

تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس سلطان در کمربند چین خورده - رانده زاگرس و استفاده از آن در برآورد بستگی گروه دهرم

نوشه: عباس افلاطونیان^{*}, علی یاساقی^{*} و عبدالحسین احمدنیا^{**}

* گروه زمین شناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
** مدیریت اکتشاف شرکت ملي نفت ایران، تهران، ایران

The Geometric and Kinematic Analysis of Soltan Anticline in Zagros Fold-Thrust Belt; An Evaluation of the Dehram Group Closure

By: A. Aflatounian*, A. Yassaghi*, A.H. Ahmadnia**

* Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

** Exploration management, National Iranian Oil Company, Tehran, Iran

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۰۸/۱۴

چکیده

تاقدیس سلطان در شمال باخته کمربند چین خورده - رانده زاگرس و در ناحیه لرستان واقع است. در این مقاله تحلیل هندسی و جنبشی این تاقدیس برای برآورد بستگی گروه دهرم آن به منظور ارزیابی مناسب بودن این گروه برای پی جویی اکتشاف مخزن گازی، انجام شده است. تحلیل هندسی تاقدیس سلطان نشان می دهد که این تاقدیس از نوع چین های انتشار گسلی است که در بین انواع مختلف این چین های نیز با نوع سه برشی (Trishear) هماهنگی بیشتری دارد. البته به علت عدم دسترسی به اطلاعات زیر سطحی مناسب و همچنین به علت هندسه گرد و به نسبت باز آن و وجود اختلاف مقاومت در بین واحدهای مختلف از سطح تا عمق، می توان مدل چین جدایشی گسل خورده (Faulted Detachment Fold) را تیز که از نظر هندسی شبیه چین های انتشار گسلی هستند، برای تاقدیس در نظر گرفت. همچنین مطالعه مقادیر کرنشن نهایی بر روی نمونه سنگ های آواری از تاقدیس و چین الگو نشان داد که این مقادیر نسبتاً پایین بوده و مشابه مقادیر کرنشن در چین های انتشار گسلی با پایین بودن میزان کوتاه شدن که به موازات لایه بندی است. با استفاده از داده های سطحی برداشت شده و با در نظر گرفتن مدل های هندسی به دست آمده، هفت برش عرضی ساختاری بر روی این تاقدیس رسم شد. سپس اطلاعات عمقی مربوط به سطح بالایی گروه دهرم در تمام برش های عرضی ساختاری برداشت شد و به وسیله این داده ها، نقشه هم تراز زیرزمینی (UGC Map) و یک مدل سه بعدی برای گروه دهرم در تاقدیس سلطان رسم شد. میزان بستگی محاسبه شده بر اساس این نقشه ساختاری زیرزمینی برای تاقدیس سلطان آن را فقط در صورت اثبات پیوستگی با تاقدیس مجاور، ریت، به عنوان یک هدف اکتشافی مطرح می کند.

کلیدواژه ها: تاقدیس سلطان، کمربند چین خورده - رانده زاگرس، تحلیل هندسی و جنبشی، بستگی قائم و افقی، گروه دهرم.

Abstract

Soltan anticline is located in northwest of the Zagros fold-thrust belt in the Lorestan Province. Geometric and kinematic analyses of the anticline have been carried out to estimate the closure of the Dehram Group in order to evaluate its potential for gas reservoirs. Geometric analyses of the Soltan anticline indicate that the fold geometry is rather similar to that of the Trishear type of fault propagation folds. However, considering the competency contrasts between various rock units in the anticline that control the fold's geometry, together with the rounded and relatively wide outline of the anticline at surface, the Soltan anticline can



also be compared to faulted detachment folds that hold the same geometry as the fault propagation folds. On the other hand, the very low values of finite strain measured on clastic rocks collected from the anticline and its typical smaller scale fold constraint, and the low values of the layer parallel shortening are comparable to the kinematics of fault propagation folds. Based on the data from the geometric and kinematic analyses, seven structural cross sections across the anticline are drawn, and using the cross sections, a structural contour map and a 3D model for Dehram Group are constructed. The calculated values for the anticline closure prohibits this structure as an appropriate host to gas reservoirs, unless the Soltan anticline is connected to the adjacent, Rit, anticline.

Key words: Soltan Anticline, Zagros fold-thrust belt, Geometric and kinematics analysis, Vertical and horizontal closure, Dehram Group.

مقدمه

اطلاعات زیر سطحی مناسبی مانند اطلاعات زمین فیزیکی و داده‌های چاههای اکتشافی از این تاقدیس وجود ندارد، تنها راه دست‌یابی به این مهم و تحلیل تاقدیس از نظر یک هدف اکتشاف ذخیره هیدروکربنی، بررسی وضعیت ساختاری تاقدیس با استفاده از برداشت‌های صحرایی در قالب تحلیل هندسی و جنبشی آن است. هدف از این مقاله تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس سلطان و استفاده از آن در برآورد بستگی تاقدیس در افق سازند دهرم آن است که به عنوان افق ذخیره گازی مطرح می‌باشد. برای این منظور، هفت پیمایش ساختاری عمود بر محور تاقدیس صورت گرفته است. با استفاده از داده‌های ساختاری برداشت شده در این پیمایش‌ها، نقشه ساختاری در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، تهیه شده (شکل ۲) و همچنین تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس صورت گرفته است. بر اساس چنین تحلیل‌هایی از تاقدیس، هفت برش عرضی ساختاری بر تاقدیس رسم شده است. سپس به منظور بررسی سلامت و محاسبه بستگی افق دهرم این تاقدیس، با استفاده از این برش‌ها نقشه هم تراز زیرزمینی (Under Ground Contour Map) و یک مدل سه بعدی برای سطح بالایی گروه دهرم منطقه تهیه شده است.

هندسه ساختاری تاقدیس سلطان

تاقدیس سلطان یک چین‌باریک و کشیده باروند عمومی باخته، شمال باخته-خاور، جنوب خاور است که در بین تاقدیس‌های نفتی سرکان در شمال باخته و ماله کوه در جنوب باخته قرار دارد (شکل ۲). رخمنون‌های سنگی آن به طور عمده واحدهای سنگی کرتاسه و ترکیزی و شامل سازندهای سروک، سورگاه و ایلام در هسته تاقدیس، سازندهای گورپی، بخش امام حسن، امیران، تله زنگ، کشکان، شهبانو و آسماری در پهلوهای شمالی و جنوبی و سازند گچساران در هسته ناویدیس‌های مجاور آن هستند (شکل ۲). بیشترین ارتفاع تاقدیس بر روی سازند ایلام، در بخش باخته هسته تاقدیس ۱۳۷۳ متر است.

کمربند چین خورده - رانده زاگرس به عنوان بزرگ‌ترین منطقه ساختاری ایران در اثر برخورد صفحه عربستان و فلات ایران در ترشیری پسین (Stocklin, 1968)، به صورت رشته کوهی به طول تقریبی ۱۸۰۰ کیلومتر و بر روی سکوی آرام قاره‌ای عربستان تشکیل شده است (Hessami et al., 2001). این کمربند به خاطر دارا بودن چین‌های بزرگ، منظم و جوان و همچنین ذخایر هیدروکربنی موجود در بسیاری از تاقدیس‌های آن، به عنوان یکی از غنی‌ترین ایالت‌های هیدروکربنی، با ۸/۶٪ مخازن نفت و ۱۵٪ مخازن گاز اثبات شده جهانی به شمار می‌آید (شرکتی، ۱۳۸۴). از آنجا که همه مخازن هیدروکربنی شناخته شده در نفتگیرهای تاقدیسی متتمرکز هستند، لذا شناخت دقیق تر این ساختارها و تحلیل هندسی و جنبشی آنها از بنیادی ترین موضوعات زمین‌شناسی نفت زاگرس است.

تاقدیس سلطان در بخش میانی ناحیه لرستان در شمال باخته فروافتادگی دزفول قرار دارد (شکل ۱). این منطقه در بین طول جغرافیایی $36^{\circ} 47' E$ تا $40^{\circ} 48' E$ خاوری و عرض جغرافیایی $30^{\circ} 06' N$ تا $33^{\circ} 18' N$ شمالی قرار گرفته است. ساختارهای ناحیه لرستان روند شمال باخته - جنوب خاور دارند. در این محدوده، آهک‌های آسماری با سن ائوسن - الیگوسن و سازندهای مژوزویک، بیشتر ارتفاعات را تشکیل می‌دهند و تاقدیس‌های آهکی مقاوم ویژگی‌های ریخت‌شناسی این منطقه را در کنترل دارند (McQuarrie, 2004).

در تاقدیس‌های سرکان و ماله کوه که در شمال و جنوب تاقدیس سلطان قرار دارند (شکل ۲)، به ترتیب توسط سه و دو حلقه چاه، از گروه بنگستان نفت استخراج می‌شود. در تاقدیس سلطان، سازندهای ایلام و سروک از گروه بنگستان رخمنون سطحی دارند و لذا به عنوان مخزن نفتی مطرح نیستند. ولی با توجه به این که در برخی از تاقدیس‌های منطقه ذخیره گازی در افق سازند دهرم آنها گزارش شده است، لذا تاقدیس سلطان نیز می‌تواند از این نظر به عنوان یک هدف اکتشاف مخزن گازی مطرح باشد. با توجه به این که

بیشتر از ۱۰ می باشد و چین های خم گسلی و انتشار گسلی در این گروه قرار دارد.

با توجه به بیشترین طول موج تاقدیس سلطان، میزان نسبت طول محور حدود ۱۲/۸ محسوبه شد که بر اساس آن تاقدیس سلطان در محدوده چین های Forced قرار می گیرد. این مسئله با وجود شواهد گسلش راندگی در پهلوی پیشانی تاقدیس و برگشته بودن این پهلوی نیز مطابقت دارد. لذا به نظرم رسید که تاقدیس سلطان همچون بیشتر تاقدیس های زاگرس از انواع مرتبط با گسلش راندگی باشد. در پهلوی شمالی تاقدیس سلطان نزدیک روستای کلک بیشه علیا (در مسیر برش ساختاری' CC، شکل ۲) گسلش راندگی همراه با تاقدیس فرادیواره ای و ناویدیس فرودیواره ای دیده می شود. تحلیل هندسی و جنبشی این گسل و چین همراه (شکل ۴)، به عنوان الگویی مناسب جهت دست یابی به تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس سلطان و رسم برش های ساختاری، مورد بررسی قرار گرفته است.

