

اثر پهنه گسلی مورب لغز کپه‌داغ شمالی بر آرایش پلکانی کوهان‌های تاقدیس نادر در کمر بند چین خورده - رانده کپه‌داغ

بهزاد دریگوند^۱ و علی یساقی^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۳

چکیده

تحلیل سبک چین خوردگی تاقدیس‌ها از اولین مطالعات ساختار مخازن هیدرو کربوری تاقدیسی است. تاقدیس نادر در باختر زیرپهنه خاوری کپه‌داغ و بر روی فرادواره گسل معکوس کپه‌داغ شمالی در شمال‌خاور شهر کلات نادری قرار دارد. تحلیل ساختاری این تاقدیس بر اساس داده‌های برداشت شده از هشت پیمایش ساختاری عمود بر روند اثر سطح محوری آن انجام شده است. نتایج به دست آمده از بررسی این پیمایش‌ها نشان داد که تاقدیس نادر دارای دو کوهان با آرایش پلکانی نسبت بهم است. این کوهان‌ها و دیگر چین‌های منطقه توسط دو سری گسل عرضی با روند عمومی شمال‌باختر و شمالی-جنوبی قطع شده‌اند. تحلیل هندسی تاقدیس نادر، هندسه چین خوردگی گسترش گسلی را برای کوهان اول و هندسه چین خوردگی جدایشی را برای کوهان دوم نشان می‌دهد. از آنجا که یال شمالی کوهان اول توسط گسل پنهان نادر بریده شده است هندسه این کوهان به صورت چین جدایشی گسل خورده نیز تحلیل شده است. گسل‌های منطقه عمدتاً روندهای متفاوت ولی سازوکار غالب راستالغز یا دارای مؤلفه کوچک تر راستالغز هستند تحلیل هندسی و جنبشی این گسل‌ها نشان داد که تعدادی از گسل‌های منطقه با پهنه تغییر شکل اصلی با روند شمال‌باختر، در حالی که دیگر گسل‌ها با دیگر پهنه تغییر شکل اصلی با روند شمالی-جنوبی، همخوانی دارند. چنین توسعه‌ای از گسل‌های راستالغز به همراه آرایش پلکانی کوهان‌های تاقدیس نادر با یکدیگر و با سایر چین‌های منطقه، نشان دهنده تکامل ساختارهای منطقه در یک سامانه ترافشارش راست‌بر با روند عمومی شمال‌باختر ناشی از فعالیت پهنه گسلی معکوس کپه‌داغ شمالی تحلیل می‌شود.

کلیدواژه‌ها: پهنه کپه‌داغ، تاقدیس نادر، گسل معکوس کپه‌داغ شمالی، تحلیل هندسی چین، گسلش راستالغز

*نویسنده مسئول: علی یساقی

E-mail: yassaghi@modares.ac.ir

۱- پیش‌گفتار

کمر بند چین خورده - رانده کپه‌داغ مرز شمالی سیستم آلپ- هیمالیا در فلات ایران را تشکیل داده است، بنا به نوشته نبوی (۱۳۵۵) گسل عشق‌آباد در ترکمنستان جدا کننده کپه‌داغ از گستره توران است و ادامه گسل عشق‌آباد در گستره سرخس ایران هم دیده می‌شود.

حوضه کپه‌داغ پس از کوهزایی سیمیرین پیشین، یعنی هنگامی که به ظاهر برخورد ایران و توران خاتمه یافت (Berberian & King, 1981) به شکل یک حوضه رسوبی در می‌آید و در آن از ژوراسیک تا میوسن رسوبات ستبری (پیشینه ۸۰۰۰ متر در ایران و ۱۷۰۰۰ متر در ترکمنستان) بدون نبود چینه‌شناسی مهم، ولی با رخساره‌های گوناگون روی هم انباشته شده است. این رسوبات بیشتر شامل شیل، سنگ آهک، مارن، ماسه‌سنگ و گاهی کنگلومرا و سنگ‌های تبخیری است که در بالا به وسیله لایه‌های سنگی سرخ رنگ آواری خشکی با سن میوسن پوشیده می‌شود (نبوی، ۱۳۵۵). کنگلومرای پلیوسن به طور دگرشیب بر روی توالی پیش از خود قرار می‌گیرد (درویش‌زاده، ۱۳۷۰؛ افشار حرب، ۱۳۷۳).

دگرشکلی فشارشی با سن پس از میوسن عامل چین خوردگی و بالاآمدگی رسوبات حوضه کپه‌داغ بوده است (Lyberis et al., 1998). امتداد کلی چین خوردگی‌ها در بخش خاوری NW-SE و در بخش باختری ENE-WSW است. این راستاها در بخش مرکزی به E-W تبدیل می‌شوند. این تغییر روند ساختاری باعث پهنه بندی کپه‌داغ به سه زیر پهنه خاوری، مرکزی و باختری شده است (نواب‌پور و همکاران، ۱۳۸۲). این مجموعه چین خورده توسط گسل‌های تأخیری قطع شده که می‌توان آنها را در دو دسته طبقه‌بندی کرد: دسته اول، سامانه گسل‌های امتداد لغز راست‌بر با روند NNW-SSE که در نواحی خاوری و مرکزی کپه‌داغ (ناحیه قوچان- بجنورد) وجود دارند. دسته دوم، سامانه گسل‌های امتداد لغز چپ‌بر با روند NE-SW که در بخش باختری قرار دارند. قسمت عمده سامانه گسلی اخیر در بخش ترکمنی کپه‌داغ واقع شده است.

در بخش باختری زیرپهنه خاوری کپه‌داغ، چین‌ها آرایش پلکانی (En echelon) دارند (شکل ۱-الف). برای آرایش پلکانی اثر سطح محوری چین‌ها دلایلی مختلف را می‌توان ارائه نمود: ۱- این آرایش می‌تواند در چین‌هایی توسعه یابد که ناشی اثر گسل‌های پی‌سنگی مورب‌لغز باشد (Naylor et al., 1986). ۲- این آرایش به دلیل اثر افق‌های جدایش میانی به وجود آمده باشد (Price & Cosgrove, 1990). ۳- یا اینکه اثر همزمان گسل‌های مورب‌لغز پی‌سنگی و افق‌های جدایشی بر هندسه چین‌ها باشد. در این مقاله با مطالعه تاقدیس نادر که در پوسته داخلی دارای دو کوهان با آرایش پلکانی و در پوسته خارجی یک کوهان با هندسه زیگموییدالی دارد سعی شده است تا با ارائه شواهد ساختاری در هشت پیمایش عمود بر این تاقدیس آرایش پلکانی اثر سطح محوری آن در پوسته داخلی تحلیل شود (شکل‌های ۳ و ۴).

۲- هندسه ساختاری تاقدیس نادر

تاقدیس بزرگ نادر با روند عمومی غالب اثر سطح محوری N6۰W، بر روی فرادواره گسل معکوس کپه‌داغ شمالی، در شمال- شمال خاور شهر کلات نادری قرار دارد (شکل‌های ۲، ۳). این تاقدیس از سمت شمال- شمال خاور به خاک ترکمنستان محدود می‌باشد و لذا اطلاعات خاصی از زمین‌شناسی این بخش در دسترس نمی‌باشد. در جنوب خاور آن تاقدیس اشلر واقع شده است. به سمت جنوب تاقدیس قله‌زو قرار دارد و از سمت باختر به تاقدیس یکه‌توت محدود می‌شود (شکل‌های ۱ و ۳).

این تاقدیس با طول ۳۵ کیلومتر دو کوهانه بوده (NA1 و NA2) و دارای اثر سطح محوری z شکل است (شکل ۲ و ۳). رخنمون‌های سنگی آن در سطح نهشته‌های کرتاسه و سنوزوییک هستند و از سازند آیتامیر تا خانگیران متغیر است. از شمال باختر به سمت جنوب خاور واحدهای سنگی جوان‌تر می‌شوند. کوهان NA1 بخش شمال باختری تاقدیس نادر را تشکیل می‌دهد و هسته آن را سازند آیتامیر تشکیل می‌دهد.

مقیاس و تأثیر بر روی سبک ساختاری منطقه) به معرفی هندسه و سازوکار گسل‌ها پرداخته می‌شود.

گسل‌های با روند N60W شامل گسل‌های RF1 تا RF7 و با روندی موازی با روند گسل معکوس کپه‌داغ شمالی و شیب به سمت جنوب باختر یا شمال‌خاور دارند (شکل‌های ۳ و ۴). سازکار این دسته گسل‌ها با توجه به هندسه ساختاری گلواره مثبت (Positive Flower Structure) (McClay, 2000) آنها (شکل ۸)، بالاجستگی واحدهای سنگی و رخنمون آنها در سطح در راستای پهنه گسل (شکل ۹) و برش‌های ساختاری (شکل‌های ۵-الف و ج)، راست‌بر با مؤلفه معکوس تحلیل شده است. این دسته گسل‌ها شامل گسل پنهان نادر و گسل‌های RF1 تا RF7 هستند. هندسه و سازوکار گسل پنهان نادر بر اساس برش‌های ساختاری ترسیم می‌شود و شواهد میدانی از کوهان NA1 تاقدیس نادر با توجه به پربش‌ها تا برگشته بودن پهلوی شمال - شمال‌خاوری این تاقدیس به صورت چین انتشار گسلی تحلیل شده است. گسل‌های RF1 تا RF7، که به صورت تاخیری پال‌های تاقدیس نادر و یک‌توت را قطع و جابه‌جا کرده‌اند (شکل‌های ۳ و ۴). گسل RF1 نسبت به گسل‌های RF2 و RF3 و نیز گسل‌های RF4، RF5 و RF6، نسبت به هم آرایش چپ پله نشان می‌دهد. گسل‌های RF2 و RF3 نسبت به گسل RF4 آرایش راست پله دارند (شکل‌های ۳ و ۴).

گسل‌ها و خطواره‌های با روند عمومی N40E شامل گسل‌های یک‌توت (YF) و LF1 و خطواره‌های LF2 تا LF4 هستند. گسل یک‌توت به صورت عرضی تاقدیس یک‌توت قطع کرده (شکل‌های ۳ و ۴) و موجب پایین افتادگی بخش خاوری این تاقدیس به میزان ۲۵۰ متر شده است (شکل ۱۰). شواهدی از حرکت امتدادی این گسل برداشت نشده است و بنابراین سازوکار این گسل نرمال می‌باشد. در پال شمالی ناودیس کلات در تنگه‌ای که راه ارتباطی بین داخل ناودیس و مناطق شمالی ناودیس است، جابه‌جایی سازنده‌های نیزار و کلات حرکت چپ‌بر را برای گسل LF1 نشان می‌دهد ولی آبراه جدایش راست‌بر را در امتداد گسل نشان می‌دهد (شکل‌های ۳، ۴ و ۱۱). خطواره‌های LF2 و LF3 در کوهان NA1 تاقدیس نادر (شکل‌های ۳ و ۴) زاویه کوچکی را نسبت به مسیرهای برش ساختاری CC' و DD' می‌سازند. این خطواره‌ها اختلاف ارتفاعی حدود ۱۰۰ متر را نسبت به مناطق اطراف خود تشکیل داده‌اند این خطواره‌ها توسط رسوبات کواترنری پوشیده شده‌اند (شکل‌های ۳ و ۴). خطواره زیرسطحی LF4 بر اساس خطوط لرزه نگاری بازتابی مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران تشخیص داده شده است.

