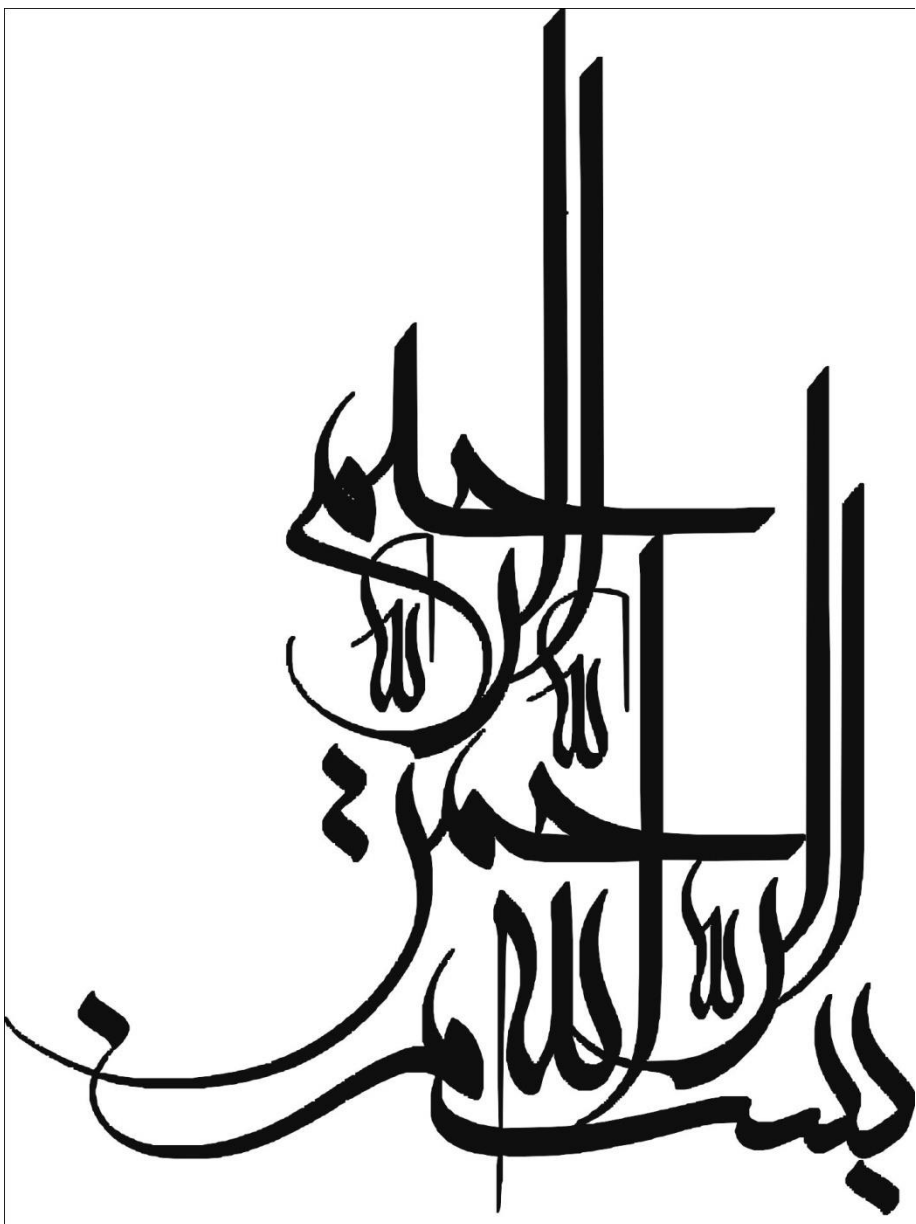






دانشکده علوم زمین

گروه تکتونیک

عنوان

تحلیل ساختاری چین خوردگی و گسلش در ناحیهٔ چهل دختر (شمال خاوری شاهرود)

اکبر نورافکن

استاد راهنما

دکتر پرویز امیدی

استاد مشاور

دکتر عزیزاله طاهری

پایان نامه جهت اخذ درجهٔ کارشناسی ارشد

تیرماه ۱۳۹۱

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: علوم زمین

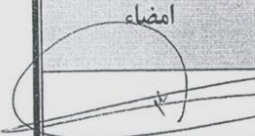
گروه: تکتونیک

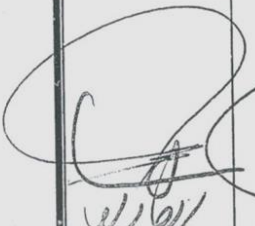
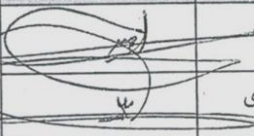
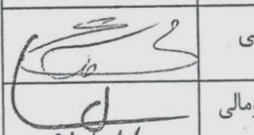
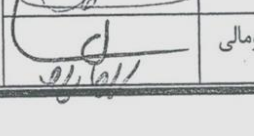
پایان نامه کارشناسی ارشد آقای اکبر نورافکن

تحت عنوان:

تحلیل ساختاری چین خوردگی و گسلش در ناحیه چهل دختر (شمال خاوری شاهرود)

در تاریخ ۱۳۹۱/۰۴/۲۶ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد  
مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

| امضاء                                                                               | استاد مشاور        | امضاء                                                                               | استاد راهنما     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
|  | دکتر عزیزاله طاهری |  | دکتر پرویز امیدی |

| امضاء                                                                               | نماینده تحصیلات تکمیلی | امضاء                                                                                | اساتید داور              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|  | نام و نام خانوادگی:    |  | دکتر پرویز امیدی         |
|                                                                                     | دکتر محمود صادقیان     |  | دکتر عزیزاله طاهری       |
|                                                                                     |                        |  | دکتر محسن خادمی          |
|                                                                                     |                        |  | دکتر رمضان رمضانی اومالی |

## قدردانی

سپاس پروردگار یکتا را که سپاسگزاری از مخلوق را در مرتبت سپاسگزاری از خود بر شمرد.

سپاس و قدردانی خود را نثار می‌کنم به محضر اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر پرویز امیدی، جناب آقای دکتر عزیزاله طاهری، جناب آقای دکتر رمضان رضانی اومالی و جناب آقای دکتر ناصر حافظی مقدس که همواره از مساعدت‌ها و راهنمایی‌های علمی و سودمندشان بهره‌جسته‌ام. همچنین از جناب آقای دکتر رمضان اومالی و جناب آقای دکتر خادمی که زحمت داوری این پایان‌نامه را بر عهده داشتند، نهایت سپاسگزاری را دارم. از تمامی اساتید و پرسنل محترم دانشکده علوم زمین که در دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد، بنده را از الطاف بی‌دریغشان محروم نساختند، کمال سپاس و قدردانی را دارم.

از خانواده عزیزم نهایت سپاس و امتنان را دارم که در تمامی مراحل زندگی مایه دلگرمی و قوت قلب من بودند.

مراتب قدردانی و تشکر خود را از شرکت محترم مهد زمین شاهوار اعلام می‌دارم که در تمامی مراحل انجام این رساله، با در اختیار قرار دادن وسایل و امکانات صحرایی جهت انجام بازدیدها و برداشت‌های صحرایی، اینجانب را یاری نمودند.

قدردانی می‌کنم از خانواده محترم عجم که همواره طی انجام این پایان‌نامه از کمک‌های بی‌دریغشان، بنده را محروم نساختند.

و در انتها از تمامی دوستانم که طی انجام عملیات صحرایی، رنج کیلومترها پیاده‌روی را متحمل شده‌اند، بخصوص آقایان مزینانی، جاویدی، فتحی، سعیدیان، فرجی، کردوانی، افروغ، بابالویان، نعیمی، شفیعی و محمد غربی خانیانی، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

## تعهد نامه

اینجانب اکبر نورافکن دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی گرایش تکتونیک دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه: تحلیل ساختاری چین خوردگی و گسلش در ناحیه چهل دختر (شمال خاوری شاهرود) تحت راهنمایی دکتر پرویز امیدی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۱۳۹۵/۵/۲

امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده

ناحیهٔ چهل دختر واقع در شمال خاوری شهرستان شاهرود، بخشی از حاشیهٔ جنوبی البرز خاوری می‌باشد. مطالعات چینه‌نگاری در این منطقه وجود واحدهای سنگی پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک با روند ساختاری شمال خاوری- جنوب باختری تا خاوری- باختری را تأیید می‌نماید. تمامی چین‌های مورد بررسی بجز تاقدیس سرخ‌چشمه که نتیجهٔ چین‌خوردگی واحدهای آهکی کربونیفر زیرین (سازند مبارک) می‌باشد، حاصل چین‌خوردگی سنگ‌های رسوبی مربوط به دورهٔ ترشیری می‌باشند. چین‌های مطالعه شده، طبق رده‌بندی فلوئی بر مبنای زاویهٔ بین دو یال (Fleuty 1964)، به طور عمده در ردهٔ باز (Open) و تعداد محدودی از آنها در ردهٔ ملایم قرار می‌گیرند. بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا نیز جایگاه چین‌ها در دو ردهٔ ایستاده و تقریباً افقی (Upright sub-horizontal) و ایستاده با میل ملایم (Upright gently plunging) و به تعداد محدودتری در ردهٔ چین‌های با سطح محوری پرشیب با میل ملایم (Steeply inclined gently plunging) قرار دارند. گسل‌های با راستای شمال خاوری- جنوب باختری همچون گسل ابر، میقان، خیج و کلاته بن، دارای سازوکار معکوس چپ‌بر و گسل‌های با راستای شمالی- جنوبی دارای سازوکار راست‌بر می‌باشند. این آرایش هندسی و الگوی حرکتی آنها با الگوی دگرشکلی ترافشارشی چپ‌گرد ناحیه‌ای انطباق دارد. سیمای زمین‌ریختی منطقهٔ مورد مطالعه تا حد زیادی تحت تأثیر عناصر ساختاری (چین‌ها و گسل‌ها) قرار دارد. گسل‌های معکوس و چین‌ها، عوامل اصلی شکل دهندهٔ زمین‌ریخت بخش‌های شمالی بوده و ریخت‌شناسی نسبتاً پست بخش‌های میانی و جنوبی متأثر از گسل‌هایی با مؤلفهٔ چیرهٔ راست‌الغز (گسل‌های میقان و خیج) می‌باشد. فعالیت‌های نو زمین‌ساختی با نشانه‌هایی همچون پرتگاه‌های گسلی، جابجایی آبراهه‌ها، چشمهٔ تراورتن‌ساز، جابجایی مخروط افکنه‌ها و همچنین دگرریختی سازندهای جوان و نهشته‌های کواترنری قابل مشاهده است.

واژه‌های کلیدی: چهل دختر، شاهرود، میقان، خیج، ابر، نو زمین ساخت

## مقالات مستخرج از این پایان نامه

- ۱- "هندسه چین خوردگی نهشته‌های نئوژن در ناحیه چهل دختر (شمال خاوری شاهرود)"،  
پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم، تهران، آذرماه ۱۳۹۰.
- ۲- "تکتونیک و محیط رسوبی نهشته‌های میوسن و پلیوسن در ناحیه چهل دختر (شمال خاوری شاهرود)"،  
پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم، تهران، آذرماه ۱۳۹۰.

## فصل اول: کلیات

- ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی ..... ۱
- ۲-۱- تعریف مسئله و هدف‌های تحقیق ..... ۲
- ۳-۱- روش انجام تحقیق ..... ۳
- ۴-۱- تاریخچه مطالعات پیشین ..... ۴

## فصل دوم: زمین‌شناسی عمومی

- ۱-۲- زمین‌ساخت البرز ..... ۶
- ۲-۲- زمین ریخت‌شناسی ..... ۱۰
- ۳-۲- چینه‌شناسی ..... ۱۱
- ۱-۳-۲- واحدهای سنگی پالئوزوئیک ..... ۱۱
- ۱-۳-۲-۱- سازند سلطان میدان ..... ۱۱
- ۲-۳-۲-۱- سازند پادها ..... ۱۲
- ۳-۳-۲-۱- سازند خوش‌بیلاق ..... ۱۳
- ۴-۳-۲-۱- سازند مبارک ..... ۱۴
- ۵-۳-۲-۱- سازند دورود ..... ۱۴
- ۲-۳-۲- واحدهای سنگی مزوزوئیک ..... ۱۷
- ۱-۳-۲-۱- سازند الیکا ..... ۱۷
- ۲-۳-۲-۲- سازند شمشک ..... ۱۷
- ۳-۳-۲-۲- سازند لار ..... ۱۸
- ۴-۳-۲-۲- واحدهای کرتاسه بالایی ..... ۱۸
- ۳-۳-۲- واحدهای سنگی سنوزوئیک ..... ۲۰
- ۱-۳-۳-۲- سازند فجن ..... ۲۰
- ۲-۳-۳-۲- سازند زیارت ..... ۲۰
- ۳-۳-۳-۲- سازند کرج ..... ۲۱
- ۴-۳-۳-۲- نهشته‌های نئوژن ..... ۲۱
- ۵-۳-۳-۲- نهشته‌های کواترنری ..... ۳۰

## فصل سوم: زمین‌شناسی ساختمانی

|    |                                           |
|----|-------------------------------------------|
| ۳۴ | ..... ۱-۳- گسلش                           |
| ۳۶ | ..... ۱-۱-۳- منطقه گسلی کلاته بُن         |
| ۳۶ | ..... ۱-۱-۱-۳- گسل کلاته بن               |
| ۳۹ | ..... ۲-۱-۱-۳- گسل $F_1$                  |
| ۴۱ | ..... ۳-۱-۱-۳- گسل $F_2$                  |
| ۴۴ | ..... ۲-۱-۳- گسل چهل دختر                 |
| ۴۶ | ..... ۳-۱-۳- گسل گورخان                   |
| ۴۸ | ..... ۴-۱-۳- گسل ابر                      |
| ۵۱ | ..... ۵-۱-۳- گسل خیج                      |
| ۵۱ | ..... ۱-۵-۱-۳- قطعه گسلی سیاه کوه         |
| ۵۴ | ..... ۲-۵-۱-۳- قطعه گسلی کلاته خیج        |
| ۵۸ | ..... ۳-۵-۱-۳- قطعه گسلی ریزو             |
| ۵۹ | ..... ۶-۱-۳- گسل میقان                    |
| ۶۲ | ..... ۷-۱-۳- سایر گسل‌ها                  |
| ۶۳ | ..... ۲-۳- چین خوردگی                     |
| ۶۵ | ..... ۱-۲-۳- ناودیس چهل دختر              |
| ۶۷ | ..... ۲-۲-۳- تاقدیس چهل دختر در سازند فجن |
| ۶۷ | ..... ۳-۲-۳- تاقدیس چهل دختر در سازند کرج |
| ۶۹ | ..... ۴-۲-۳- ناودیس فجن                   |
| ۷۰ | ..... ۵-۲-۳- تاقدیس سرخ چشمه              |
| ۷۳ | ..... ۶-۲-۳- چین خوردگی نهشته‌های میوسن   |
| ۷۵ | ..... ۱-۶-۲-۳- ناودیس $F_{O1}$            |
| ۷۶ | ..... ۲-۶-۲-۳- تاقدیس $F_{O2}$            |
| ۷۶ | ..... ۳-۶-۲-۳- تاقدیس $F_{O3}$            |
| ۷۷ | ..... ۴-۶-۲-۳- ناودیس $F_{O4}$            |
| ۷۸ | ..... ۵-۶-۲-۳- تاقدیس $F_{O5}$            |
| ۷۹ | ..... ۷-۲-۳- ناودیس گورخان                |
| ۸۰ | ..... ۸-۲-۳- ناودیس دینو                  |
| ۸۱ | ..... ۹-۲-۳- تاقدیس دینو                  |

