نقشه خطوط تراز زیر سطحی راس سازند آسماری (NIOC, 2012) ۳۲ برش عرضی ساختاری در طول میدان، عمود بر محور تاقدیس ترسیم شده است. سپس پهنه‌های مختلف سازند بر اساس خصوصیات پتروفیزیکی و سنگ شناختی جدا شده است. یک دایره محاطی به صورت مماس با نقاط عطف پال‌های ساختار رسم شده اند (Intera Company, 1992). در نهایت محل برخورد این دوایر با سر پهنه‌های مختلف، برداشت و بر روی نقشه پایه میدان پیاده شده و نقشه هم ارزش حاصل از این نقاط تهیه شده است. این بررسی نشان می‌دهد، در قسمت مرکزی تاقدیس، دایره‌ی محاطی با زون‌های عمیق‌تر برخورد می‌کند. به طوری که در قسمت مرکزی تاقدیس دایره‌ی محاط شده پایین‌ترین زون‌ها را نیز قطع می‌کند؛ این مساله نشان می‌دهد که تاقدیس در قسمت

مرکزی چین انحنای بیشتری نسبت به سایر بخش‌های چین دارد. شکستگی‌های باز کششی حاصل از چین خوردگی یا شکستگی‌های طولی به کوهانه‌های تاقدیس محدود شده‌اند و از روند محور ساختار تبعیت می‌کنند.

این روش بر این فرض استوار است که حداکثر توزیع و گسترش شکستگی‌های حاصل از انحنای چین خوردگی به مناطق با حداکثر خمش، یعنی نواحی واقع در بین نقاط عطف چین محدود می‌شود. بنابراین ترسیم خط گذرا از نقاط با حداکثر خمیدگی خطوط تراز می‌کند که حدود گسترش شکستگی‌های منطقه‌های مخزنی را مشخص می‌کنند، می‌تواند خط لولای چین و به عبارتی محور چین را مشخص سازد (شکل ۷). با مقایسه اثر سطح محوری زیرسطحی که با روش دایره محاطی به دست آمده و اثر سطح محوری بر روی سطح زمین، میزان جابجایی سطح محوری چین به طور متوسط ۱۵۰۰ متر محاسبه شده است که این مقدار با مقدار جابجایی که توسط برش‌های عرضی بدست آمده مطابقت دارد. سازند گچساران با توجه به ضخامت زیاد و رئولوژی آن بعنوان یک افق جدایشی عمل نموده است و سبب شده سطح محوری چین در سطح زمین نسبت به سطح محوری زیر سطحی جابجایی قابل ملاحظه‌ای نشان دهد.



شکل ۷: نقشه پهنه بندی مناطق مستعد شکستگی در سازند آسماری با استفاده از روش دایره محاطی. تعیین موقعیت اثر سطح محوری زیرسطحی در راس سازند آسماری



پهلویی (۷) و زاویه بین سطح محوری و افق جدایش (۸) از روابط (۲) و (۳) به دست می‌آید.

(رابطه ۱)

$$S = Lb[1 - \cos(vb)] + Lf [1 - \cos(vf)] + Lt[1 - \cos(vt)]$$

$$\gamma = 90^\circ - (vb/2) - (vf/2) \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$\delta = 180^\circ - vf - \gamma \quad (\text{رابطه ۳})$$

بنابراین مطابق روابط بالا می‌توان مقدار کوتاه شدگی سازند آسماری را برای تاقدیس گلخاری از متغیرهای به دست آمد از برش عرضی BB' بدین شکل محاسبه کرد:

$$S = 4320[1 - \cos(36)] + 2140[1 - \cos(61)] + 900[1 - \cos(10)] = 1940.3m$$

$$\gamma = 90 - (30.5) - (18) = 41.5^\circ$$

$$\delta = 180 - 61 - 41.5^\circ = 77.5^\circ$$

همچنین می‌توان مقدار کوتاه شدگی را با محاسبه اختلاف طول اولیه سازند آسماری و فاصله بین دو سر آن بعد از کوتاه شدگی (طول ثانویه) به دست آورد (رابطه ۴). بنابراین معادله میزان کوتاه شدگی محاسبه شده از برش عرضی BB'، ۱۹۴۱ m می‌باشد.

روش دیگر جهت محاسبه کوتاه شدگی، با استفاده از نمودارهای ارائه شده، توسط مدل Poblet and McClay (1996) می‌باشد. پارامترهای مورد نیاز جهت برآورد میزان کوتاه شدگی تاقدیس، طول و شیب پهلوه‌های پیشانی و خلفی و نسبت RI (رابطه ۴) می‌باشند.

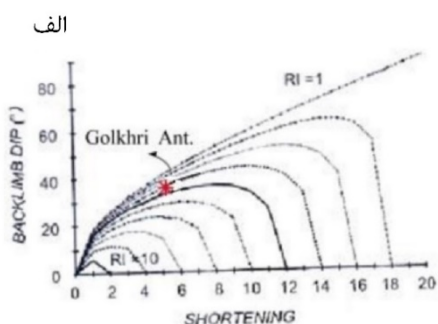
$$R1 = \frac{\sin(vf)}{\sin(vb)} = \frac{\sin(61)}{\sin(36)} = 1.48 \quad (\text{رابطه ۴})$$

تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس گلخاری بر

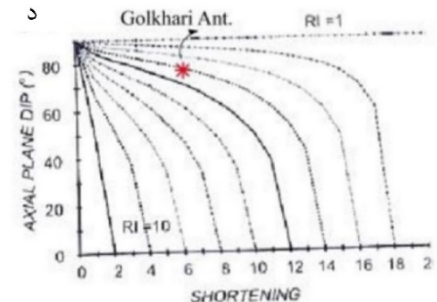
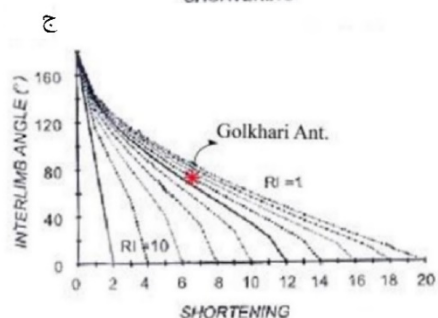
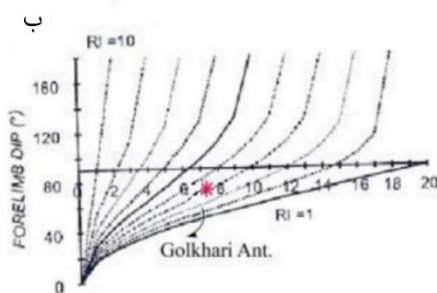
اساس مدل (Poblet and McClay 1996)

(Poblet and McClay 1996) معتقدند که تحول جنبشی چین‌های جدایشی در غالب کمربندهای چین-رانده منطبق بر مدل Dahlstrom (1990) می‌باشند. بر مبنای این مدل، با افزایش جابجایی گسل راندگی، کوتاه شدگی در لایه شکل پذیر رخ داده و موجب مهاجرت آن به بالاترین بخش تاقدیس در ناحیه لولایی می‌گردد. چنین مهاجرتی موجب برخاستگی ناحیه لولایی تاقدیس می‌شود. برخاستگی با میزان کوتاه شدگی رابطه مستقیم دارد و در این صورت قانون ثابت بودن سطح رعایت می‌گردد. برای برقراری این قانون در مسیر تکامل جنبشی چین می‌بایستی با افزایش طول پهلوه‌ها شیب آن‌ها نیز افزایش یابد. Poblet and McClay (1996) برای تحلیل هندسی چین‌های جدایشی بر اساس تکامل جنبشی مدل Dahlstrom (1990) نمودارهایی ارائه نمودند. چنانچه میزان شیب پهلوه‌های چین و نسبت سینوس آن‌ها اندازه‌گیری شود می‌توان میزان کوتاه شدگی لایه مقاوم بالای لایه جدایشی شکل پذیر که چین در آن توسعه یافته است را محاسبه نمود. اگر این میزان با مقادیر کوتاه شدگی به دست آمده از اندازه‌گیری برشی از تاقدیس گلخاری مطابقت داشته باشد، هندسه و تحول جنبشی چین مورد نظر منطبق بر مدل می‌باشد. با توجه به این که تنها برش عرضی BB' در نمودارهای Jamison (1987) جدایشی بودن چین را نشان داده است، بنابراین تحلیل جنبشی تاقدیس بر اساس مدل Poblet and McClay (1996) بر روی این برش عرضی صورت گرفته است. به کمک رابطه (۱) می‌توان مقدار کوتاه شدگی (S) یک لایه چین خورده را در بالای یک سطح جدایشی محاسبه نمود. در این روابط، Lb و Lt به ترتیب طول پهلوه‌های پیشانی، خلفی و لولایی و vf و vb و vt به ترتیب شیب پهلوه‌های پیشانی، خلفی و لولایی می‌باشد. همچنین نیمی از زاویه بین

نرمالیزه گردد تا میزان کوتاه شدگی واقعی به دست آید. زوایای نشان داده شده بر روی این نمودارها به درجه و واقعی، ولی مقادیر خطی بر مبنای $Lf = 10$ نرمالیزه شده اند.



با توجه به این پارامترها موقعیت تاقدیس گلخاری بر روی نمودارهای شکل (۸) نمایش داده شده است. میزان کوتاه شدگی بدست آمده که تقریباً در نمودارهای شکل (۸) یکسان است، باید بر مبنای طول پهلوی پیشانی تاقدیس



شکل ۸: نمودارهای تعیین پارامترهای هندسی چین‌های جدایشی (Poblet and McClay (1996) منحنی‌های نمودارها، منطبق بر مقادیر RI به ترتیب ۱، ۱، ۱۱، ۱، ۲۵، ۱، ۴۳، ۱، ۶۷، ۲، ۵۰، ۳، ۳۳ و ۱۰ می‌باشند. (موقعیت تاقدیس گلخاری بر مبنای پارامترهای هندسی آن به صورت ستاره در نمودارها نمایش داده شده است).

روی نمودار (۸) برابر ۶،۹ به دست آمده است. این اعداد نرمالیزه شده را در رابطه (۵) قرار می‌دهیم تا مقدار کوتاه شدگی واقعی برای تاقدیس به دست آید.

مقدار کوتاه شدگی واقعی بر مبنای نمودار برای پهلوی خلفی و پیشانی، از رابطه ساده (۵) مشتق می‌شود:

(رابطه ۵)

$$S = \frac{Shortening Lf}{10}$$

مقدار کوتاه شدگی برای پهلوی خلفی:

$$S = \frac{4320 \times 5}{10} = 2160m$$

مقدار کوتاه شدگی برای پهلوی پیشانی:

$$S = \frac{2140 \times 7.5}{10} = 1605m$$

با جایگزینی کوتاه شدگی‌های به دست آمده از نمودار (شکل ۸ الف و ب) به جای کوتاه شدگی در معادله بالا، مقدار کوتاه شدگی واقعی به دست می‌آید. با توجه به مقدار RI به دست آمده در تاقدیس گلخاری نمودار (شکل ۸ الف) مقدار کوتاه شدگی را برای پهلوی خلفی برابر ۵،۱ نشان می‌دهد، درحالی که این مقدار برای پهلوی پیشانی بر