گسل‌های با روند N-S شامل NRF1 و NRF2 و روند شمالی-جنوبی یا نزدیک به آن بوده و سازوکار غالب آنها راست‌بر می‌باشد. گسل NRF1 در پال شمالی کوهان NA1 تاقدیس نادر، لایه ماسه سنگی از سازند پسته‌لیق با ضخامت حدود ۱/۵ متر را قطع کرده است میزان جابه‌جایی این گسل حدود ۱ متر است (شکل ۱۲-الف). گسل NRF2 در محل میل جنوب‌خاوری کوهان NA1 تاقدیس نادر واحدهای سازند آبدراز را قطع کرده است (شکل ۱۲-ب). موقعیت خشل لغز این گسل ۱۵/۱۸۷ و ریک آن ۱۴ درجه به سمت جنوب می‌باشد (شکل ۱۲-ج). پله‌های روی سطح گسل جابجایی راست‌بر با مؤلفه معکوس را برای این گسل نشان می‌دهد (شکل ۱۲-د). جابه‌جایی امتدادی این گسل حدود ۳ متر است (شکل ۱۲-ب). در منطقه مورد مطالعه گسل‌های کوچک وجود دارد که گسل‌های ETF و TF1 سازوکار راندگی و گسل‌های STF و TF2 سازوکار معکوس با مؤلفه راست‌بر نشان می‌دهند (شکل‌های ۳ و ۴).

۴- بحث

۴-۱. تحلیل هندسی تاقدیس نادر

(Price & Cosgrove 1990) بر اساس Aspect Ratio که نسبت طول محور چین به نصف طول موج آن است، چین‌ها را در دو گروه قرار داده‌اند: ۱- چین‌های تاخورد

اثر سطح محوری این کوهان با هندسه خمیده (شکل‌های ۳ و ۴) حدود ۱۶ کیلومتر طول دارد و پهنای کوهان به طور متوسط ۵ کیلومتر می‌باشد. کوهان NA1 دارای میل دوگانه است به گونه‌ای که در پایانه جنوب‌خاوری دارای محوری با موقعیت ۰۹/۱۵۲ بر روی سازند آبدراز است و در پایانه شمال‌باختری با توجه به ترسیم‌های انجام شده در استریونت دارای محوری با موقعیت ۰۶/۲۸۸ بر روی سازند آیتامیر است. در پایانه شمال‌باختری اثر سطح محوری آن با اثر سطح محوری تاقدیس یک‌توت بر روی سازند آیتامیر دارای آرایش پلکانی می‌باشد و در پایانه جنوب‌خاوری، زین بین آن و کوهان NA2 قرار دارد. آرایش کوهان‌های تاقدیس نادر (NA1 و NA2) نسبت به هم با توجه به روند کلی آنها نیز پلکانی است. کوهان NA1 تاقدیس نادر یک چین با تمایل به سمت شمال-شمال‌خاور است که پهلوی شمالی آن توسط گسلی معکوس با مؤلفه راست‌بر (گسل پنهان نادر) بریده شده است (شکل‌های ۵ و ۶ و جدول ۱).

بر مبنای زاویه بین یالی در برش‌های مختلف (جدول ۱) کوهان NA1 تاقدیس نادر در تقسیم بندی (Fluty 1964) مسیره‌های BB' و CC' در رده چین‌های بسته (Close folds) و در مسیره‌های DD' و EE' در رده چین‌های باز (Open folds) قرار می‌گیرد. کوهان NA2 تاقدیس نادر با روند تقریبی باختر، شمال‌باختر-خاور، جنوب‌خاور، بخش جنوب‌خاوری تاقدیس را شامل می‌شود. هسته این کوهان را سازند آبدراز تشکیل می‌دهد. طول و پهنای کوهان NA2 به ترتیب ۱۸/۴ و ۶ کیلومتر است و دارای میل سه‌گانه است (شکل‌های ۳ و ۴)، در پایانه جنوب‌خاوری بر روی سازند آبدراز دارای موقعیت محور ۹/۱۳۸ است. لولای این کوهان به سمت شمال باختر از وسط به دو لولا تقسیم می‌شود (شکل‌های ۳ و ۴)، لولای شمالی دارای محوری با موقعیت ۴/۳۲۰ و لولای جنوبی با توجه به داده‌های استریوگرافی دارای محوری با موقعیت ۲/۳۱۰ بر روی سازند آبدراز می‌باشد. در پایانه شمال‌باختری در نزدیک مرکز تاقدیس با کوهان NA1، زین بین دو کوهان را به وجود می‌آورد (شکل‌های ۳ و ۴). این کوهان در بخش میانی و پایانه خاوری با تاقدیس اشلر آرایش پلکانی دارد. با توجه به اینکه محور کوهان NA2 تاقدیس نادر در مسیر برش ساختاری FF' (شکل ۵) از انواع دوشاخه (Bioforkate) است در این برش ساختاری دو کوهان کوچک مشخص است که کوهان شمالی تمایل به سمت شمال-شمال‌خاور دارد و کوهان جنوبی آن تمایل به سمت جنوب-جنوب باختر دارد (شکل‌های ۵-ب، ۶ و جدول ۱). به سمت خاور در مسیر برش‌های ساختاری GG' و HH' جهت تمایل کوهان عوض می‌شود و برخلاف کوهان NA1 تاقدیس که تمایل به سمت شمال-شمال‌خاور دارد، در این مسیره‌ها تمایل چین به سمت جنوب-جنوب باختر است (شکل‌های ۵-ج، ۶ و جدول ۱).

داده‌های استریوگرام مربوط کوهان NA2 تاقدیس نادر نشان می‌دهد که در مسیر برش FF'، سطح محوری کوهان کوچک شمالی شیب به سمت جنوب-جنوب باختر و سطح محوری کوهان کوچک جنوبی شیب به سمت شمال-شمال‌خاور نشان می‌دهد. همچنین در مسیر برش‌های GG' و HH' سطح محوری شیب به سمت شمال-شمال‌خاور نشان می‌دهد (شکل ۶ و جدول ۱).

با توجه به جدول ۱، بر مبنای زاویه بین یالی کوهان NA2 تاقدیس نادر در برش‌های FF' و GG' در تقسیم‌بندی (Fluty 1964) کوهان در رده چین‌های باز قرار می‌گیرد و در برش HH' جزو چین‌های ملایم (Gentel folds) محسوب می‌شود.

۳- هندسه ساختاری گسل‌های منطقه

در منطقه مورد مطالعه ۲۹ گسل با روندها و طول متفاوت از ده‌ها متر تا چندین کیلومتر برداشت شده است (شکل‌های ۳ و ۴). نمودار گل‌سرخ از روند این گسل‌ها (شکل ۷)، نشان می‌دهد که گسل‌ها دارای سه روند عمومی N-S و N40E، N60W از فراوانی بیشتری برخوردارند که در این بخش براساس اهمیت گسل‌ها (بر اساس

نمود. ولی با استفاده از پارامترهای زاویه بین یالی و شیب یال خلفی موقعیت آنها بر روی نمودارهای مختلف مشخص شده است. برش ساختاری GG' در نمودار مربوط به چین‌های خم گسلی (شکل ۱۴) ۲۵ درصد ضخیم شدگی در یال پیشانی را نشان می‌دهد که با توجه به اینکه واحدهای سنگی دیگر در این برش تغییرات این چنینی را در زیر سطح نشان نمی‌دهند این سبک چین خوردگی بعید به نظر می‌رسد. برش GG' در سایر نمودارها به همراه برش HH' در تمامی نمودارها در بخش غیر قابل قبول نمودارها قرار می‌گیرند. البته موقعیت این برش‌ها در نمودار مربوط به چین‌های جدایشی (با ضخامت یکسان) (شکل ۱۴) نسبت a/f (a دامنه چین، f ضخامت واحد شکل‌پذیر قاعده‌ای) بین 0.2 تا 0.5 را نشان می‌دهد. با توجه به این موضوع که ضخامت واحدهای سنگی در این برش‌ها تقریباً در تمام طول چین ثابت است، به نظر می‌رسد باید کوهان NA2 تاقدیس نادر را در این برش‌ها یک چین جدایشی با ضخامت یکسان واحدها در نظر گرفت.

۴-۲. مدل جنبشی تکامل سبک چین خوردگی تاقدیس نادر

کوهان‌های تاقدیس نادر، دو هندسه متفاوت را نشان می‌دهند. کوهان NA2 هندسه چین جدایشی را نشان می‌دهد (شکل ۱۴). اما در مورد کوهان NA1 به علت عدم دسترسی به اطلاعات زیرسطحی مناسب، هندسه این کوهان با هر دو مدل سبک گسترش گسلی حمل شده و جدایشی گسل خورده سازگار است (شکل ۱۴). با توجه به اینکه کوهان NA2 سبک چین خوردگی جدایشی را نشان می‌دهد به نظر می‌رسد سبک چین خوردگی جدایشی حمل شده برای کوهان NA1 بر اساس مدل (Mitra 2002) مناسب‌تر باشد. بنابراین می‌توان چنین تحلیل نمود که تاقدیس بزرگ نادر، یک تاقدیس جدایشی است که با توسعه گسل پنهان نادر هندسه آن از چین جدایشی در برش‌های GG' و HH' به چین جدایشی گسل خورده در برش‌های BB' و CC' تبدیل شده است.

مدل جنبشی تکامل سبک چین خوردگی تاقدیس بزرگ نادر در شکل ۱۵ ارائه شده است. در این مدل برای کوهان NA1 در اولین مرحله تغییر شکل، تشکیل چین تاخورده اولیه در رسوبات قرار گرفته بر روی سازند کشف رود (افق جدایش قاعده‌ای)، که در اثر حرکت شیل‌های سازند کشف رود به سمت هسته کوهان می‌باشد (شکل ۱۵- الف بخش ۲). با ادامه تغییر شکل چین تاخورده با مهاجرت محور کوهان و چرخش یال رشد می‌کند و افق جدایش قاعده‌ای از ناودیس به سمت هسته کوهان مهاجرت کرده‌اند. در این مرحله گسل معکوس با مولفه راست بر جهت متعادل کردن (Accommodate) کوتاه‌شدگی در سطوح عمیق شروع به تکامل می‌کند و یال پیشانی (شمالی) کوهان را بریده است، تغییر شکل در یال پیشانی با انشعاب یافتن یک گسل فرعی از گسل اصلی توزیع می‌شود. این گسل می‌تواند در افق جدایش بالایی (سازند خانگیران) مستهلک شده باشد (شکل ۱۵- الف بخش ۳). (Mitra 2002) این مرحله را انتقال از چین تاخورده به چین جدایشی گسل خورده نامیده است. این انتقال احتمالاً تابعی از فعالیت و ضخامت افق جدایش قاعده‌ای باشد (Ramberg, 1970). با ادامه تغییر شکل کوهان رشد می‌کند تا به بلوغ نهایی تکامل خود برسد.

در مدل جنبشی تکامل سبک چین خوردگی کوهان NA2 در مرحله اول تغییر شکل کوهان NA2 تاقدیس نادر، همانند کوهان NA1 تاقدیس نادر با تشکیل چین تاخورده اولیه در رسوبات بالایی کشف رود (افق جدایش قاعده‌ای) و حرکت شیل‌های این سازند به سمت هسته کوهان همراه است با این تفاوت که کوهان NA2 تاقدیس نادر در این مرحله دو کوهان کوچک را نشان می‌دهد (شکل ۱۵- ب بخش ۲). در ادامه تغییر شکل کوهان NA2 تاقدیس نادر در برش‌های ساختاری مختلف دو روند جداگانه تکامل را نشان می‌دهد. در مسیر برش ساختاری FF' در ادامه تغییر شکل کوهان، با انتقال مواد به هسته چین به صورت یک چین جدایشی به تکامل نهایی خود رسیده است. در طی این مراحل پایانی تکامل، یک گسل کوچک در هسته کوهان نفوذ کرده

(Buckle Folds) که در آنها Aspect Ratio برای چین‌ها در تمام مقیاس‌ها بین ۵ تا ۱۰ می‌باشد. ۲- چین‌های واداشته (Forced Folds)، که در آنها Aspect Ratio بیش از ۱۰ است. با توجه به داده‌های برداشت شده از این نسبت (جدول ۲) تاقدیس بزرگ نادر در گروه چین‌های واداشته ولی کوهان‌های NA1 و NA2 این تاقدیس و تاقدیس فرعی قلیچ‌آباد در رده چین‌های تاخورده قرار می‌گیرند.