## فصل چهارم: ریخت زمین ساخت

- ۸۵ ..... ۴-۱- ریخت زمین ساخت بخش های شمالی
- ۸۶ ..... ۴-۱-۱- چین خوردگی واحدهای رسوبی
- ۸۷ ..... ۴-۱-۲- دره های گسلی
- ۸۹ ..... ۴-۱-۳- سیمای زمین ریختی گسل کلاته بن
- ۹۲ ..... ۴-۱-۴- سیمای زمین ریختی گسل ابر
- ۹۳ ..... ۴-۲- ریخت زمین ساخت بخش های میانی و جنوبی
- ۹۳ ..... ۴-۲-۱- سیمای زمین ریختی گسل میقان
- ۹۵ ..... ۴-۲-۲- سیمای زمین ریختی گسل خیج

## فصل پنجم: نو زمین ساخت

- ۹۸ ..... ۵-۱- قطع شدن رسوبات کواترنری
- ۱۰۱ ..... ۵-۲- جابجایی مخروط افکنه ها
- ۱۰۲ ..... ۵-۳- فرسایش بستر رودخانه ها
- ۱۰۴ ..... ۵-۴- جابجایی آبراهه ها
- ۱۰۵ ..... ۵-۵- آبراهه های مستقیم
- ۱۰۶ ..... ۵-۶- چشمه های تراورتن ساز
- ۱۰۸ ..... ۵-۷- پرتگاه های گسلی
- ۱۱۰ ..... ۵-۸- دگر ریختی سازندهای جوان

## فصل ششم: بحث و نتیجه گیری

- ۱۱۳ ..... ۶-۱- الگوی گسلش
- ۱۱۳ ..... ۶-۱-۱- گسل خیج
- ۱۱۴ ..... ۶-۱-۲- گسل ابر
- ۱۱۴ ..... ۶-۱-۳- گسل چهل دختر
- ۱۱۴ ..... ۶-۱-۴- گسل میقان
- ۱۱۵ ..... ۶-۱-۵- منطقه گسلی کلاته بن
- ۱۲۰ ..... ۶-۲- الگوی چین خوردگی
- ۱۲۳ ..... ۶-۳- تأثیر فعالیت گسل ها بر روی ریخت شناسی
- ۱۲۴ ..... ۶-۴- ارزیابی فعالیت کواترنری گسل ها

|     |                      |
|-----|----------------------|
| ۱۲۴ | ..... ۵-۶- پیشنهادات |
| ۱۲۶ | ..... پیوست‌ها       |
| ۱۳۶ | ..... منابع          |

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقشه راه‌های ارتباطی ..... ۱
- شکل ۱-۲- تصویر SRTM از رشته کوه البرز در شمال ایران ..... ۶
- شکل ۲-۲- تاریخچه تکوین ساختاری البرز ..... ۷
- شکل ۳-۲- تکامل ساختاری البرز در اواخر دوران سنوزوئیک ..... ۱۰
- شکل ۴-۲- تصاویری از رخنمون سازندهای منطقه ..... ۱۵
- شکل ۵-۲- ستون چینه‌شناسی سازندهای مربوط به دوران پالئوزوئیک ..... ۱۶
- شکل ۶-۲- ستون چینه‌شناسی سازندهای مربوط به دوران مزوزوئیک ..... ۱۹
- شکل ۷-۲- تصاویری از رخنمون سازندهای سنوزوئیک در منطقه ..... ۲۳
- شکل ۸-۲- رخساره‌های شناسایی شده در نهشته‌های نئوژن ..... ۲۵
- شکل ۹-۲- رخساره‌های شناسایی شده در نهشته‌های نئوژن ..... ۲۷
- شکل ۱۰-۲- کوهزایی آلبی پایانی؛ تراست شدگی و تغییر شرایط رسوبگذاری در البرز ..... ۲۸
- شکل ۱۱-۲- مدل رسوبگذاری نهشته‌های مارنی و کنگلومرایی میوسن- پلیوسن ..... ۲۹
- شکل ۱۲-۲- نهشته‌های کواترنری در منطقه مورد مطالعه ..... ۳۱
- شکل ۱۳-۲- ستون چینه‌شناسی مربوط به سازندهای دوران سنوزوئیک ..... ۳۲
- شکل ۱-۳- بخشی از نقشه زمین‌شناسی خوش‌یلاق ..... ۳۵
- شکل ۲-۳- رانده شدن سازند الیکا بر روی نهشته‌های نئوژن ..... ۳۷
- شکل ۳-۳- نمایی از سطح گسل کلاته بن با روند خاوری- باختری ..... ۳۸
- شکل ۴-۳- نمودار سیکلوگرافیک داده‌های برداشت شده از سطح گسل کلاته بن ..... ۳۹
- شکل ۵-۳- دره گسلی ایجاد شده توسط گسل  $F_1$  ..... ۴۰
- شکل ۶-۳- نمودار سیکلوگرافیک بدست آمده از داده‌های برداشت شده از سطح گسل  $F_1$  ..... ۴۰
- شکل ۷-۳- گسل  $F_2$  در حاشیه شمالی تاقدیس سرخ‌چشمه ..... ۴۲
- شکل ۸-۳- قرارگیری سازندهای الیکا و فجن در کنار هم توسط گسل  $F_2$  ..... ۴۳
- شکل ۹-۳- نمودار سیکلوگرافیک بدست آمده از داده‌های برداشت شده از سطح گسل  $F_2$  ..... ۴۴
- شکل ۱۰-۳- تصویر سه بعدی از مسیر رودخانه خیج و گسل چهل دختر ..... ۴۵
- شکل ۱۱-۳- خطواره گسل چهل دختر در تصویر ماهواره‌ای Landsat ..... ۴۶
- شکل ۱۲-۳- دره ایجاد شده در کنگلومرای پلیوسن توسط گسل گورخان ..... ۴۷
- شکل ۱۳-۳- نمودار سیکلوگرافیک بدست آمده از داده‌های برداشت شده از گسل گورخان ..... ۴۸
- شکل ۱۴-۳- تصویر سه بعدی از گسل ابر در مرز بین نواحی کوهستانی و حوضه‌های کواترنری .. ۴۹
- شکل ۱۵-۳- دیواره گسلی مربوط به گسل ابر در شمال روستای ابر ..... ۵۰
- شکل ۱۶-۳- نمودار سیکلوگرافیک بدست آمده از داده‌های برداشت شده از سطح گسل ابر ..... ۵۰

- شکل ۳-۱۷- خطواره قطعه گسلی سیاه کوه در تصویر ماهواره‌ای Landsat ..... ۵۱
- شکل ۳-۱۸- مرز گسله بین واحدهای آتشفشانی سیاه کوه و واحدهای سازند کرج ..... ۵۳
- شکل ۳-۱۹- نمودار سیکلوگرافیک بدست آمده از داده‌های برداشت شده از قطعه سیاه کوه ..... ۵۴
- شکل ۳-۲۰- برش نمادین از تصاویر شکل (۳-۱۸) ..... ۵۴
- شکل ۳-۲۱- تصویر Google Earth از قطعه گسلی کلاته‌خیج ..... ۵۶
- شکل ۳-۲۲- خردشدگی کنگلومرای پلئستوسن بر اثر عملکرد قطعه کلاته‌خیج ..... ۵۷
- شکل ۳-۲۳- بخشی از نقشه توپوگرافی ناحیه کلاته‌خیج ..... ۵۸
- شکل ۳-۲۴- تصویر ماهواره‌ای Landsat از قطعه ریزو ..... ۵۹
- شکل ۳-۲۵- تصویر Google Earth و تصویر ماهواره‌ای Landsat از گسل میقان ..... ۶۰
- شکل ۳-۲۶- تصویر صحرایی از گسل میقان و رخنمون مارن‌های میوسن در امتداد آن ..... ۶۱
- شکل ۳-۲۷- فروافتادگی ایجاد شده بر اثر عملکرد معکوس گسل‌های میقان و خیج ..... ۶۲
- شکل ۳-۲۸- مسیر پیمایش‌های صورت گرفته جهت شناسایی وضعیت چین‌خوردگی ..... ۶۴
- شکل ۳-۲۹- ناودیس چهل‌دختر در سازند کرج و فجن ..... ۶۵
- شکل ۳-۳۰- استریوگرام‌های بدست آمده از ناودیس چهل‌دختر در پیمایش T<sub>1</sub> ..... ۶۶
- شکل ۳-۳۱- استریوگرام‌های بدست آمده از ناودیس چهل‌دختر در پیمایش T<sub>2</sub> ..... ۶۶
- شکل ۳-۳۲- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس چهل‌دختر ..... ۶۷
- شکل ۳-۳۳- منطقه لولای ناودیس چهل‌دختر در پیمایش T<sub>4</sub> و T<sub>5</sub> ..... ۶۸
- شکل ۳-۳۴- استریوگرام‌های بدست آمده از ناودیس چهل‌دختر در پیمایش T<sub>4</sub> ..... ۶۹
- شکل ۳-۳۵- استریوگرام‌های بدست آمده از ناودیس چهل‌دختر در پیمایش T<sub>5</sub> ..... ۶۹
- شکل ۳-۳۶- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس فجن ..... ۷۰
- شکل ۳-۳۷- ناودیس سرخ‌چشمه در حاشیه جنوبی جاده اصلی شاهرود- آزادشهر ..... ۷۱
- شکل ۳-۳۸- استریوگرام‌های بدست آمده از ناودیس سرخ‌چشمه در پیمایش T<sub>6</sub> ..... ۷۲
- شکل ۳-۳۹- استریوگرام‌های بدست آمده از ناودیس سرخ‌چشمه در پیمایش T<sub>7</sub> ..... ۷۳
- شکل ۳-۴۰- استریوگرام‌های بدست آمده از ناودیس سرخ‌چشمه در پیمایش T<sub>8</sub> ..... ۷۳
- شکل ۳-۴۱- چین‌خوردگی‌های رسوبات میوسن ..... ۷۴
- شکل ۳-۴۲- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس Fo<sub>1</sub> ..... ۷۵
- شکل ۳-۴۳- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس Fo<sub>2</sub> ..... ۷۶
- شکل ۳-۴۴- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس Fo<sub>3</sub> ..... ۷۷
- شکل ۳-۴۵- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس Fo<sub>4</sub> ..... ۷۸
- شکل ۳-۴۶- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس Fo<sub>5</sub> ..... ۷۹
- شکل ۳-۴۷- ناودیس گورخان در واحدهای کنگلومرای پلیوسن ..... ۸۰
- شکل ۳-۴۸- استریوگرام‌های بدست آمده از ناودیس گورخان در پیمایش T<sub>11</sub> ..... ۸۰

- شکل ۳-۴۹- مدل نمادین از ناودیس و تاقدیس دینو ..... ۸۱
- شکل ۳-۵۰- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس دینو ..... ۸۲
- شکل ۳-۵۱- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از تاقدیس دینو ..... ۸۲
- شکل ۴-۱- برش ساختاری نمادین از تاقدیس سرخ‌چشمه ..... ۸۶
- شکل ۴-۲- چین‌خوردگی واحدهای کنگلومرای پلیوسن ..... ۸۷
- شکل ۴-۳- دره گسلی ایجاد شده توسط گسل‌های منطقه مورد مطالعه ..... ۸۸
- شکل ۴-۴- تصویر سه بعدی از دره رودخانه خنج که توسط گسل چهل‌دختر ایجاد گشته است ..... ۸۹
- شکل ۴-۵- رانده شدن سازند الیکا بر روی نهشته‌های نئوژن ..... ۹۰
- شکل ۴-۶- حرکت رو به بالای فرادیواره گسل کلاته بن ..... ۹۱
- شکل ۴-۷- پرتگاه‌های ایجاد شده توسط گسل کلاته بن ..... ۹۱
- شکل ۴-۸- تصویر سه‌بعدی از محدوده گسل ابر ..... ۹۲
- شکل ۴-۹- گسل ابر در مرز بین نواحی مرتفع کوهستانی و حوضه‌های کواترنری ..... ۹۳
- شکل ۴-۱۰- پرتگاه گسلی ایجاد شده بر روی گسل میقان ..... ۹۴
- شکل ۴-۱۱- تپه‌های مارنی ایجاد شده بر روی گسل میقان ..... ۹۵
- شکل ۴-۱۲- گسل خنج در حاشیه شمالی سیاه‌کوه و حرکت رو به بالای فرادیواره این گسل .... ۹۶
- شکل ۴-۱۳- پرتگاه‌های شکل گرفته بر روی گسل خنج در حاشیه شمالی سیاه‌کوه ..... ۹۶
- شکل ۴-۱۴- رانده شدن سازند لار بر روی رسوبات کواترنری توسط گسل خنج ..... ۹۷
- شکل ۴-۱۵- بخشی از نقشه توپوگرافی ناحیه کلاته‌خنج ..... ۹۷
- شکل ۵-۱- گسترش نهشته‌های کواترنری در منطقه مورد مطالعه ..... ۹۹
- شکل ۵-۲- تصویر Google Earth از گسل خنج در جنوب باختری شهر کلاته‌خنج ..... ۱۰۰
- شکل ۵-۳- قطع شدگی رسوبات کواترنری توسط گسل میقان و ابر ..... ۱۰۱
- شکل ۵-۴- تصویر ماهواره‌ای مخروط افکنه‌های کواترنری در طول گسل ابر ..... ۱۰۲
- شکل ۵-۵- حفر بستر آبراهه‌ها در بخش شمال باختری گسل میقان ..... ۱۰۳
- شکل ۵-۶- مدل نمادین از عملکرد گسل میقان و تأثیر بر روی سامانه آبراهه‌ها ..... ۱۰۳
- شکل ۵-۷- انحراف و جابجایی آبراهه‌ها بر اثر عملکرد یک گسل راستالغز چپ‌بر ..... ۱۰۴
- شکل ۵-۸- تصویر Google Earth رنگ‌آمیزی شده از گسل خنج ..... ۱۰۵
- شکل ۵-۹- خطواره گسل چهل‌دختر در تصویر ماهواره‌ای Landsat ..... ۱۰۶
- شکل ۵-۱۰- نهشته‌های تراورتنی در شمال خاوری سیاه‌کوه و در امتداد گسل خنج ..... ۱۰۸
- شکل ۵-۱۱- پرتگاه‌های گسلی ایجاد شده توسط گسل‌های منطقه مورد مطالعه ..... ۱۰۹
- شکل ۵-۱۲- چین‌خوردگی نهشته‌های مارنی و کنگلومرای نئوژن ..... ۱۱۱
- شکل ۵-۱۳- قطع شدگی و جابجایی نهشته‌های نئوژن به وسیله گسل چهل‌دختر ..... ۱۱۲
- شکل ۶-۱- مدل نمادین از ارتباط سازوکار قطعه‌های مختلف گسل خنج با سوی تنش حاکم .... ۱۱۴