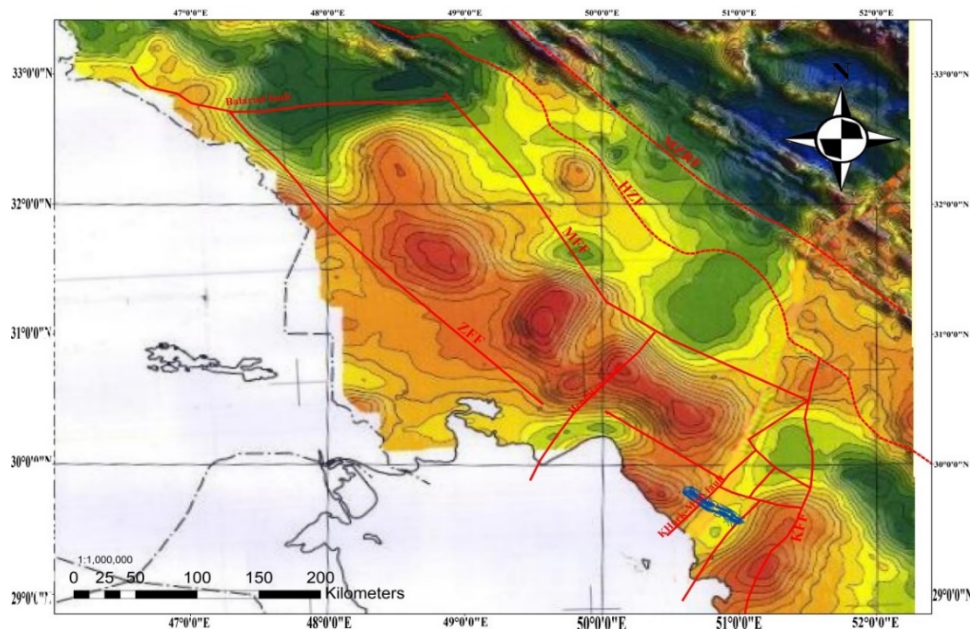
برای بررسی تأثیر پی سنگ در منطقه مورد مطالعه ابتدا محل تاقدیس گلخاری بر روی نقشه پی سنگی (طباطبایی، ۱۳۷۷) مشخص شد (شکل ۱۱). بر این اساس، تاقدیس گلخاری بر روی دو گسل پی سنگی قرار دارد؛ که از این دو گسل، گسل خارگ-میش که در غرب تاقدیس قرار دارد، از گسل های شناخته شده فروافتادگی دزفول می باشد. برش طولی لرزه ای تهیه شده از منطقه نیز مؤید این دو گسل عرضی-برشی می باشد. بهم ریختگی حاصل از گسل های L_1 (گسل خارگ-میش) و L_2 در سازندهای آسماری، سروک و فهلیان به وضوح مشخص است. همچنین تأثیر گسل عرضی-برشی به صورت خمیدگی این لایه ها قابل مشاهده می باشد (شکل ۱۲). اثر بهم ریختگی های حاصل از گسل های عرضی-برشی در تبخیری های میوسن (سازند گچساران) تحت تأثیر جریان یافتن، در برش لرزه نگاری طولی مشاهده نمی شود (شکل ۱۲).

پهنه ی دگرشکلی اصلی عمیق^۱ (PDZ) حاصل از این گسل های پی سنگی سبب چرخش سطح محوری و خمیدگی تاقدیس شده است. به طوری که، در برش ساختاری 'CC' جهت شیب سطح محوری به سمت جنوب غرب و در برش های ساختاری 'BB' و 'AA' به سمت شمال شرق می باشد (جدول ۱).

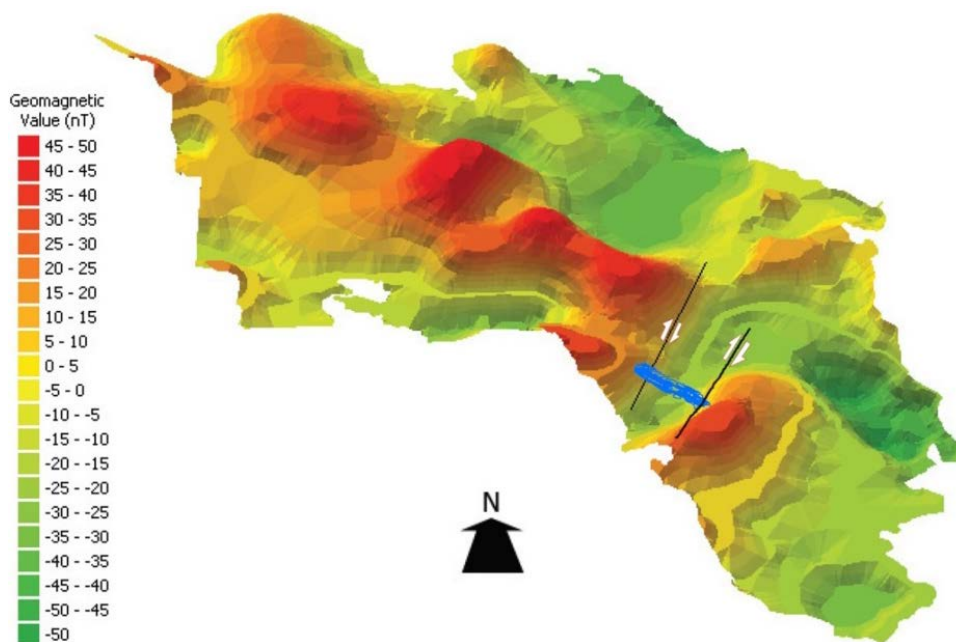
با قرار دادن مقدار کوتاه شدگی به دست آمده از نمودار شکل (الف) در نمودارهای ج و د به ترتیب مقدار زاویه γ (41°) و δ (78°) به دست آمده است. مقایسه نتایج به دست آمده از نمودارها با مقادیر به دست آمده از روابط، نشان دهنده مقادیر نزدیک به هم می باشند. این تطابق بیانگر آن است که هندسه تاقدیس گلخاری مشابه هندسه چین های جدایشی ارائه شده توسط (Dahlstrom 1990) می باشد و لذا هندسه چین جدایشی و تکامل جنبشی تحلیل شده آن برای تاقدیس گلخاری، بر مبنای مدل (Poblet and McClay 1996) معتبر می باشد.