برای تشخیص هندسه تاقدیس سلطان و چین کلک بیشه، از نمودارهای محدوده چین های Forced و با توجه به نتایج برداشت های صحرایی که وجود گسلش راندگی در پهلوی جنوبی این تاقدیس را نشان می دهد و همچنین بر مبنای هندسه ساختاری چین کلک بیشه، از به کار گیری نمودار مربوط به چین جدایشی برای شناخت نوع چین ها، خودداری شده است. پارامترهای مورد استفاده برای تشخیص هندسه چین با استفاده از نمودارهای Jamison (1987) شامل شیب پلکان گسل (α) و یا شیب پهلوی خلفی (α_h)، زاویه بین پهلوها (γ) و میزان نازک شدگی یا سترشدگی سازند خاصی در پهلوی پیشانی نسبت به پهلوی خلفی است. این پارامترها برای تاقدیس سلطان و چین کلک بیشه از برش های عرضی ساختاری رسم و برداشت های Jamison (1987) صحرایی استخراج شده (جدول ۱) و بر روی نمودارهای (Shakl ۵). محاسبه تغییر سترای پهلوی پیشانی بر مبنای سترای حقیقی سازند و توجه به تأثیرات توپوگرافی صورت گرفته است (شکل ۶). چنان که در نمودارهای شکل ۵ مشاهده می شود تاقدیس سلطان در تمام مسیرها در محدوده ای واقع شده که نازک شدگی در پهلوی پیشانی را نشان می دهد. این تاقدیس در نمودارهای چین های خم گسلی و چین های انتشار گسلی حمل شده (Fault Bend and Transportad Fault Propagation Folds)

در مسیرهای AA' و BB' در محدوده با حدود ۲۶ درصد نازک شدگی، در مسیر FFF' در محدوده با حدود ۷۰ درصد نازک شدگی و در بقیه مسیرها در محدوده با حدود ۴۵ تا ۵۵ درصد نازک شدگی قرار می گیرد. در نمودار مربوط به چین های انتشار گسلی (Fault Propagation Folds) نیز تاقدیس سلطان در مسیرهای AA' و BB' در محدوده از ۰ تا ۵ درصد نازک

برداشت های صحرایی نشان می دهند که شیب پهلوی شمالی تاقدیس متغیر است. برای مثال در سازند آسماری موقعیت این پهلو در بخش خاوری برابر ۰/۰۳۸ در بخش میانی برابر ۰/۰۶۰ و در بخش باختری ۰/۰۱۵ است. در همین سازند شیب پهلوی جنوبی نیز متغیر است. در بخش باختری ۰/۰۳۵ است، به سمت بخش میانی لایه ها برگشته شده و موقعیت آنها ۰/۰۱۰ می شود، در بخش میانی برگشتگی لایه ها ادامه داشته و موقعیت آنها ۰/۰۱۵ است و در بخش خاوری لایه ها دوباره به حالت عادی برگشته و موقعیت آنها ۰/۰۲۱۰ است (شکل ۲).

در بخش جنوب باختری تاقدیس سلطان یک گسل راندگی (گسل ۱) با شیب به سمت شمال - شمال خاور به طول بیش از ۷ کیلومتر وجود دارد، اطلاعات مربوط به این گسل در هیچ قسمت از مسیرهای پیمایش قابل برداشت نبود ولی حذف شدگی قسمت زیادی از لایه های سازندهای گورپی و امیران در مسیر پیمایش FF وجود آن را نشان می دهد (شکل ۲). راستای تقریبی این گسل شمال باختر - جنوب خاور است. در بخش جنوب خاوری تاقدیس نیز گسلی (گسل ۲) وجود دارد که باعث رخمنون دوباره سازندهای کشکان و آسماری در پهلوی جنوبی تاقدیس شده است. این گسل با شیب ۵۵ درجه به سمت جنوب باختر در مسیر پیمایش DD برداشت شده است. با توجه به جایه جایی که گسل در واحدهای سنگی به وجود آورده است، احتمالاً این گسل یک گسل معکوس با مؤلفه کوچک چپ بر است.

بر مبنای موقعیت لایه بندی ها در پهلوهای شمالی و جنوبی تاقدیس در مسیرهای مختلف بر روی استریونت (شکل ۳)، مشخص شد که تاقدیس سلطان به طور کلی یک تاقدیس نامتقارن و با تمایل (Vergence) به سمت جنوب - جنوب - باختر است. مقایسه موقعیت محور و سطح محوری تاقدیس سلطان در سه مسیر' CC', AA' و GG' نشان می دهد که در روند محور این تاقدیس حدود ۲۱ درجه چرخش صورت گرفته است، این موضوع بر روی نقشه زمین شناسی منطقه (شکل ۲) نیز قابل مشاهده است. همچنین با توجه به زاویه بین پهلوی بیشتر آمد در مسیرهای مختلف (جدول ۱)، تاقدیس در مسیر FF در محدوده چین های بسته، در مسیر EE در مرز چین های بسته و باز و در بقیه مسیرها در محدوده چین های باز قرار دارد.

Sattarzadeh et al. (2000) بر اساس نسبت طول محور چین به نصف طول موج آن (Aspect Ratio)، چین های زاگرس را در دو گروه قرار داده اند:

۱. Buckle Folds که در آنها نسبت یاد شده برای چین ها در تمام مقیاس ها بین ۵ تا ۱۰ می باشد و چین های جدایشی (Detachment Folds) در این گروه قرار دارند.

۲. Forced Folds که در آنها نسبت برای چین ها در تمام مقیاس ها



در پهلوی پیشانی را نشان می دهد (شکل ۵). این تاقدیس در نمودارهای چین های خم گسلی و چین های انتشار گسلی حمل شده در محدوده با حدود ۷۰ درصد نازک شدگی و در نمودار مربوط به چین های انتشار گسلی در محدوده دارای حدود ۲۰ درصد نازک شدگی قرار می گیرد. درصد سبر شدگی یا نازک شدگی پهلوی پیشانی این چین به صورت مستقیم در منطقه اندازه گیری شده است. برای لایه های مختلف از حدود ۱۳ درصد تا حدود ۲۰ درصد نازک شدگی در پهلوی پیشانی چین محاسبه شده که به طور متوسط، مقدار نازک شدگی این پهلوی چین حدود ۱۷ درصد بدست آمده است. این مقدار نازک شدگی با مقدار نازک شدگی به دست آمده در نمودار چین های انتشار گسلی هماهنگی دارد.

با توجه به نمودارهای (Jamison, 1987) تاقدیس سلطان و چین کلک بیشه در گروه چین های انتشار گسلی قرار می گیرند ولی این نمودارها تمام ساختارهای چین - گسل را شامل نمی شوند. در مورد چین های جدایشی حمل شده می توان از دو ویژگی، وجود تاقدیس فرودیواره و جابه جایی ثابت تمام واحدها (Mitra, 1990) در این چین ها کمک گرفت. در تاقدیس سلطان به علت عدم وجود اطلاعات زیرسطحی مناسب، امکان مقایسه وجود ندارد اما در بررسی که از چین کلک بیشه وجود دارد (شکل ۴)، تاقدیس فرودیواره در واحدهای زیر راندگی که پهلوی پیشانی چین را بریده است، دیده نمی شود و جابه جایی ها نیز بر روی راندگی ثابت نیستند. بر این اساس این چین در گروه چین های جدایشی حمل شده قرار نمی گیرد.

برای مقایسه این دو چین با چین های Fault-Arrest و Break-Thrust همچنین برای کمک به تأیید مدلی که تا کنون به دست آمده، بهترین روش استفاده از تحلیل جنبشی این دو چین است.

تحلیل جنبشی تاقدیس سلطان

به منظور تحلیل کرنش تاقدیس سلطان نمونه های جهت دار از واحدهای آواری سازند امیران و کشکان در پهلوهای شمالی و جنوبی برداشت شده است (شکل ۲). همچنین برای تحلیل کرنش چین کلک بیشه نیز از نقاط A و H (شکل ۴) نمونه های جهت دار تهیه شد. محاسبه مقادیر کرنش کرنش روی مقاطع نازک نمونه ها در صفحه XZ که صفحه بیشترین میزان کرنش نهایی است، صورت گرفته است (شکل ۷-الف). همچنین در چین کلک بیشه به منظور مطالعه کرنش در سه بعد در نقاط A, B, C, D, E, H, A و H, B, C, D, E میکروسکوپی از صفحه YZ بیضوی کرنش نهایی نیز، تهیه شد. بعد سوم کرنش یعنی میزان کرنش نهایی در صفحه XY نیز از رابطه موجود محاسبه شده است. با توجه به مقاطع نازک تهیه شده، لایه های آواری سازند امیران از نوع آهک های سیلیسی می باشد که به سمت باختر از میزان سیلیس آنها به

شدگی، در مسیر "FF'F" در محدوده با حدود ۳۰ درصد نازک شدگی و در بقیه مسیرها در محدوده با حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد نازک شدگی قرار می گیرد. با توجه به مشاهدات صحرا ای مقدار نازک شدگی به دست آمده در نمودار چین های انتشار گسلی با تاقدیس سلطان هماهنگی بیشتری دارد ولی برای تأیید این موضوع نیاز است مقدار سبر شدگی یا نازک شدگی پهلوی پیشانی تاقدیس سلطان در سطح نیز اندازه گیری شده و با مقدار به دست آمده از نمودارها مقایسه شود.