- شکل ۶-۲- مقطع عرضی از منطقه گسلی کلاته بن ..... ۱۱۵
- شکل ۶-۳- تکامل ساختاری البرز در اواخر دوران سنوزوئیک ..... ۱۱۶
- شکل ۶-۴- نمایش نتایج بررسی‌های ورنانت و همکاران (Vernant et al 2004) ..... ۱۱۷
- شکل ۶-۵- نقشه ساختاری گسل‌های منطقه مورد مطالعه بر روی تصاویر SRTM ..... ۱۱۹
- شکل ۶-۶- ارتباط سوی تنش بیشینه با سازوکار گسل‌های منطقه مورد مطالعه ..... ۱۲۰
- شکل ۶-۷- نمودار گل سرخی مربوط به سطوح محوری چین‌ها ..... ۱۲۱
- شکل ۶-۸- رده‌بندی چین‌ها بر اساس شیب سطح محوری و میل لولای چین ..... ۱۲۲

## صفحه

## عنوان

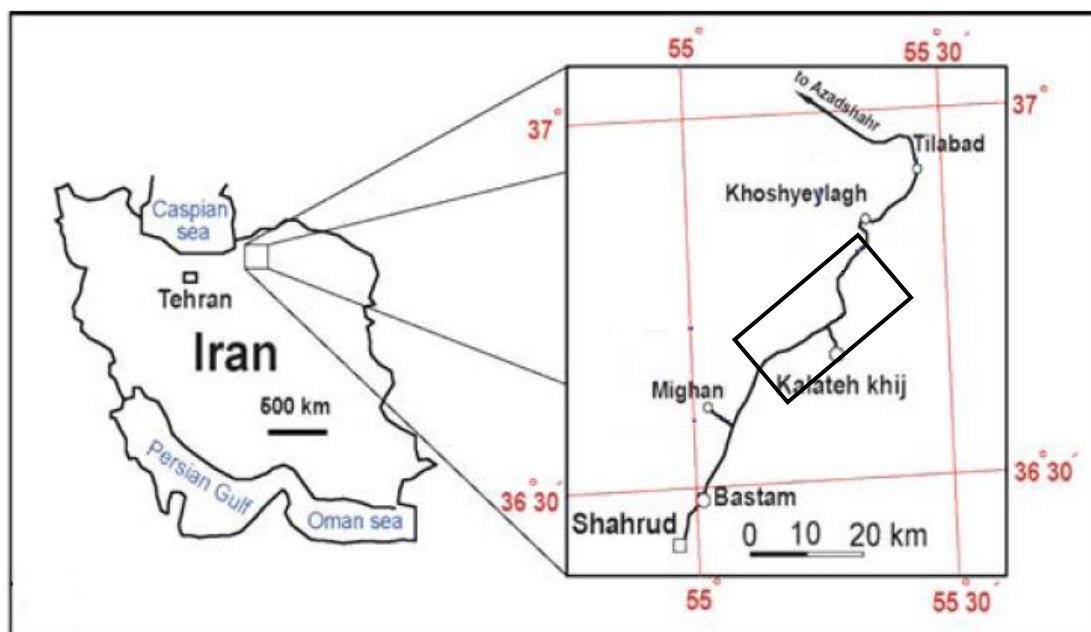
|     |                                                                          |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|
| ۸۳  | ..... جدول ۱-۳ - خلاصه ویژگی‌های هندسی چین‌های منطقه مورد مطالعه         |
| ۱۲۲ | ..... جدول ۱-۶ - طبقه‌بندی چین‌ها بر اساس زاویه بین یال‌ها (Fleuty 1964) |

# فصل اول

## کلیات

## ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

ناحیه مورد مطالعه در فاصله بین طول‌های  $55^{\circ} 00'$  تا  $55^{\circ} 30'$  خاوری و عرض‌های  $36^{\circ} 30'$  تا  $37^{\circ} 00'$  شمالی قرار دارد. از دیدگاه زمین‌شناسی ایران، این منطقه در بخش خاوری زون ساختاری-رسوبی البرز و در فاصله بین شهرستان بسطام تا گردنه خوش‌یلاق در شمال خاوری شهرستان شاهرود واقع می‌باشد. جاده آسفالت شاهرود-آزادشهر و راه‌های متعدد خاکی منشعب از آن، جاده آسفالت شهر کلاته‌خیج و دره‌های عرضی موجود در منطقه، از جمله راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه می‌باشند (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقشه راه‌های ارتباطی (برگرفته از Aharipour et al 2010)

## ۱-۲- تعریف مسئله و هدف‌های تحقیق

رشته کوه البرز در شمال ایران، مجموعه ارتفاعاتی را به شکل خمیده با طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر شامل می‌شود که از باختر به قفقاز کوچک و از خاور به کوه‌های پاراپامیسوس در شمال افغانستان متصل است (Alavi 1996). با توجه به ساختار و فرگشت زمین‌ساختی پیچیده البرز و از آنجایی که این نوار کوهزایی بخشی از نوار شمالی کوهزاد آلپ- هیمالیا می‌باشد، مطالعه ساختمان و چگونگی تکامل زمین‌ساختی آن به درک بهتر فرگشت زمین‌ساختی آلپ- هیمالیا کمک خواهد نمود.

ساختارهای منطقه مورد مطالعه، اعم از چین‌ها و گسل‌ها، همانند اکثر بخش‌های البرز خاوری، از روند شمال خاوری- جنوب باختری پیروی می‌کنند. واحدهای سنگی- رسوبی که در معرض چین- خوردگی و گسلش قرار گرفته‌اند، متعلق به پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک می‌باشند. سنگ‌های آذرین با سن ائوسن نیز در منطقه مورد بحث گزارش شده‌اند. در بررسی‌های صورت گرفته پیشین بر روی ناحیه مورد مطالعه، چینه‌نگاری و ساختارهای کلی منطقه معرفی شده‌اند، اما بررسی تفصیلی بر روی ساخت‌ها به ویژه سازوکار چین‌خوردگی، سبک هندسی و اختصاصات سینماتیک گسل‌ها و فعالیت نو زمین‌ساختی آنها انجام نشده است.

بررسی‌های ساختاری در منطقه با نگاه ویژه به تحولات نو زمین‌ساختی، ضمن افزایش داده‌های ساختاری در بخشی از کوهزاد مهم البرز، اختصاصات نو زمین‌ساختی منطقه را آشکار خواهد کرد که به عنوان پایه‌ای برای مطالعات بعدی همچون لرزه زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی مورد استفاده قرار خواهد گرفت. در این راستا هدف‌های این تحقیق را می‌توان به این صورت بیان نمود:

۱- بررسی الگوی دگرشکلی در منطقه (با توجه به نوع واحدهای سنگی درگیر در دگرشکلی)

۲- تعیین سبک هندسی و اختصاصات سینماتیک گسل‌ها

۳- ارزیابی فعالیت نو زمین‌ساختی در منطقه

### ۱-۳- روش انجام تحقیق

روش کار در این تحقیق، به ترتیب شامل موارد زیر می باشد:

۱- مطالعات کتابخانه‌ای؛ اعم از مقالات، کتاب‌ها، پایان‌نامه‌ها و کلیه منابع مرتبط

۲- بررسی داده‌های دورسنجی منطقه؛ شامل تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی

۳- مطالعات ریخت زمین‌ساختی در مقیاس ناحیه‌ای

۴- انجام مطالعات صحرایی با هدف اندازه‌گیری‌های ساختاری و نمونه برداری‌های لازم از واحدهای سنگی - رسوبی.

شایان ذکر است که مطالعات میدانی جهت برداشت‌های صحرایی زیر صورت گرفته است:

- برداشت ویژگی‌های لایه‌بندی در پیمایش‌های ساختاری عمود بر روند ساختارهای اصلی

- شناسایی آثار گسلش سطحی و ساختارهای مرتبط با آن

لازم به ذکر است که نحوه بیان موقعیت عناصر ساختاری صفحه‌ای به صورت شیب و جهت شیب (Dip, Dip Direction) و عناصر خطی به صورت میل و جهت میل (Plunge, Plunge Direction) می‌باشد.

۵- تحلیل داده‌های ساختاری

تحلیل داده‌های ساختاری، که برگرفته از مطالعات قبلی، داده‌ها و اطلاعات بدست آمده از برداشت‌های صحرایی می‌باشد، با روش‌های مرسوم زمین‌شناسی ساختمانی مانند: تحلیل‌های هندسی و جنبشی صورت گرفته است و به این منظور از نرم‌افزارهای موجود، بخصوص نرم‌افزارهای استریوگرافیک مانند: Dips, StereoNet, TectonicFP و ... استفاده شده است.

۶- تدوین پایان‌نامه و تهیه نقشه ساختاری از منطقه مورد مطالعه که از طریق تلفیق اطلاعات بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، برداشت‌های صحرایی و نقشه‌های توپوگرافی، با استفاده از نرم‌افزارهای مرتبط مانند: Arc GIS، Global Mapper و ... به انجام رسیده است.

#### ۴-۱- تاریخچه مطالعات پیشین

زمین‌شناسی رشته کوه البرز تاکنون توسط محققان زیادی و از دیدگاه‌های مختلفی از قبیل زمین-ساخت، چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی مورد بررسی قرار گرفته است. اکثر این مطالعات کلی بوده و کمتر به جزئیات ساختاری منطقه پرداخته شده است.

از جمله اولین مطالعاتی که تا حدودی به جزئیات ساختاری منطقه پرداخته است، می‌توان به نقشه زمین‌شناسی گرگان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۶۹) اشاره کرد.

در نقشه زمین‌شناسی خوش‌یلاق با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۳)، جزئیات ساختاری و چینه‌شناسی منطقه به طور دقیق‌تر و جزئی‌تری مورد بررسی قرار گرفته است.

ادامه جنوب باختری گسل ابر که مرز شمالی منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد، در نقشه زمین‌شناسی علی‌آباد با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۵) با روندی خاوری-باختری و با شیب به سمت شمال معرفی شده است.

نوگل سادات (Nogole sadat 1993) در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ لرزه زمین‌ساخت ایران، گسل ابر را ادامه شمال خاوری گسل شاهکوه دانسته و با عنوان گسل چهل‌دختر از آن یاد می‌کند.

علیمی (۱۳۸۴) در قالب رساله کارشناسی ارشد، با بررسی بایواستراتیگرافی و لیتواستراتیگرافی سازندهای زیارت و کرج در ناحیه مجن و چهل‌دختر، مرز سازندهای زیارت و فجن را در منطقه مجن پیوسته دانسته، سن سازند زیارت را ائوسن زیرین (Ypresian) و سن سازند کرج را ائوسن میانی

(Lutetian) تعیین کرده است. ضمناً ایشان واحدهای سازندهٔ ناودیس چهل دختر، که در نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه با عنوان سازند زیارت ذکر شده است را مربوط به سازند کرج دانسته است.

اهری‌پور و همکاران (Aharipour et al 2010)، با مطالعهٔ رخساره‌ها و بازسازی محیط دیرینهٔ سازند پادها در کوه‌های البرز خاوری و از جمله منطقهٔ میقان، شرایط تشکیل توالی سازند پادها را مربوط به یک محیط ریفتی دانسته‌اند.

جاویدفخر و همکاران (Javidfakhr et al 2011a)، گسل خیج را با طول حدود ۵۵ کیلومتر با راستای شمال خاوری- جنوب باختری معرفی کردند که گسل‌های دینو، ریزو، زردابه و گسل جنوب باختری شهر کلاته‌خیج، بخش‌های مختلف این گسل را تشکیل می‌دهند. ایشان به منظور مطالعهٔ زمین‌ساخت فعال در مرز جنوب خاوری البرز خاوری، فعالیت گسل‌های ابر و خیج را، به عنوان بخشی از سامانهٔ گسلی شاهرود، مورد بررسی قرار داده و این دو گسل را با امتداد شمال خاوری- جنوب باختری و سازوکار چپ‌بر معرفی کردند.