تأثیر گسل های پی سنگی

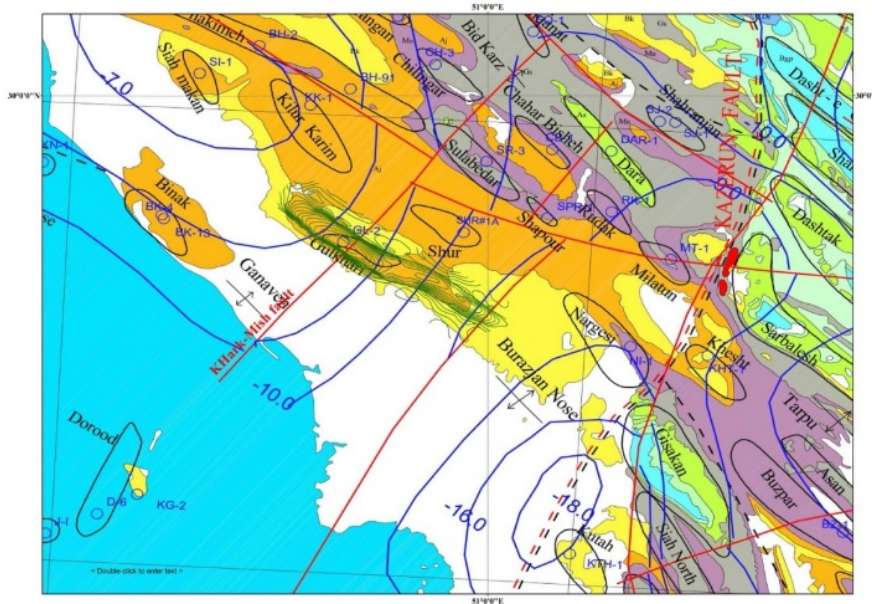
با استفاده از نقشه انطباق یافته ژئومغناطیس ایران (طباطبایی، ۱۳۷۰) مدل سه بعدی پی سنگ در منطقه مورد مطالعه تهیه شده است (شکل ۹). بر اساس این نقشه در فروبار دزفول چند ساختار مورب نسبت به روند کلی زاگرس وجود دارد. این ساختارها، سه برجستگی یا بلندای قدیمی کنترل شده به وسیله گسل های عمیق پی سنگی، با روند شمال، شمال شرق-جنوب، جنوب غرب، شامل بلندی های هفتگل، هندیجان و خارگ-میش هستند (Stoneley, 1981)؛ که بلندای خارگ-میش، در منطقه مورد مطالعه واقع شده و از زیر تاقدیس گلخاری عبور می کند (طباطبایی، ۱۳۷۷) (شکل ۱۰).



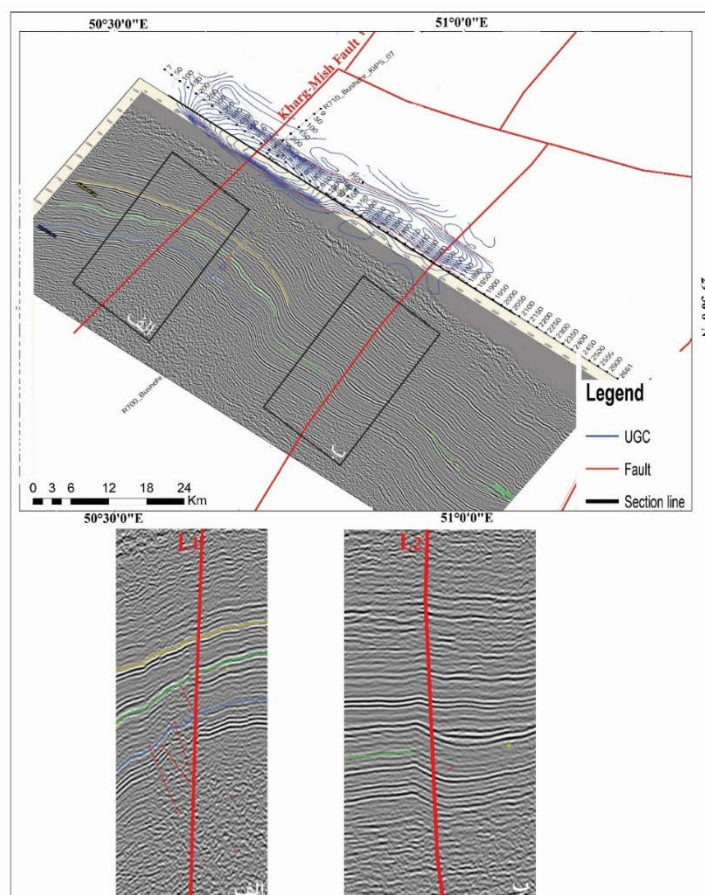
شکل ۹: قشه ژئومغناطیس ایران (طباطبایی ۱۳۷۰) به همراه گسل‌های پی‌سنگی (طباطبایی ۱۳۷۷) و منطقه مورد نظر



شکل ۱۰: مدل سه بعدی ژئومغناطیسی برای پی‌سنگ ناحیه فروبار دزفول و محل تاق‌دیس گلخاری



شکل ۱۱: نقشه گسل های پی سگی طباطبایی (۱۳۷۷). موقعیت تاقیدس گلخاری بر روی نقشه با خطوط هم تراز سبز رنگ مشخص شده است.



