

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

نویسنده: عباس افلاطونیان*، علی یساقی* و عبدالحسین احمدنیا**

* گروه زمین شناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
** مدیریت اکتشاف شرکت ملی 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 دریافت: ۱۳۸۶/۰۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۰۸/۱۴

چکیده

تاقدیس سلطان در شمال باختر 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 ها 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 نیز که از نظر هندسی شبیه چین های انتشار گسلی هستند، برای تاقدیس در نظر گرفت. همچنین مطالعه مقادیر کرنش نهایی بر روی نمونه سنگ های آواری از تاقدیس و چین الگو نشان داد که این مقادیر نسبتاً پایین بوده و مشابه مقادیر کرنش در چین های انتشار گسلی با پایین بودن میزان کوتاه شدگی 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 elastic 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 چین باریک و کشیده باروند عمومی باختر، شمال باختر-خاور، جنوب خاور است که در بین تاقدیس‌های نفتی سرکان در شمال باختر و ماله کوه در جنوب باختر قرار دارد (شکل ۲). رخنمون‌های سنگی آن به‌طور عمده واحدهای سنگی کرتاسه و ترشیری و شامل سازندهای سروک، سورگاه و ایلام در هسته تاقدیس، سازندهای گورپی، بخش امام حسن، امیران، تله زنگ، کشکان، شهبازان و آسماری در پهلوهای شمالی و جنوبی و سازند گچساران در هسته ناودیس‌های مجاور آن هستند (شکل ۲). بیشترین ارتفاع تاقدیس بر روی سازند ایلام، در بخش باختری هسته تاقدیس ۱۳۳۳ 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 متمرکز هستند، لذا شناخت دقیق‌تر این ساختارها و تحلیل هندسی و جنبشی آنها از بنیادی‌ترین موضوعات زمین‌شناسی نفت زاگرس است.

تاقدیس سلطان در بخش میانی ناحیه لرستان در شمال باختر فروافتادگی دزفول قرار دارد (شکل ۱). این منطقه در بین طول جغرافیایی ۳۶° ۴۷ تا ۴۸° ۱۰ خاوری و عرض جغرافیایی ۰۶° ۳۳ تا ۱۸° ۳۳ شمالی قرار گرفته است. ساختارهای ناحیه لرستان روند شمال باختر - جنوب خاور دارند. در این محدوده، آهک‌های آسماری باسن ائوسن - الیگوسن و سازندهای مزوزویک، 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 رخنمون سطحی دارند و لذا به‌عنوان 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 به‌عنوان 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 محاسبه 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 نظری می رسد که تاقدیس سلطان همچون بیشتر تاقدیس های زاگرس از انواع مرتبط با گسلش راندگی باشد. در پهلوی شمالی تاقدیس سلطان نزدیک روستای کلکک بیشه علیا (در مسیر برش ساختاری 'CC، شکل ۲) گسلش راندگی همراه با تاقدیس فرادبواره ای و ناودیس فرودبواره 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 کلکک بیشه، از نمودارهای (Jamison (1987) استفاده شده است. با قرارگیری تاقدیس سلطان در محدوده چین های Forced و با توجه به نتایج برداشت های صحرایی که وجود گسلش راندگی در پهلوی جنوبی این تاقدیس را نشان می دهند و همچنین بر مبنای هندسه ساختاری چین کلکک بیشه، از به کارگیری 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_p)، زاویه بین پهلوها (γ) و میزان نازک شدگی یا ستبرشدگی سازند خاصی در پهلوی پیشانی نسبت به پهلوی خلفی است. این پارامترها برای تاقدیس سلطان و چین کلکک بیشه از برش های عرضی ساختاری رسم و برداشت های صحرایی استخراج شده (جدول ۱) و بر روی نمودارهای (Jamison (1987) پیاده شده اند (شکل ۵). محاسبه تغییر ستبرای پهلوی پیشانی بر مبنای ستبرای 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 Transported Fault Propagation Folds) در مسیرهای 'AA و 'BB در محدوده با حدود ۲۶ درصد نازک شدگی، در مسیر 'FF' 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 پهلوی در بخش خاوری برابر (Dip/Dip Direction) 25/038 در بخش میانی برابر 60/010 و در بخش باختری 15/010 است. در همین سازند شیب پهلوی جنوبی نیز متغیر است. در بخش باختری 35/203 است، به سمت بخش میانی لایه ها برگشته شده و موقعیت آنها 41/010 می شود، در بخش میانی برگشتگی لایه ها ادامه داشته و موقعیت آنها 22/015 است و در بخش خاوری لایه ها دوباره به حالت عادی برگشته و موقعیت آنها 65/210 است (شکل ۲).

در بخش جنوب باختری تاقدیس سلطان یک گسل راندگی (گسل TF1) 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 TF2) وجود دارد که باعث رخنمون 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 جابه 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 'AA، 'CC 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 پهلوئی به دست آمده 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 این 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 سبتر 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 به دست 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 کلکک 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 فرود یواره و جابه جایی ثابت تمام واحدها (Mitra, 1990) در این چین ها کمک گرفت. در تاقدیس سلطان به علت عدم وجود اطلاعات زیر سطحی مناسب، امکان مقایسه وجود ندارد اما در برشی که از چین کلکک بیشه وجود دارد (شکل ۴)، تاقدیس فرود یواره بر 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 Break-Thrust و Fault-Arrest و 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 کلکک بیشه نیز از نقاط A تا H (شکل ۴) نمونه های جهت دار تهیه شد. محاسبه مقادیر کرنش نهایی بر روی مقاطع نازک نمونه ها در صفحه XZ که صفحه بیشترین میزان کرنش نهایی است، صورت گرفته است (شکل ۷-الف). همچنین در چین کلکک بیشه به منظور مطالعه کرنش در سه بعد در نقاط A، B، C، D، E و H، مقطع نازک 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 باشند 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 صحرایی 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 سبتر 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 سبتر برای آن، از این واحد سنگی برای اندازه گیری مقدار سبتر 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 سبتر این سازند از بین رفته است و یا به علت تغییر شیب از حالت عادی به برگشته (مانند مسیرهای AA' و BB')، سبتر برای آن قابل اندازه گیری نیست.