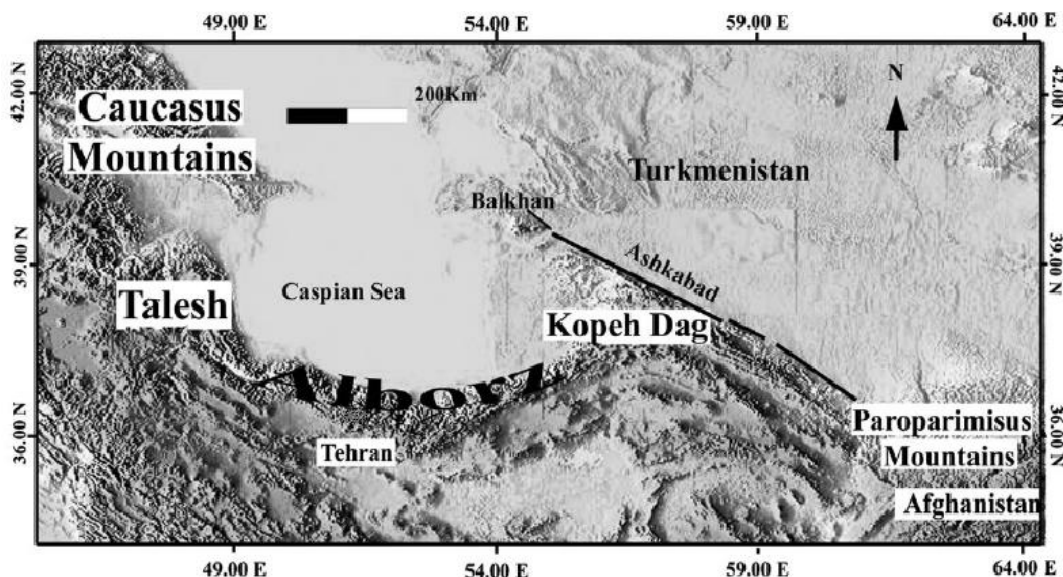
## فصل دوم

### زمین‌شناسی عمومی

منطقه مورد مطالعه از دیدگاه زمین‌شناسی ایران، در زون رسوبی - ساختاری البرز قرار داشته و بخشی از حاشیه جنوبی البرز خاوری را شامل می‌شود. به همین لحاظ در این فصل تاریخچه زمین‌ساختی البرز و همچنین ریخت‌شناسی و چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه مورد بحث قرار می‌گیرد.

## ۲-۱- زمین‌ساخت البرز

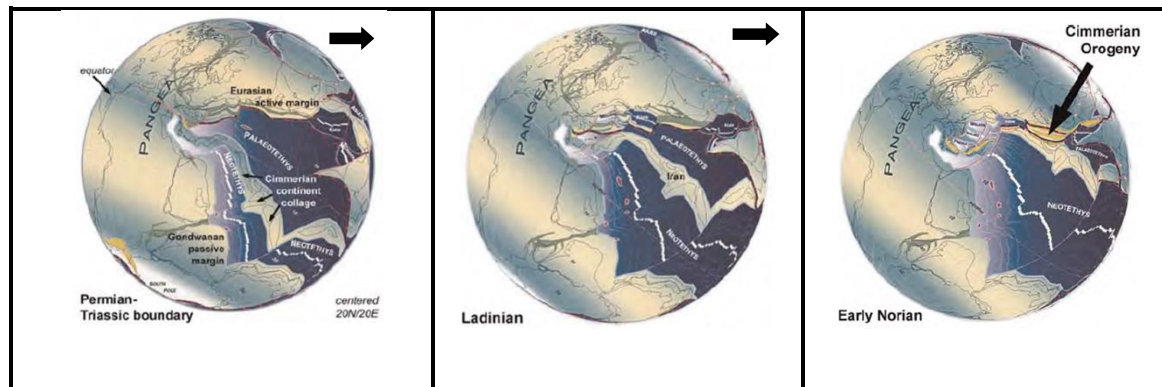
به باور شمار زیادی از زمین‌شناسان همچون علوی (Alavi 1996)، رشته کوه البرز بخشی از سلسله جبال آلپ- هیمالیا می‌باشد که با طولی حدود ۲۰۰۰ کیلومتر، از کوه‌های قفقاز کوچک در ارمنستان و آذربایجان شروع و تا کوه‌های پاراپامیسوس در شمال افغانستان امتداد یافته است (شکل ۲-۱). پوسته البرز حدود ۳۵ کیلومتر ضخامت دارد و شامل ردیف‌های ضخیمی از سنگ‌های پرکامبرین پسین تا عهد حاضر می‌باشد (Tatar 2001).



شکل ۲-۱- تصویر SRTM از رشته کوه البرز در شمال ایران (برگرفته از Ehteshami & Yassaghi 2006)

در پرکامبرین، همه بخش‌های پوسته قاره‌ای ایران امروزی در جنوب استوا قرار داشت و بخشی از قاره بزرگ گندوانا را می‌ساخت. در این زمان گندوانا توسط اقیانوس بزرگی به نام تتیس کهن (پالئوتتیس)

از قاره شمالی جدا شده بود. در اواخر دوران پالئوزوئیک تا ابتدای مزوزوئیک، البرز و ایران مرکزی از گندوانا جدا شده و با حرکت تدریجی به سمت شمال، طی تریاس پسین (Sengor et al 1988) به ورقه شمالی برخورد کرده (شکل ۲-۲) و زمین‌درز تتیس کهن را به وجود آوردند (Berberian 1981).



شکل ۲-۲- تاریخچه تکوین ساختاری البرز. خرد قاره ایران مرکزی و خاوری، کوه‌های البرز و شمال باختر ایران، در پرمین پیشین با جدا شدن از حاشیه شمال خاوری گندوانا و حرکت به سمت شمال، بسته شدن اقیانوس پالئوتتیس را در پی داشته است. برخورد این خرده قاره با اوراسیا در اواخر دوره تریاس صورت گرفته است (برگرفته از Fursich et al 2009)

البرز یک کمر بند چند کوهزادی است که توسط کوهزایی‌های سیمیرین و آلپی، از تریاس پسین تا آلیگومیوسن متأثر شده است (Alavi 1996). تصادم میان خرد ورق ایران و ورق توران با نزدیکی به تریاس پسین، آخرین مراحل تکامل خود را سپری می‌کرده است. با تکمیل بیشتر فرآیندهای تصادم، مجموعه فزاینده‌ای که در این مرحله ورقه‌هایی از مجموعه رسوبات حاشیه غیرفعال را نیز به خود ملحق نموده (راندگی‌های سیمیرین)، رفته رفته بر روی فلات قاره جایگزین شده است. این جایگزینی انتقال برآمدگی حاشیه‌ای را به سمت جنوب سبب شده است. در نتیجه این انتقال، بخش‌هایی از فلات قاره که تا این زمان مکان رسوبگذاری نهشته‌های دریایی تریاس بوده‌اند، به صورت متوالی از آب خارج و در معرض فرسایش قرار گرفته‌اند. این بخش‌ها با گذر برآمدگی حاشیه‌ای، مجدداً توسط حوضه فورلند پوشیده شده و رسوبات رودخانه‌ای- دلتایی شمشک با یک سطح ناپیوستگی بر روی آنها نهشته شده‌اند (رحیمی، ۱۳۸۱).

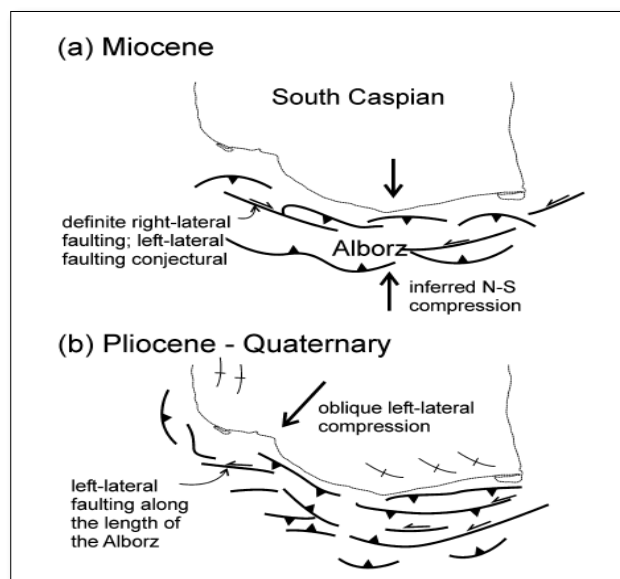
به دنبال کاهش تحرک نوار چین‌خورده- گسلیده البرز و ثبات این مجموعه بر روی فلات قاره در اواخر ژوراسیک زیرین، لیتوسفر حاشیه شمالی ایران جهت رسیدن به تعادل ایزوستاتیک، در زیر وزن نوار کوهزایی البرز (متشکل از ورقه‌های رورانده سیمرین) فرونشینی خمشی داشته است. فرونشینی لیتوسفر، کاهش شدت فرآیندهای فرسایشی را به دنبال داشته است که این فرآیند نیز به همراه افزایش سطح جهانی آب‌ها (Vail et al 1977)، برقراری محیط رسوبی دریایی را در حوضه فورلند سبب شده‌اند. فرونشینی لیتوسفر، با تشکیل و انتقال برآمدگی حاشیه‌ای به سمت نوار چین‌خورده- گسلیده البرز همراه بوده است. این فرآیند باعث افزایش عمق حوضه دریایی فورلند در نزدیکی نوار کوهزایی البرز و کاهش عمق حوضه دریایی بر روی برآمدگی حاشیه‌ای شده است. با نزدیک شدن به پایان کرتاسه و شروع حرکات آلپ میانی، در نتیجه تصادم ورق عربستان و خرد ورق ایران، نیروهایی بر لیتوسفر قاره‌ای ایران اعمال شده است. این فرآیند، کوتاه‌شدگی پوشش رسوبی در حاشیه شمال ایران و پیامد آن تشکیل گسل‌های رورانده جدید و فعالیت مجدد نوار چین‌خورده- گسلیده البرز را سبب شده است. در این مرحله فعالیت، بخشی از رسوباتی که در مراحل قبل در حوضه فورلند ته‌نشین شده‌اند، به فرم ورقه‌های رورانده به مجموعه کوهزایی ملحق شده و مجموعه کوهزایی با پیوستن ورقه‌های جدید، به سمت حوضه فورلند حرکت کرده است. این تغییرات ساختاری با بالآمدگی نوار چین‌خورده- گسلیده البرز، پسروری دریا به سمت جنوب در حوضه فورلند، تجدید حیات فرآیندهای فرسایشی در آن و هجوم مواد آواری به سمت جنوب همراه بوده است (رحیمی، ۱۳۸۱).

به دنبال رسوبگذاری نهشته‌های آواری پالتوسن و کاهش فعالیت گسل‌های رورانده در نوار چین‌خورده- گسلیده، لیتوسفر جهت برقراری تعادل ایزوستاتیک در زیر بار حاصل از وزن نوار چین‌خورده- گسلیده‌ای که با پیوستن ورقه‌های جدید، سنگین‌تر و حجیم‌تر از قبل شده، فرونشینی نموده است. حوضه فورلند تحت چنین شرایطی مجدداً توسط آب پوشیده شده و رسوبگذاری نهشته‌های کربناته و

دریایی کم عمق سازند زیارت در آن به وقوع پیوسته است. با فرونشینی بیشتر، حوضه فورلند عمیق‌تر شده و محیط در ائوسن برای رسوبگذاری نهشته‌های توریدایتی سازند کرج فراهم شده است (رحیمی، ۱۳۸۱).

رحیمی (۱۳۸۱) اینطور بیان می‌کند که حوضه فورلند دریایی البرز در آغاز نئوژن به دلیل بالاآمدگی فلات ایران و نیز آفت سطح جهانی آب‌ها (Vail et al 1977) به یک فورلند غیر دریایی تبدیل شده است. توالی رسوبات از نئوژن تا عهد حاضر در این پهنه، به طور عمده از نوع آواری و پلایایی است. رسوبات متعلق به این بازه از چندین سیکل از رسوبات آواری ضخیم شونده و درشت شونده به سمت بالا تشکیل شده است. این سیکل‌های آواری توسط مجموعه‌هایی از رسوبات پلایایی از یکدیگر جدا می‌شوند. سیکل‌های آواری، مجموعه‌های هم‌زمان با کوهزایی هستند که در نتیجه فعالیت نوار چین‌خورده - گسلیده البرز، پیوستن ورقه‌های جدید از پوشش رسوبی فورلند، بالاآمدگی و متعاقب آن تجدید حیات فرسایش، تشکیل شده‌اند.

تکامل پوسته البرز در اواخر دوران سنوزوئیک را به این صورت می‌توان بیان کرد که در میوسن تغییر شکل احتمالاً بیشتر فشارشی و همراه با حرکت عموماً راست‌لغز بوده است. حرکت فشارشی بعد از میوسن، که تا کنون نیز ادامه دارد، سبب جابجایی چپ‌لغز شده است. حرکت به سمت باختر پی‌سنگ خزر جنوبی، نسبت به ایران مسبب این جابجایی چپ‌لغز می‌باشد (شکل ۲-۳) (Allen et al 2003). بنا بر نظر جکسون (Jackson et al 2002)، رشته کوه البرز در حال حاضر تحت کوتاه‌شدگی چپ‌بر مایل قرار دارد؛ ضمن آنکه ساختارهای مبین حرکت امتداد لغز چپ‌بر در البرز خاوری بیش از البرز باختری است.



شکل ۲-۳- تکامل ساختاری البرز در اواخر دوران سنوزوئیک؛ تغییر شکل در میوسن بیشتر به صورت فشارشی همراه با حرکات راست‌لغز و بعد از میوسن به سبب جابجایی به سمت باختر خزر جنوبی، حرکات غالب به طور عمده از نوع چپ‌بر می‌باشد (برگرفته از Allen et al 2003).

## ۲-۲- زمین‌ریخت‌شناسی

از نگاه ریخت‌شناسی، منطقه مورد مطالعه شامل نواحی مرتفع و بخش‌های پست و فلات‌گونه می‌باشد. واحدهای رسوبی چین‌خورده، ارتفاعات شمالی منطقه مورد مطالعه را تشکیل داده‌اند و بخش‌های میانی و جنوبی که نواحی پست را تشکیل می‌دهند، عمدتاً توسط نهشته‌های کواترنری پوشیده شده است. البته در بخش جنوب باختری محدوده مورد مطالعه، چین‌خوردگی واحدهای رسوبی و آتشفشانی سازند کرج و همچنین آتشفشانی‌های سیاه‌کوه ارتفاعات نسبتاً بلندی را نسبت به مناطق اطراف تشکیل داده‌اند.

از مهمترین ارتفاعات این منطقه می‌توان به کوه ریزو و کوه سفید در بخش خاوری، کوه‌های چهل‌دختر و کلاته بن در شمال و همین‌طور سیاه‌کوه در جنوب باختری ناحیه مورد مطالعه اشاره کرد.

## ۲-۳- چینه‌شناسی

بر اساس نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته پیشین، به ویژه نقشه‌های زمین‌شناسی خوش‌یلاق با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۳)، چهارگوش گرگان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۶۹) و مطالعات چینه‌نگاری صورت گرفته توسط نگارنده در منطقه، وجود توالی‌هایی از سنگ‌های پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک با راستای کلی شمال خاوری- جنوب باختری تا خاوری- باختری، در این ناحیه به اثبات رسیده است.