با توجه به قرارگیری تاقدیس بزرگ نادر در پوسته خارجی (واحدهای سنگی جوانتر از سازند نیزار) در رده چین‌های واداشته و با توجه به موقعیت تاقدیس در کمربند چین خورده- رانده کپه‌داغ، جهت تحلیل هندسه تاقدیس نادر از نمودارهای Jamison (1987) که برای چین‌های در ارتباط با گسل‌های رانده ارائه شده، استفاده شده است. پارامترهای مورد استفاده برای تحلیل هندسه چین با استفاده از این نمودارها، شامل شیب پلکان گسل (α) و یا شیب یالی خلفی (α_p)، زاویه بین یال‌ها (γ) و میزان نازک شدگی یا ضخیم شدگی سازند خاصی در یالی پیشانی نسبت به یالی خلفی می‌باشد. در برآورد تغییرات ضخامت اثر توپوگرافی نیز در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ نیز لحاظ شده است (شکل ۱۳). جهت استفاده از نمودارهای (Jamison 1987)، این داده‌ها مربوط به هر برش ساختاری (شکل ۴ و جدول ۳)، استخراج و بر روی این نمودارها پیاده شده است (شکل ۱۴). نمودارها سبک چین خوردگی گسترش گسلی را در برش ساختاری AA' برای تاقدیس یک‌توت نشان می‌دهد. برش‌های ساختاری BB' و CC' بر اساس جدول ۳ و شکل ۱۴ با سبک چین خوردگی گسترش گسلی برای کوهان NA1 تاقدیس نادر سازگار است. در برش ساختاری DD' از آنجا که به علت تاثیر دامغه تاقدیس قله‌زو در عمق بر روی یال خلفی تاقدیس نادر محاسبه تغییرات ضخامت سازند آب‌تلخ می‌تواند با خطا همراه باشد، لذا از استفاده از داده‌های این برش ساختاری جهت تحلیل چین صرف نظر شده است. ضخیم شدگی ۱۵/۵۶ درصدی سازند آب‌تلخ در یال پیشانی کوهان NA1 تاقدیس نادر در برش ساختاری EE' سبک چین خوردگی گسترش گسلی حمل شده و خم گسلی را در نمودارها برای کوهان NA1 تاقدیس نادر نشان می‌دهند. با توجه به تحلیل چین در برش‌های BB' و CC' که هندسه گسترش گسلی را نشان می‌دهد و اینکه در راستای برش EE' به پایانه گسل پنهان نادر نزدیک می‌شود شیب گسل و به تبع شیب یال خلفی چین کاسته شده در نتیجه بر روی نمودار هندسه گسترش گسلی حمل شده را نشان می‌دهد.

(Mitra 2002) با معرفی چین‌های جدایشی گسل خورده (Faulted Detachment Folds)، اشاره می‌کند که این چین‌ها از نظر ظاهری مشابه چین‌های انتشار گسلی می‌باشند و به همین علت در تفسیر هندسه چین در مناطقی که اطلاعات کافی وجود نداشته باشد، ممکن است اشتباه رخ دهد. براین اساس و با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات زیر سطحی می‌توان هندسه چین‌های جدایشی گسل خورده را نیز برای کوهان NA1 تاقدیس نادر در نظر گرفت. به همین منظور سازند کشف‌رود و سازند خانگیران به ترتیب به عنوان افق‌های جدایشی قاعده‌ای و بالایی در تغییر شکل کوهان NA1 تاقدیس نادر در نظر گرفته شده است.

در مورد برش ساختاری FF' از آنجا که برآورد تغییرات ستبرای سازند آب تلخ ممکن نبوده است و با توجه به نزدیکی به برش ساختاری EE' و از آنجا که به طرف خاور از ضخامت سازند آب تلخ کاسته می‌شود تغییرات ضخامت سازند آب تلخ برای این برش، ضخیم شدگی در یال پیشانی در نظر گرفته شده است که با توجه به موقعیت آن بر روی نمودارها هندسه کوهان NA2 تاقدیس نادر در این برش با سبک چین خوردگی جدایشی سازگار است (شکل ۱۴). بر این اساس سازند کشف‌رود، سازندهای سرچشمه- سنگانه و سازند خانگیران به ترتیب به عنوان افق‌های جدایشی قاعده‌ای، میانی و بالایی درگیر در تغییر شکل کوهان NA2 تاقدیس نادر در نظر گرفته شده است. برای برش‌های ساختاری GG' و HH' نیز محاسبه تغییرات ضخامت سازند آب تلخ به علت عدم رخنمون مرز بالا و پایین آن در یال جنوبی (پیشانی) امکان‌پذیر

به هندسه و سازوکار گسل‌های منطقه مورد مطالعه گسل پنهان نادر و گسل‌های RF1 تا RF7 هم‌راستا با راستای پهنه تغییرشکل اصلی (PDZ) هستند (شکل ۱۷-ب). گسل پنهان نادر به عنوان عامل چین خوردگی کوهان NA1 تاقدیس نادر تحلیل شده است (بخش ۴-۲). اما در مورد گسل‌های RF1 تا RF7 به نظر می‌رسد تشکیل آنها مربوط به حرکات جوان گسل معکوس کپه‌داغ شمالی با همین روند باشد. گسل LF1 و خطواره‌های LF2 تا LF4 (شکل‌های ۳ و ۴) با موقعیت شکستگی‌های R' مدل گسل‌های ریدل (Naylor et al., 1986 ; Sylvester, 1988) در این مدل همخوانی دارند (شکل ۱۷-ب). گسل ETF (شکل ۲) نیز با موقعیت گسل‌های راندگی در این مدل سازگاری دارد (شکل ۱۷-ب). گسل STF موقعیت شکستگی ریدل (R) را نشان می‌دهد (شکل ۱۷-ب). گسل TF2 با موقعیت شکستگی ریدل (R) حدود ۱۷ درجه زاویه می‌سازد و به نظر می‌رسد مرتبه دوم شکستگی ریدل (R) است (شکل ۱۷-ب). برای تحلیل دیگر گسل‌های منطقه مورد مطالعه (شکل ۳ و ۴)، راستای تنش جدید برای فعالیت پهنه تغییرشکل اصلی (PDZ) با راستای شمالی-جنوبی در یک رژیم زمین‌ساختی امتدادلغز در نظر گرفته شده است. این راستای تنش باعث حرکت امتدادلغز راست بر پهنه تغییرشکل اصلی می‌شود (شکل ۱۸-الف). با توجه به سازوکار گسل‌های منطقه مورد مطالعه، گسل NRF2 که زاویه کوچکی با پهنه تغییرشکل اصلی در این مدل می‌سازد به عنوان گسل PDZ مدل در نظر گرفته شده است (شکل ۱۸-ب). گسل NRF1 با توجه به موقعیت آن نقش شکستگی ریدل (R) مدل را ایفا می‌نماید (شکل ۱۸-ب). گسل یکه‌توت (YF) که باعث افتادگی بخش خاوری تاقدیس یکه‌توت شده است با موقعیت T (گسل‌های نرمال) این مدل سازگار است در حالی که گسل TF1 با موقعیت گسل‌های رانده در این مدل همخوانی دارد (شکل ۱۸-ب). در منطقه مورد مطالعه چین‌ها توسط گسل‌های امتدادلغز راست‌بر (با روند شمال-شمال‌باختر) و امتدادلغز چپ‌بر (با روند شمال‌خاور) قطع شده‌اند. از آنجا که این گسل‌ها در خلال حرکت پهنه اصلی تغییرشکل در پی سنگ (شکل‌های ۱۶ و ۱۷) در پوشش رسوبی به وجود آمده‌اند بنابراین با توجه به مدل جنبشی (بخش ۴-۲) به نظر می‌رسد پس از آنکه چین خوردگی به بلوغ نهایی خود رسیده است تغییرشکل از پوشش رسوبی به پی‌سنگ منتقل شده است و موجب شده تا اثر فعالیت گسل‌های پی‌سنگی در سطح به صورت گسل‌های امتدادلغز تأخیری که چین‌ها را قطع کرده‌اند توسعه یابد. بعضی از این گسل‌ها سطحی بوده و برخی تا عمق ادامه دارند (مانند گسل‌های RF1 تا RF7) و تمام تاقدیس را تحت تأثیر قرار داده‌اند (شکل ۵). اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌های دستگاهی منطقه کپه‌داغ، نشان می‌دهد که بیشتر زمین‌لرزه‌های این پهنه عمق کانونی بیش از ۲۰ کیلومتر دارند (Javidfakhr et al., 2011). داده‌های GPS در پهنه کپه‌داغ نیز کمترین نرخ سرعت را نسبت به دیگر مناطق فلات ایران نشان می‌دهد (شکل ۱۹) به نظر می‌رسد یکی از دلایل نرخ سرعت کم این است که تغییرشکل در پهنه کپه‌داغ به پی‌سنگ انتقال یافته و بنابراین اثر آن در سطح کمتر است. چنانچه گسل‌های راستالغز پی‌سنگی عامل دگرریختی پس از پلیوسن منطقه مطالعه در نظر گرفته شود حرکت این گسل‌ها می‌تواند باعث آرایش پلکانی چین‌های منطقه مورد مطالعه باشد. مشابه چنین آرایش پلکانی چین‌های در ارتباط با گسل‌های امتدادلغز راست‌بر توسط Sylvester (1988) معرفی شده است (شکل ۱-ب). بنابراین گسل معکوس کپه‌داغ شمالی که علاوه بر سازوکار معکوس دارای مؤلفه حرکت راست‌بر نیز می‌باشد و می‌تواند به عنوان عاملی تأثیرگذار بر آرایش پلکانی چین‌های منطقه در یک سامانه ترافشارشی با مؤلفه امتدادی راست‌بر باشد. چنین تحلیلی با Aspect Ratio حدود ۱۳ تاقدیس نادر و هندسه زیگموییدی اثر سطح محوری آن همخوانی دارد (شکل‌های ۳ و ۴).