برای تعیین تغییر سبتر برای سازند امیران در مسیر CC'، اختلاف ارتفاع توپوگرافی و عرض لایه از نقشه زمین ساختاری منطقه (شکل ۲) محاسبه شده و شیب لایه بندی بر اساس اندازه گیری های صحرایی و مقادیر موجود در نقشه زمین ساختاری می باشد. شاخص (b) برای پهلوی خلفی و شاخص (f) برای پهلوی پیشانی است. اگر مقدار t_p بیشتر از t_f باشد پهلوی پیشانی نازک شده و در غیر این صورت پهلوی پیشانی سبتر 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 سبتر شدگی به دست می آید.

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

زاویه بین پهلوها $\gamma = 78^\circ$ شیب پهلوی پشتی $\alpha_p = 38^\circ$

سبتر برای سازند امیران در پهلوی خلفی $(t_p) = 955/28$ متر

سبتر برای سازند امیران در پهلوی پیشانی $(t_f) = 762/82$ متر

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

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

$$a = 76282 \div 955/28 = 79/85$$

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

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 کلکک 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 می دهند، با مدل های ارائه شده برای تاقدیس مرتبط با گسلش رانده گی Barclay توسط (1997) Thorbjornsen & Dunne (شکل ۸)، می توان چنین نتیجه گرفت که تاقدیس سلطان و چین کلک بیشه هر دو از نوع چین های انتشار گسلی هستند، زیرا در مدل های دیگر اختلاف کرنش بین پهلوی های پیشانی و خلفی زیاد و کاملاً محسوس است. این نتیجه به دست آمده از تحلیل هندسی توسط نمودارهای (1987) Jamison، هماهنگ است و آن را تأیید می کند. البته با توجه به شکل ۴ و برش های ساختاری رسم شده (شکل ۱۳) که پیشرفت گسل به داخل پهلوی پیشانی چین را نشان می دهند، شاید بهتر باشد این چین ها را از نوع چین های انتشار گسلی در حال پیشرفت یا نفوذ (Propagation Folds Breaking Through of Fault)، که توسط (1990) Suppe & Medwedeff معرفی شده اند، در نظر گرفت. این چین ها خود نیز انواع مختلفی دارند که از بین آنها، تاقدیس سلطان و چین کلک بیشه، با نوع (High-Angle Breakthrough) Steep-Limb Breakthrough (شکل ۹- الف) که توسط (2002) Mitra با عنوان گسل سه برشی چین انتشاری معرفی شده اند (شکل ۹- ب)، هماهنگی بیشتری دارند.

(2002) Mitra با معرفی چین های جدایشی گسل خورده (Faulted Detachment Folds)، اشاره می کند که این چین ها از نظر ظاهر شبیه چین های 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 ویژگی های کلیدی چین های انتشار گسلی و همچنین ویژگی های چین های جدایشی گسل خورده، این دو نوع چین خوردگی را با هم مقایسه کرده است (شکل ۱۰ و جدول ۳).

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

در تاقدیس سلطان نیز به علت عدم دسترسی به اطلاعات زیر سطحی مناسب و با توجه به تحلیل های 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 می توان در نظر گرفت، ولی در مورد چین الگوی کلک بیشه، از آنجا که در ناودیس فرودپاره ای فرونشینی محسوس مشاهده نمی شود و همچنین با توجه به توسعه گسل های

شدت کم شده است، به همین علت مقاطع تهیه شده در مسیرهای DD' تا GG' برای اندازه گیری کرنش قابل استفاده نیستند و فقط از مقاطع مسیرهای BB' و CC' استفاده شده است. با توجه به توزیع بلورهای کوارتز در زمینه کرنباتی-رسی، محاسبه کرنش نهایی به روش Fry (1969) Dunnet صورت گرفته است. این روش برای دانه های کوارتز آواری در زمینه غیر سیلیسی مانند نمونه سنگ های منطقه مطالعه روش مناسبی است (1994) Dittmar. در هر مقطع، توزیع دانه های کوارتز به عنوان نشانگر مناسب، انتخاب و با استفاده از نرم افزار Digitizer، قطر بزرگ و کوچک این دانه ها اندازه گیری شد تا به عنوان داده های ورودی به نرم افزار Instrain (1988) Erslev، به کار گرفته شوند. این نرم افزار قادر است مقدار میانگین بیضوی های موجود، مقدار R از روش Fry و نیز R از روش Fry (1988) Erslev، بهنجار شده را محاسبه کند، به علاوه قادر به رسم نمودار Φ/R_f است. با توجه به نوع نمونه های منطقه که در آنها بلورهای کوارتز دارای جورشدگی ضعیف در زمینه کرنباتی 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 کرنش های 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 می دهد، در مورد چین کلک بیشه نیز این فرایند وجود دارد. چنان که در شکل ۴ مشاهده می شود، در حاشیه رانده گی که پهلوی پیشانی چین کلک بیشه را بریده است، هم در لایه های فرادپواره و هم در لایه های فرودپواره، کرنش به حداکثر رسیده و با فاصله از گسل از مقدار کرنش کم شده است که البته میزان کاهش ناچیزی است. همچنین مقایسه کرنش های نهایی اندازه گیری شده در دو بخش فرادپواره و فرودپواره گسل نشان می دهد که فرادپواره گسل، کرنش بیشتری را متحمل شده است.

نکته دیگری که از مقادیر به دست آمده برآورد می شود، میزان پایین کرنش نهایی در منطقه است. این ویژگی را می توان با پایین بودن مقدار LPS در منطقه توجیه کرد. از سوی دیگر نمودار فلین (Flinn diagram) تهیه شده برای نمونه های برداشت شده از اطراف گسلش رانده گی موجود در پهلوی پیشانی چین کلک بیشه (شکل ۷- ج) نیز نشان می دهد که نمونه های برداشت شده در محدوده $1 > K \geq 0$ یعنی پهن شدگی ظاهری (Apparent flattening) واقع می شوند که با موقعیت بیضوی های کرنش ورقه های رانده گی در مناطق پیش خشکی مطابقت دارد. مقدار کرنش در نواحی مختلف یک چین فرادپواره ای مانند پهلوی های پیشانی و خلفی، و همچنین ناحیه لولایی، متفاوت است. با استفاده از میزان این اختلاف می توان به سبک چین خوردگی مرتبط با گسلش رانده گی پی برد.