سازند سلطان میدان به سن سیلورین، قدیمی‌ترین و نهشته‌های کواترنری، جدیدترین واحدهای رخنمون یافته منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. توالی‌های مربوط به پالئوزوئیک منطقه، شامل سازندهای سلطان میدان، پادها، خوش‌یلاق، مبارک و دورود می‌باشند. سازندهای الیکا، شمشک و واحدهای عمدتاً آهکی کرتاسه فوقانی، توالی‌های مزوزوئیک این ناحیه را تشکیل می‌دهند. واحدهای مربوط به سنوزوئیک شامل سازندهای فجن، زیارت، کرج، واحدهای مارنی و کنگلومرایی نئوژن و نهشته‌های کواترنری می‌باشند.

در این فصل به بررسی ویژگی‌های سازندهای رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه، از قدیم به جدید، پرداخته می‌شود. با توجه به اینکه بر روی این سازندها اندازه‌گیری ضخامت انجام نگرفته، ستون چینه‌نگاری سازندهای پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک، بدون مقیاس ترسیم گشته است.

## ۲-۳-۱- واحدهای سنگی پالئوزوئیک

### ۲-۳-۱-۱- سازند سلطان میدان

یکی از واحدهای سنگ‌چینه‌ای سیلورین البرز خاوری، بازالت‌های سلطان میدان است که جایگاهی بین سنگ‌های اردوئیسین و دونین دارد. از جنوب گرگان (دشت سلطان میدان در جنوب باختری

گرگان، مینودشت) تا شمال شاهرود (گردنه خوش‌یلاق، تیل‌آباد)، گدازه‌های بازالتی حدود ۲۵۰ تا ۷۰۰ متر ضخامت داشته‌و ژنی (Jenny 1977) برای این گدازه‌ها نام بازالت‌های سلطان میدان را انتخاب کرده است. این سازند در مجموع از بازالت، آندزیت، آندزیت-بازالت و توف‌های به رنگ قرمز و سبز تشکیل شده است. در برخی نقاط چند متر کنگلومرا و ماسه‌سنگ سبز در داخل آن دیده می‌شود که وجود این کنگلومرا سبب شده تا برخی زمین‌شناسان از جمله اشتامفلی (Stampfli 1978)، این سازند را به دو بخش تقسیم کرده و بخش زیرین را به اردوئیسین نسبت دهند. این سازند با ناپیوستگی فرسایشی توسط سازند پادها به سن دونین پوشیده شده است. سن پرتوسنجی این گدازه‌ها به زمان‌های گوناگون (کامبرین، کربونیفر، اوایل ژوراسیک، آغاز تریاس) اشاره دارد که با جایگاه چینه‌شناسی آن هماهنگی ندارد (آقابات، ۱۳۸۳).

این سازند در گردنه خوش‌یلاق و در حد فاصل روستای خوش‌یلاق تا تیل‌آباد گسترش زیادی داشته و گاهی در آن گدازه بالشی نیز مشاهده می‌شود. در ناحیه مورد مطالعه، سازند سلطان میدان در بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود (شکل ۲-۴-الف).

## ۲-۳-۱-۲- سازند پادها

سازند پادها، که رخنمون آن در بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود، به سن دونین زیرین می‌باشد (آقابات، ۱۳۸۳). اهری‌پور و همکاران (Aharipour et al 2010) این سازند را به سه بخش تقسیم کرده‌اند:

بخش ۱ با یک مرز ناپیوسته بر روی بازالت‌های سلطان میدان قرار می‌گیرد. این بخش، در ناحیه خوش‌یلاق، به طور عمده شامل ارتو تا پاراکنگلومراهای قرمز می‌باشد. قطعات آتشفشانی فراوان‌ترین اجزاء آن می‌باشند، اما خرده‌سنگ‌های مادستونی و سیلتستونی نیز در آن فراوانند.

بخش ۲ متشکل از ماسه‌سنگ‌های کوارتز آرنایتی سفیدرنگ می‌باشد. این بخش حاوی تناوبی از ماسه‌سنگ‌های کوارتز آرنایتی سفید، آرکوزی و گری وکی با شیل‌های قرمز می‌باشد. در قسمت‌های فوقانی بخش ۲، چندین لایه خاک قدیمه قرمز (کالکریت) مشاهده می‌شود.

بخش ۳ در مقایسه با عضوهای قبلی، علاوه بر سنگ‌های سیلیکاته آواری، دارای میان لایه‌های کربناته نیز می‌باشد. قسمت کربناته بخش ۳ شامل واحدهای زیر می‌باشد:

۱- کالکریت‌های فراوان با رنگ مایل به زرد و دولوکریت‌های حاوی ریشه‌های آهکی (ریزولیت)

۲- سنگ آهک‌های نازک لایه حاوی دوکفه‌ای و استراکودهای بسیار کوچک

۳- سنگ آهک و دولومیت برشی شده

۴- دولومیت با لامیناسیون خیلی ظریف

در بخش کربناته برخی ساختمان‌های رسوبی از قبیل ترک‌های گلی و ساخت‌های تی پی (Tepee) نیز وجود دارند. در ناحیه مورد مطالعه، سازند پادها با ناپیوستگی هم‌شیب توسط سنگ‌های آواری قرمز رنگ سازند خوش‌ییلاق پوشیده می‌شود.

### ۲-۳-۱- سازند خوش‌ییلاق

سازند خوش‌ییلاق که در بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود، به عنوان الگوی سنگ‌های دونین میانی و بالایی البرز خاوری، یکی از ستبرترین ردیف‌های دونین البرز است که میان سازند پادها در پائین و سازند مبارک در بالا قرار دارد. برش الگوی این سازند توسط بزرگ‌نیا (Bozorgnia 1973) در گردنه خوش‌ییلاق مطالعه و معرفی شده است. بر اساس فراوانی انواع بازوپایان، کنودونت‌ها، تتاکولیتس، تریلوبیت، مرجان و مهره‌داران، سنی معادل دونین میانی تا فوقانی برای این سازند در نظر گرفته شده و به چهار بخش تقسیم گشته است (آقانبانی، ۱۳۸۳):

الف- واحد آواری پائینی شامل تناوب کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلتستون و شیل با میان لایه‌های تیره رنگی از سنگ آهک.

ب- واحد کربناته پائینی شامل آهک سرشار از فسیل، آهک آرژیلی-سیلتی، سنگ آهک زیست تخریبی و آهک دولومیتی.

ج- واحد آواری بالایی متشکل از ماسه‌سنگ سرخ و قهوه‌ای که سیمای یک لایه کلیدی را دارد.

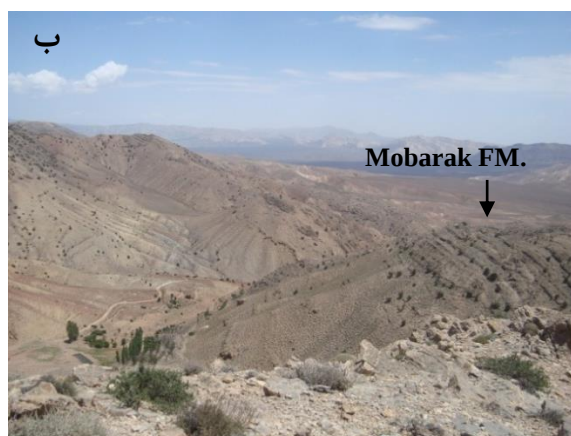
د- واحد کربناته بالایی شامل آهک پُرفسیل، سنگ آهک زیست تخریبی، شیل آهکی و آهک رسی.

## ۲-۳-۱-۴- سازند مبارک

سنگ‌های شناخته شده کربونیفر ایران، بیشتر به سن کربونیفر زیرین تا اوایل کربونیفر بالایی هستند. سنگ‌های کربونیفر در منطقه مورد مطالعه متعلق به سازند مبارک است که از سنگ آهک‌های نازک و متوسط لایه به رنگ خاکستری تیره، آهک‌های شیلی ورقه‌ای و شیل‌های آلی سیاه‌رنگ تشکیل شده (شکل ۲-۴-ب) و در بخش‌های خاوری و شمال خاوری این منطقه رخمون دارد. مرز بالایی این سازند با نهشته‌های پرمین، فرسایشی می‌باشد (آقاناتی، ۱۳۸۳).

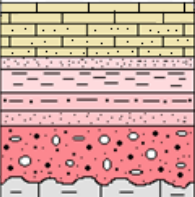
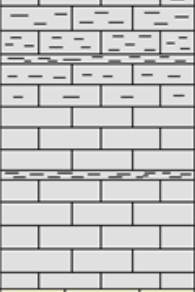
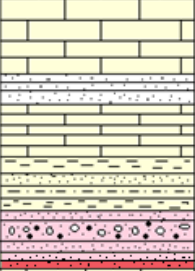
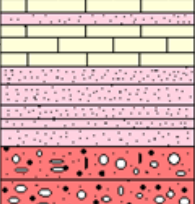
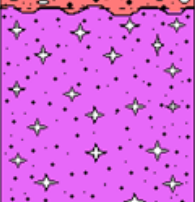
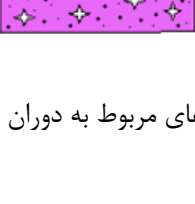
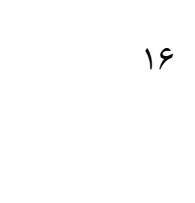
## ۲-۳-۱-۵- سازند دورود

این سازند با سن پرمین زیرین، در منطقه مورد مطالعه شامل رخساره‌های آواری (کنگلومرا، ماسه-سنگ، سیلتستون و شیل) و کربناته (سنگ‌های آهکی فوزولین‌دار) است. رخمون این سازند به طور پراکنده در بخش‌های شمالی و خاوری منطقه قابل مشاهده است (شکل ۲-۴-پ). همبری تحتانی این نهشته‌ها با سنگ‌های آهکی سازند مبارک و همبری فوقانی آن با رسوبات سازند روته، به صورت ناپیوستگی فرسایشی می‌باشد (مختارپور، ۱۳۷۶).



شکل ۲-۴- تصاویری از رخنمون سازندهای منطقه؛ الف- سازند سلطان میدان در شمال روستای ابرسج؛ ب- سازند مبارک در ناحیه سرخ‌چشمه؛ پ- سازند دورود در ناحیه سرخ‌چشمه؛ ت- سازند الیکا در منطقه کلاته بن؛ ث- سازند شمشک در شمال ناحیه مورد مطالعه؛ ج- واحدهای آهکی کرتاسه فوقانی در منطقه کوه سفید.

ستون چین‌نگاری سازندهای رخنمون یافته مربوط به دوران پالئوزوئیک، در منطقه مورد مطالعه، در شکل ۵-۲ آورده شده است.

| Erathem   | System        | Seri     | Formation   | Lithology                                                                           | Description                                                         |
|-----------|---------------|----------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Paleozoic | Permian       | Lower    | Doroud      |    | Red and brown conglomerate, sandstone, shale and oncoidal limestone |
|           |               |          |             |   | Thin to medium bedded bituminous limestone and shaly limestone      |
|           | Carboniferous | Lower    | Mobarak     |  |                                                                     |
|           |               |          |             |  | Conglomerate, sandstone, shale and limestone                        |
|           |               |          |             |  | Sandstone and limestone with conglomerate at the base               |
|           | Devonian      | Upper    | Khoshyelagh |  |                                                                     |
|           |               | Middle ? |             |  |                                                                     |
| Paleozoic | Silurian      | Lower ?  | Padeha      |  |                                                                     |
|           |               |          |             |  | Porphyritic basalt and tuff                                         |

شکل ۵-۲- ستون چین‌شناسی سازندهای مربوط به دوران پالئوزوئیک (بدون مقیاس)

## ۲-۳-۲- واحدهای سنگی مزوزوئیک

### ۲-۳-۱- سازند الیکا

سازند الیکا در این ناحیه مشابه مقطع تیپ شامل دو بخش زیرین و بالایی است. بخش زیرین به سن تریاس زیرین و به طور عمده از سنگ آهک‌های نازک تا متوسط لایه دارای آثار زیستی فراوان (آهک ورمیکوله) تشکیل شده است. بخش بالایی آن به سن تریاس میانی، شامل تناوبی از سنگ آهک دولومیتی و دولومیت متوسط تا ضخیم لایه است (شکل ۲-۴-ت). این بخش با یک افق ضخیم ماسه‌سنگی از بخش زیرین تفکیک می‌شود. این سازند ارتفاعات بلندی را در بخش خاوری این منطقه تشکیل می‌دهد. مرز زیرین سازند الیکا با سازند روته و مرز بالایی آن با سازند شمشک هر دو با یک افق فرسایشی مشخص می‌گردد (شهرابی، ۱۳۷۸).

### ۲-۳-۲- سازند شمشک

آسرتو (Assereto 1966) برش الگوی این سازند را در شمال تهران معرفی نمود. وی این سازند را به چهار بخش تقسیم کرده که به ترتیب از پایین به بالا شامل ماسه‌سنگ پایینی، سری ذغال‌دار پایینی، ماسه‌سنگ بالایی و سری ذغال‌دار بالایی می‌باشد.

در منطقه مورد مطالعه، سازند شمشک در بخش‌های شمالی رخنمون داشته و در یک نگاه کلی از ماسه‌سنگ، شیل‌های خاکستری تیره تا سیاه، سیلتستون و کنگلومرا تشکیل شده است (شکل ۲-۴-ث).

## ۳-۲-۳-۲- سازند لار

سنگ آهک‌های ژوراسیک فوقانی در نواحی وسیعی از البرز، بر روی نهشته‌های زود فرسای ژوراسیک میانی (سازند دلیچای) و یا رسوبات ذغال‌دار شمشک قرار دارد. آسرتو (Assereto 1966) با استفاده از نام دره لار، نام سازند لار را بر روی این سنگ آهک‌ها نهاده است.

این سازند در مجموع از آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه تشکیل شده است. در بخش‌های تحتانی، به طور عمده از آهک‌های کریستالین کرم رنگ و در بخش‌های فوقانی از آهک خاکستری با میان لایه های مارنی تشکیل شده است. نودول‌های چرتی به صورت نواری و قلوهای در این سازند مشاهده می‌شوند (جعفریان و جلالی، ۱۳۸۳).

رخنمون این سازند در جنوب خاوری منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود که در نقشه زمین‌شناسی خوش‌بیلاق (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۳) سازند مزدوران نسبت داده شده است.