تاقدیس نادر در پوسته داخلی (واحد‌های قدیمی‌تر از آب‌تلیخ) دو کوهان با آرایش پلکانی دارد (شکل‌های ۳ و ۴). در این رابطه دو احتمال وجود دارد: ۱- Burbank & Anderson (2001) تشکیل چنین ساختارهای مورفوتکتونیک

و ضمن بریدن بعضی از واحدهای سنگی، به تکامل دو کوهان کوچک در کوهان اصلی کمک کرده است (شکل ۱۵ - ب بخش ۳-۱). در مسیر برش‌های ساختاری GG' و HH' تکامل چین تفاوت اساسی را با آنچه که در مسیر برش FF' دیده می‌شود نشان می‌دهد. در این مسیرها اختلاف مقاومت بین واحدهای شکل‌پذیر و سنگ‌های مقاوم، باعث برش در واحدهای شکل‌پذیر (سازندهای سرچشمه و سنگانه) و تشکیل راندگی در این سطوح جدایش میانی شده است. از شواهد فعالیت این سطوح جدایش میانی می‌توان به شکل‌گیری ساختار گوش‌خروگوشی (تاقدیس فرعی قلیچ‌آباد) بر روی دامنه یال شمالی کوهان NA2 تاقدیس نادر در خاک ترکمنستان اشاره کرد (شکل‌های ۳، ۴ و ۵-ج). این مرحله همزمان با عملکرد گسل راندگی در کوهان NA1 تاقدیس نادر اتفاق افتاده است. این رویدادها باعث شده هندسه کوهان NA2 تاقدیس نادر از سطح به عمق تغییر کند و واحدهای سنگی زیر سازندهای سرچشمه و سنگانه همان حالت دو کوهان کوچک را نشان دهند ولی واحدهای بالایی یک کوهان با تمایل به سمت جنوب، جنوب‌باختر نشان دهند (شکل ۱۵-ب بخش ۳-۲). با رسیدن چین خوردگی رسوبات منطقه به بلوغ نهایی خود، تغییرشکل از پوشش رسوبی چین‌خورده به پی‌سنگ منتقل شده است. شواهد فعالیت‌های گسل‌های پی‌سنگی را در سطح به صورت گسل‌های امتدادلغز که تاقدیس نادر و دیگر چین‌های منطقه را به صورت تأخیری قطع کرده، مشاهده می‌شود. که بعضی از این گسل‌های تأخیری تمام هندسه کوهان را تحت تأثیر قرار داده‌اند (شکل ۱۵-الف بخش ۴ و ۱۵-ب بخش ۴).

۴-۳. تحلیل جنبشی گسل‌های منطقه

در نقشه مغناطیس‌هوایی مشهد (شکل ۱۶) خطواره‌های پی‌سنگی دو روند عمومی دارند. از آنجا که منبع مغناطیسی در منطقه عمدتاً پی‌سنگ است این خطواره‌ها را می‌توان پی‌سنگی در نظر گرفت. بیشترین فراوانی مربوط به گسل پی‌سنگی با روند عمومی N۶۰W می‌باشد که هم‌روند با روند گسل‌های عشق‌آباد و معکوس کپه‌داغ شمالی است. دومین دسته گسل‌ها با روند عمومی شمالی-جنوبی است (شکل ۱۶). بررسی گسل‌های منطقه مطالعه نشان می‌دهد که گسل پنهان نادر و گسل‌های RF1 تا RF7 با روند عمومی N۶۰W و گسل‌های NRF1 و NRF2 با روند عمومی شمالی-جنوبی را دارند (شکل‌های ۳ و ۴). از آنجا که تمامی این گسل‌ها مورب لغز هستند بنابراین دارای مؤلفه امتدادلغز نیز هستند بنابراین برای تحلیل جنبشی آنها در این منطقه از مدل گسل‌های ریدل (Naylor et al., 1986 ; Sylvester, 1988) استفاده شده است. با توجه به دو روند عمومی از گسل‌های منطقه مطالعه دو سری پهنه تغییرشکل اصلی (PDZ) در نظر می‌گیریم، یکی پهنه تغییرشکل با روند N۶۰W و دیگری با روند شمالی-جنوبی جهت تنش عامل تغییرشکل در فلات ایران ناشی از حرکت ورق عربی به سمت اوراسیا به عنوان جهت تنش اصلی عامل تغییرشکل این پهنه‌ها در نظر گرفته شده است.

(Shabanian et al. 2010) با استفاده از داده‌های حاصل از وارون‌سازی جنبشی گسل‌ها و سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها، تغییرات جهت تنش اصلی (σ_1) را در سلسله جبال کپه‌داغ و اله‌داغ-بینالود در زمان پلیوکواترنری (از ۵M سال پیش تاکنون) مورد بررسی قرار دادند. ایشان در این مطالعه دو جهت را برای تنش اصلی تعیین کرده‌اند. تنش دیرینه اصلی (شامل قدیمی‌ترین حالات تنش شناخته شده از ۵M سال پیش) با روند میانگین $10^{\circ} \pm 14^{\circ}N$ مشخص کرده است، در حالی که تنش جدید اصلی میانگین $15^{\circ} \pm 35^{\circ}N$ را نشان می‌دهد. در راستای تحلیل جنبشی گسل‌های منطقه مورد مطالعه، جهت تنش دیرینه در یک رژیم زمین‌ساخت ترافشارشی برای فعالیت پهنه تغییرشکل اصلی (PDZ) با روند N۶۰W در نظر گرفته شده است. بنابراین در این وضعیت ترافشارش، حرکت امتدادی راست‌بر PDZ براساس مدل Sanderson & Marchini (1984) شکستگی‌های ریدل زاویه بزرگ‌تری با جهت برش نسبت به وضعیت امتدادلغز محض می‌سازند در حالی که گسل‌های راندگی با زاویه کوچک‌تری نسبت به جهت برش قرار می‌گیرند (شکل ۱۷-الف). با توجه

دو پهنه تغییرشکل اصلی (PDZ) برای تحلیل گسل‌های منطقه تاقدیس نادر که به صورت تأخیری قطع کرده‌اند در نظر گرفته شده است. پهنه تغییرشکل اصلی با روند N60°W یک سامانه ترفشارش راست‌بر را تشکیل می‌دهد و با تعدادی از گسل‌های منطقه که در اثر فعالیت این سامانه ایجاد شده‌اند همخوانی دارد. پهنه تغییرشکل اصلی دیگر با روند شمالی-جنوبی که یک سامانه امتدادلغز راست‌بر را تشکیل می‌دهد نیز با تعدادی دیگر از گسل‌های منطقه متأثر از این سامانه سازگار هستند.

عمق کانونی اکثر زمین‌لرزه‌ها و نرخ سرعت کم داده‌های GPS در کپه‌داغ و منطقه مورد مطالعه بیانگر وقوع تغییرشکل جوان در پی سنگ است. به نظر می‌رسد با رسیدن تکامل دگرریختی به بلوغ نهایی خود، تغییرشکل جوان پس از تشریری از پوشش رسوبی به پی سنگ منتقل شده است. شواهد وقوع چنین تغییرشکل جوانی در پی سنگ در سطح به صورت مراتب گسلی جوان گسل‌های راستالغز با روندهای غالب شمال‌باختر و شمالی-جنوبی که چین‌ها را نیز به صورت تأخیری قطع کرده‌اند مشاهده می‌شود.

آرایش پلکانی و زیگموییدالی کوهان‌های تاقدیس نادر در ارتباط با عملکرد افق جدایش قاعده‌ای (سازند کشف رود) و مؤلفه امتدادی حرکت گسل معکوس کپه‌داغ شمالی می‌باشد، مشابه چنین آرایشی در دیگر چین‌های منطقه نیز دیده می‌شود که نشان از تکامل این چین‌ها در یک سامانه ترفشارشی با مؤلفه امتدادی راست‌بر دارد.

بر اساس داده‌های میدانی و تحلیل هندسه صورت گرفته بر تاقدیس نادر، این تاقدیس همانند اثر سطح محوری در سطح، در افق مخزنی مزدوران نیز دارای دو کوهان هستند. قطع‌شدگی کوهان‌های تاقدیس توسط گسل‌های تأخیری هم‌روند با روند این کوهان‌ها عمدتاً در پهلوی جنوبی و یا شمالی آنها رویداده است. لذا به نظر می‌رسد که سلامت کامل مخزن را متأثر کرده باشد. اطمینان از چنین تحلیلی می‌تواند با برداشت مگنتوتوربیک (Emap) در مسیرهایی که این گسل‌ها کوهان‌های تاقدیس را قطع کرده‌اند حاصل شود.

را به تغییرات میزان جابه‌جایی در بخش‌های مختلف صفحه گسلی نسبت داده‌اند. چنین تغییراتی از میزان جابه‌جایی گسل عمیق کپه‌داغ شمالی به دست نیامده است. ۲- تشکیل این کوهان‌ها مربوط به فعالیت افق‌های جدایش میانی باشد.

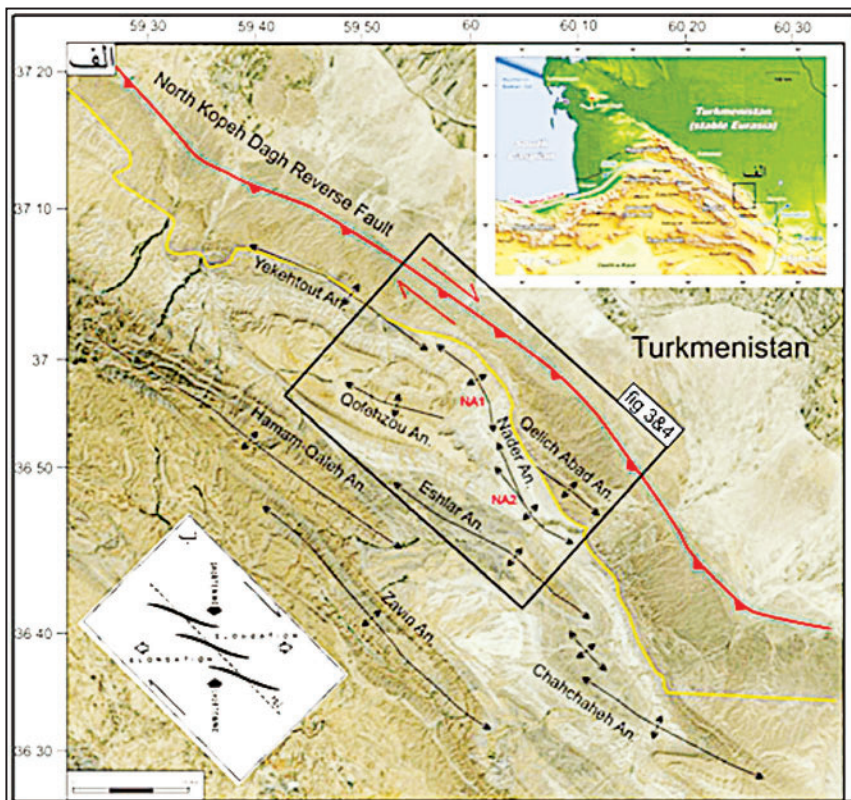
از آنجا که حالت دو کوهانه بودن تاقدیس نادر در پوسته داخلی دیده شده و در واحدهای سنگی جوان‌تر دیده نمی‌شود به نظر می‌رسد احتمال دوم یعنی اثر سطح جدایش قاعده‌ای (سازند کشف رود) موجب توسعه کوهان‌ها شده و در ادامه چنین توسعه‌ای مؤلفه امتدادی گسل معکوس کپه‌داغ شمالی باعث آرایش پلکانی پوسته داخلی تاقدیس شده است. زیرا بر اساس شواهد موجود (شکل‌های ۳ و ۴) گسل‌نپهان نادر تنها در تشکیل کوهان NA1 دخالت داشته و کوهان NA2 یک چین جدایشی است.

با توجه به برش‌های ساختاری ترسیمی و تحلیل‌های صورت گرفته، به نظر می‌رسد از میان گسل‌هایی که چین‌های منطقه را به صورت تأخیری قطع کرده‌اند، گسل‌های با روند N60°W در منطقه مورد مطالعه تا عمق ادامه داشته و عملکرد این گسل‌ها افق مخزنی مزدوران تاقدیس نادر را نیز تحت تأثیر قرار داده باشند.