زمین‌فیزیکی مناسب و اطلاعات چاه در تاقدیس سلطان، این برش‌های ساختاری با در نظر گرفتن مدل هندسی تحلیل شده، تأثیر افق‌های جدایش میانی (که در این منطقه شیل‌های کامبرین و سازندهای گرو و گورپی - امیران هستند) و اطلاعات ساختاری سطحی مسیرهای پیمایش (شکل ۲)، رسم شده‌اند (شکل ۱۳). مسیر این برش‌های عرضی ساختاری که با مقیاس ۱:۵۰۰۰ رسم شده‌اند، در شکل ۲ نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۱۳ دیده می‌شود، هندسه تاقدیس سلطان بر روی سازند گرو که سطح جدایش میانی منطقه است بر اساس مدل چین‌خوردگی انتشار گسلی نوع سه برشی یا نوع Steep-Limb Breakthrough و در زیر این سازند بر اساس مدل چین‌های جدایشی گسل خورده (Faulted Detachment Folds) رسم شده است. با توجه به برش‌های ساختاری رسم شده، سه گسل رانده‌گی F1، F2 و F3 بر ساختار تاقدیس سلطان تأثیر گذاشته‌اند. در برش‌های ساختاری AA' تا DD' گسل رانده‌گی 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. چنان‌که دیده می‌شود در این برش‌های ساختاری حالت گوه مانند بین گسل‌های F1 و F2 شبیه پهنه‌های سه گوش (Triangle Zones) از نوع گوه‌های داخل پوسته‌ای (Intercutaneous Thrust Wedge)، است. هم‌زمان با گسترش گسل F2، گسل F3 به صورت شاخه فرادیواره‌ای 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 قائم 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 جایی که از میزان جابه‌جایی گسل F1 کاسته شده است. در این دو برش، بیشتر جابه‌جایی بر روی گسل F3 متمرکز شده است که باعث رخنمون گروه بنگستان و حذف ستبرای زیادی از سازندهای گورپی و امیران شده است (شکل ۱۳). در برش ساختاری GG' به علت فراخاست تاقدیس ماله کوه و فشرده‌گی ناودیس 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.

مرتبط با چین‌خوردگی (Mitra, 2002) در فرودیواره این ساختار که مشابه ساختارهای توسعه یافته در پهلوی پیشانی پرشیب تا برگشته چین‌های انتشار گسلی (McClay, 2003) می‌باشند، 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 ناودیس‌های فرودیواره، گسل‌های رانده‌گی پرشیب و تنگ‌شدگی چین‌ها به واسطه چرخش پهلوها و مهاجرت لولاً، مشخصه انتقال رفتار دگرشکلی از چین‌خوردگی جدایشی به چین‌خوردگی پیشروند انتشار گسلی همراه با افزایش کوتاه‌شدگی است که این سبک چین‌خوردگی مشابه چین‌خوردگی جدایشی گسل خورده است که توسط Mitra (2002) ارائه شده است. در واقع ایشان این دو نوع چین‌خوردگی 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 چین‌خوردگی پیش از گسل‌خوردگی اتفاق افتاده است (McNaught Mitra, 1993; Wallace & Homza, 1997)، که این موضوع دلالت بر چین‌خوردگی جدایشی گسل خورده دارد.

تحلیل برش‌های ساختاری برای برآورد میزان بستگی گروه دهرم تاقدیس سلطان

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

برش‌های عرضی ساختاری مناسب‌ترین ابزار برای ارائه هندسه ساختاری چین‌ها بویژه در عمق است، از این رو در بیشتر بررسی‌های مربوط به اکتشاف ذخایر هیدروکربنی در مناطق پیش‌خشکی با توسعه تله‌های نفتی تاقدیسی، نقش بسیار مهمی دارند. این برش‌ها به طور تقریبی عمود بر امتداد محور چین‌ها 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 هرگونه اطلاعات زیر سطحی مانند اطلاعات

گورپی و امیران به عنوان سطوح جدایش میانی کم ژرفا، شیب پهلوئی جنوبی تاقدیس سلطان افزایش یافته و شرایط برای تأثیر نیروی گرانش فراهم می شود که در اثر آن لایه های مقاوم سازندهای تله زنگ، کشکان و آسماری که در بین شیل ها و مارن های سازندهای گورپی و امیران و تبخیری های سازند گیچساران قرار دارند، شروع به لغزش می کنند و برگشتگی در ناودیس فرودیواره روی می دهد. برای شروع لغزش، تأثیر فرسایش در افق آسماری اجتناب ناپذیر است. در اثر ادامه جابه جایی بلوک فرادیواره و همچنین عملکرد نیروهای گرانش و فرسایش، لایه های برگشته به پشت خمیده شده و ناودیس برگشته فرودیواره ای به حالت خوابیده در می آید (شکل ۱۴-و).

تحلیل تکامل تاقدیس سلطان در برش ساختاری "FF'F" نشان می دهد که هندسه و موقعیت مکانی تاقدیس تشکیل شده در واحدهای سطحی (گروه بنگستان و سازندهای گورپی، امیران، تله زنگ، کشکان، شهبازان و آسماری) با آنچه که در گروه دهرم به عنوان پتانسیل سنگ مخزن هیدروکربنی تشکیل شده متفاوت است، لذا در مکان بای حفرای های اکتشافی و بهره برداری باید لحاظ شود. بر همین مبنا، برآورد بستگی قائم و افقی این گروه با توجه به چنین تحلیلی صورت گرفته است.

نقشه هم تراز زیرزمینی (Under Ground Contour Map)

نقشه هم تراز زیرزمینی یا نقشه هم تراز ساختاری (Structural Contour Map) برای نمایش هندسه ساختاری افق های زمین شناسی زیر سطحی به کار می رود. در این نقشه ها، خطوط هم تراز ژرفای افق مورد نظر را نسبت به سطح مبنایی که به طور معمول سطح تراز دریاها است، نشان می دهند. هندسه خطوط هم تراز در این نقشه ها معرف هندسه ساختاری افق مورد نظر است. در نقشه هم تراز ساختاری، در تاقدیس ها مساحت آخرین خط هم تراز بسته، بستگی افقی (Horizontal Closure) تاقدیس را نشان می دهد که به اندازه، ارتفاع و هندسه تاقدیس بستگی دارد. همچنین فاصله قائم بین بالاترین نقطه ساختاری یا به عبارت دیگر کم ژرفاترین نقطه ساختاری تاقدیس با آخرین خط هم تراز بسته آن، بستگی قائم (Vertical Closure) تاقدیس را مشخص می کند.