با توجه به گسترش سازند امیران در منطقه و قابلیت تغییر سبرای آن، از این واحد سنگی برای اندازه گیری مقدار سبر شدگی یا نازک شدگی در پهلوی پیشانی چین در سطح، استفاده شده است. البته میزان نازک شدگی سازند امیران نیز فقط در مسیر 'CC قابل اندازه گیری است زیرا در بقیه مسیرها به علت عملکرد گسل راندگی موجود در پهلوی جنوبی تاقدیس، یا قسمتی از سبرای این سازند از بین رفته است و یا به علت تغییر شیب از حالت عادی به برگشته (مانند مسیرهای 'AA و 'BB)، سبرای آن قابل اندازه گیری نیست. برای تعیین تغییر سبرای سازند امیران در مسیر 'CC، اختلاف ارتفاع توپوگرافی و عرض لایه از نقشه زمین ساختاری منطقه (شکل ۲) محاسبه شده و شیب لایه بندي بر اساس اندازه گیری های صحراي و مقادير موجود در نقشه زمین ساختاري می باشد. شاخص (b) برای پهلوی خلفي و شاخص (f) برای پهلوی پیشانی است. اگر مقدار t_b بیشتر از t_f باشد پهلوی پیشانی نازک شده و در غیر این صورت پهلوی پیشانی سبر شده است. شاخص (a) میزان تغییرات بر مبنای ۱۰۰ است. اگر مقدار به دست آمده (a) را از ۱۰۰ کسر کنیم، مقدار نازک شدگی و یا سبر شدگی به دست می آید.

اطلاعات مربوط به برش عرضی ساختاری 'CC در تاقدیس سلطان به شرح زیر است:

$$\alpha = 38^\circ \quad \gamma = 78^\circ \quad \text{شیب پهلوی پشتی} = 78^\circ$$

$$\text{ستبرای سازند امیران در پهلوی خلفی} (t_b) = 955/28 = 955/28 \text{ متر}$$

$$\text{ستبرای سازند امیران در پهلوی پیشانی} (t_f) = 762/82 = 762/82 \text{ متر}$$

$$t_b \times a/100 = t_f$$

$$955/28 \times a/100 = 762/82$$

$$a = 762/82 \div 955/28 = 79/85$$

$$79/85 - 100 = 20/15 \%$$

در نازک شدگی سازند امیران در پهلوی پیشانی تاقدیس سلطان در مسیر برش ساختاری 'CC چنان که مشاهده می شود مقدار نازک شدگی محاسبه شده نیز با مقدار نازک شدگی به دست آمده در نمودار چین های انتشار گسلی هماهنگی بیشتری دارد.

چین کلک بیشه نیز در تمام نمودارها در محدوده ای واقع شده و نازک شدگی



با مقایسه مقادیر به دست آمده برای تاقدیس سلطان و چین کلک بیشه که تفاوت ناچیزی بین مقادیر کرنش نهایی در پهلوی پیشانی و پهلوی خلفی نشان می‌دهند، با مدل‌های ارائه شده برای تاقدیس مرتبط با گسلش راندگی Barclay (1997) Thorbjornsen & Dunne (1997) (شکل ۸)، می‌توان چنین نتیجه گرفت که تاقدیس سلطان و چین کلک بیشه هر دو از نوع چین‌های انتشار گسلی هستند، زیرا در مدل‌های دیگر اختلاف کرنش بین پهلوهای پیشانی و خلفی زیاد و کاملاً محسوس است. این نتیجه، با نتیجه به دست آمده از تحلیل هندسی توسط نمودارهای Jamison (1987) هماهنگ است و آن را تأیید می‌کند. البته با توجه به شکل ۴ و برش‌های ساختاری رسم شده (شکل ۱۳) که پیشرفت گسل به داخل پهلوی پیشانی چین را نشان می‌دهند، شاید بهتر باشد این چین‌ها را از نوع چین‌های انتشار گسلی در حال پیشرفت (Propagation Folds Breaking Through of Fault) یا (Propagation Folds Breaking Through of Fault) معروفی شده‌اند، در نظر گرفت. این چین‌ها خود نیز انواع مختلفی دارند که از بین آنها، تاقدیس سلطان و چین کلک بیشه، (High-Angle Breakthrough) Steep-Limb Breakthrough با نوع (الف) که توسط Mitra (2002) با عنوان گسل سه برشی چین انتشاری معرفی شده‌اند (شکل ۹-ب)، هماهنگی بیشتری دارند.

Mitra (2002) با معرفی چین‌های جدایشی گسل خورده (Faulted Detachment Folds)، اشاره می‌کند که این چین‌ها از نظر ظاهر شیوه چین‌های انتشار گسلی هستند و به همین علت در تفسیر هندسه چین در مناطقی که اطلاعات کافی وجود نداشته باشد، ممکن است اشتباه رخ دهد. ایشان با ذکر ویژگی‌های کلیدی چین‌های انتشار گسلی و همچنین ویژگی‌های چین‌های جدایشی گسل خورده، این دو نوع چین خورده‌گی را با هم مقایسه کرده است (شکل ۱۰ و جدول ۳).

Mitra (2002) همچنین با ارائه یک مثال (شکل ۱۱) بیان می‌کند که برای یک ساختار، فقط بر اساس اطلاعات سطحی و اطلاعات زیر سطحی ناکافی، هر دو مدل چین‌های انتشار گسلی و چین‌های جدایشی گسل خورده را می‌توان در نظر گرفت و انتخاب تفسیر نهایی به اطلاعات زیر سطحی بیشتر و آگاهی از چینه‌شناسی مکانیکی منطقه بستگی دارد.

در تاقدیس سلطان نیز به علت عدم دسترسی به اطلاعات زیر سطحی مناسب و با توجه به تحلیل‌های هندسی و جنبشی صورت گرفته، و همچنین به علت هندسه نسبتاً گرد و باز این تاقدیس (شکل ۱۲) و وجود اختلاف مقاومت در بین واحدهای مختلف از سطح تا عمق، هر دو مدل چین انتشار گسلی نوع سه برشی و چین جدایشی گسل خورده را می‌توان در نظر گرفت، ولی در مورد چین الگوی کلک بیشه، از آنجا که در ناویدیس فرودیواره‌ای فرونشینی محسوسی مشاهده نمی‌شود و همچنین با توجه به توسعه گسل‌های

شدت کم شده است، به همین علت مقاطع تهیه شده در مسیرهای 'DD' تا 'GG' برای اندازه‌گیری کرنش قابل استفاده نیستند و فقط از مقاطع مسیرهای 'BB' و 'CC' استفاده شده است. با توجه به توزیع بلورهای کوارتز در زمینه کربناتی- رسی، محاسبه کرنش نهایی به روش Fry (Dunnet, 1969) صورت گرفته است. این روش برای دانه‌های کوارتز آواری در زمینه غیر سیلیسی مانند نمونه سنگ‌های منطقه مطالعه روش مناسبی است (Dittmar, 1994). در هر مقطع، توزیع دانه‌های کوارتز به عنوان نشانگر مناسب، انتخاب و با استفاده از نرم‌افزار Digitizer، قطر بزرگ و کوچک این دانه‌ها اندازه‌گیری شد تا به عنوان داده‌های ورودی به نرم‌افزار Instrain (Erslev, 1988) به کار گرفته شوند. این نرم‌افزار قادر است مقدار میانگین بیضوی‌های موجود، مقدار R از روش Fry و نیز R از روش Fry (Erslev, 1988) بهنجار شده را محاسبه کند، به علاوه قادر به رسم نمودار Φ/R است. با توجه به نوع نمونه‌های منطقه که در آنها بلورهای کوارتز دارای جور شدگی ضعیف در زمینه کربناتی رسی قرار دارند و عنایت به وجود شواهد انحلال فشاری، روش بهنجار شده Fry بهترین روش برای محاسبه کرنش نهایی منطقه است. نمونه ای از رسم بیضی کرنش در شکل ۷-ب و کرنش‌های نهایی محاسبه شده در جدول ۲ و شکل ۴ ارائه شده است.

بر اساس مقادیر کرنش نهایی به دست آمده (جدول ۲ و شکل ۴)، کرنش در پهلوی پیشانی تاقدیس سلطان نسبت به پهلوی خلفی آن افزایش ناچیزی نشان می‌دهد، در مورد چین کلک بیشه نیز این فرایند وجود دارد. چنان‌که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در حاشیه راندگی که پهلوی پیشانی چین کلک بیشه را برپیده است، هم در لایه‌های فرادیواره و هم در لایه‌های فرودیواره، کرنش به حداقل رسیده و با فاصله از گسل از مقدار کرنش کم شده است که البته میزان کاهش ناچیز است. همچنین مقایسه کرنش‌های نهایی اندازه‌گیری شده در دو بخش فرادیواره و فرودیواره گسل نشان می‌دهد که فرادیواره گسل، کرنش بیشتری را متحمل شده است.

نکته دیگری که از مقادیر به دست آمده برآورد می‌شود، میزان پایین کرنش نهایی در منطقه است. این ویژگی را می‌توان با پایین بودن مقدار LPS در منطقه توجیه کرد. از سوی دیگر نمودار فلین (Flinn diagram) (Tehiye شده برای نمونه‌های برداشت شده از اطراف گسلش راندگی موجود در پهلوی پیشانی چین کلک بیشه (شکل ۷-ج) نیز نشان می‌دهد که نمونه‌های برداشت شده در محدوده $1 < K < 7$ یعنی پهن شدگی ظاهری (Apparent flattening) (Wright, 1963) واقع می‌شوند که با موقعیت بیضوی‌های کرنش ورقه‌های راندگی در مناطق پیش‌خشکی مطابقت دارد. مقدار کرنش در نواحی مختلف یک چین فرادیواره‌ای مانند پهلوهای پیشانی و خلفی، و همچنین ناحیه لولایی، متفاوت است. با استفاده از میزان این اختلاف می‌توان به سبک چین خورده‌گی مرتبط با گسلش راندگی پی برد.



زمین فیزیکی مناسب و اطلاعات چاه در تاقدیس سلطان، این برش‌های ساختاری با در نظر گرفتن مدل هندسی تحلیل شده، تأثیر افق‌های جداشی میانی (که در این منطقه شیل‌های کامبرین و سازندهای گرو و گوربی - امیران هستند) و اطلاعات ساختاری سطحی مسیرهای پیمایش (شکل ۲)، رسم شده‌اند (شکل ۱۳). مسیر این برش‌های عرضی ساختاری که با مقایسه ۱:۵۰۰۰۰ رسم شده‌اند، در شکل ۲ نشان داده شده است.