۵- نتیجه‌گیری

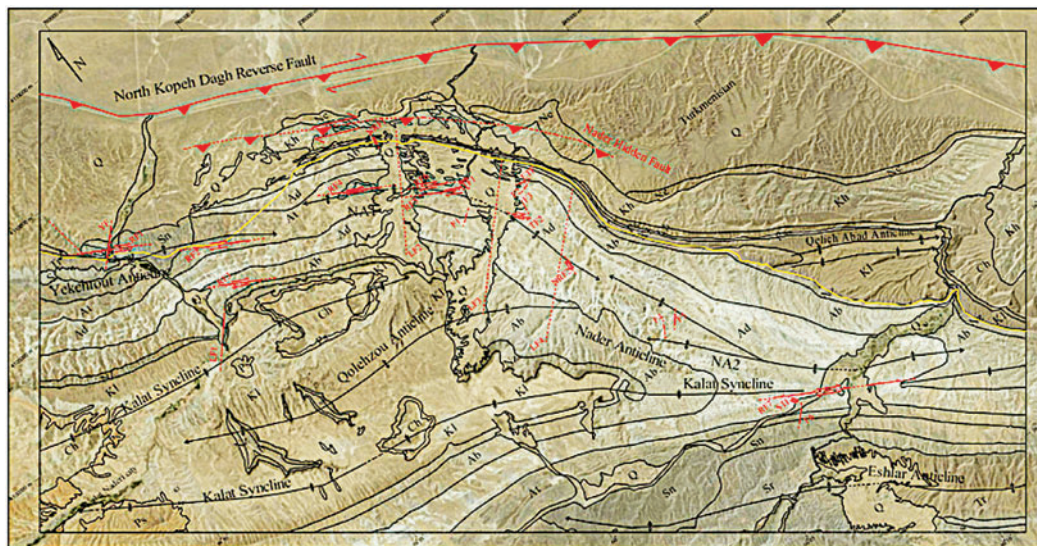
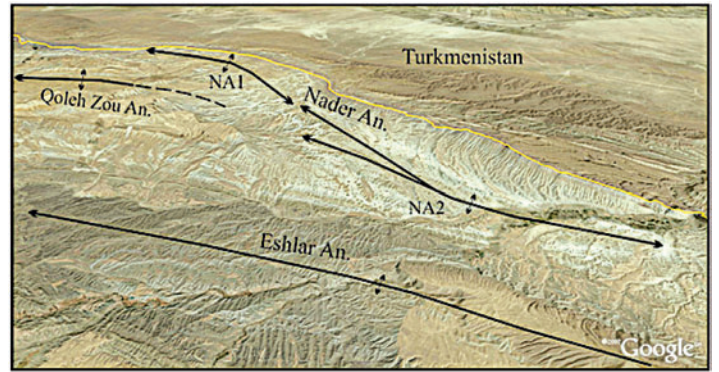
تحلیل هندسی تاقدیس نادر هندسه چین‌خوردگی جدایشی را برای کوهان NA2 و هندسه چین‌خوردگی گسترش‌گسلی را برای کوهان NA1 نشان می‌دهد. با توجه به اینکه کوهان NA2 تاقدیس نادر هندسه چین‌خوردگی جدایشی را نشان می‌دهد به نظر می‌رسد هندسه چین‌خوردگی جدایشی گسل‌خورده که از نظر ظاهری شبیه چین‌های گسترش‌گسلی حمل شده است (Mitra, 2002)، برای کوهان NA1 تاقدیس نادر مناسب‌تر باشد.

با توجه به ویژگی مکانیکی واحدهای سنگی منطقه، برش‌های ساختاری و مدل جنبشی ارائه شده برای تاقدیس نادر، می‌توان سازند کشف رود را افق جدایش قاعده‌ای، سازندهای سرچشمه و سنگانه را افق جدایش میانی و سازند خانگیران را به عنوان افق جدایش فوقانی درگیر در تغییرشکل تاقدیس نادر در نظر گرفت.

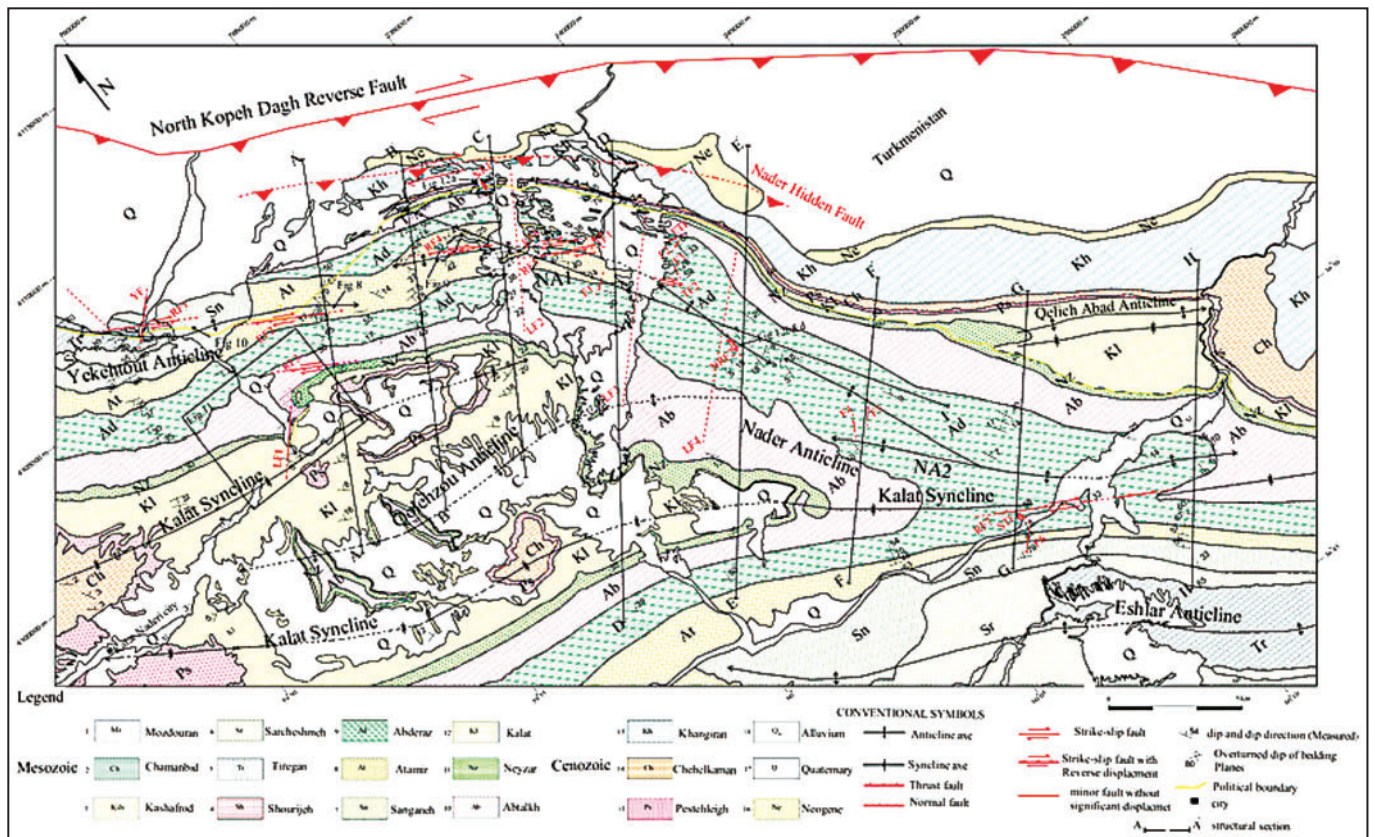


شکل ۱- الف) آرایش پلکانی چین‌های بخش باختری زیرپهنه خاوری کپه‌داغ. موقعیت کوهان‌های NA1 و NA2 تاقدیس نادر مشخص شده است. موقعیت این شکل در نقشه راهنمای کپه‌داغ مشخص شده است؛ ب) آرایش پلکانی چین‌های در ارتباط با گسل امتداد لغز راست‌بر (Sylvester, 1998).

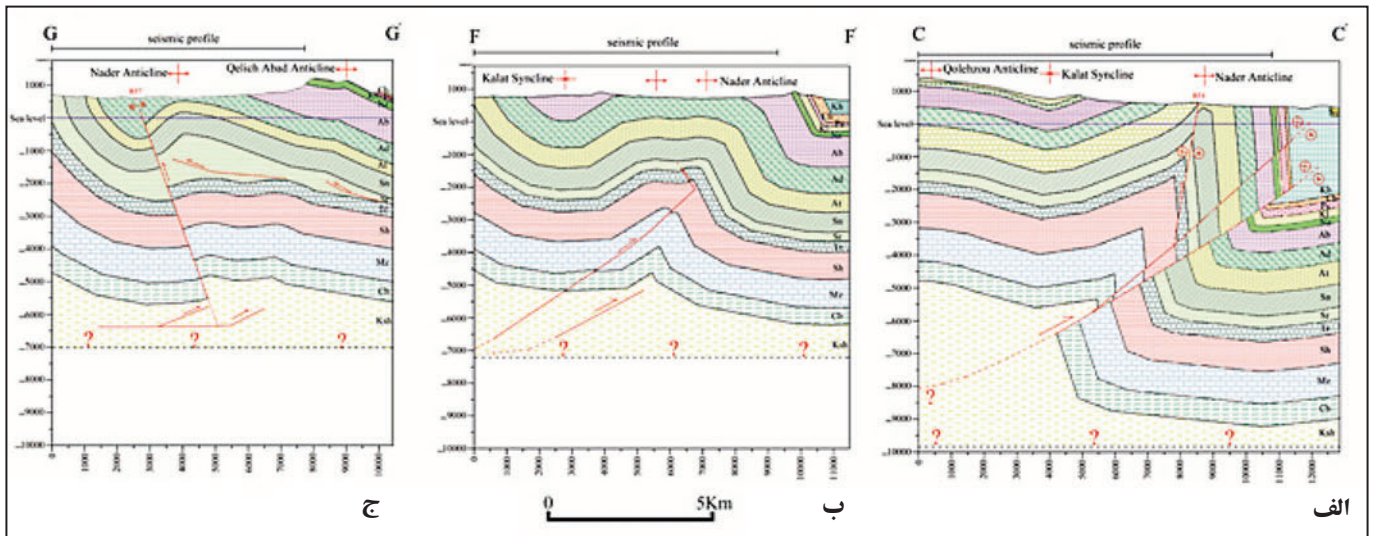
شکل ۲- تصویر ماهواره‌ای سه بعدی تاقدیس نادر، تهیه شده از سایت Google Earth. دید به سمت شمال-شمال‌باختر.



شکل ۳- نقشه ساختاری ساده شده منطقه مورد مطالعه. برای راهنمای چینه‌شناسی به شکل ۴ مراجعه شود. موقعیت منطقه در بخش باختری زیرپهنه کپه‌داغ خاوری در شکل ۱ نشان داده شده است.