در منطقه تاقدیس سلطان بر اساس برش های ساختاری رسم شده، اطلاعات عمقی مربوط به سطح بالایی گروه دهرم در تمام آنها برداشت و نقشه هم تراز زیرزمینی گروه دهرم رسم شده است (شکل ۱۵). مقایسه این نقشه با نقشه زمین شناسی منطقه (شکل ۲)، نشان می دهد که هندسه تاقدیس در عمق از سطح تبعیت نمی کند و کوهان (Culmination) اصلی گروه دهرم به سمت خاور، جنوب خاور و به سمت تاقدیس ریت جابه جا 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 هم تراز زیرزمینی گروه دهرم، این نقشه در نرم افزار

همان طور که در تمام برش های ساختاری دیده می شود (شکل ۱۳) چین خوردگی در لایه های مقاوم آهکی از نوع چین های موازی است و در رده 1B تقسیم بندی (Ramsay (1967) قرار می گیرند ولی در لایه های تبخیری و شیلی که شکل پذیرتر هستند و به عنوان سطوح جدایش میانی در نظر گرفته شده اند، برش در امتداد سطوح جدایش به عنوان تابعی از اختلاف مقاومت میان واحدهای مقاوم و نامقاوم، با تشکیل گسل های راندگی در این سازندها و افزایش ستبرای آنها در لولای تاقدیس، منجر به پدید آمدن سبک چین خوردگی غیر موازی و حالتی مانند چین های مشابه در تقسیم بندی Ramsay (1967) شده است. (Dahlstrom (1970) چنین چین هایی را چین های مشابه دروغین (Pseudo-Similar Folds) نامیده است.

با استناد به مدل های Harrison and Bally (1988) و شرکتی (۱۳۸۴) که تأثیر افق های جدایش میانی را در تکامل ساختاری چین های زاگرس نشان می دهند و بر اساس برش های ساختاری رسم شده (شکل ۱۳) که در آنها تأثیر افق های جدایش میانی در منطقه تاقدیس سلطان لحاظ شده است، یک مدل تکاملی برای تاقدیس سلطان در مسیر برش ساختاری "FF'F" ارائه شده است (شکل ۱۴). در اولین مرحله دگرشکلی و شروع تکامل چین، خمش لایه های هم ستبرای بر روی سطح جدایش زیرین (سطوح شیلی کامبرین)، نخستین هسته چین موازی را شکل می دهد. به تبع آن لایه های نامقاوم به سمت هسته تاقدیس جریان می یابند (شکل ۱۴-ب). طول موج تاقدیس در این مرحله توسط ستبرای پوشش رسوبی کنترل می شود. با افزایش دگرشکلی، تاقدیس به وسیله مهاجرت لولا و چرخش پهلوها که اجازه رشد چین و انتقال مواد را می دهند، به خمش خود ادامه می دهد. در این مرحله گسلش راندگی (گسل F1) می تواند برای متعادل کردن (Accommodate) کوتاه شدگی در سطوح ژرف شروع به تکامل نماید ولی به علت وجود سطح جدایش میانی (سازند گرو) تا سطح ادامه نمی یابد (شکل ۱۴-ج). این مرحله را مشابه تحلیلی که شرکتی (۱۳۸۴) برای دیگر نقاط زاگرس نموده است می توان مرحله عبور از چین جدایشی (Detachment Fold) به چین جدایشی گسل خورده (Faulted Detachment Fold) تحلیل کرد. در این مرحله کوتاه شدگی در واحدهای نامقاوم به عنوان تابعی از اختلاف مقاومت میان واحدهای مقاوم و نامقاوم می تواند موجب شکل گیری گسل های راندگی جدید (مانند گسل F2) در سطح جدایش میانی (سازند گرو) و تکرار فرایند شکل ۱۴-ج در افق های بالاتر شود (شکل ۱۴-د). با متوقف شدن جابه جایی شاخه اصلی گسلش راندگی، در سطوح جدایش بالاتر (سازندهای گورپی و امیران)، یک شاخه فرعی فرادیواره ای (گسل F3) از آن منشعب شده و جابه جایی بر روی آن صورت می گیرد (شکل های ۱۴-د و ه). در اثر جابه جایی بر روی این شاخه فرعی فرادیواره ای و همچنین تأثیر سازندهای

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

تشکیل تاقدیس‌های فرعی و گسل‌های راندگی بر روی شیل‌ها و مارن‌های سازندهای گورپی و امیران، نشان دهنده تأثیر این لایه‌ها به صورت سطوح جدایش میانی، در منطقه مورد مطالعه سطوح جدایش میانی، در سبک چین خوردگی و تشکیل ساختارهای سطحی تأثیر گذاشته‌اند. در این منطقه هیچ شاهدهی 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 سازندهای گوتنیا و گرو)، شیل‌ها و مارن‌های کرتاسه بالایی و پالئوسن (سازندهای گورپی و امیران) و تبخیری‌های میوسن زیرین - میانی (سازند 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'، در مختصات تقریبی (E ۱۷۶۸۸۶۳، N ۱۲۴۸۲۴۲) پیشنهاد می‌شود. با توجه به مقادیر به دست آمده، تاقدیس سلطان حتی در صورت داشتن ذخیره هیدروکربنی مناسب نیز به تنهایی 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 هیدروکربنی را ممکن خواهد کرد.

AutoCAD رقمی شد و سپس داده‌های لازم برای ورودی نرم‌افزار RMS، (Reservoir Modeling System) از آن استخراج و در نهایت توسط این نرم‌افزار یک مدل سه بعدی برای سطح بالایی 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 مقایسه به دست آمده، تاقدیس سلطان حتی در صورت داشتن ذخیره هیدروکربنی مناسب نیز به تنهایی 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 هیدروکربنی 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 توسط Dunne & Thorbjornsen (1997) تاقدیس سلطان و چین الگوی 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 هیدروکربنی 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