## ۳-۲-۴- واحدهای کرتاسه بالائی

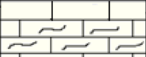
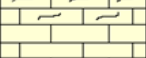
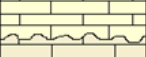
جعفریان و جلالی (۱۳۸۳) در ناحیه کوه سفید، واقع در بخش خاوری ناحیه مورد مطالعه، سنگ‌های کرتاسه بالایی را به ۳ واحد تقسیم نموده‌اند که از پائین به بالا عبارتند از :

واحد زیرین ( $K_{u1}$ ): شامل آهک و آهک مارنی نازک تا متوسط لایه سفید تا شیری رنگ و منظم لایه می‌باشد. حد زیرین این واحد گسله است ولی ارتباط آن با واحد فوقانی ( $K_{u2}$ ) هم شیب و پیوسته است.

واحد میانی ( $K_{u2}$ ): این واحد ضخامت کمی (حدود ۱۰۰ متر) داشته و نرم فرسا و دره‌ساز بوده و از تناوب لایه‌های نازک و متوسط آهک مارنی و مارن به رنگ کرم تا سفید تشکیل شده است. فسیل‌های یافت شده از این واحد بیانگر سن سنومانین می‌باشند.

واحد فوقانی ( $K_{u3}$ ): این واحد که در منطقه زردابه رخمون دارد، شامل آهک میکرایتی ضخیم لایه کریستالین و گاهی آهک مارنی به رنگ خاکستری روشن تا سفید می‌باشد. فسیل‌های شناسایی شده از این واحد بیانگر سن سنومانین-تورونین می‌باشند (شکل ۲-۴-ج).

ستون چین‌نگاری سازندهای رخمون یافته مربوط به دوران مزوزوئیک، در منطقه مورد مطالعه، در شکل ۲-۶ آورده شده است.

| Erathem  | System     | Seri  | Formation | Lithology                                                                           | Description                                                     |
|----------|------------|-------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Mesozoic | Cretaceous | Upper |           |    | Thin to medium bedded crystalline limestone and marly limestone |
|          |            |       |           |    | Thin bedded white limestone and marly limestone                 |
|          |            |       |           |   | Thin to medium bedded milky to white marly limestone            |
|          | Jurassic   | Upper | Lar       |  | Medium to thick bedded limestone                                |
|          |            | Lower | Shemshak  |  | Sandstone, shale, siltstone, conglomerate, coaly shale and coal |
|          | Triassic   | Upper | Elika     |  | Medium to thick bedded dolomitic limestone and dolomite         |
|          |            | Lower |           |  | Thin to medium bedded limestone                                 |

شکل ۲-۶- ستون چین‌شناسی سازندهای مربوط به دوران مزوزوئیک (بدون مقیاس)

## ۳-۳-۲- واحدهای سنگی سنوزوئیک

### ۳-۳-۱- سازند فجن

سازند تخریبی فجن به سن پالتوسن، نشانگر چرخه‌های فرسایشی پس از رویداد کوهزایی لارامید است که به طور عموم ردیف‌های کهن‌تر را با ناپیوستگی می‌پوشاند. برش الگوی این سازند را دلنباخ (Dellenbach 1964) در ۱۰۰ کیلومتری خاور تهران به ضخامت ۱۵۰۰ متر اندازه‌گیری کرده است، ولی ضخامت این سازند تغییرات زیادی دارد (آقانباتی، ۱۳۸۳). از نگاه سنگ‌شناختی، این سازند شامل ضخامت متغیری از کنگلومرای پلی‌ژنتیک، ماسه‌سنگ‌های سرخ رنگ و مارن‌های ماسه‌ای است و در منطقه مورد مطالعه، قبل از گردنه خوش‌یلاق و در حاشیه جاده اصلی شاهرود- آزادشهر رخنمون قابل توجهی را نشان می‌دهد (شکل ۲-۷-الف).

### ۳-۳-۲- سازند زیارت

برش الگوی این سازند را دلنباخ (Dellenbach 1964) در خاور تهران، به ضخامت ۴۳۵ متر، اندازه‌گیری کرده است. در این محل، سازند زیارت شامل دو بخش می‌باشد. بخش زیرین حدود ۱۵۰ متر، متشکل از مارن‌های مایل به زرد و گچ‌دار و بخش بالایی آن حدود ۳۰۰ متر شامل سنگ آهک‌های ضخیم لایه ریفی که به داشتن نومولیت فراوان مشخص بوده و در زیر توفیت‌های سبز (سازند کرج) قرار گرفته است. ویژگی‌های سنگی برش الگوی سازند زیارت در همه جا پایدار نیست. برای مثال، بخش مارن پائینی برش الگو در همه جا وجود ندارد و یا بخش ریفی بالای برش الگو، به طور محلی ممکن است مارنی، توفی و یا ماسه‌ای باشد. در محل برش الگو، فسیل‌های فراوان سازند زیارت، سن آن را پالتوسن تا اتوسن میانی نشان داده است (آقانباتی، ۱۳۸۳). رخنمون این سازند در شمال باختری ناحیه مورد مطالعه وجود دارد.

### ۲-۳-۳- سازند کرج

سازند کرج (ائوسن میانی) به عنوان یکی از شاخص‌ترین واحدهای سنگ چینه‌ای البرز جنوبی، شامل توالی تقریباً ستبری از توف‌های سبزرنگ، سنگ‌های رسوبی و گدازه‌های آتشفشانی و به ندرت تبخیری است. ددوال (Dedual 1967) در دره کرج برشی از این سازند را معرفی و آن را سازند کرج نامید. اگرچه سازند کرج یادآور توف‌های سبز البرز جنوبی است، ولی در برش الگو و همچنین در دیگر رخنمون‌ها، سازند کرج ترکیب سنگ‌شناسی همگن ندارد؛ به همین رو، در برش الگو با ۳۳۰۰ متر ضخامت، به پنج عضو تقسیم شده که از پائین به بالا عبارتند از: بخش‌های شیل پائینی، توف میانی، شیل آسارا، توف بالایی و شیل کندوان (آقاناتی، ۱۳۸۳).

این سازند در بخش خاوری منطقه مورد مطالعه و بعد از سه راهی اولنگ، شامل آهک‌های ماسه‌ای و شیل می‌باشد که بصورت ناپیوسته بر روی سازند فجن نهشته شده‌اند (شکل ۲-۷-ب). در بخش جنوب باختری منطقه و در حدفاصل زرین‌کمر تا سیاه‌کوه نیز رخنمون وسیعی از این سازند قابل مشاهده است.

### ۲-۳-۴- نهشته‌های نئوژن

نهشته‌های نئوژن در منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای میوسن و پلیوسن بوده که به طور عمده از مارن، ژئپس، گچ، میان لایه‌های ماسه‌سنگی سست و کنگلومرا تشکیل شده‌اند.

#### - رسوبات میوسن

این واحد در مجموع از مارن‌های زرد، سبز و گاهی قرمز آجری، ماسه‌سنگ نازک لایه و سست، کنگلومرای ریزدانه، ژئپس و گچ تشکیل شده است (شکل ۲-۷-پ) که اغلب توسط نهشته‌های آبرفتی پوشیده شده‌اند. به سمت شمال بر تعداد میان لایه‌های ماسه‌سنگی و کنگلومرای افزوده شده، به

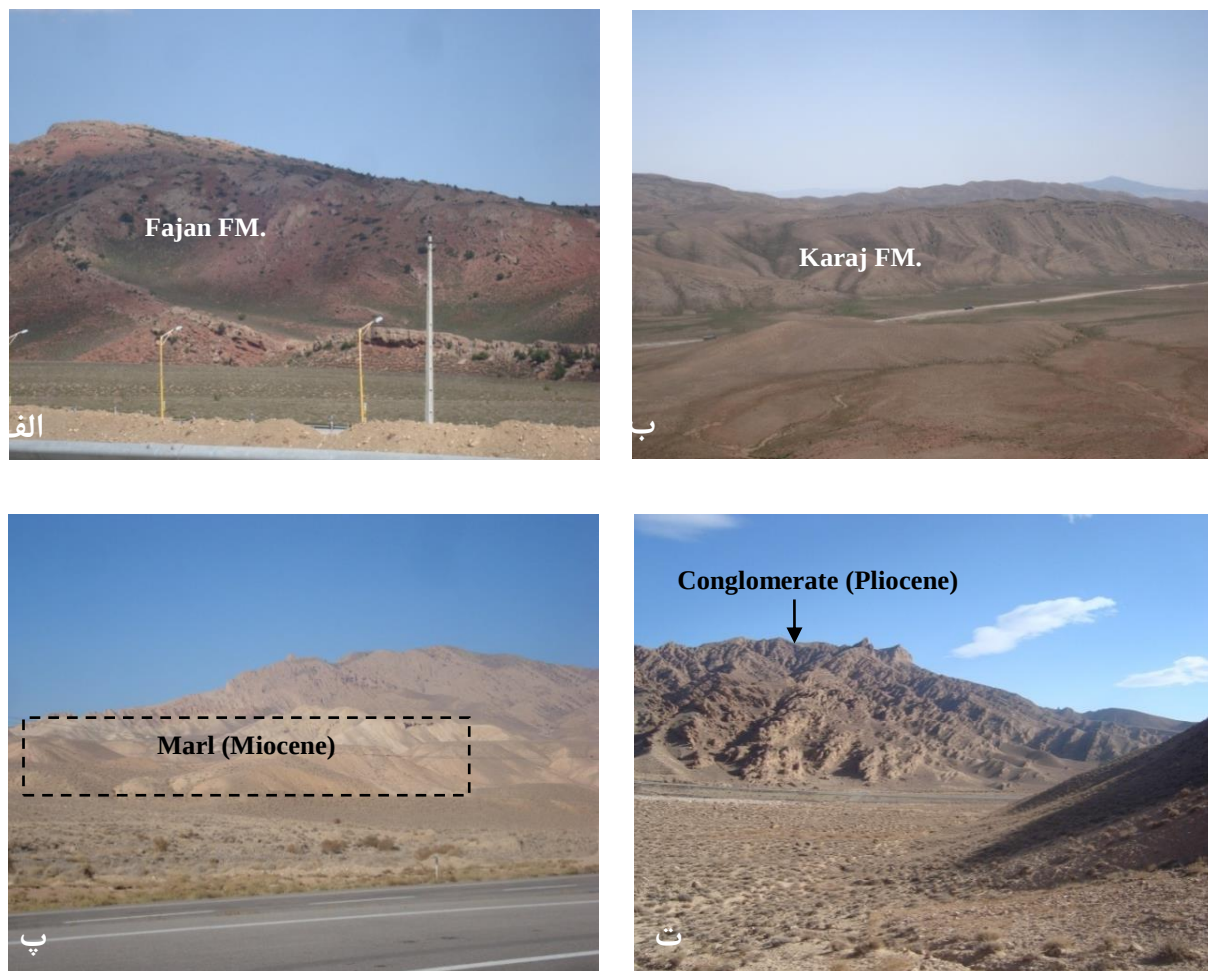
طوری که به تدریج به واحدهای کنگلومرای ضخیم‌لایه با میان لایه‌های ماسه‌سنگی و شیلی تبدیل می‌شود.

این رسوبات مولاس‌گونه هستند و به نظر می‌رسد که در یک حوضه فروافتاده نهشته شده‌اند. این نهشته‌ها را می‌توان از لحاظ جایگاه زمانی با سازند قرمز بالایی در حوضه قم مقایسه نمود. این واحدهای رسوبی به همراه کنگلومرای نئوژن، رخنمون قابل توجهی را در بخش‌های مرکزی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند.

### – کنگلومرای پلیوسن

نهشته‌های این زمان در شمال چهل‌دختر قابل مشاهده است. این واحد از لایه‌های ضخیم کنگلومرای با میان لایه‌های ماسه‌سنگی و شیلی تشکیل شده و گاهی تپه‌های نسبتاً بلندی را به وجود آورده‌اند (شکل ۲-۷-ت). قطعات تشکیل دهنده این کنگلومرا به طور عمده از جنس آهک‌های پرمین، ژوراسیک، کرتاسه و ائوسن، ماسه‌سنگ، توف و چرت بوده و گردشگی متوسط و جورشدگی ضعیفی از خود نشان می‌دهند.

با توجه به اینکه نهشته‌های نئوژن در منطقه مورد مطالعه عمدتاً تخریبی می‌باشند و با توجه به توصیفات صحرائینظیر خصوصیات سنگ‌شناسی، ساخت‌های رسوبی، هندسه، ویژگی‌های رسوب‌شناسی و رخساره‌های همراه، رخساره‌های سنگی مختلفی در این نهشته‌ها شناسایی شدند که براساس اندازه ذرات، در سه گروه دانه درشت، دانه متوسط و دانه ریز تقسیم‌بندی شده‌اند. توصیف و رده‌بندی رخساره‌ها در منطقه مورد مطالعه براساس روش میال (Miall 1996) صورت گرفته است. در نهایت ۹ رخساره سنگی شناسایی گردید که در ادامه به اختصار شرح داده می‌شوند.



شکل ۲-۷- تصاویری از رخنمون سازندهای سنوزوئیک در منطقه؛ الف- سازند فجن قبل از گردنه خوش‌یلاق؛ ب- سازند کرج در سه راهی اولنگ؛ پ- مارن‌های میوسن در ناحیه چهل‌دختر؛ ت- کنگلومرای پلیوسن در ناحیه چهل‌دختر.

#### –رخساره کنگلومرای دانه پشتیبان توده‌ای (Gcm)

این رخساره سنگی به صورت لایه‌های ضخیم در بخش کنگلومرای پلیوسن، از فراوانترین رخساره‌های موجود در نهشته‌های مورد مطالعه است. جنس قطعات تشکیل دهنده آن عمدتاً از قطعات آذرینی سازند سلطان میدان، آهک‌های براکیوپوددار سازند خوش‌یلاق، آهک‌های آنکوئیدی سازند دورود، آهک‌های لار و آهک‌های کرتاسه بالایی می‌باشد که گردشگی متوسط، اما جورشدگی ضعیفی را نشان می‌دهند. این رخساره نسبتاً سخت بوده و در اثر جریان‌های خرده‌دار (Debris flow) تشکیل شده است (شکل ۲-۸-الف).

#### -رخساره کنگلومرای گل پشْتیبان (Gms)

این رخساره شامل کنگلومرای گل پشْتیبان است که دانه‌ها در زمینه سیلّتی و رسی پراکنده‌اند. ضخامت این رخساره در حد متر بوده و به فراوانی مشاهده می‌شود. این رخساره به صورت میان لایه در نهشته‌های مارنی میوسن نیز دیده می‌شود (شکل ۲-۸-ب). رسوبگذاری این رخساره را می‌توان به جریان‌های خرده‌دار (Debris flow) یعنی جریان‌های چگال، با رسوبگذاری سریع نسبت داد.