همان طور که در شکل ۱۳ دیده می‌شود، هندسه تاقدیس سلطان بر روی سازند گرو که سطح جداشی میانی منطقه است بر اساس مدل چین خوردگی انتشار گسلی نوع سه برشی یا نوع Steep-Limb Breakthrough و در زیر این سازند بر اساس مدل چین‌های جداشی گسل خورده (Faulted Detachment) (Folds) رسم شده است. با توجه به برش‌های ساختاری رسم شده، سه گسل راندگی F1، F2 و F3 بر ساختار تاقدیس سلطان تأثیر گذاشته‌اند. در برش‌های ساختاری AA' تا DD' گسل راندگی F1 با شیب به سمت شمال، شمال‌خاور در خلال عبور از شیل‌های تقریباً افقی سازند امیران با افزایش میزان کرنش در نوک این گسل، قفل شده و جهت ادامه حرکت به سمت شمال - شمال‌خاور تغییر مسیر داده تا گسل F2 را با شیب به سمت جنوب - جنوب‌باختر، به وجود آورد. این گسل در مراحل اولیه تشکیل خود یک چین کوچک را که به احتمال زیاد از نوع چین‌های گوش خرگوشی (Rabbit Ear) می‌باشد در سازندهای جوان‌تر ایجاد کرده است. چنان که دیده می‌شود در این برش‌های ساختاری حالت گوه مانند بین گسل‌های F1 و F2 شیبه پنهنه‌های سه گوش Intercutaneous (Triangle Zones) از نوع گوه‌های داخل پوسته‌ای (Thrust Wedge)، است. هم‌زمان با گسترش گسل F2، گسل F3 به صورت شاخه فرادیوواره‌ای گسل F1 با راستای جابه‌جایی مشابه آن تشکیل شده است. اثر جابه‌جایی این گسل را می‌توان با تغییر شیب لایه‌های سازند امیران از حالت عادی تاقیم و برگشته در سطح مشاهده کرد.

به سمت برش‌های ساختاری 'EE' و 'FF''، به تدریج از فعالیت گسل F1 کاسته شده و به تبع آن گسل F2 نیز رشد نیافته است، این امر می‌تواند به علت نزدیک شدن به دماغه خاوری تاقدیس ماله کوه باشد جابه‌جایی که از میزان جابه‌جایی گسل F1 کاسته شده است. در این دو برش، بیشتر جابه‌جایی بر روی گسل F3 متمن کر شده است که باعث رخمنون گروه بنگستان و حذف ستبرای زیادی از سازندهای گوربی و امیران شده است (شکل ۱۳). در برش ساختاری 'GG' به علت فرآخاست تاقدیس ماله کوه و فشردگی ناویدیس بین آن و تاقدیس سلطان، گسل F1 تشکیل نشده و یا در صورت تشکیل، فعالیت چندانی نداشته است و تقریباً تمام جابه‌جایی بر روی گسل F3 صورت گرفته است. تغییرات جابه‌جایی بر روی گسل F3 در طول تاقدیس سلطان باعث شده است که این تاقدیس در سطح و در مسیرهای مختلف به صورت یک چین بسته تا باز تغییر شکل پیدا کند.

مرتبه با چین خوردگی (Mitra, 2002) در فرودیواره این ساختار که مشابه ساختارهای توسعه یافته در پهلوی پیشانی پرشیب تا برگشته چین‌های انتشار گسلی (McClay, 2003) می‌باشد، شاید بهتر باشد این ساختار را یک چین انتشار گسلی از نوع سه برشی در نظر گرفت.

به طور کلی در مورد چین‌های زاگرس (Sherkati and Letouzey, 2004) بر این باورند که، وجود ناویدیس‌های فرودیواره، گسل‌های راندگی پرشیب و تنگ شدگی چین‌ها به واسطه چرخش پهلوها و مهاجرت لولا، مشخصه انتقال رفتار دگرگشکلی از چین خوردگی جداشی به چین خوردگی پیشرونده انتشار گسلی همراه با افزایش کوتاه شدگی است که این سیک چین خوردگی مشابه چین خوردگی جداشی گسل خورده است که توسط (Mitra (2002) ارائه شده است. در واقع ایشان این دو نوع چین خوردگی را مشابه هم در نظر می‌گیرند. McQuarrie (2004) نیز معتقد است که دامنه چین‌های بزرگ در زاگرس نسبت به جابه‌جایی کوچک گسل‌ها، نشان می‌دهد که بخش اعظم چین خوردگی پیش از گسل خوردگی اتفاق افتاده است (McNaught Mitra, 1993; Wallace & Homza, 1997)، که این موضوع دلالت بر چین خوردگی جداشی گسل خورده دارد.

تحلیل برش‌های ساختاری برای برآورد میزان بستگی گروه دهم تاقدیس سلطان

برای مطالعه گروه دهم تاقدیس سلطان که شامل سازندهای فراقون با سن دونین-پرمین، دالان با سن پرمین بالایی و کنگان با سن تربیاس زیرین در منطقه است، نیاز به اطلاعات عمقی این تاقدیس است. از آنجا که اطلاعات زیر سطحی زمین فیزیکی مناسبی برای تاقدیس سلطان وجود ندارد، این اطلاعات بر اساس نتایج مطالعات هندسی و جنبشی این تاقدیس و هفت برش عرضی ساختاری ترسیمی تهیه شده‌اند. بدین منظور اطلاعات عمقی مربوط به سطح بالایی گروه دهم از برش‌های ساختاری برداشت و نقشه هم‌تراز زیرزمینی (Under Ground Contour Map) برای سطح بالایی گروه دهم منطقه تهیه شده است تا به کمک آن میزان بستگی قائم و افقی این گروه در تاقدیس سلطان محاسبه گردد.

برش‌های عرضی ساختاری مناسب ترین ابزار برای ارائه هندسه ساختاری چن‌ها بویژه در عمق است، از این رو در بیشتر بررسی‌های مربوط به اکتشاف ذخایر هیدروکربنی در مناطق پیش خشکی با توسعه تله‌های نفتی تاقدیسی، نقش بسیار مهمی دارند. این برش‌ها به طور تقریبی عمود بر امتداد محور چن‌ها رسم می‌شوند. برای رسم این برش‌ها در تاقدیس سلطان از روش Busk یا روش قوس که برای چین‌های موازی به کار می‌رود، استفاده شده است. به علت عدم وجود هر گونه اطلاعات زیر سطحی مانند اطلاعات



گورپی و امیران به عنوان سطوح جدایش میانی کم‌زرفا، شیب پهلوی جنوبی تاقدیس سلطان افزایش یافته و شرایط برای تأثیر نیروی گرانش فراهم می‌شود که در اثر آن لایه‌های مقاوم سازندهای تله‌زنگ، کشکان و آسماری که در بین شیل‌ها و مارن‌های سازندهای گورپی و امیران و تبخیری‌های سازنده گچساران قرار دارند، شروع به لغزش می‌کنند و برگشتگی در ناویدیس فرودیواره روی می‌دهد. برای شروع لغزش، تأثیر فرسایش در افق آسماری اجتناب ناپذیر است. در اثر ادامه جابه‌جایی بلوک فرادیواره و همچنین عملکرد نیروهای گرانش و فرسایش، لایه‌های برگشته به پشت خمیده شده و ناویدیس برگشته فرودیواره‌ای به حالت خوایید در می‌آید (شکل ۱۴-و).

تحلیل تکامل تاقدیس سلطان در برش ساختاری "FFF" نشان می‌دهد که هندسه و موقعیت مکانی تاقدیس تشکیل شده در واحدهای سطحی (گروه بنگستان و سازندهای گورپی، امیران، تله‌زنگ، کشکان، شهبازان و آسماری) با آنچه که در گروه دهم به عنوان پتانسیل سنگ مخزن هیدرولوژیکی تشکیل شده متفاوت است، لذا در مکانیابی حفاری‌های اکتشافی و بهره‌برداری باید لحاظ شود. بر همین مبنای، برآورد بستگی قائم و افقی این گروه با توجه به چنین تحلیلی صورت گرفته است.

نقشه هم‌تراز زیرزمینی (Under Ground Contour Map)

نقشه هم‌تراز زیرزمینی یا نقشه هم‌تراز ساختاری Structural Contour (Map) برای نمایش هندسه ساختاری افق‌های زمین‌شناسی زیر سطحی به کار می‌رود. در این نقشه‌ها، خطوط هم‌تراز ژرفای افق موردنظر را نسبت به سطح مبنایی که به طور معمول سطح تراز دریاها است، نشان می‌دهند. هندسه خطوط هم‌تراز در این نقشه‌ها معرف هندسه ساختاری افق موردنظر است. در نقشه هم‌تراز ساختاری، در تاقدیس‌ها مساحت آخرین خط هم‌تراز بسته، بستگی افقی (Horizontal Closure) تاقدیس را نشان می‌دهد که به اندازه، ارتفاع و هندسه تاقدیس بستگی دارد. همچنین فاصله قائم بین بالاترین نقطه ساختاری یا به عبارت دیگر کم‌تر از تراز دیگر نقطه ساختاری تاقدیس با آخرین خط هم‌تراز بسته آن، بستگی قائم (Vertical Closure) تاقدیس را مشخص می‌کند.

در منطقه تاقدیس سلطان بر اساس برش‌های ساختاری رسم شده، اطلاعات عمقی مربوط به سطح بالایی گروه دهم در تمام آنها برداشت و نقشه هم‌تراز زیرزمینی گروه دهم رسم شده است (شکل ۱۵). مقایسه این نقشه با نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۲)، نشان می‌دهد که هندسه تاقدیس در عمق از سطح تبعیت نمی‌کند و کوهان (Culmination) اصلی گروه دهم به سمت خاور، جنوب‌خاور و به سمت تاقدیس ریت جابه‌جا شده است و تاقدیس سلطان در سطح به صورت یک کوهان فرعی کوچک در دماغه باختری آن است که توسط یک زین (Saddle) از آن جدا شده است.