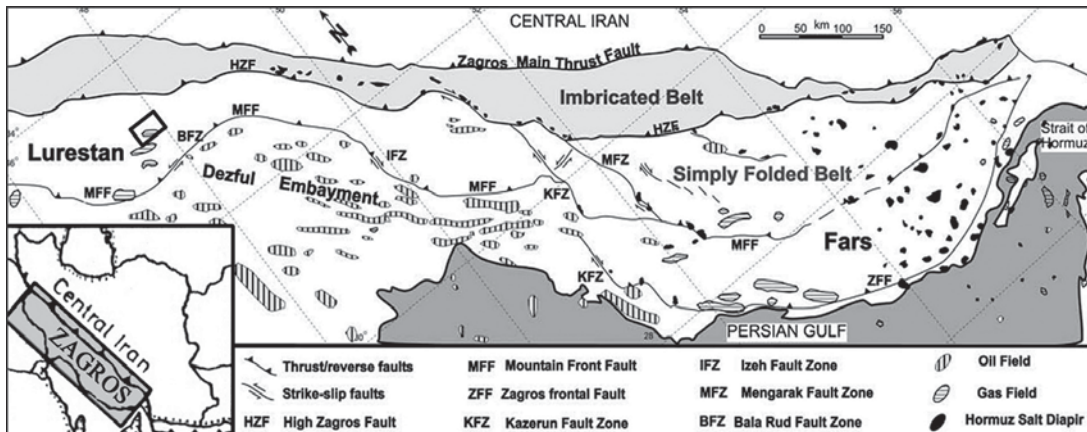
نام برش عرضی ساختاری	AA'	BB'	CC'	DD'	EE'	FF'F''	GG'	چین الگوی کلک‌بیشه
زاویه بین پهلوها (γ)	84	79	78	71	70	67	76	80
شیب پهلو خلفی (α_p) یا شیب پلکان گسل (α)	34	32	38	37	37	41	38	49
نازک شدگی پهلو پیشانی	-	-	20%	-	-	-	-	17%

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

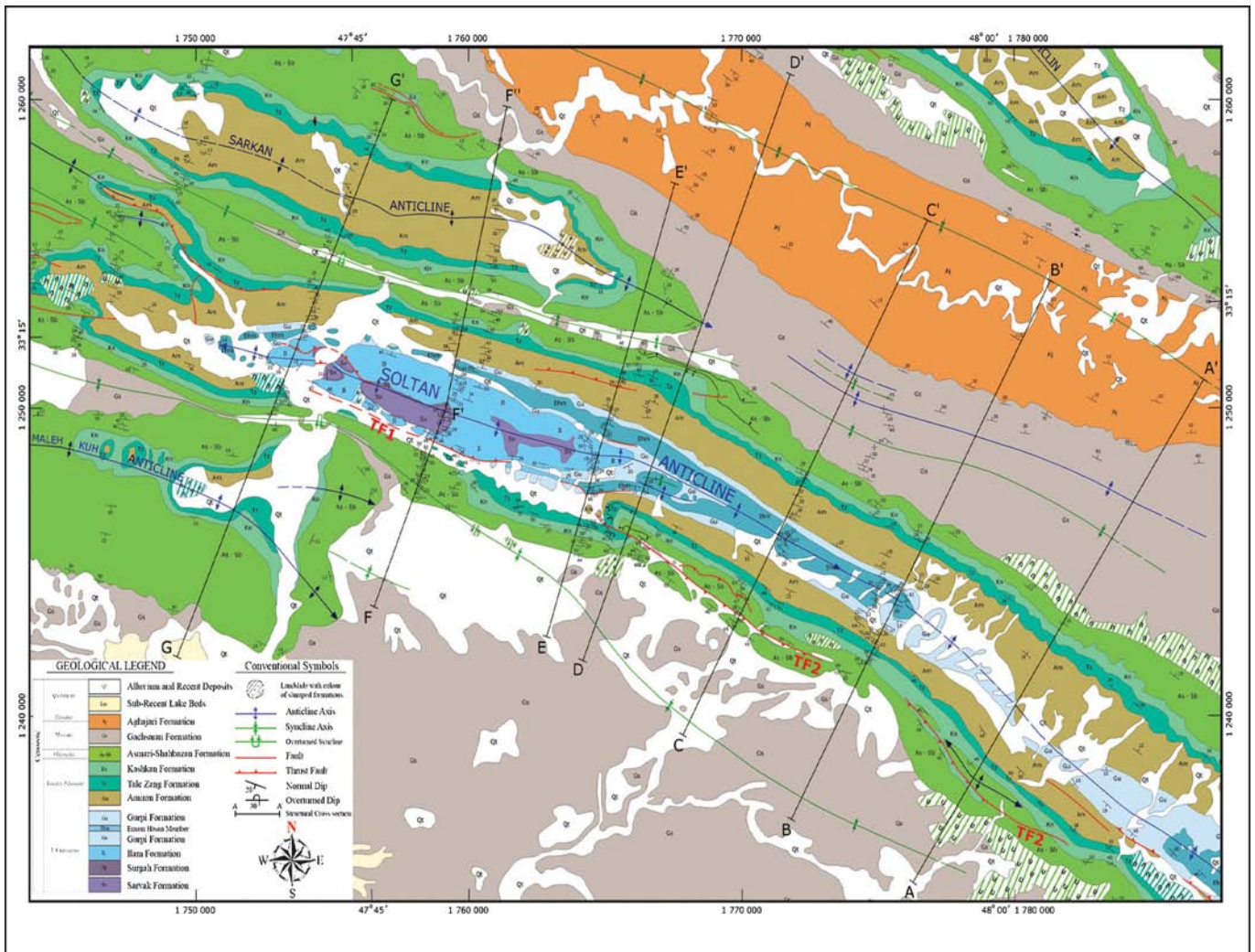
نمونه	صفحه کرنش	کرنش نهایی
نمونه آواری سازند امیران در پهلوی جنوبی مسیر پیمایش BB'	XZ	۱/۴۷۲
نمونه آواری سازند امیران در پهلوی شمالی مسیر پیمایش BB'	XZ	۱/۲۶۸
نمونه آواری سازند امیران در پهلوی جنوبی مسیر پیمایش CC'	XZ	۱/۴۲
نمونه آواری سازند کشکان در پهلوی شمالی مسیر پیمایش CC'	XZ	۱/۲۵