#### -رخساره کنگلومرای با لایه‌بندی افقی (Gh)

این رخساره دارای لایه‌بندی افقی و حاوی ذرات در اندازه قلو و خمیره فراوان می‌باشد. ضخامت این رخساره به نسبت زیاد و در حد متر بوده و در کنگلومرای نئوژن مشاهده می‌شود و به شکل رسوبات باقیمانده در کف کانال برجای گذاشته شده است (شکل ۲-۸-پ).

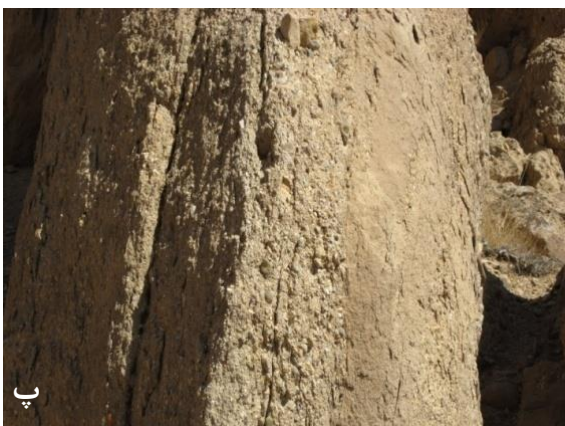
#### -رخساره کنگلومرای توده‌ای (Gmm)

این رخساره به طور عمده حاوی ماتریکس، بدون لایه‌بندی و ساختمان رسوبی می‌باشد. قطعات تشکیل‌دهنده این رخساره از گردشگی نسبتاً خوب و جورشدگی ضعیفی برخوردارند. قلوها عمدتاً از قطعات ماسه‌سنگ، آهک، توف و چرت می‌باشند که از نهشته‌های قدیمی‌تر جدا شده‌اند. ضخامت این رخساره معمولاً در حد متر بوده و به فراوانی قابل مشاهده است (شکل ۲-۸-ت). این رخساره نیز توسط جریان‌های خرده‌دار با بار رسوبی زیاد تشکیل شده است (Miall 1996 & Martinson et al 1999).

#### -رخساره ماسه‌سنگی با لایه‌های ریپلی (Sr)

این رخساره به صورت میان لایه در بخش کنگلومرای مشاهده می‌شود. ریپل مارک‌های نامتقارن در این رخساره مهمترین ساختار رسوبی به شمار می‌روند. از لحاظ بافتی دانه‌ها در این رخساره سنگی در

اندازهٔ ماسه ریز تا متوسط می‌باشند (شکل ۸-۲-ث). این رخساره در یک رژیم جریانی پایین و توسط جریان کششی یک طرفه تشکیل شده است (Reading 1996).



شکل ۸-۲- رخساره‌های سنگی مختلف در نهشته‌های نئوژن در منطقهٔ چهل‌دختر؛ الف- کنگلومرای دانه پستی‌بان توده‌ای؛ ب- کنگلومرای گل پستی‌بان؛ پ- کنگلومرا با لایه‌بندی افقی؛ ت- کنگلومرای توده‌ای؛ ث- ماسه‌سنگ دارای ساخت ریپل مارک؛ ج- ماسه‌سنگ با لایه‌بندی موازی.

### -رخساره ماسه‌سنگی با لایه‌بندی موازی (Sh)

این رخساره به صورت بین لایه به طور پراکنده در بخش کنگلومرایی پلیوسن مشاهده می‌شود. این ماسه‌سنگ‌ها به طور عمده درشت دانه بوده که نشان دهنده تشکیل در سرعت‌های پائین جریان آب می‌باشند (Miall 2000). اندازه دانه‌ها در این رخساره در حد ماسه متوسط و عمدتاً درشت می‌باشد. ضخامت این رخساره کم تا متوسط و در حد چند سانتیمتر تا چند ده سانتیمتر می‌باشد (شکل ۲-۸-ج).

### -رخساره ماسه‌ای - سیلتی و گلی دارای لامیناسیون (FI)

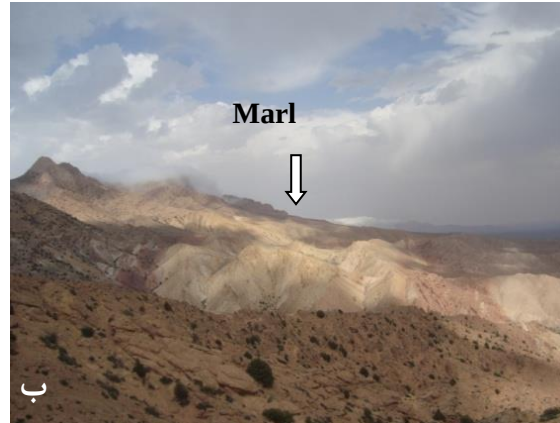
ذرات تشکیل دهنده این رخساره در اندازه‌های سیلت و رس و لامیناسیون مسطح مهمترین ساختار رسوبی این رخساره می‌باشد. ضخامت این رخساره در حد سانتیمتر تا چند ده سانتیمتر بوده و به صورت بین لایه در کنگلومرای پلیوسن قابل مشاهده است (شکل ۲-۹-الف). این رخساره را می‌توان به رسوبگذاری از حالت معلق در یک رژیم جریانی پائین نسبت داد (Collinson 1996).

### -رخساره مارنی (M)

این رخساره با وسعت زیاد در بخش‌های جنوبی منطقه دیده می‌شود که شامل مارن‌های سفید، سبز و گاهی قرمز آجری و به سن میوسن می‌باشد. مهم‌ترین شاخصه این مارن‌ها حضور فراوان قطعات ژئوپس به صورت پراکنده در آن می‌باشد (شکل ۲-۹-ب). به نظر می‌رسد این مارن‌ها و ژئوپس و گچ‌های موجود در آن، در محیط دریاچه‌ای و در شرایط آب و هوایی گرم و خشک نهشته شده‌اند.

### -رخساره ژئوپس و گچ (G)

این رخساره به صورت میان لایه‌های ژئوپس و گچ در مارن‌های میوسن مشاهده می‌شود. ضخامت این رخساره کم و در حد سانتیمتر است (شکل ۲-۹-پ و ت).

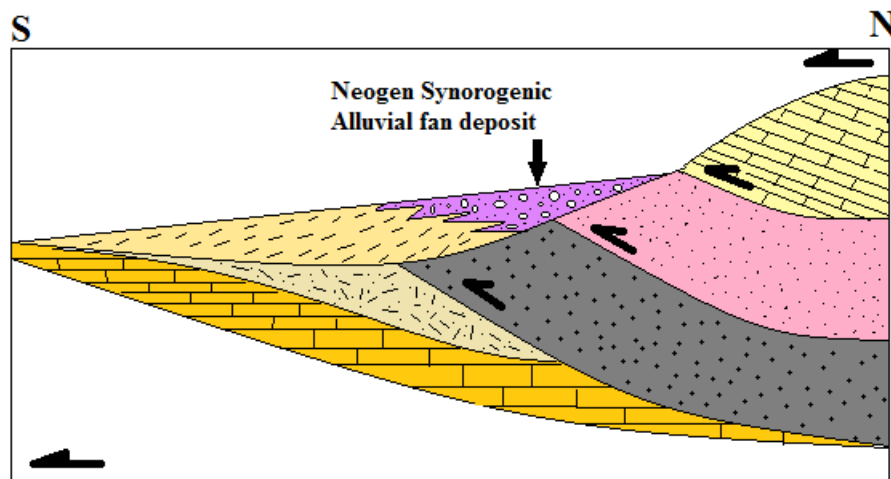


شکل ۲-۹-الف- رخساره ماسه‌ای- سیلتی و گلی دارای لامیناسیون؛ب- رخساره مارنی؛پ- بین لایه ژئوپس در مارن‌های میوسن؛ت- رگه‌های گچ در مارن‌های میوسن.

### - محیط رسوبی نهشته‌های نئوژن

در زمین‌شناسی ایران این باور وجود دارد که رخداد زمین‌ساختی پیرنئن، اثر قابل توجهی بر دیرینه جغرافیای ایران به ویژه البرز داشته، به گونه‌ای که در نتیجه آن، با پسروری دریا، تمام البرز به خشکی گسترده‌ای تبدیل شده و به همین‌رو، ردیف‌های آلیگوسن در البرز وجود ندارد (آقاناتی، ۱۳۸۳). در مرز ائوسن- الیگوسن، رخداد زمین‌ساختی پیرنئن موجب خروج گسترده البرز جنوبی از آب شده است؛ به همین‌رو سنگ‌های الیگوسن و حتی نئوژن البرز جنوبی گسترش بسیار محدود دارند و اغلب ردیف‌های انباشته شده در حوضچه‌های بین کوهی با شرایط اکسیدی هستند که نهشته‌های نئوژن منطقه مورد مطالعه نیز در چنین محیط‌هایی ته‌نشست یافته‌اند.

حوضه دریایی البرز در آغاز نئوژن، به دلیل بالآمدگی فلات ایران و نیز افت سطح جهانی آب‌ها (Vail et al 1977) به یک فورلند غیر دریایی تبدیل شد. توالی رسوبات از نئوژن تا عهد حاضر، در این پهنه عمدتاً از نوع آواری و پلایایی است. رسوبات متعلق به این بازه از چندین چرخه از رسوبات آواری به سمت بالا ضخیم شونده و درشت شونده تشکیل شده است. چرخه‌های آواری، مجموعه‌های هم‌زمان با کوهزایی هستند که در نتیجه فعالیت نوار چین‌خورده- گسلیده البرز، پیوستن ورقه‌های جدید از پوشش رسوبی فورلند، بالآمدگی و متعاقب آن تجدید حیات فرسایش، تشکیل شده‌اند (شکل ۲-۱۰) (رحیمی، ۱۳۸۱).

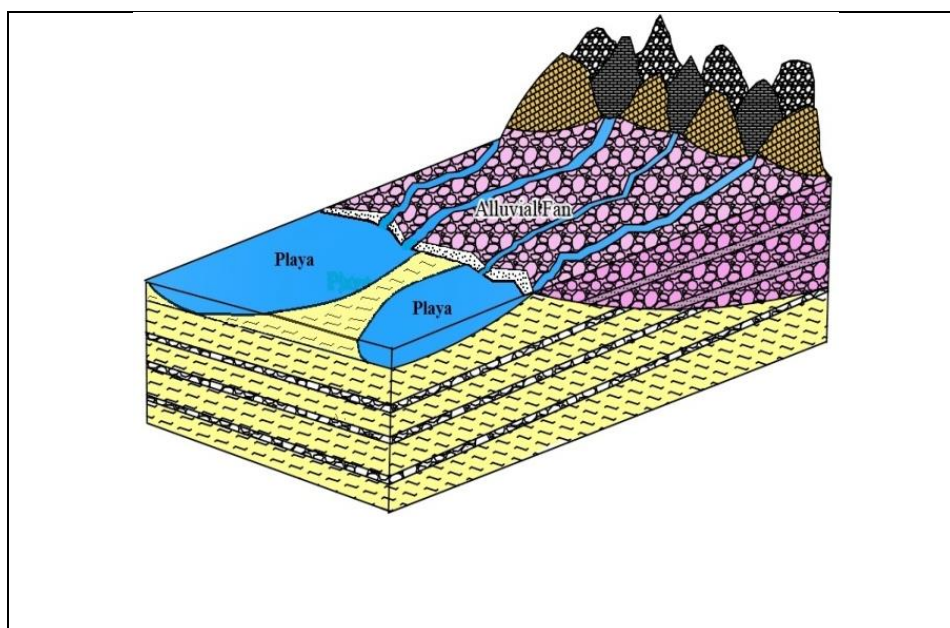


شکل ۲-۱۰- کوهزایی آلپی پایانی؛ تراست شدگی و تغییر شرایط رسوبگذاری از دریایی به قاره‌ای در حوضه فورلند (برگرفته

از رحیمی، ۱۳۸۱)

با توجه به شواهدی از قبیل انواع رخساره‌های سنگی تخریبی، ریپل مارک‌های نامتقارن در ماسه‌سنگ‌ها و سیکل‌های درشت شونده به سمت بالا و وجود لایه‌های ضخیمی از رخساره‌های گراولی و ماسه‌ای به همراه بین لایه‌هایی از رخساره‌های گلی با ضخامت کم، می‌توان بیان داشت که این رسوبات در نزدیکی منشأ و در رودخانه‌های بریده بریده با بستر گراولی که منتهی به محیط‌های دریاچه‌ای می‌شوند، بر جای گذاشته شده‌اند. رخساره‌های گراولی در ارتباط با رسوبگذاری از جریان‌های خرده‌دار در بخش‌های بالادست جریان رودخانه بر جای گذاشته شده‌اند. رخساره‌های

ماسه‌سنگی نیز در هنگام انتقال و جابجایی رسوبات، به دلیل کاهش سرعت رودخانه و تبدیل رژیم جریانی بالا به رژیم جریانی پائین تشکیل شده‌اند. رخساره‌های گلی نیز پس از کاهش شرایط طغیانی و سیلابی به شکل رسوبات خارج کانال و یا به شکل پوشش‌هایی بر روی سدها و در داخل کانال‌ها ته‌نشین شده‌اند. مارن‌های میوسن نیز در محیط‌های دریاچه‌ای و در شرایط آب و هوایی گرم و خشک که ته‌نشست بین‌لایه‌هایی از ژئوس و گچ را در پی داشته است، تشکیل شده‌اند (شکل ۲-۱۱).



شکل ۲-۱۱- مدل رسوبگذاری نهشته‌های مارنی و کنگلومرایی میوسن- پلیوسن

در زمان پلیوسن- پلیستوسن پیشین، مهمترین رخداد زمین‌ساختی سراسری و چهره‌ساز ایران صورت گرفته که با رویداد کوهزایی پاسادنین قابل قیاس است. در ایران هم رخداد پاسادنین ماهیت کوهزا داشته و نهشته‌های مورد بحث نیز طی این کوهزایی دچار چین‌خوردگی شده و سیمای امروزی خود را یافته‌اند.

## ۲-۳-۵- نهشته‌های کواترنری

جوان‌ترین رسوبات موجود در منطقه مورد مطالعه، نهشته‌های کواترنری می‌باشند که به صورت رسوبات سخت نشده و یا با فشردگی اندک بوده و بخش وسیعی از ناحیه مورد بررسی را، بخصوص در بخش‌های میانی و جنوبی، می‌پوشانند.