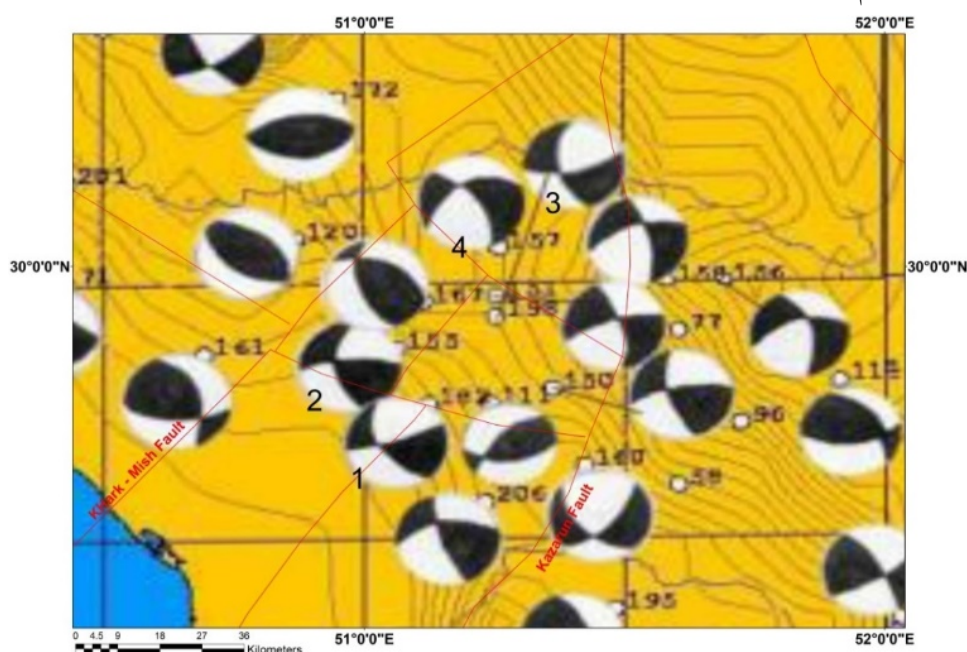
شکل ۱۲: برش طولی لرزه‌ای و نمایش گسل های عرضی-برشی. الف) گسل L₁ (گسل خارگ-میش). ب) گسل L₂



سازوکار گسل خارگ - میش

استنباط کرد (شکل ۱۰). همچنین با بررسی برش طولی لرزه‌ای گسل خارگ - میش (شکل ۱۲ الف)، مشاهده می‌شود بیشترین بهم ریختگی‌ها دارای شیب به سمت شرق و راستای تقریبی این گسل N050E می‌باشد. توزیع سازوکار زلزله‌ها و راستای گسل خارگ - میش با یکدیگر مطابقت دارند (شکل ۱۳) و حرکت راست بر را برای گسل خارگ - میش نشان می‌دهند.

گسل خارگ - میش از جزیره خارگ و خارگو در جنوب تا کوه میش در شمال کشیده شده است. بررسی نقشه یک میلیونوم مغناطیس ایران در این مطالعه نشان می‌دهد گسل خارگ - میش دارای شیب نزدیک به قائم با کمی شیب به سمت شرق می‌باشد؛ که می‌توان آن را با توجه به منحنی‌های هم شدت و مدل سه بعدی ارائه شده



شکل ۱۳. نقشه لرزه‌زمین‌ساخت تهیه شده با استفاده از داده‌های سایت هاروارد (اقتباس از داوودی، ۱۳۸۲). به همراه گسل‌های پی‌سنگی مشخص شده توسط طباطبائی (۱۳۷۷)