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

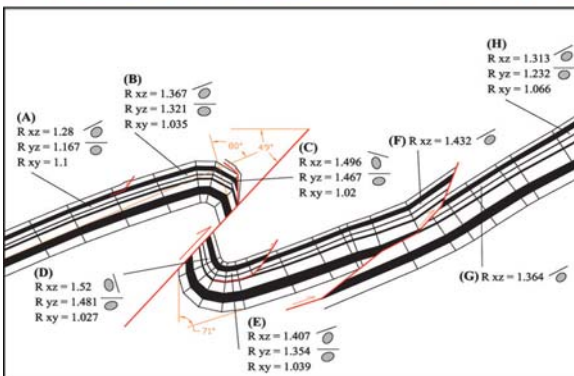
چین های جدایشی گسل خورده	چین های انتشار گسلی
هندسه نهایی چین باز و گرد شده	هندسه نهایی چین بسته و گوشه دار
طول موج چین با میزان کوتاه شدگی رابطه مستقیم دارد	طول موج چین با میزان کوتاه شدگی رابطه عکس دارد
هم زمان با مراحل تکامل چین خوردگی سازوکار چین خوردگی نیز تغییر می کند	بسیاری از چین های انتشار گسلی فقط یک نوع سازوکار چین خوردگی را تحمل می کنند
به طور شاخص در واحدهای با اختلاف مقاومت زیاد تشکیل می شوند	در واحدهای دارای لایه بندی نازک و چینه شناسی مکانیکی به نسبت همگن تشکیل می شوند و دارای دگرشکلی به صورت خمشی - لغزشی (Flexural-slip) هستند
گسل در چین های از قبل موجود و تا پشت ناودیس فرودیواره گسترش می یابد	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
پهلوی خلفی ممکن است پرشیب تر از گسل باشد	شیب پهلوی خلفی، معادل و یا کمتر از شیب گسل در واحدهای گسل خورده است
در ناودیس فرودیواره ای، واحدها نسبت به موقعیت اصلی و ناحیه ای خود فرونشینی دارند و معکوس شدگی شیب نیز در آنها دیده می شود	در ناودیس فرودیواره ای، واحدها نسبت به موقعیت اصلی و ناحیه ای خود فرونشینی ندارند و معکوس شدگی شیب نیز در آنها دیده نمی شود
با توجه به تاریخچه گسترش گسل، نیمرخ جابه جایی الگویی پیچیده دارد و لغزش گسل ممکن است در برخی واحدها ثابت باشد و به سمت نوک گسل افزایش یا کاهش یابد	لغزش گسل به طور مرتب به سمت نوک گسل کاهش می یابد
به دلیل تغییر مقاومت واحدها در این چین ها، انواع گسل های مرتبط با چین خوردگی ممکن است به وجود آیند	-



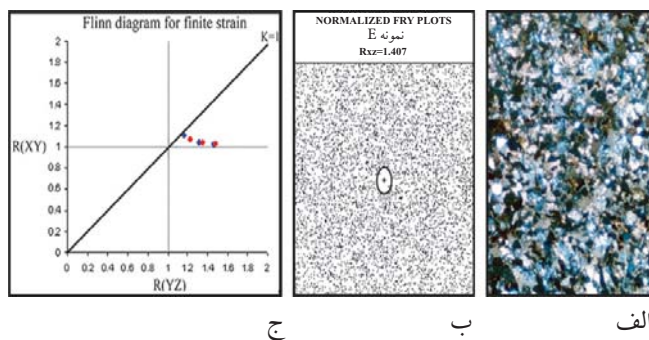
شکل ۱- کمربند چین خورده - رانده زاگرس (اقتباس از Sepehr, 2001). موقعیت گستره مورد مطالعه در ناحیه لرستان با مستطیل کوچک نمایش داده شده است.



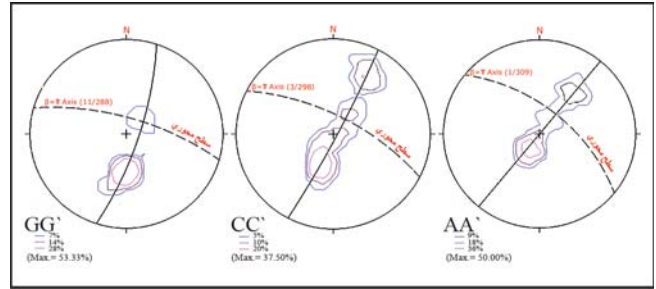
شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه تاقدیس سلطان. مسیر برش های عرضی ساختاری بر روی نقشه نشان داده شده است. برای مشاهده برش ها به شکل ۱۳ مراجعه شود.



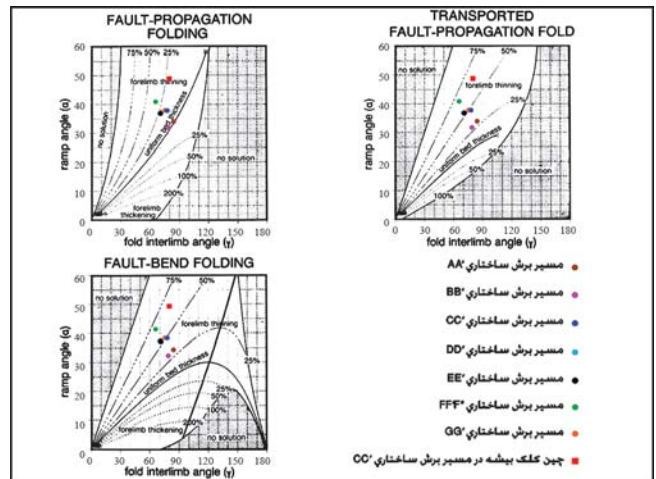
شکل ۴- چین کوچک مرتبط با گسلس راندگی کلک بیشه در مسیر برش ساختاری CC' و طرح شماتیک آن. وضعیت بیضی‌های کرنش به دست آمده برای قسمت‌های مختلف، نسبت به سطح بالایی لایه در طرح شماتیک نشان داده شده است.



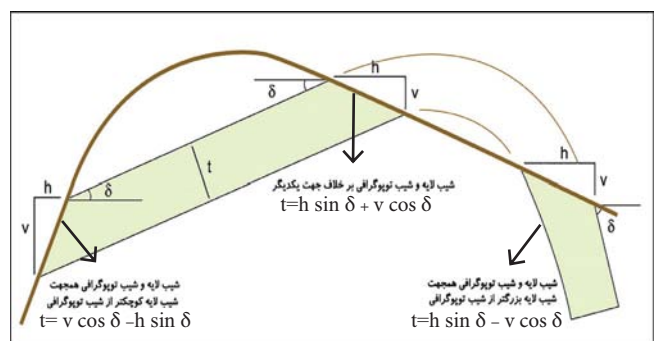
شکل ۷- (الف) تصویر یکی از مقاطع نازک میکروسکوپی که از آنها در محاسبه کرنش نهایی استفاده شده است. (تصویر در نور قطبیده). (ب) نمونه‌ای از نمودارهای بهنجار شده Fry تهیه شده توسط نرم‌افزار Instrain (Erslev, 1988) و بیضی کرنش نهایی به دست آمده از آن. (ج) نمودار فلین بر اساس داده‌های چین کلک بیشه. نقاط آبی مربوط به لایه‌های فرادیواره و نقاط سرخ مربوط به لایه‌های فرودیواره است.