پس از رسم نقشه هم‌تراز زیرزمینی گروه دهم، این نقشه در نرم‌افزار

همان‌طور که در تمام برش‌های ساختاری دیده می‌شود (شکل ۱۳) چین خورده‌گی در لایه‌های مقاوم آهکی از نوع چین‌های موازی است و در رده 1B تقسیم بندی (Ramsay 1967) فارمی گیرند ولی در لایه‌های تبخیری و شیلی که شکل پذیرتر هستند و به عنوان سطوح جدایش میانی در نظر گرفته شده‌اند، برش در امتداد سطوح جدایش به عنوان تابعی از اختلاف مقاومت میان واحدهای مقاوم و نامقاوم، با تشکیل گسل‌های راندگی در این سازندها و افزایش ستبرای آنها در لولای تاقدیس، منجر به پدید آمدن سبك چین خورده‌گی غیر موازی و حالتی مانند چین‌های مشابه در تقسیم بندی Dahlstrom (1970) شده است. (Ramsay 1967) چنین چین‌هایی را چین‌های مشابه دروغین (Pseudo-Similar Folds) نامیده است.

با استناد به مدل‌های Harrison and Bally (1988) و شرکتی (۱۳۸۴) که تأثیر افق‌های جدایش میانی را در تکامل ساختاری چین‌های زاگرس نشان می‌دهند و بر اساس برش‌های ساختاری رسم شده (شکل ۱۳) که در آنها تأثیر افق‌های جدایش میانی در منطقه تاقدیس سلطان لحاظ شده است، یک مدل تکاملی برای تاقدیس سلطان در مسیر برش ساختاری "FFF" ارائه شده است (شکل ۱۴). در اولین مرحله دگرگشکلی و شروع تکامل چین، خمس لایه‌های هم ستبرای بر روی سطح جدایش زیرین (سطح شیلی کامبرین)، نخستین هسته چین موازی را شکل می‌دهد. به تبع آن لایه‌های نامقاوم به سمت هسته تاقدیس جریان می‌یابند (شکل ۱۴-ب). طول موج تاقدیس در این مرحله توسط ستبرای پوشش رسوبی کنترل می‌شود. با افزایش دگرگشکلی، تاقدیس به وسیله مهاجرت لولا و چرخش پهلوها که اجازه رشد چین و انتقال مواد را می‌دهند، به خمس خود ادامه می‌دهد. در این مرحله گسلش راندگی (F1) می‌تواند برای متعادل کردن (Accommodate) کوتاه‌شدگی در سطوح ژرف شروع به تکامل نماید ولی به علت وجود سطح جدایش میانی (سازنده‌گرو) تا سطح ادامه نمی‌یابد (شکل ۱۴-ج). این مرحله را مشابه تحلیلی که شرکتی (۱۳۸۴) برای دیگر نقاط زاگرس نموده است می‌توان مرحله عبور از چین جدایشی (Detachment Fold) به چین جدایشی گسل خورده (Faulted Detachment Fold) تحلیل کرد. در این مرحله کوتاه‌شدگی در واحدهای نامقاوم به عنوان تابعی از اختلاف مقاومت میان واحدهای مقاوم و نامقاوم می‌تواند موجب شکل‌گیری گسل‌های راندگی جدید (مانند گسل F2) در سطح جدایش میانی (سازنده‌گرو) و تکرار فرایند شکل ۱۴-ج در افق‌های بالاتر شود (شکل ۱۴-د). با متوقف شدن جابه‌جایی شاخه اصلی گسلش راندگی، در سطوح جدایش بالاتر (سازندهای گورپی و امیران)، یک شاخه فرعی فرادیواره‌ای (گسل F3) از آن منشعب شده و جابه‌جایی بر روی آن صورت می‌گیرد (شکل‌های ۱۴-د و ه). در اثر جابه‌جایی بر روی این شاخه فرعی فرادیواره‌ای و همچنین تأثیر سازندهای



Dahlstrom (1970) است. این چین‌ها در لایه‌هایی که شامل تنایی از لایه‌های مقاوم (Competent) و نامقاوم (Incompetent) هستند، رخ می‌دهند. در چنین حالتی لایه‌های مقاوم سبیرای خود را حفظ می‌کنند در حالی که سبیرای لایه‌های نامقاوم در سطح چین افزایش می‌یابد. یکنواختی سبیرای لایه‌های مقاوم، آثار لغزش در سطح تماس لایه‌ها دلالت بر این دارد که تاقدیس سلطان براثر سازوکار چین خوردگی خمی - لغزشی (Flexural-Slip Folding) تشکیل شده است.

تشکیل تاقدیس‌های فرعی و گسل‌های راندگی بر روی شیل‌ها و مارن‌های سازندۀای گوربی و امیران، نشان دهنده تأثیر این لایه‌ها به صورت سطوح جدایش میانی، در منطقه است. در منطقه مورد مطالعه سطوح جدایش میانی، در سبک چین خوردگی و تشکیل ساختارهای سطحی تأثیر گذاشته‌اند. در این منطقه هیچ شاهدی از وجود نمک هرمز وجود ندارد، بنابراین سطوح شیلی کامبرین می‌توانند نقش سطح جدایش قاعده‌ای را بازی کنند. همچنین تبخیری‌ها و شیل‌های ژوراسیک و کرتاسه زیرین (مانند سازندۀای گوتیا و گرو)، شیل‌ها و مارن‌های کرتاسه بالایی و پالئوسن (سازندۀای گچساران)، به عنوان سطوح جدایش میانی عمل کرده‌اند.

بر اساس نقشه هم‌تراز زیرزمینی رسم شده، میزان بستگی قائم تاقدیس سلطان حدود ۳۰ متر و میزان بستگی افقی آن حدود ۳/۳۹ کیلومتر مربع محاسبه شد، همچنین بهترین موقعیت ساختاری برای حفاری اکتشافی در تاقدیس سلطان که مرکز بالاترین یا به عبارت دیگر کم ژرفاترین خط هم‌تراز بسته ساختاری در نقشه هم‌تراز زیرزمینی است، بین برش‌های ساختاری' CC' و DD'، و در مختصات تقریبی (E ۱۷۶۸۸۶۳ N ۱۲۴۸۲۴۲) پیشنهاد می‌شود. با توجه به مقادیر به دست آمده، تاقدیس سلطان حتی در صورت داشتن ذخیره هیدرولوکرینی مناسب نیز به تنایی به عنوان یک هدف اقتصادی مطرح نیست، البته در صورت اثبات پیوستگی تاقدیس‌های سلطان و ریت با استفاده از مقاطع لرزه‌ای دقیق‌تر، بستگی ساختاری عظیم و قابلیت استحصال بیشتری از مواد هیدرولوکرینی را ممکن خواهد کرد.

AutoCAD رقومی شد و سپس داده‌های لازم برای ورودی نرم‌افزار RMS (Reservoir Modeling System) از آن استخراج و در نهایت توسط این نرم افزار یک مدل سه بعدی برای سطح بالای گروه دهرم در منطقه تهیه شد (شکل ۱۶).

بر اساس نقشه هم‌تراز زیرزمینی رسم شده، میزان بستگی قائم تاقدیس سلطان حدود ۳۰ متر و میزان بستگی افقی آن حدود ۳/۳۹ کیلومتر مربع محاسبه شده است. با توجه به مقاییر به دست آمده، تاقدیس سلطان حتی در صورت داشتن ذخیره هیدرولوکرینی مناسب نیز به تنایی به عنوان یک هدف اقتصادی نمی‌تواند مطرح باشد، البته در صورت اثبات پیوستگی تاقدیس‌های سلطان و ریت (اثبات چنین پیوستگی باید پس از انجام عملیات لرزه‌نگاری بازتابی اکتشافی از منطقه این تاقدیس‌ها صورت گیرد)، بستگی ساختمانی عظیم و قابلیت استحصال بیشتری از مواد هیدرولوکرینی را ممکن خواهد کرد.

نتیجه گیری

بر اساس تحلیل هندسی توسط نمودارهای Jamison (1987) و تحلیل جنبشی از طریق محاسبه کرنش نهایی و مقایسه آن با مدل‌های ارائه شده برای تاقدیس مرتبط با گسل‌ش راندگی Barclay (1997) تاقدیس سلطان و چین الگوی Dunne & Thorbjornsen کلک‌بیشه در مسیر برش ساختاری' CC'، از نوع چین‌های انتشار گسلی هستند که در بین انواع مختلف این چین‌ها نیز با انواع سه برشی یا Steep-Limb Breakthrough هماهنگی بیشتری دارند. بر مبنای تحلیل برش‌های ساختاری در تاقدیس سلطان، هندسه این تاقدیس در سطح با هندسه آن در ژرفایی که واجد سنگ مخزن هیدرولوکرینی است (در زیر سازند گرو) متفاوت است. این تفاوت به دلیل اثر سطح جدایش میانی که در اینجا سازند گرو تحلیل شده، صورت گرفته است، لذا هندسه این تاقدیس در زیر این سطح جدایش میانی با هندسه چین‌های جدایشی گسل خورده (Mitra, 2002)، تطابق بهتری دارد. با توجه به مکانیک چینه‌شناسی منطقه، تاقدیس سلطان به احتمال زیاد از نوع چین‌های مشابه دروغین (Pseudo-Similar Folds)، معرفی شده توسط

جدول ۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده مورد نیاز برای تحلیل هندسی چین توسط نمودارهای (Jamison, 1987)، در مسیر برش‌های ساختاری

نام برش عرضی ساختاری	زاویه بین پهلوها (γ)	چین الگوی کلک‌بیشه	GG'	FFF"	EE'	DD'	CC'	BB'	AA'
		80	76	67	70	71	78	79	84
شیب پهلوی خلفی (a_b) یا شیب پلکان گسل (a)		49	38	41	37	37	38	32	34
نازک شدگی پهلوی پیشانی		17%	-	-	-	-	20%	-	-