خطواره‌های شکستگی

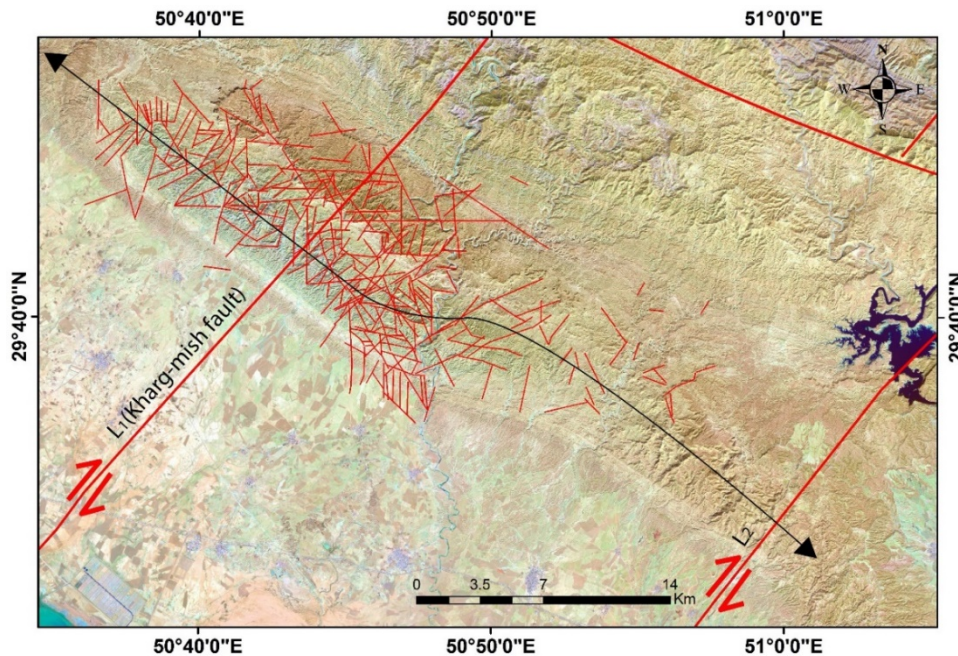
ترسیم شده است (شکل ۱۵). بر مبنای نظر (Sylvester, 1988) و نتایج به دست آمده از آزمایشات تجربی توسط Naylor et al. (1986) اثر فعالیت مجدد چنین پهنه‌هایی می‌تواند با توسعه شکستگی‌های برشی P, R', R در پوشش رسوبی همراه شود. برای منطقه مورد مطالعه با توجه به نمودار گل‌سرخ‌تری ترسیم شده می‌توان شکستگی‌های برشی P, R', R توسعه یافته به وسیله پهنه‌برشی را مشخص نمود. با توجه به شکل (۱۵) رابطه زاویه‌ای مشخصی ما بین مجموعه خطواره‌ها وجود دارد. چنانچه N050E به عنوان یک پهنه‌ی PDZ در نظر گرفته شود که منطبق بر خارگ - میش

برای مطالعه و بررسی عملکرد گسل‌های عرضی - برشی پی‌سنگی از تصاویر ماهواره‌ای لندست، ۱:۱۰۰۰۰۰۰ و با ترکیبی از باندهای ۷، ۴ و ۲ و فیلتر شارپن ۱۱ منجر به استخراج ساختار خطواره‌های شکستگی و تهیه نقشه موضوعی ساختاری منطقه در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ گردید (شکل ۱۴). در تهیه‌ی این نقشه بیشترین توجه به خطواره‌های تاقدیس مورد مطالعه بوده است. برای بررسی بیشتر تأثیر پهنه عرضی - برشی، نمودار گل‌سرخ‌تری خطواره‌ها

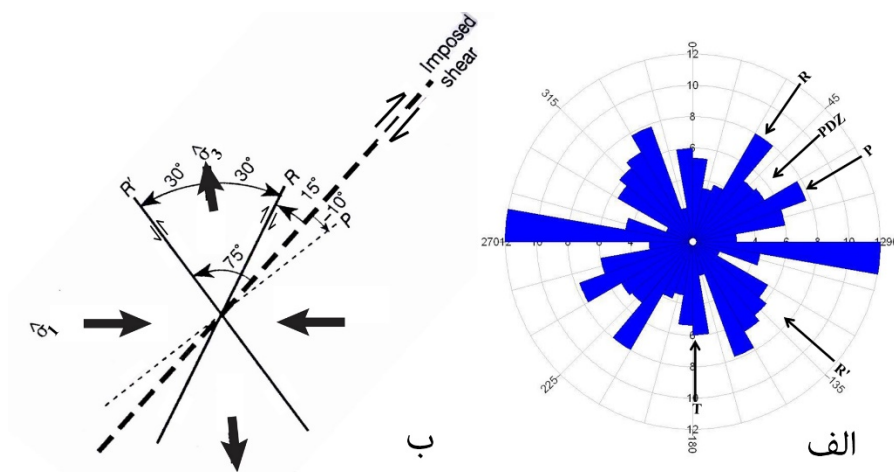


(راستالغز چپ بر با روند S050E) شود. خطواره‌های با روند تقریبی N090E، شکستگی‌های طولی (T) می‌باشند (شکل ۱۵)، روند آنها با روند فشارشی شمالی-جنوبی که ورقه عربی به ایران وارد می‌کند (Vernant et al. 2004) همخوانی دارد.

می‌باشد، روابط زاویه‌ای می‌تواند با شکستگی‌های مراتب جوانتر حاصل از فعالیت مجدد این پهنه دگرشکلی راست بر مرتبط باشد. چنین فعالیت مجددی در این پهنه دگرشکلی راست بر می‌تواند سبب ایجاد شکستگی‌های مراتب جوانتر P (گسل‌های راستالغز راست بر با روند N035E)، R (راستالغز راست بر با روند N065E) و R' می‌باشد، روابط زاویه‌ای می‌تواند با شکستگی‌های مراتب جوانتر حاصل از فعالیت مجدد این پهنه دگرشکلی راست بر مرتبط باشد. چنین فعالیت مجددی در این پهنه دگرشکلی راست بر می‌تواند سبب ایجاد شکستگی‌های مراتب جوانتر P (گسل‌های راستالغز راست بر با روند N035E)، R (راستالغز راست بر با روند N065E) و R' می‌باشد.



شکل ۱۴: تصاویر ماهواره‌ای لندست، ۱:۱۰۰۰۰۰۰ با ترکیبی از باندهای ۷، ۴ و ۲ و فیلتر شارپن، ۱۱. خطواره‌های شکستگی بر روی تاق‌دیس گلخاری مشخص شده‌اند.