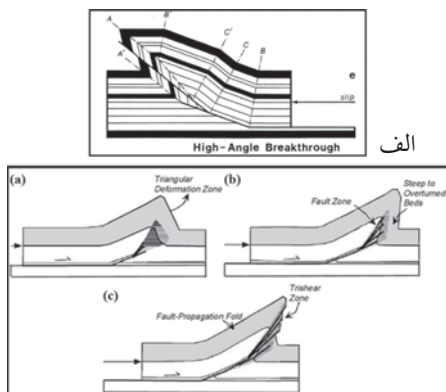
شکل ۳- نمودارهای π تهیه شده برای مسیرهای AA', CC' و GG'. محور و سطح محوری در این نمودارها نشان داده شده‌اند.



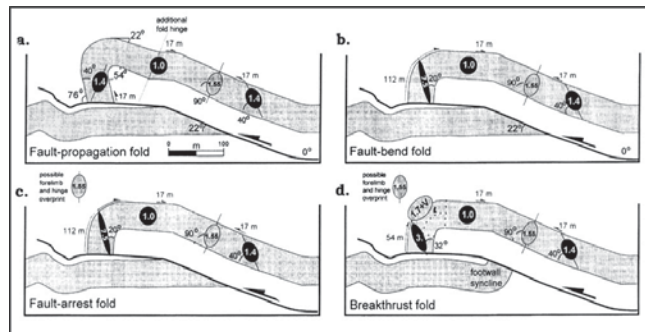
شکل ۵- وضعیت تاقدیس‌های سلطان و کلک بیشه بر روی نمودارهای Jamison (1987) در مسیر برش‌های مختلف.



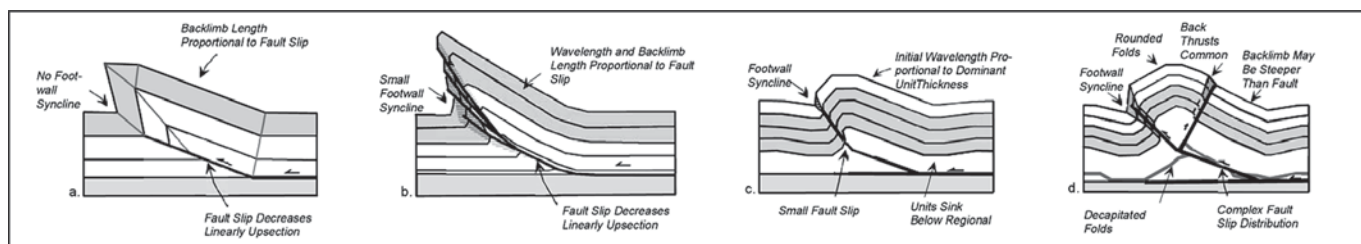
شکل ۶- روابط محاسبه ستبرای واقعی لایه‌ها با در نظر گرفتن تأثیرات توپوگرافی (Rowland & Duebendorfer, 1994). (v) اختلاف ارتفاع توپوگرافی در ابتدا و انتهای لایه، t ستبرای واقعی لایه، h عرض لایه در نقشه، δ شیب لایه‌بندی.



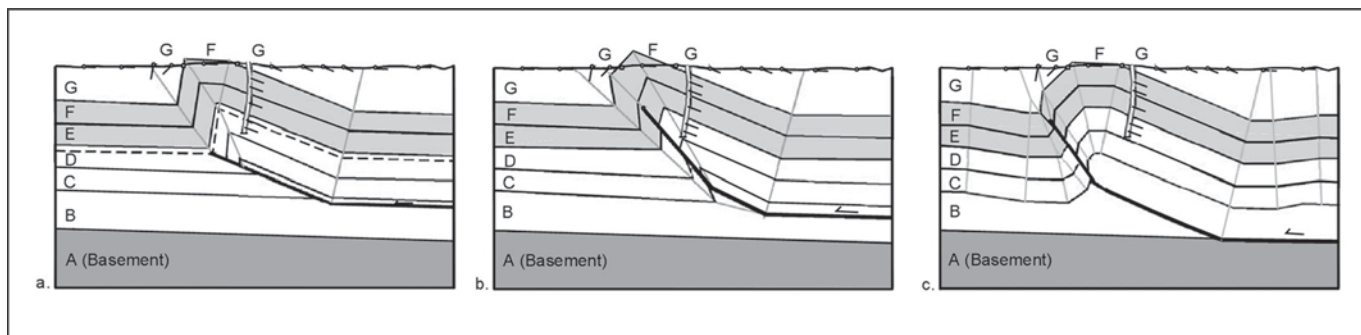
شکل ۹- الف) مدل ساختاری High-Angle Breakthrough انواع ممکن ساختارهای در حال پیشرفت یا نفوذ. این مدل با فرض لغزش موازی لایه‌ای و سطوح محوری از قبل موجود قفل شده در مواد، کشیده شده است (اقتباس از (Suppe & Medwedeff (1990). ب) تکامل چین‌های انتشار گسلی توسط سازوکار سه برشی (اصلاح شده از مدل (Erslev & Mayborn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



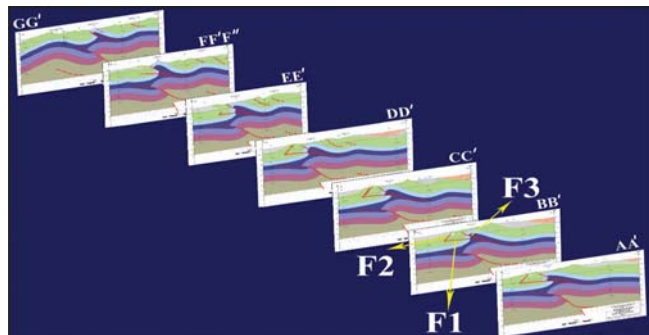
شکل ۸- پیش‌بینی‌های جنبشی برای مدل‌های مختلف چین خوردگی مرتبط با گسل راندگی. بیضی‌های سیاه، جریان بین لایه‌ای و خمشی (Flexural or Interlayer Flow) و بیضی‌های خاکستری روشن، کرنش‌های خمشی (Bending Strain) را نشان می‌دهند. پیکان‌های کم‌ستبر، لغزش درون لایه‌ای یا خمشی (Flexural or Interlayer Slip) با طول‌های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