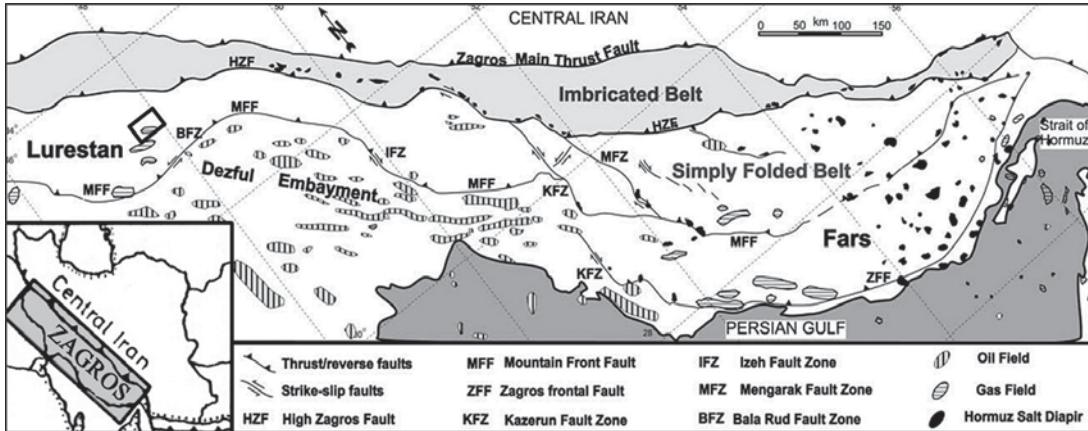


جدول ۲- مقادیر کرنش نهایی اندازه گیری شده در تاقدیس سلطان

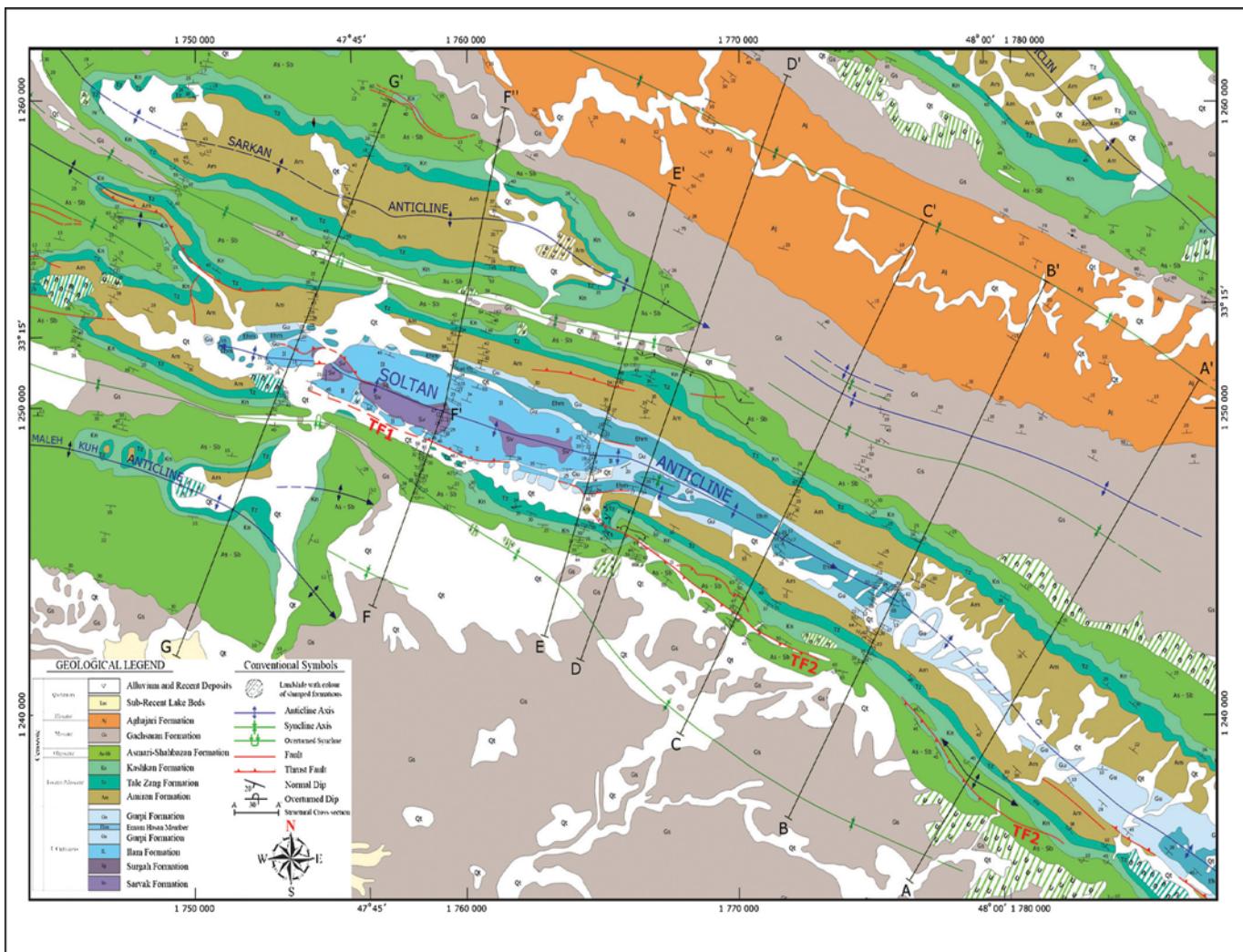
نمونه	صفحه کرنش	کرنش نهایی
نمونه آواری سازند امیران در پهلوی جنوبی مسیر پیمایش'BB'	XZ	۱/۴۷۲
نمونه آواری سازند امیران در پهلوی شمالی مسیر پیمایش'BB'	XZ	۱/۲۶۸
نمونه آواری سازند امیران در پهلوی جنوبی مسیر پیمایش'CC'	XZ	۱/۴۲
نمونه آواری سازند کشکان در پهلوی شمای مسیر پیمایش'CC'	XZ	۱/۲۵

جدول ۳- مقایسه ویژگی های کلیدی چین های انتشار گسلی و چین های جداشی گسل خورده (اقتباس از (Mitra 2002)

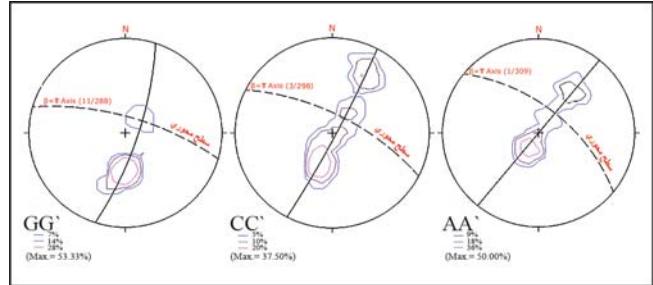
چین های انتشار گسلی	چین های جداشی گسل خورده
هندرسنهایی چین بسته و گوشه دار	هندرسنهایی چین باز و گرد شده
طول موج چین با میزان کوتاه شدگی رابطه عکس دارد	طول موج چین با میزان کوتاه شدگی رابطه مستقیم دارد
بسیاری از چین های انتشار گسلی فقط یک نوع سازو کار چین خوردگی را تحمل می کنند	هم زمان با مراحل تکامل چین خوردگی سازو کاز چین خوردگی نیز تغییر می کند
در واحدهای دارای لایه بندی نازک و چینه شناسی مکانیکی به نسبت همگن تشکیل می شوند و دارای دگر شکلی به صورت خمی - لغزشی (Flexural-slip) هستند	به طور شاخص در واحدهای با اختلاف مقاومت زیاد تشکیل می شوند
شکل گسل شکل چین را تعیین می کند (Thorbjornsen & Dunne, 1997) و واتنش چین خوردگی در نوک پلکان گسل باعث تشکیل این چین ها می شود	گسل در چین های از قبل موجود و تا پشت ناویدیس فرو دیواره گسترش می یابد
شیب پهلوی خلفی، معادل و یا کمتر از شیب گسل در واحدهای گسل خورده است	پهلوی خلفی ممکن است پرشیب تر از گسل باشد
در ناویدیس فرو دیواره ای، واحدها نسبت به موقعیت اصلی و ناحیه ای خود فرونشینی دارند و معکوس شدگی شیب نیز در آنها دیده می شود	در ناویدیس فرو دیواره ای، واحدها نسبت به موقعیت اصلی و ناحیه ای خود فرونشینی دارند و معکوس شدگی شیب نیز در آنها دیده می شود
لغزش گسل به طور مرتب به سمت نوک گسل کاهش می یابد	با توجه به تاریخچه گسترش گسل، نیمرخ جایه جایی الگویی پیچیده دارد و لغزش گسل ممکن است در برخی واحدها ثابت باشد و به سمت نوک گسل افزایش یا کاهش یابد
-	به دلیل تغییر مقاومت واحدها در این چین ها، انواع گسل های مرتبط با چین خوردگی ممکن است به وجود آیند



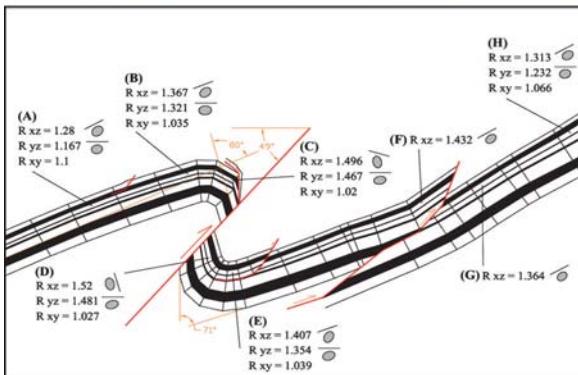
شکل ۱- کمربند چین خورده - رانده زاگرس (اقباس از Sepehr, 2001). موقعیت گستره مورد مطالعه در ناحیه لرستان با مستطیل کوچک نمایش داده شده است.