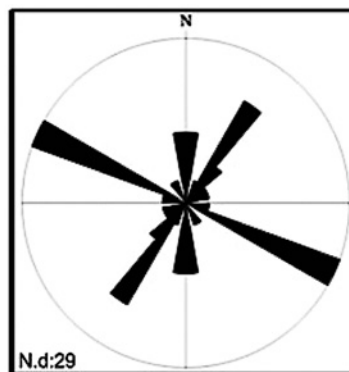
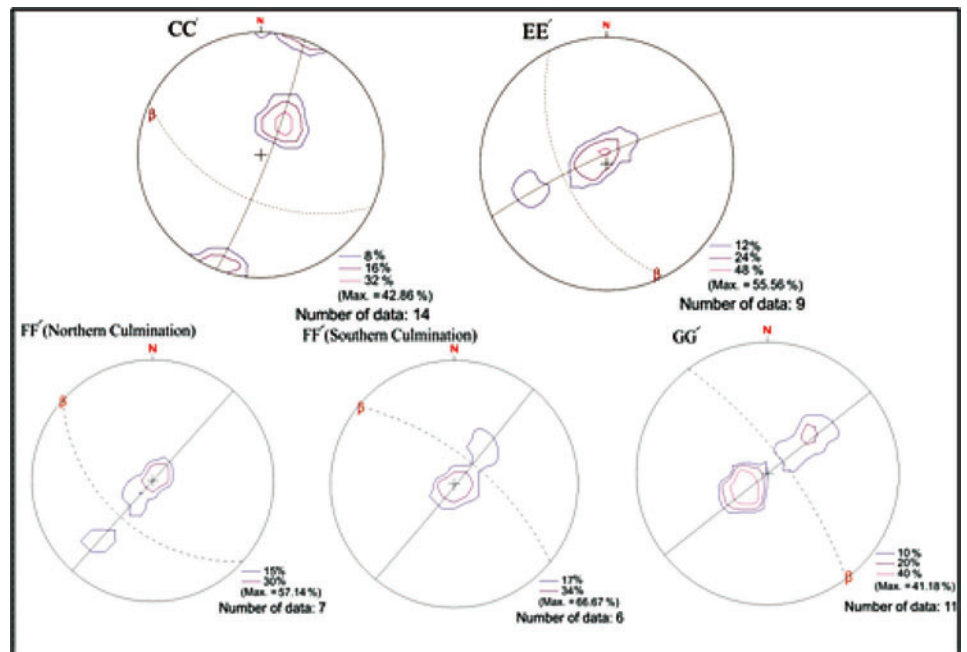


شکل ۴- نقشه ساختاری منطقه مورد مطالعه. جایگاه ساختاری دوکوهان تاقدیس نادر با آرایش پلکانی بر روی نقشه مشخص است. موقعیت منطقه در بخش باختری زیرپهنه کپه‌داغ خاوری در شکل ۱ نشان داده شده است.



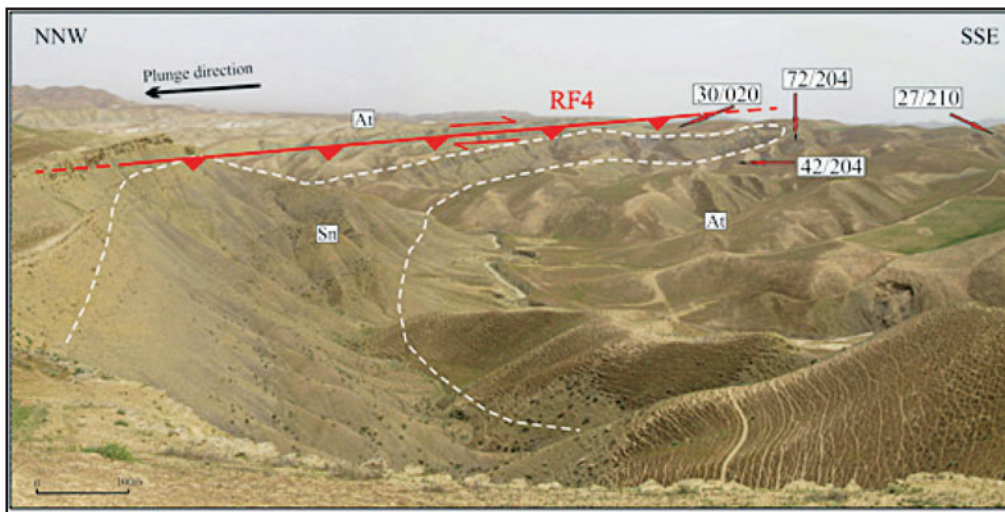
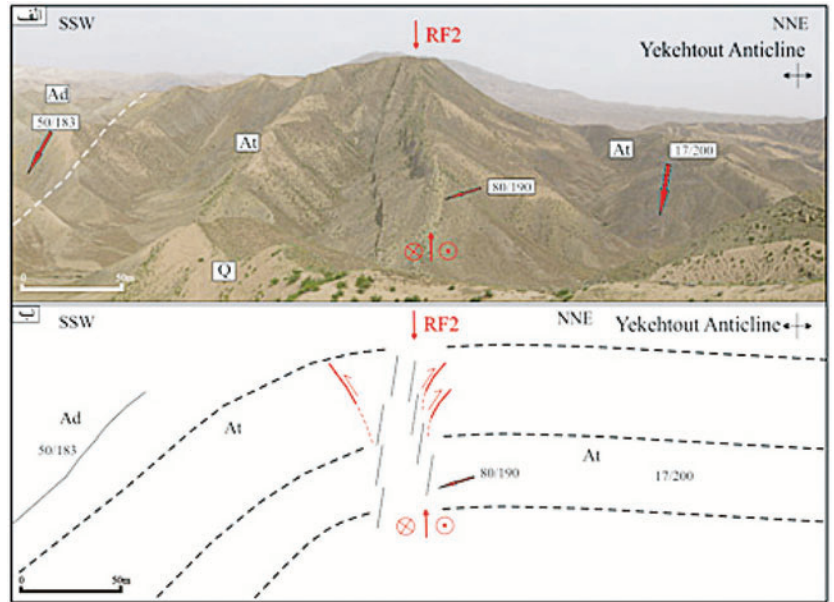
شکل ۵- برش‌های ساختاری بر روی تاقدیس بزرگ نادر. الف) برش CC' بر روی کوهان NA1؛ ب و ج) برش‌های ساختاری FF' و GG' بر روی کوهان NA2. به بریده شدن پهلوئی پیشانی کوهان NA1 توسط گسل پنهان نادر در برش CC' توجه شود. کوهان NA1 در برش CC' توسط گسل RF4 و کوهان NA2 در برش GG' توسط گسل RF7 به صورت تاخیری قطع شده است. برای راهنمای چینه‌شناسی به شکل ۲ مراجعه شود.

شکل ۶- نمودار π تهیه شده برای موقعیت سطح محوری تاقدیس بزرگ نادر در برش‌های ساختاری CC' ، EE' ، FF' و GG' . به چرخش ۴۵ درجه‌ای روند محور کوهان NA1 تاقدیس نادر در برش EE' نسبت به برش CC' که هندسه خمیده این کوهان را نشان می‌دهد توجه نمایید.



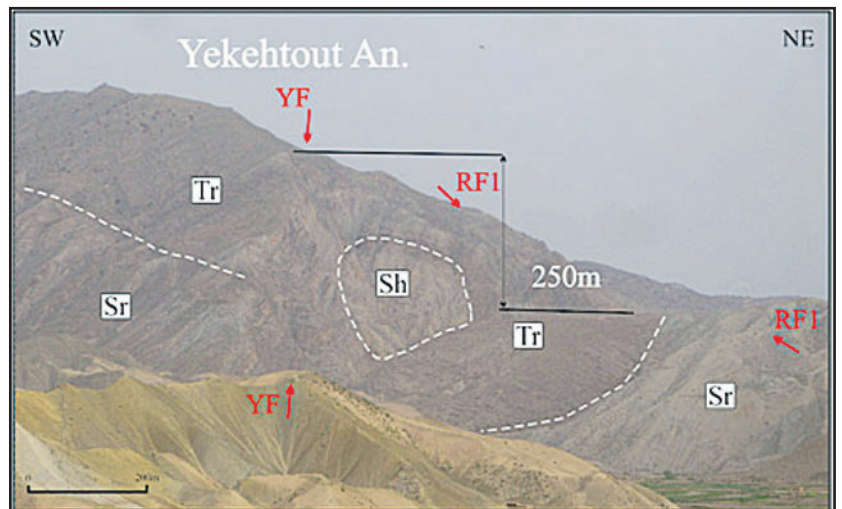
شکل ۷- نمودار گل‌سرخ‌ی مربوط به گسل‌های منطقه مورد مطالعه.

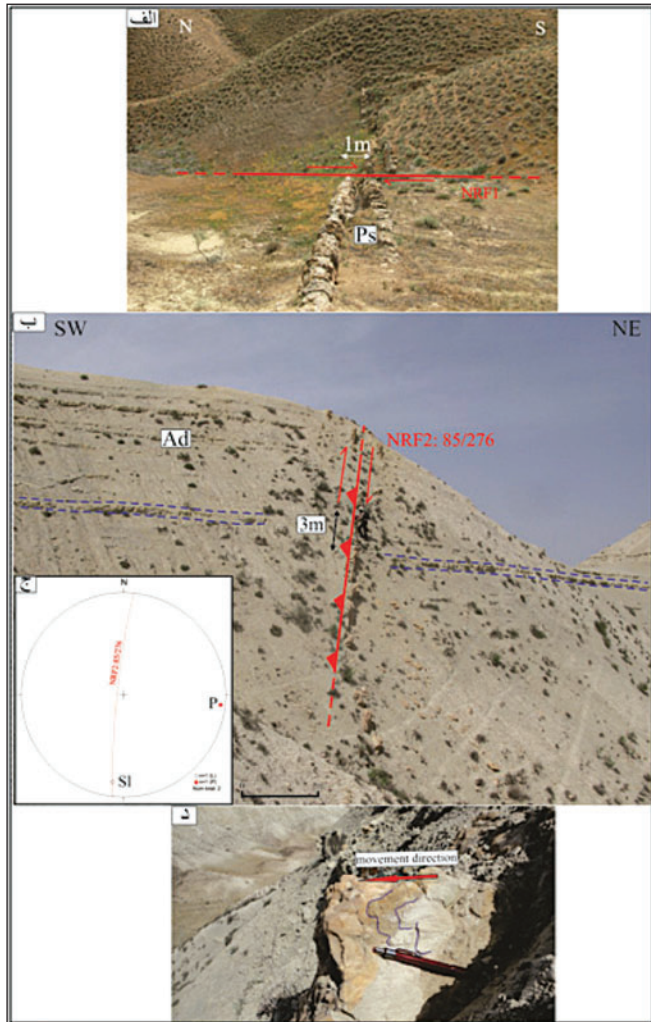
شکل ۸- الف) نمایی از تأثیر گسل RF2 در یال جنوبی تاقدیس یکه‌توت. عملکرد گسل RF2 ساختار گلواره مثبت را نشان می‌دهد؛ ب) تصویر شماتیک از شکل الف، خطوط کوتاه مشکی موقعیت لایه‌بندی در محل گسل را نشان می‌دهد. خط‌چین‌ها نشان می‌دهد به سمت راست ناحیه لولایی و به سمت چپ یال جنوبی تاقدیس است. دید به سمت باختر، شمال باختر. برای مشاهده موقعیت تصویر به شکل ۴ مراجعه شود. At (آیتامیر)، Ad (آبدراز) و Q (کوآترنری).



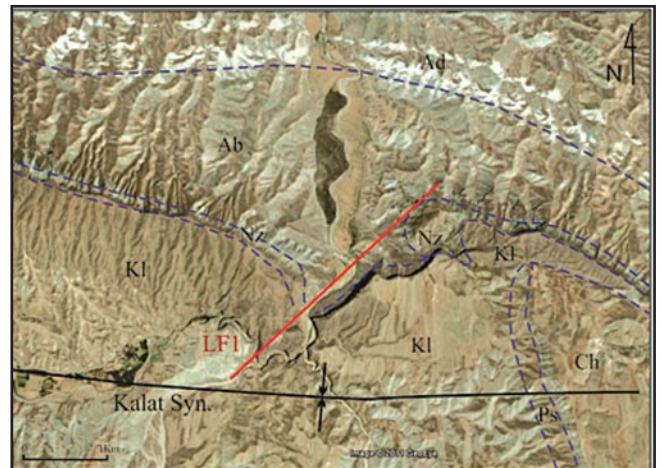
شکل ۹- عملکرد گسل RF4 باعث رخنمون سازند سنگانه در سطح شده است. افزایش ضخامت رخنمون سازند سنگانه در جهت میل چین نشان از عملکرد گسل دارد. دید به سمت خاور، شمال خاور. عملکرد این گسل را می‌توان در برش ساختاری CC' در شکل ۳- الف مشاهده کرد. برای مشاهده موقعیت تصویر به شکل ۴ مراجعه شود. Sn (سنگانه) و At (آیتامیر).