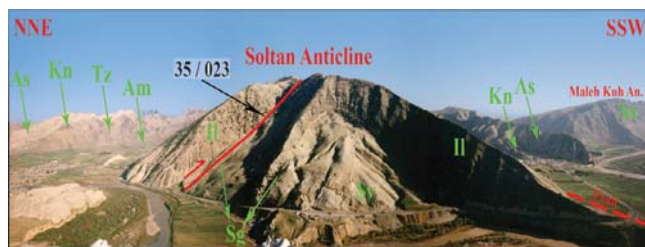
شکل ۱۰- مقایسه ویژگی‌های کلیدی چین‌های انتشار گسلی و چین‌های جدایشی گسل خورده (Mitra (2002). (a) چین انتشار گسلی نوع Self-similar، (b) چین انتشار گسلی نوع سه برشی، (c) چین جدایشی گسل خورده (مدل ۱) و (d) چین جدایشی گسل خورده (مدل ۲).



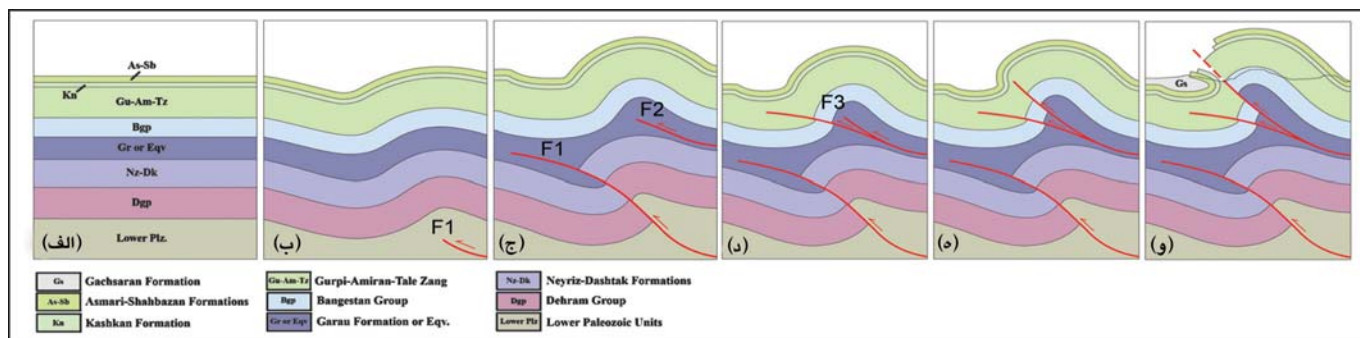
شکل ۱۱- تفسیر اطلاعات سطحی و زیر سطحی مشابه با استفاده از سه مدل مختلف چین - گسل. (a) چین انتشار گسلی نوع Self-similar، (b) چین انتشار گسلی نوع سه برشی و (c) چین جدایشی گسل خورده (Mitra (2002).



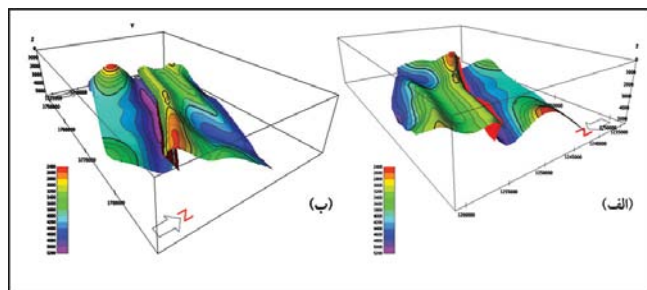
شکل ۱۲- نمایی از هسته تاقدیس سلطان در مسیر GG'. دید به سمت خاور، جنوب خاور (Sv سروک، Sg سورگاه، II ایلام، Am امیران، Tz تله‌زنک، Kn کشکان، As آسماری).



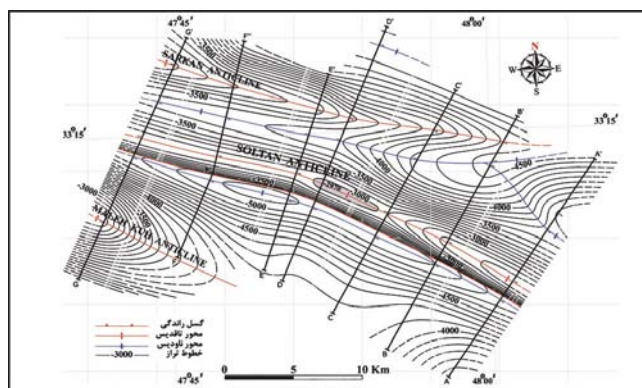
شکل ۱۳- نمایی از هفت برش ساختاری رسم شده بر روی تاقدیس سلطان. برش‌های ساختاری AA' تا GG' به ترتیب از خاور به باختر است.



شکل ۱۴- مدل تکاملی ارائه شده برای تاقدیس سلطان در مسیر برش ساختاری FF'F'' (الف، مرحله پیش از دگرشکلی، ب) خمش و مهاجرت واحد نامقاوم زیرین به سمت هسته تاقدیس، (ج) توسعه چین همراه با مهاجرت مواد از ناودیس به سمت تاقدیس و چرخش پهلوها. در این مرحله گسلش راندگی برای متعادل کردن (Accommodate) کوتاه‌شدگی، در سطح جدایش بالایی (سازند گورپی) تکامل می‌یابد، (د، ه) تأثیر سطوح جدایش میانی در تکامل چین، تا مرحله تشکیل ناودیس خوابیده در پیشانی تاقدیس سلطان.



شکل ۱۵- نقشه هم‌تراز 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 هم‌تراز بستگی قائم را نشان می‌دهند.



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



کتابنگاری

شرکتی، ش.، ۱۳۸۴- تکنیک پوشش رسوبی و پی سنگ در کمربند کوهزایی زاگرس، نکاتی در زمینه مدل سازی هندسی دگرشکلی، 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, 921-945.
- 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 Publication.
- 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 Helveticae, 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.