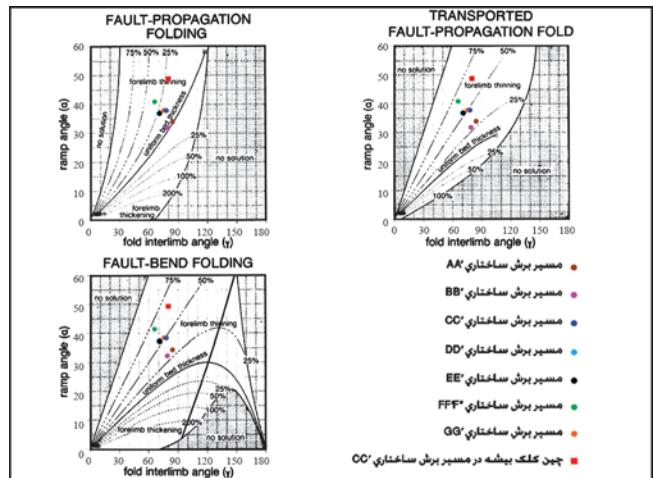
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه تاقدیس سلطان. مسیر برش‌های عرضی ساختاری بر روی نقشه نشان داده شده است. برای مشاهده برশ‌ها به شکل ۱۳ مراجعه شود.



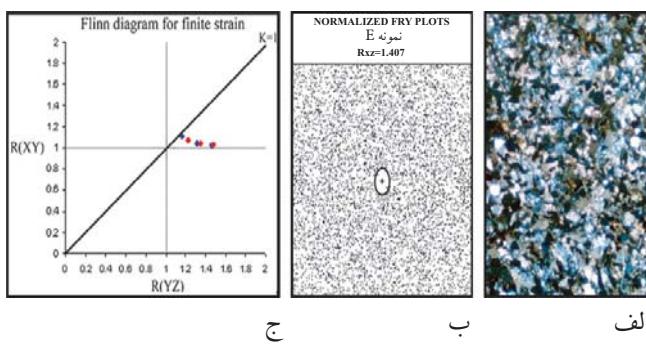
شکل ۳- نمودارهای π تهیه شده برای مسیرهای AA', CC' و GG'. محور و سطح محوری در این نمودارها نشان داده شده‌اند.



شکل ۴- چین کوچک مرتبط با گسلش رانده کلک‌بیشه در مسیر برش ساختاری CC' و طرح شماتیک آن. وضعیت بیضی‌های کرنش به دست آمده برای قسمت‌های مختلف، نسبت به سطح بالایی لایه در طرح شماتیک نشان داده شده است.



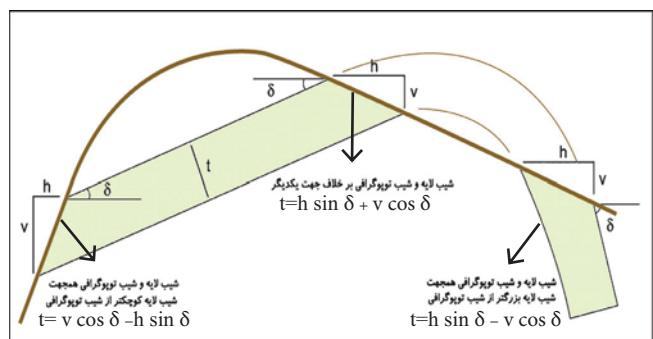
شکل ۵- وضعیت تاقدیس‌های سلطان و کلک‌بیشه بر روی نمودارهای Jamison (1987)، در مسیر برش‌های مختلف.



شکل ۷- الف) تصویر یکی از مقاطع نازک میکروسکوپی که از آنها در محاسبه کرنش نهایی استفاده شده است. (تصویر در نور قطبیده).

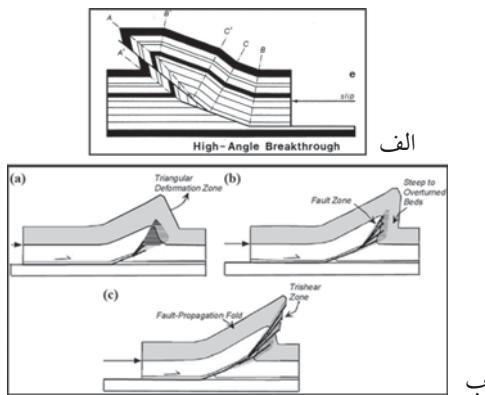
ب) نمونه‌ای از نمودارهای بهنجار شده Fry تهیه شده توسط نرم‌افزار Instrain (Erslev, 1988) و بیضی کرنش نهایی به دست آمده از آن.

ج) نمودار فلین بر اساس داده‌های چین کلک‌بیشه. نقاط آبی مربوط به لایه‌های فرآدیواره و نقاط سرخ مربوط به لایه‌های فرودیواره است.

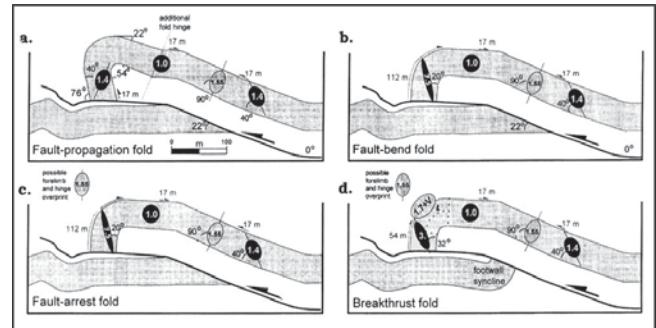


شکل ۶- روابط محاسبه سترای واقعی لایه‌ها با در نظر گرفتن تأثیرات توپوگرافی (Rowland & Duebendorfer, 1994).

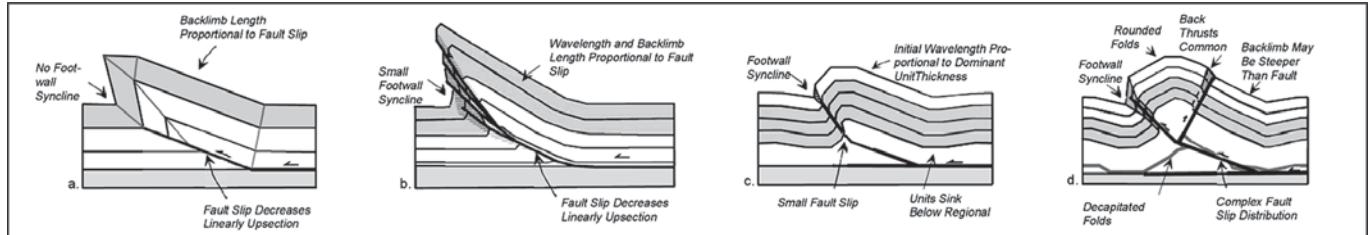
v) اختلاف ارتفاع توپوگرافی در ابتدا و انتهای لایه، t، سترای واقعی لایه h عرض لایه در نقشه، δ ، شب لایه.



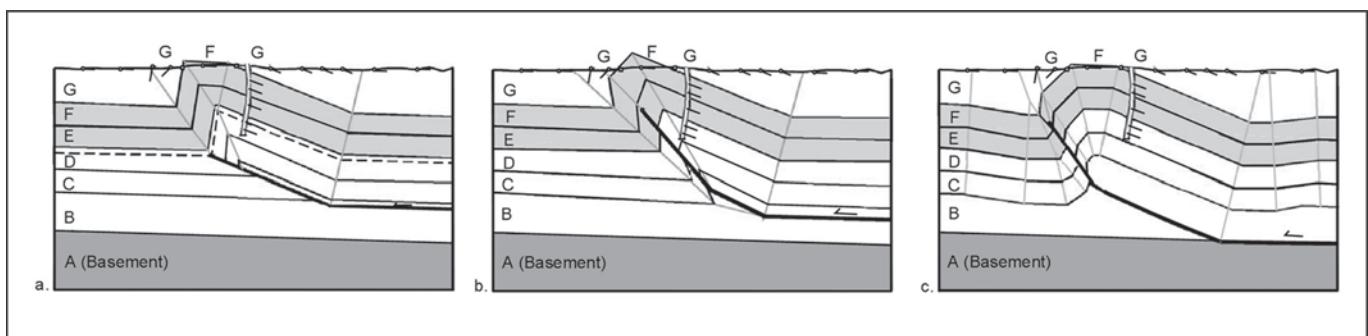
شکل ۹- (الف) مدل ساختاری High-Angle Breakthrough انواع ممکن ساختارهای در حال پیشرفت یا نفوذ. این مدل با فرض لغزش موازی لایه‌ای و سطوح محوری از قبل موجود قفل شده در مواد، کشیده شده است (اقتباس از Suppe & Medwedeff (1990)). (ب) تکامل چین‌های انتشار گسلی Erslev & Mayborn (1997) (اصلاح شده از مدل (Suppe & Medwedeff (1990))). دگرگشکلی در پهلوی پیشانی به صورت گسل‌هایی با فاصله نزدیک به هم نشان داده شده است (اقتباس از Mitra (2002)).



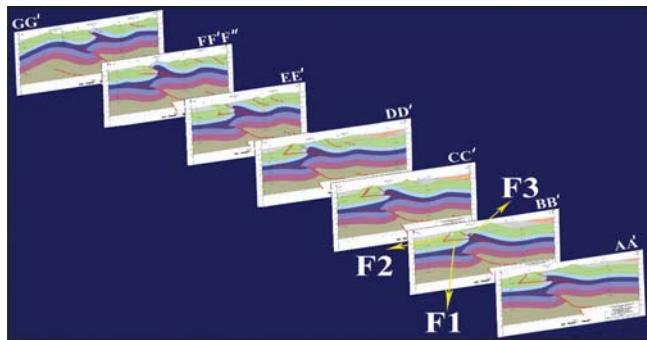
شکل ۸- پیش‌بینی‌های جنبشی برای مدل‌های مختلف چین خورده‌گی مرتبط با گسل رانده‌گی. بیضی‌های سیاه، جریان بین لایه‌ای و خمشی (Flexural or Interlayer Flow) و بیضی‌های خاکستری روشن، کرنش‌های خمشی (Bending Strain) را نشان می‌دهند. پیکان‌های کم ستراء، لغزش درون لایه‌ای یا خمشی (Flexural or Interlayer Slip) با طول‌های برابر با بزرگی لغزش را نشان می‌دهند (اقتباس از Thorbjornsen & Dunne (1997)).