شکل ۱۰- پایین افتادگی بخش خاوری تاقدیس یکه‌توت در اثر فعالیت گسل یکه‌توت (YF). عملکرد گسل RF1 باعث رخنمون سازند شوربچه در هسته تاقدیس شده است. دید به سمت شمال باختر. برای مشاهده موقعیت تصویر به شکل ۴ مراجعه شود. Sh (شوربچه)، Tr (تیرگان) و Sr (سرچشمه).

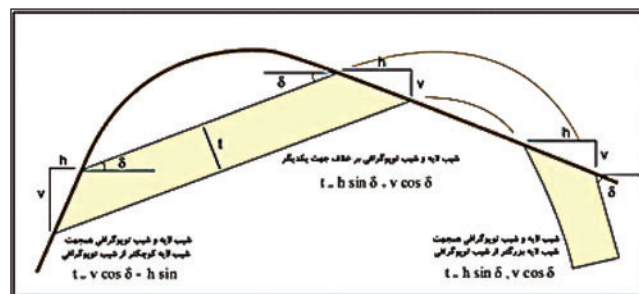




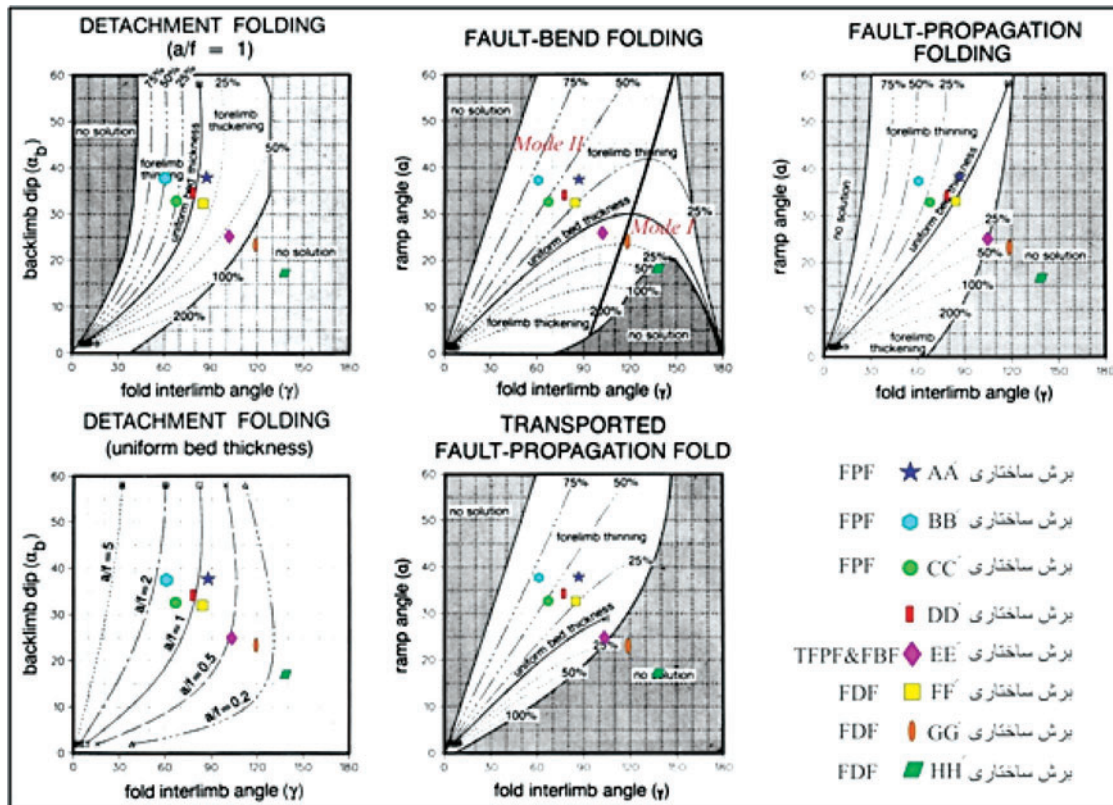
شکل ۱۲- الف) جابه‌جایی راست‌بر لایه ماسه سنگی توسط گسل NRF1. دید به سمت خاور؛
 ب) جابه‌جایی واحدهای سنگی سازند آبدراز توسط گسل NRF2. دید به سمت شمال باختر؛
 ج) استریوگرام گسل NRF2، P (قطب گسل) و SI (خش‌لغز)؛ د) صفحه گسل NRF2، با توجه به پله‌ها، فلش جهت حرکت را نشان می‌دهد. برای مشاهده موقعیت تصویر به شکل ۴ مراجعه شود. Ps (پسته‌لیق)، Ad (آبدراز).



شکل ۱۱- نمایی از جابه‌جایی چپ‌بر سازندهای کلات و نیزار در یال شمالی ناودیس کلات توسط گسل LF1. اما آبراه جدایش راست‌بر را برای گسل نشان می‌دهد. تهیه شده از سایت Google Earth. برای مشاهده موقعیت تصویر به شکل ۴ مراجعه شود. Ad (آبدراز)، Ab (آب‌تلخ)، Nz (نیزار)، Kl (کلات)، Ps (پسته‌لیق) و Ch (چهل کمان).

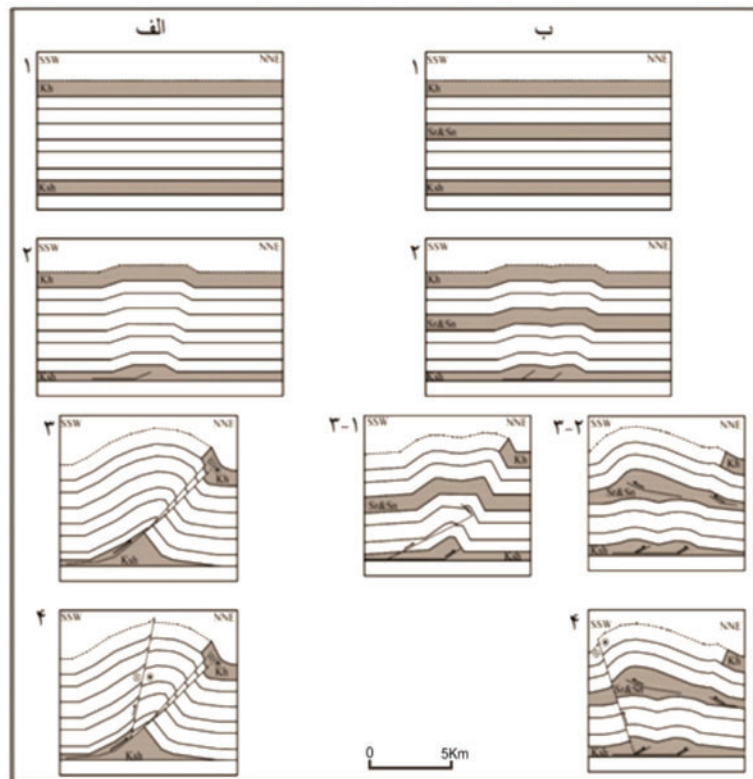


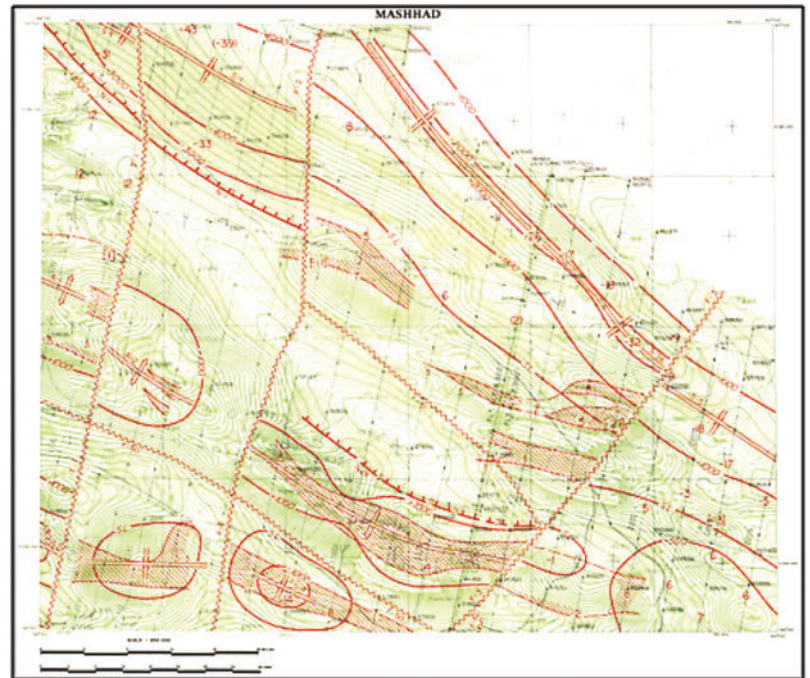
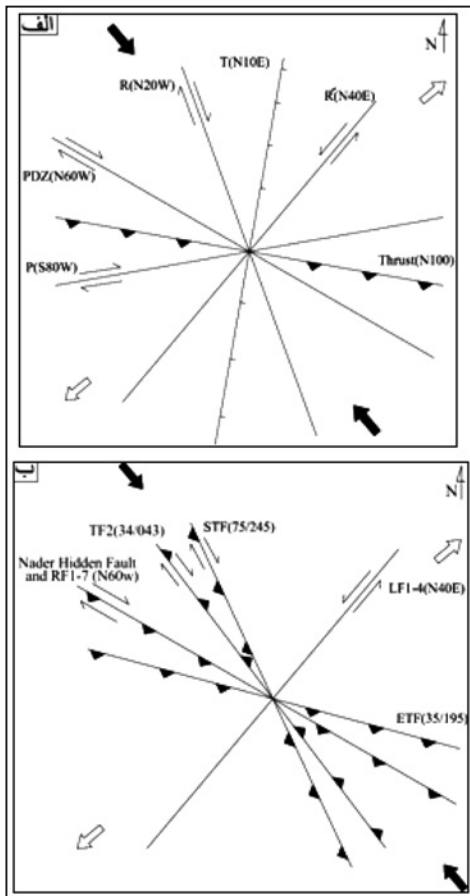
شکل ۱۳- روابط محاسبه ضخامت واقعی لایه‌ها با در نظر گرفتن تاثیرات توپوگرافی (Rowland & Duebendorfer, 1994). (v اختلاف ارتفاع توپوگرافی در ابتدا و انتهای لایه، t ضخامت واقعی لایه، h عرض لایه در نقشه، delta شیب لایه‌بندی).



شکل ۱۴- تحلیل هندسی تاقدیس نادر (در برش‌های ساختاری ترسیمی بر روی این تاقدیس) بر روی نمودارهای چین‌های جدایشی، خم گسلی، گسترش گسلی و گسترش گسلی حمل شده Jamison (1987). موقعیت برش‌ها بر روی شکل ۴ نشان داده شده است. برای توضیحات بیشتر به متن مراجعه گردد.