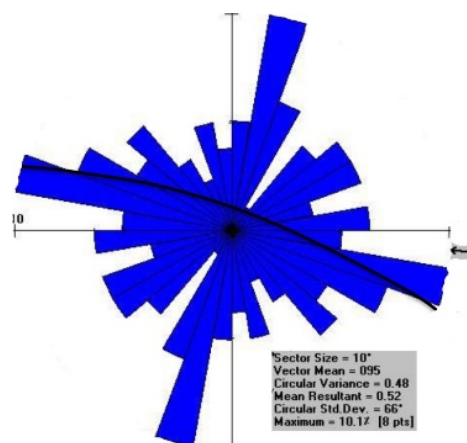
شکل ۱۵: نمودار گل سرخی خطواره‌های تاق‌دیس گلخاری. (ب) الگوی هندسی دو بعدی از ساختارهای همراه با گسل-های راستالغز. (Sylvester, 1988)



(2005) سازند گچساران همزمان با زمین ساخت نهشته شده است. در این صورت تغییرات ضخامت ناشی از این همزمانی با زمین ساخت می تواند در ادامه چین خوردگی و دگرخی در سازندهای زیرین و بالایی موثر باشد، به طوریکه نهشته شدن سازند گچساران روی سطح ناهموار چین های اولیه منجر به مهاجرت سازند تبخیری گچساران در اثر نیروی ثقل می شود در نتیجه این سازند از تاقدیس ها به سمت ناودیس ها مهاجرت کرده و در بالای ناودیس ها ضخامت بیشتری پیدا می کند که منجر به چین خوردگی پلی هارمونیک در سازندهای بالایی و پایینی خود می شود. در تاقدیس گلخاری چین کم عمق و سطحی در افق سازندهای میشان و آغاچاری توسط افق جدایش گچساران از چین زیرین جدا می گردد. با توجه به جدایش ایجاد شده توسط گچساران عملاً با دو تاقدیس (زیر سازند گچساران و روی سازند گچساران) مواجه هستیم. مطالعه برش های ساختاری تهیه شده و برش های لرزه ای نشان می دهند پهلو- های شمال شرق و جنوب غرب تاقدیس زیرین به وسیله دو گسل راندگی بریده شده اند. این گسل ها در لایه ی گچساران خاتمه می یابند و به تاقدیس بالایی نمی رسند.

تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس ها، رسم برش ساختاری آن ها و استفاده از برش های عرضی لرزه نگاری می تواند ابزار مناسبی جهت تحلیل هندسه ساختارهای نفتی در عمق باشد. بر اساس تحلیل های هندسی، تاقدیس گلخاری یک چین باز، نامتقارن و غیر استوانه ای است و بخش وسیعی از آن با سازوکار چین خوردگی متحدالمرکز مطابقت دارد. استفاده از نمودارهای (Jamison 1987) نشان داد تاقدیس گلخاری هندسه ای شبیه به چین های جدایشی دارد. با توجه به اطلاعات زیرسطحی و به علت هندسه گرد و باز این تاقدیس و وجود اختلاف مقاومت در بین واحدهای مختلف از سطح تا عمق، می توان مدل چین جدایشی گسل خورده (Mitra, 2002) را در نظر گرفت. مقدار کوتاه شدگی محاسبه شده برای تاقدیس

نمودار گل سرخی حاصل از درزه برداری صورت گرفته در سازند آغاچاری در سرتاسر تاقدیس (شکل ۱۶) نشانگر آن است که عمده درزه های موجود در این سازند، درزه های مرتبط با چین خوردگی می باشند. درزه های با روند N10E و S80E که دارای بیشترین فراوانی هستند، منطبق بر درزه های عرضی و درزه های طولی می باشند، درزه های با روند N40E و N60W درزه های مورب می باشند؛ سایر درزه ها نیز متأثر از عملکرد پهنه عرضی-برشی PDZ می باشند.



شکل ۱۶: نمودار گل سرخی درزه های برداشت شده بر روی سازند آغاچاری

بحث

مخازن هیدروکربنی حوضه رسوبی زاگرس از جمله مخازن دارای شکستگی محسوب می شوند. تحلیل ساختاری این میدان ها و شناسایی مکان های با تراکم بالای شکستگی و تعیین ارتباط شکستگی ها با ساختارهای ایجادکننده امری ضروری به نظر می رسد. تاقدیس گلخاری یکی از میدان های نفتی زاگرس در بخش فروبار دزفول جنوبی می باشد. این تاقدیس چین خوردگی ناهماهنگ نشان می دهد. (O'brien 1950) سازند گچساران را به عنوان سطح جدایش بالایی در فروافتادگی دزفول معرفی کرده است. بنا بر عقیده Sherkati et al.



گسل‌های راست‌بر با روند N035E، R راست‌الغز راست‌بر با روند N065E و R' گسل‌های راست‌الغز چپ‌بر با روند S050E می‌باشند.

نتیجه‌گیری

بر اساس تحلیل‌های هندسی و جنبشی، تاقدیس گلخاری از نوع چین جدایشی می‌باشد. با توجه به توسعه گسل‌های راندگی در پهلوهای آن که در برش‌های لرزه نگاری مشخص می‌باشند، می‌توان مدل چین جدایشی گسل‌خورده را برای این تاقدیس در نظر گرفت. دو گسل پی‌سنگی راست‌بر در بخش‌های شرقی و غربی شناسایی شده که انطباق آن با نقشه گسل‌های پی‌سنگی طباطبایی (۱۳۷۷) نشانگر وجود یک پهنه PDZ می‌باشد. بر طبق خطواره‌های شکستگی رسم شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مؤلفه‌های برشی این پهنه برشی عمیق شکستگی‌های R، R'، P و T را در سطح زمین ایجاد نموده است. مقایسه اثر سطح محوری زیرسطحی که با روش دایره محاطی به دست آمده، با اثر سطح محوری بر روی سطح زمین، نشان می‌دهد میزان جابجایی سطح محوری تاقدیس گلخاری ۱۵۰۰ متر می‌باشد که این مقدار با مقدار جابجایی که توسط برش‌های عرضی بدست آمده مطابقت دارد. با توجه به مطالعات تاقدیس گلخاری هندسه این تاقدیس ساختار مناسب مخزن نفتی است. تغییر سبک چین خوردگی از سطح تا عمق به صورتی نیست که هندسه زیر سطحی آن مناسب ساختار نفتی نباشد.