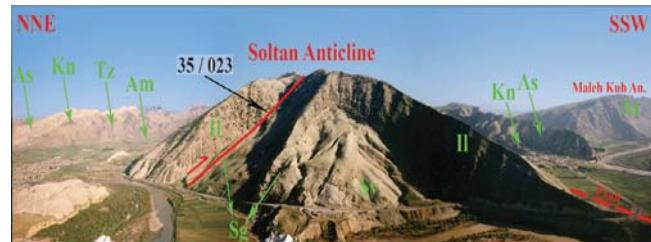
شکل ۱۰- مقایسه ویژگی‌های کلیدی چین‌های انتشار گسلی و چین‌های جدایشی گسل خورده (Mitra (2002)). (a) چین انتشار گسلی نوع Self-similar و (b) چین انتشار گسلی نوع سه‌برشی، (c) چین جدایشی گسل خورده (مدل ۱) و (d) چین جدایشی گسل خورده (مدل ۲).



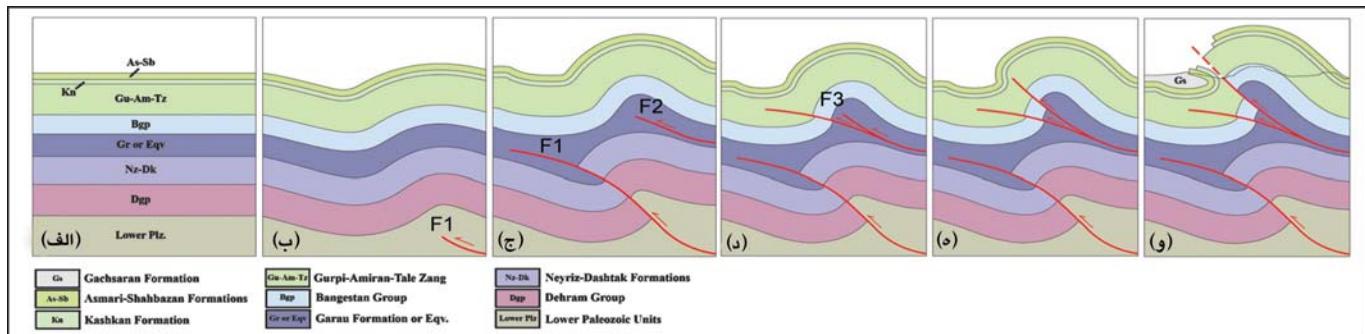
شکل ۱۱- تفسیر اطلاعات سطحی و زیر سطحی مشابه با استفاده از سه مدل مختلف چین - گسل. (a) چین انتشار گسلی نوع Self-similar و (b) چین انتشار گسلی نوع سه‌برشی و (c) چین جدایشی گسل خورده (Mitra (2002)).



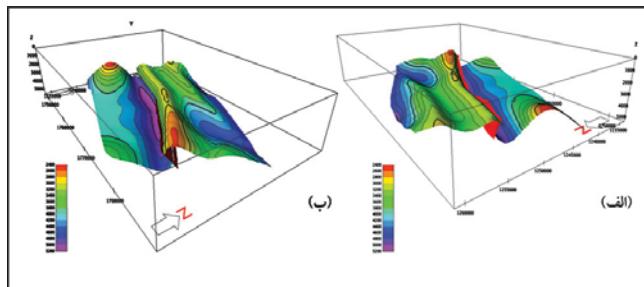
شکل ۱۳- نمایی از هفت برش ساختاری رسم شده بر روی تاقدیس سلطان. برش‌های ساختاری AA' تا GG' به ترتیب از خاور به باختراست.



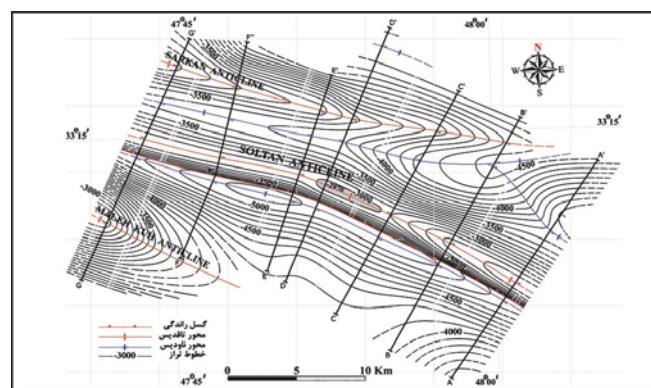
شکل ۱۲- نمایی از هسته تاقدیس سلطان در مسیر GG'. دید به سمت خاور، جنوب خاور (Sv) سروک، Sg سورگاه، II ایلام، Am امیران، Kn تلهزنگ، AS کشکان، Tz آسماری).



شکل ۱۴- مدل تکاملی ارائه شده برای تاقدیس سلطان در مسیر برش ساختاری "FF'F" ، (الف) مرحله پیش از دگرگشکلی، (ب) خمش و مهاجرت واحد نامقاوم زبرین به سمت هسته تاقدیس، (ج) توسعه چین همراه با مهاجرت مواد از ناویدیس به سمت تاقدیس و چرخش پهلوها. در این مرحله گسلش راندگی برای متعادل کردن (Accommodate) کوتاه شدگی، در سطح جدایش بالایی (سازندگورپی) تکامل می یابد، (د) تأثیر سطوح جدایش میانی در تکامل چین، تامر حله تشکیل ناویدیس خوابیده در پیشانی تاقدیس سلطان.



شکل ۱۶- مدل‌های سه بعدی تهیه شده توسط نرم‌افزار RMS (Reservoir Modeling System) برای سطح بالایی گروه دهرم تاقدیس سلطان به همراه خطوط هم تراز زیرزمینی. (الف) دید به سمت جنوب خاور. (ب) دید به سمت شمال باخترا (عمق‌ها زیر سطح دریا است).



شکل ۱۵- نقشه هم تراز زیرزمینی (UGC Map) که با استفاده از برش‌های ساختاری هفت گانه (شکل ۱۳) برای گروه دهرم تاقدیس سلطان رسم شده است. محدوده خاکستری رنگ بستگی افقی و اختلاف ژرفای خطوط هم تراز بستگی قائم را نشان می دهد.



کتابنگاری

شرکتی، ش.، ۱۳۸۴- تکتونیک پوشش رسوی و پیسنگ در کمربند کوهزایی زاگرس، نکاتی در زمینه مدل‌سازی هندسی دگرگشکلی، شرکت ملی نفت ایران، مدیریت اکتشاف.

References

- Dahlstrom, C.D.A., 1970- Structural geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountains. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, V. 18, 332-406.
- Dittmar, D., 1994- Strain partitioning across a fold and thrust belt: the Rhenish Massif, Mid-European Variscides. *J. Struct. Geol.* 16 (10), 1335-1352.
- Dunnet, D., 1969- A technique of finite strain analysis using elliptical particles. *Tectonophysics* 7, 117-136.
- Erslev, E.A. & Mayborn, K.R., 1997- Multiple geometries and modes of fault-propagation folding in the Canadian thrust belt. *Journal of Structural Geology*, V. 19, 321-335.
- Erslev, E.A., 1988- Normalized center-to-center strain analysis of packed aggregates. *Journal of Structural Geology*, 10(2), 201-209.
- Harrison, J.C. & Bally, A.W., 1988- Cross sections of the Devonian to Mississippian fold belt on Melville Island, Canadian Arctic Islands, Canadian Society of Petroleum Geologists, 36, 311-332.
- Hessami, K., koyi, H.A. & Talbot, C.J., 2001- The Significance of Strike-Slip Faulting in the Basement of the Zagros Fold and thrust Belt. *Journal of Petroleum Geology*, 24(1), 5-28.
- Jamison, W.R., 1987- Geometric analysis of fold development in overthrust terranes. *Journal of Structural Geology*, V. 9, 207-219.
- McClay, K.R., 2003- Structural geology for petroleum exploration, lecture notes., 503p.
- McNaught, M.A. & Mitra G., 1993- A kinematic model for the origin of footwall synclines. *Journal of Structural Geology*, Vol. 15, 805-808.
- McQuarrie, N., 2004- Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Journal of Structural Geology*, Vol. 26 (3), 519-535.
- Mitra, S., 1990- Fault Propagation folds: Geometry kinematic evolution and hydrocarbon traps. *AAPG Bulletin*, V. 74, 921945.
- Mitra, S., 2002- Fold-Accommodation Faults. *AAPG Bull.*, 86(4), 671-693.
- Mitra, S., 2002- Structural models of faulted detachment folds. *AAPG Bull.*, 86(9), 1673-1694.
- Ramsay, J.G., 1967- Folding and Fracturing of Rocks. McGraw-Hill, New York.
- Rowland, S.M. & Duebendorfer, E.M., 1994- Structural analysis and synthesis 2nd Edition. Blackwell Scientific PubUcation.
- Sattarzadeh, Y., Cosgrove, J.W., 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, 187-196.
- Sepehr, M., 2001- The Tectonic Significance of the Kazerun Fault Zone, Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. Thesis Submitted for the Degree for Ph.D, University of London, 215 p.
- Sherkati, S. & Letouzey, J., 2004- Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran. *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 21, No. 5, 535-554.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran: a review. *AAPG Bulletin*, 52, 1229-1258.
- Suppe, J. & Medwedeff, D.A., 1990- Geometry and kinematics of fault-propagation folding. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, V. 83, 409-454.
- Thorbjornsen, K. L. & Dunne, W. M., 1997- Origin of Thrust-Related Fold: Geometric vs Kinematic tests. *Journal of Structural Geology*, 19, 303-319.
- Wallace, W.K. & Homza, T.X., 1997- Differences between fault-propagation folds and detachment folds and their subsurface implications. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 6, 122.