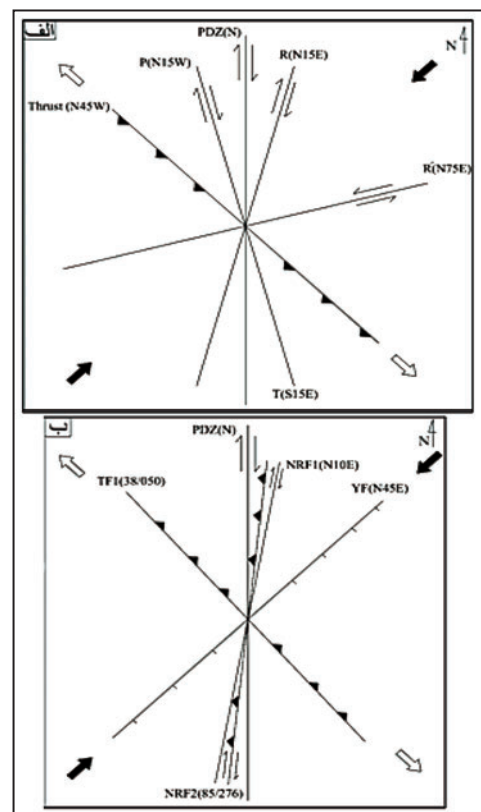
شکل ۱۵- الف) مدل تکامل سبک چین خوردگی کوهان NA1 تاقدیس نادر؛ ب) مدل تکامل سبک چین خوردگی کوهان NA2 تاقدیس نادر. اعداد مراحل همزمان در هر یک از کوهان‌ها نشان می‌دهد. Ksh (کشف رود)، Sr (سرچشمه)، Sn (سنگانه)، Kh (خانگیران).



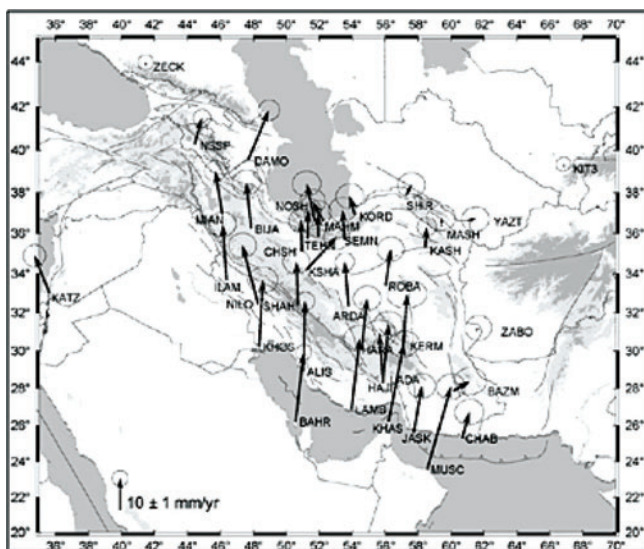


شکل ۱۶- نقشه مغناطیس هوایی ۱:۲۵۰۰۰۰ مشهد، تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی و اکتشافات مواد معدنی کشور (۱۹۷۷).

شکل ۱۷- الف) مدل ریدل راست بر در یک رژیم زمین ساخت ترفشارش با پهنه تغییر شکل اصلی با روند $N60^{\circ}W$ (برگرفته از Sanderson & Marchini, 1984)؛ ب) موقعیت و سازوکار گسل‌هایی از منطقه مورد مطالعه که با مدل شکل الف سازگاری دارند. فلش مشکی راستای تنش اصلی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸- الف) مدل ریدل راست بر برای یک پهنه تغییر شکل اصلی (PDZ) با روند شمالی- جنوبی (برگرفته از Sanderson & Marchini, 1984)؛ ب) موقعیت و سازوکار گسل‌هایی از منطقه مورد مطالعه که با مدل شکل الف سازگاری دارند. فلش مشکی راستای تنش اصلی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹- داده‌های GPS مربوط به پهنه‌های ساختاری مختلف ایران، طول فلش‌ها با توجه به مقیاس میزان حرکت را نشان می‌دهد (Vernant et al., 2004).

جدول ۱- موقعیت محور، سطح محوری و زاویه بین یالی دماغه تاقدیس یکه توت و تاقدیس نادر در مسیرهای پیمایش مختلف ساختاری.

نام مسیر	AA'	BB'	CC'	DD'	EE'	FF' (Northern C.)	FF' (Southern C.)	GG'	HH'
موقعیت محور	۰۰/۱۲۳	۰۶/۲۸۸	۰۶/۲۹۱	۰۴/۱۳۸	۶/۱۵۶	۰۰/۳۱۲	۰۲/۳۱۰	۰۱/۱۴۲	۰۲/۱۴۱
موقعیت سطح محوری	۶۸/۲۱۳	۶۲/۲۰۰	۵۹/۲۰۵	۶۷/۲۲۷	۶۱/۲۴۳	۵۷/۲۲۲	۷۲/۰۳۹	۷۸/۰۵۳	۸۴/۰۵۱
زاویه بین یال ها γ (درجه)	۸۷	۶۲	۶۷	۷۸	۱۰۴	۹۴		۱۱۹	۱۳۸

جدول ۲- داده های مربوط به چین های منطقه مورد مطالعه برای تقسیم بندی بر اساس Aspect ratio.

نام ساختار	طول محور (Km)	میانگین طول موج (Km)	Aspect ratio	سبک دگر یختی
تاقدیس بزرگ نادر	۵۲/۷۴	۸/۱۲	۱۳	واداشته
کوهان NA1 تاقدیس نادر	۱۵/۹۵	۸/۶۸	۳/۶۷	تاخورده
کوهان NA2 تاقدیس نادر	۱۸/۴۳	۷/۱۹	۵/۱۳	تاخورده
تاقدیس فرعی قلیچ آباد	۹/۴	۵/۳	۳/۵۴	تاخورده

جدول ۳- داده های مربوط به برش های ساختاری مختلف جهت استفاده از نمودارهای (Jamison 1987).

نام برش عرضی ساختاری	AA'	BB'	CC'	DD'	EE'	FF'	GG'	HH'
زاویه بین پهلوها (γ)	۸۷	۶۲	۶۷	۷۸	۱۰۴	۸۴	۱۱۹	۱۳۸
شیب پهلو ی خلفی (α_p) یا شیب پلکان گسل (α)	۳۷	۳۷	۳۲	۳۴	۲۵	۳۲	۲۳	۱۷
تغییرات سازند آب تلخ و یا آبدراز در بال پیشانی (درصد)	نازک شدگی	نازک شدگی	نازک شدگی	-	۱۵/۵۶ ضخیم شدگی	-	-	-

کتابنگاری

افشار حرب، ع.، ۱۳۷۳- زمین شناسی کپه داغ، طرح تدوین کتاب زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی کشور، جلد ۱۱، ۲۷۵ صفحه.
 درویش زاده، ع.، ۱۳۷۰- زمین شناسی ایران، چینه شناسی، زمین ساخت، دگرگونی و ماگماتیسزم، موسسه انتشارات امیر کبیر، چاپ دوم ۱۳۸۵، ۴۳۴ صفحه.
 نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه ای بر زمین شناسی ایران؛ انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۱۰۹ صفحه.
 نواب پور، پ.، حیدرزاده، ق.، مافی، آ. و حقی پور، ن.، ۱۳۸۲- الگوی دگر یختی و پهنه بندی ساختاری ایالت زمین ساختی کپه داغ، بیست و دومین گردهمایی علوم زمین.

References

- Berberian, M. & King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Can. J. Earth Sci.*, V.18: p. 210-256.
- Burbank, D. W. & Anderson, R. S., 2001- *Tectonic Geomorphology*, Black Well Science.
- Fluety, M. J., 1964- The Description of Folds. *Proceedings of the Geologist Association* V.75: p. 461-492.
- Jamison, W. R., 1987- Geometric analysis of fold development in overthrust terrains. *Journal of Structural Geology* V. 9: p. 207-219.
- Javidfakhr, B., Bellier, O., Shabanian, E., Ahmadian, S., Saidi, A., 2011- Plio-Quaternary tectonic regime changes in the transition zone between Alborz and Kopeh Dagh mountain ranges (NE Iran). *Tectonophysics* V.506: p. 86-108.
- Lyberis, N., Manby, G., Poli, J., Kalugin, V. & Yousouphocae, H., 1998- Post-triassic evolution of the southern margin of the Turan plate. *Acodkmie des sciences, Elsevier, Paris* Geodynamics, Geodyrtamique.
- McClay, K., 2000- *Structural Geology for petroleum exploration*. Royal Holloway University of London.
- Mitra, S., 2002- Structural models of faulted detachment folds. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* V. 86: p. 1673-1694.
- Naylor, M. A. Mandl, G. & Sijpesteijn, C. H. K., 1986- Fault geometries in basement-induced wrench faulting under different initial stress states: *Journal of Structural Geology* V. 8: p. 737-752.
- Price, N. J. & Cosgrove, J. W. 1990- *Analysis of Geological Structures*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ramberg, H., 1970- Folding of laterally compressed multilayers in the field of gravity, *Phys. Earth Planet. Inter.*, V.2: p. 203 – 232.
- Rowland, S. M. & Duebendorfer, E. M., 1994- *Structural analysis and synthesis* 2nd Edition. Blackwell Scientific PubUcation.
- Sanderson, D. J. & Marchini, W. R. D., 1984- Transpression: *Journal of Structural Geology* V. 6: p. 449-458.
- Shabanian, E., Bellier, O., Abbassi, M. R., Siame, L. & Farbod, Y., 2010- Plio-Quaternary stress states in NE Iran: Kopeh Dagh and Allah Dagh-Binalud mountain ranges. *Tectonophysics* V.480: p. 280-304.
- Sylvester, A. G., 1988- Strike-slip faults. *Geological Society of America Bulletin* V. 100: p. 1666.
- Vernant, Ph., F. Nilforoshan, D., Hatzfeld, M. R., Abbasi, F., Tavakkoli & Chery, J., 2004- Presentday crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in the Iran and northern Oman. *Geophys. J. Intl.*, V.157: p. 381-398.

Influence of North Kopeh Dagh Oblique-Slip Fault Zone on the En Echelon Arrangement of the Nader Anticline Culminations in the Kopeh Dagh Fold- Thrust Belt

B. Derikvand ¹ & A. Yassaghi ^{2*}

¹M.Sc. Student, Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

²Associate Professor, Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2012 May 12

Accepted: 2013 March 13

Abstract

The folding style analysis is one of the initial investigations on hydrocarbon reservoirs anticlines. Nader Anticline is located in the western part of the Eastern Kopeh Dagh zone and on hanging wall of the North Kopeh Dagh Reverse Fault. The structural analysis of the anticline is carried out along eight structural transects across the fold. This analysis showed that the Nader Anticline has two culminations with an en echelon arrangement. These culminations as well as the other folds in the study area are cross cut by a series of NW- and N- trending strike-slip faults. The Nader Anticline first culmination is analyzed as fault propagation fold geometry, while its second culmination is examined as fault detachment fold geometry. Since the Nader Hidden Fault cuts the north limb of the first culmination; the geometry of this culmination can also be considered as faulted detachment fold. The study area faults though have different trends but they dominantly have strike-slip mechanism or strike-slip component and thus, can be considered as Riddle shear faults. Geometric and kinematic analysis of these faults showed that a series of these faults could be considered as shear fractures related to a NW-trending PDZ, while the other faults can be examined as Riddle shears related to a N-trending PDZ. Such development of the Riddle shears faults as well as en echelon arrangement of the Nader Anticline culminations imply that the study area is structurally evolved during a NW-trending oblique-slip fault system more likely related to transpressional activity of the North Kopeh Dagh Reverse fault zone.

Keywords: Kopeh Dagh zone, Nader Anticline, North Kopeh Dagh Reverse Fault, fold Geometric analysis, Strike-slip faulting.

For Persian Version see pages 197 to 208

*Corresponding author: A. Yassaghi; E-mail: yassaghi@modares.ac.ir