گلخاری با استفاده از روابط ارائه شده توسط Poblet and McClay (1996)، با مقادیر محاسبه شده کوتاه‌شدگی بر روی برشی از این تاقدیس تطابق دارد که این امر جدایشی بودن این تاقدیس را تأیید می‌نماید.

روش دایره محاطی نواحی با تراکم زیاد شکستگی در انحنای خارجی خمش‌های محوری را معرفی می‌کند که بر اساس آن میزان شکستگی در بخش شمال غربی تاقدیس بیشترین مقدار است. همچنین بر مبنای این روش اثر سطح محوری برای تاقدیس زیر سازند آسماری مشخص شده است. محاسبه جابجایی محور تاقدیس‌های سطحی و زیرسطحی نسبت به همدیگر، روند کاهشی را از شمال غرب به سمت جنوب شرق نشان می‌دهد. به طوریکه این میزان جابجایی از حدود ۲ کیلومتر در شمال غرب به حدود صفر در جنوب شرق کاهش می‌یابد. این روند کاهشی با کاهش ضخامت سازند گچساران رابطه مستقیم دارد.

دو گسل پی‌سنگی راست‌بر با روند تقریبی شمال‌شرق-جنوب‌غرب توسط داده‌های ژئومغناطیس و مدل سه بعدی تهیه شده و همچنین تطابق آن با نقشه گسل‌های پی‌سنگی طباطبایی (۱۳۷۷) نشانگر وجود یک پهنه برشی عمقی (PDZ) می‌باشد. این پهنه برشی سبب چرخش سطح محوری و انحنای محور تاقدیس شده است (شکل ۱۴). اگر این پهنه برشی به عنوان پهنه برشی اصلی فرض شود آنگاه مؤلفه‌های برشی آن (Sylvester, 1988) می‌تواند شکستگی‌های R، R'، P ایجاد کند. اگر N050E به عنوان PDZ در نظر گرفته شود، شکستگی‌های مراتب جوانتر P



منابع

- Naylor, M.A., Mandl, G.T. & Supesteijn, C.H.K., 1986. Fault geometries in basement-induced wrench faulting under different initial stress states. *Journal of structural geology* 8,737-752.
- 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 6, 45-58.
- Pirouz, M., Simpson, G., Bahroudi, A. & Azhdari, A., 2011. Neogene Sediments and Modern Depositional Environments of the Zagros Foreland Basin System. *Geological Magazine* 14, 838-853. <https://doi.org/10.1017/s0016756811000392>.
- Poblet, J.A. & McClay, K.R., 1996. Geometry and kinematics of single layer detachment folds. *AAPG Bulletin* 80, 1085-1109.
- Seraj, M., Faghih, A., Motamedi, H. & Soleimany, B., 2020. Major Tectonic Lineaments Influencing the Oilfields of the Zagros Fold-Thrust Belt, SW Iran: Insights from Integration of Surface and Subsurface Data. *Journal of Earth Science* 31, 596-610.
- Sherkati, S., Molinaro, M., Frizon de Lamotte, D. & 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* 27, 1680-1696.
- Stoneley, R., 1981. The geology of Kuh-e-Dalneshin area of southern Iran and its bearing on the evolution of southern Tethys. *Journal of Geological Society*, 138, 509-526.
- Sylvester, A. G., 1988. Strike-slip faults. *Geological Society of America Bulletin* 100, 1666-1703.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R. & Tavakoli, F., 2004. Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophysical Journal International*, 157, 381-398.
- داوودی، ز.، ۱۳۸۲. استفاده از رهیافت دورسنجی در شناخت گسل‌های زیرسطحی (احتمالاً پی‌سنگی) و سبک دگرریختی‌های آن‌ها در شمال غربی زاگرس؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- طباطبایی، ح.، ۱۳۷۰. نقشه انطباق یافته ژئومغناطیس ایران. شرکت ملی نفت ایران.
- طباطبایی، ح.، ۱۳۷۷. نقشه پی‌سنگ مغناطیسی زاگرس؛ مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، گزارش شماره ۳۵۳۹۳/۸، تهران: شرکت ملی نفت ایران، مدیریت اکتشاف.
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. & Mouthereau, F., 2005. Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International journal of earth sciences* 94, 401-419.
- Berberian, M., 1995. Master-Blind-Thrust Faults Hidden under the Zagros Folds: Active Basement Tectonics and Surface Morphotectonics. *Tectonophysics* 241, 193-224.
- Dahlstrom, C.D.A., 1990. Geometric constraints derived from the law of conservation of volume and applied to evolutionary models for detachment folding. *AAPG* 3, 336-344.
- Intera Company, 1992. Asmari reservoir fracture study in Marun oil field (un pub.)
- Jamison, W.R., 1987. Geometric analysis of fold development in overthrust terranes. *Journal of Structural Geology* 9, 207-219.
- Jamison, W.R., 1992. Stress controls on fold thrust style. In *Thrust tectonics*, ed. K.R. McClay, 155-164. Chapman and Hall, New York.
- McQuarrie, N., 2004. Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Journal of Structural Geology* 26,519-535.
- Mitra, S., 2002. Structural models of faulted detachment folds. *AAPG* 86, 1673-1694.