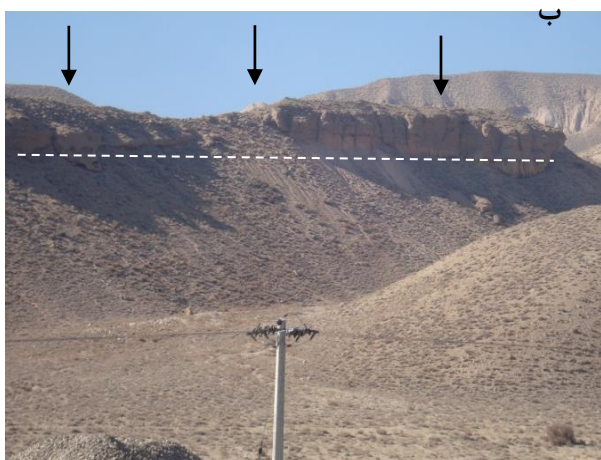
نهشته‌های گراولی کواترنری ( $Qpl^c$ ) که اندکی متحمل فشردگی شده‌اند، قدیمی‌ترین رسوبات کواترنری منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند (شکل ۲-۱۲-الف) که رخنمون آنها عمدتاً در جنوب خاوری ناحیه مورد بحث و در اطراف پادگان چهل‌دختر، شهر کلاته‌خیج و روستای خیج مشاهده می‌شود. پادگانه‌های آبرفتی کنگلومرایی نسبتاً مسطح، قدیمی‌تر و بلندتر از بقیه رسوبات آبرفتی این مقطع زمانی (شکل ۲-۱۲-ب) و همچنین بادبزنی‌های آبرفتی قدیمی‌تر با عنوان  $Q^{t1}$  که در اکثر بخش‌های منطقه و بخصوص در شمال باختری ناحیه مورد مطالعه مشخص می‌باشند (شکل ۲-۱۲-پ). در بعضی از افق‌ها، کنگلومرای مذکور دارای سیمانی سست می‌باشد. رسوبات آبرفتی دشت‌ها ( $Q^{t2}$ ) که به طور معمول زمین‌های کشاورزی را تشکیل می‌دهند و معمولاً ریزدانه‌تر از کنگلومرای واحد  $Q^{t1}$  بوده و تقریباً فاقد سیمان می‌باشد (شکل ۲-۱۲-ت). رسوبات آبرفتی بستر رودخانه ( $Q^{al}$ ) نیز جدیدترین رسوبات آبرفتی منطقه مورد مطالعه می‌باشند (شکل ۲-۱۲-ث).

ستون چینه‌نگاری سازندهای رخنمون یافته مربوط به دوران سنوزوئیک، در منطقه مورد مطالعه، در شکل ۲-۱۳ آورده شده است.

الف



ب



پ



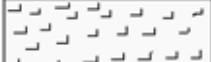
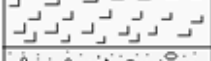
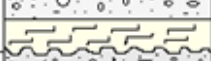
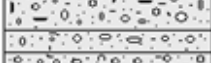
ت



ث



شکل ۲-۱۲- نهشته‌های کواترنری در منطقه مورد مطالعه؛ الف- نهشته‌های گراولی نسبتاً سخت شده در اطراف شهر کلاته‌خیج؛  
ب- پادگانه‌های آبرفتی بر روی رسوبات مارنی میوسن در شمال پادگان چهل‌دختر؛ پ- بادبزنی‌های آبرفتی در جنوب نواحی  
کوهستانی در جنوب روستای ابر؛ ت- رسوبات ریزدانه آبرفتی قبل از گردنه خوش ییلاق؛ ث- رسوبات آبرفتی بستر رودخانه

| Erathem  | System     | Seri     | Formation                                                                           | Lithology                                                                           | Description                                                                         |
|----------|------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Cenozoic | Quaternary |          |                                                                                     |    | High level piedmont and alluvial fan                                                |
|          |            |          |                                                                                     |    | Grey and dark green marl, unconsolidated conglomerate                               |
|          | Tertiary   | Pliocene |                                                                                     |    | Polymictic conglomerate with intercalations of sandstone and marl                   |
|          |            |          |                                                                                     |    | Buff marl, light green gypsiferous marl with intercalations of sandstone            |
|          |            |          |                                                                                     |    | Buff marl, light green gypsiferous marl with intercalations of sandstone            |
|          |            |          |                                                                                     |    | Buff marl, light green gypsiferous marl with intercalations of sandstone            |
|          |            |          |                                                                                     |    | Buff marl, light green gypsiferous marl with intercalations of sandstone            |
|          |            | Eocene   | Karaj                                                                               |    | Green tuff, shale, volcanics rocks, sandy limestone, gypsiferous marl and siltstone |
|          |            |          |                                                                                     |    | Yellowish limestone                                                                 |
|          |            |          |                                                                                     |   | Red sandstone, conglomerate and shale                                               |
|          |            |          |                                                                                     |  | Red sandstone, conglomerate and shale                                               |
|          |            |          |                                                                                     |  | Red sandstone, conglomerate and shale                                               |
|          | Paleocene  | Fajan    |  | Red sandstone, conglomerate and shale                                               |                                                                                     |
|          |            |          |  | Red sandstone, conglomerate and shale                                               |                                                                                     |

شکل ۲-۱۳- ستون چینہ‌شناسی مربوط به سازندهای دوران سنوزوئیک (بدون مقیاس)

## فصل سوم

### زمین‌شناسی ساختمانی

با توجه به جایگاه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (البرز خاوری)، ساختارهای این منطقه، اعم از چین‌ها و گسل‌ها، از روند کلی شمال خاوری- جنوب باختری این بخش از زون ساختاری- رسوبی البرز، پیروی می‌کنند.

نقش گسل‌ها بر تحولات زمین‌ساختی و همچنین تکوین حوضه‌های ساختاری- رسوبی ایران از دیدگاه زمین‌شناسان پوشیده نیست. از این میان، اثر گسل‌های هم‌زمان با جنبش‌های کوهزایی کاتانگایی (پرکامبرین پسین) به مراتب بیشتر است. روند این گسل‌ها شمالی- جنوبی بوده، ولی روندهای شمال باختری- جنوب خاوری نیز گزارش شده است. جدا از دو روند گفته شده، روند سومی نیز در راستای شمال خاوری- جنوب باختری، بر گسل‌های ایران حاکم است.

گسل‌های یاد شده به طور عموم مرز واحدهای ساختاری- رسوبی مختلف ایران را تشکیل می‌دهند و با فعالیت خود، موجب تغییرات عمده در رخساره‌های سنگی، ستبرای رسوبات و به ویژه تحولات زمین‌ساختی (ماگماتیسم، دگرگونی، شدت و الگوی چین‌خوردگی و ...) می‌شوند و لذا شناخت آنها از نظر زمان شکل‌گیری، فعالیت و تأثیر بر زمین‌شناسی و لرزه‌زمین‌ساخت ایران بسیار ضروری است.

عمومی‌ترین مظاهر دگرشکلی در سنگ‌ها، چین‌ها هستند که تحت شرایط متنوعی در انواع سنگ‌ها شکل می‌گیرند.

چین‌های زمین‌ساختی در پاسخ به عملکرد تنش ناشی از حرکت صفحات و تشکیل کمربندهای کوهزایی به وجود می‌آیند. با بررسی شکل و هندسه چین‌ها و ساختارهای همراه با آنها می‌توان به شواهد خوبی از جهت و شدت نسبی نیروهای زمین‌ساختی بوجود آورنده آنها در زمان شکل‌گیری دست یافت.

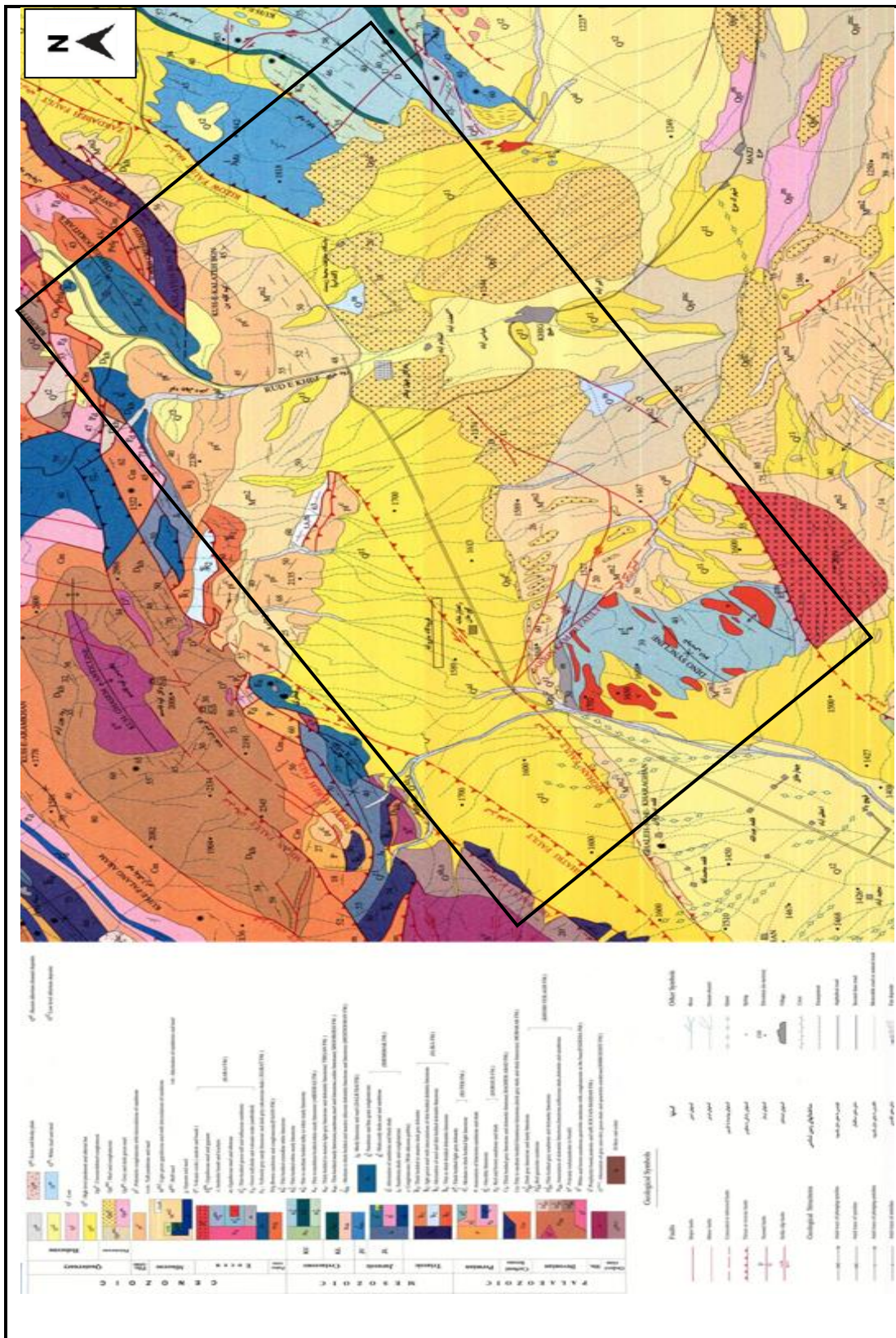
در این فصل به بررسی ساختارهای اصلی منطقه (گسل‌ها و چین‌ها) پرداخته می‌شود.

### ۳-۱- گسلش

گسل‌ها شکستگی‌هایی در پوسته زمین هستند که در طول آنها تغییر شکل‌های قابل توجهی ایجاد شده است. حضور گسل در یک منطقه نشان می‌دهد که زمانی در گذشته، در طول آن جابجایی رخ داده است.

گسل‌های منطقه مورد مطالعه، بخصوص گسل‌های اصلی، عمدتاً دارای روند شمال خاوری- جنوب باختری هستند. گسل‌های خبیج، میقان، ابر و گسل‌های منطقه کلاته بن، اصلی‌ترین ساختارهای این منطقه می‌باشند. نامگذاری گسل‌ها به طور عمده برگرفته از نقشه زمین‌شناسی خوش‌یلاق (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۳) می‌باشد (شکل ۳-۱). لازم به ذکر است که تمامی ساخت‌های مشاهده شده، اعم از گسل‌ها و چین‌ها، در نقشه‌های ساختاری و زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه، در پیوست‌های ۱۹ و ۲۰ آورده شده‌اند.

در نقشه زمین‌شناسی خوش‌یلاق (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۳) گسل‌های دیگری از جمله گسل‌های ناحیه زرین‌کمر و همچنین گسل قطری مشخص شده است که در مطالعات میدانی نشانه‌ای از وجود این گسل‌ها مشاهده نگردید.



شکل ۱-۳ - بخشی از نقشه زمین شناسی خوش ییلاق (سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۸۳) که منطقه مورد مطالعه کادر تیره رنگ مشخص می باشد.

### ۳-۱-۱- منطقه گسلی کلاته بن

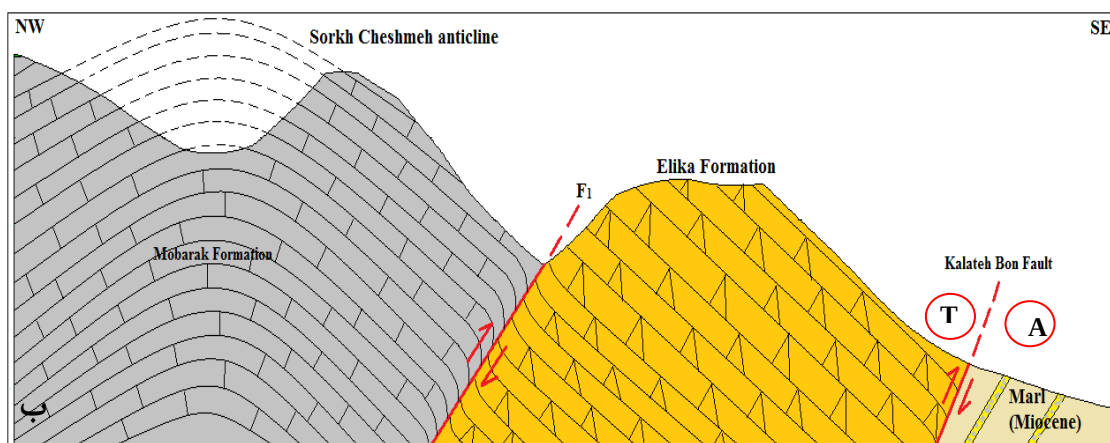
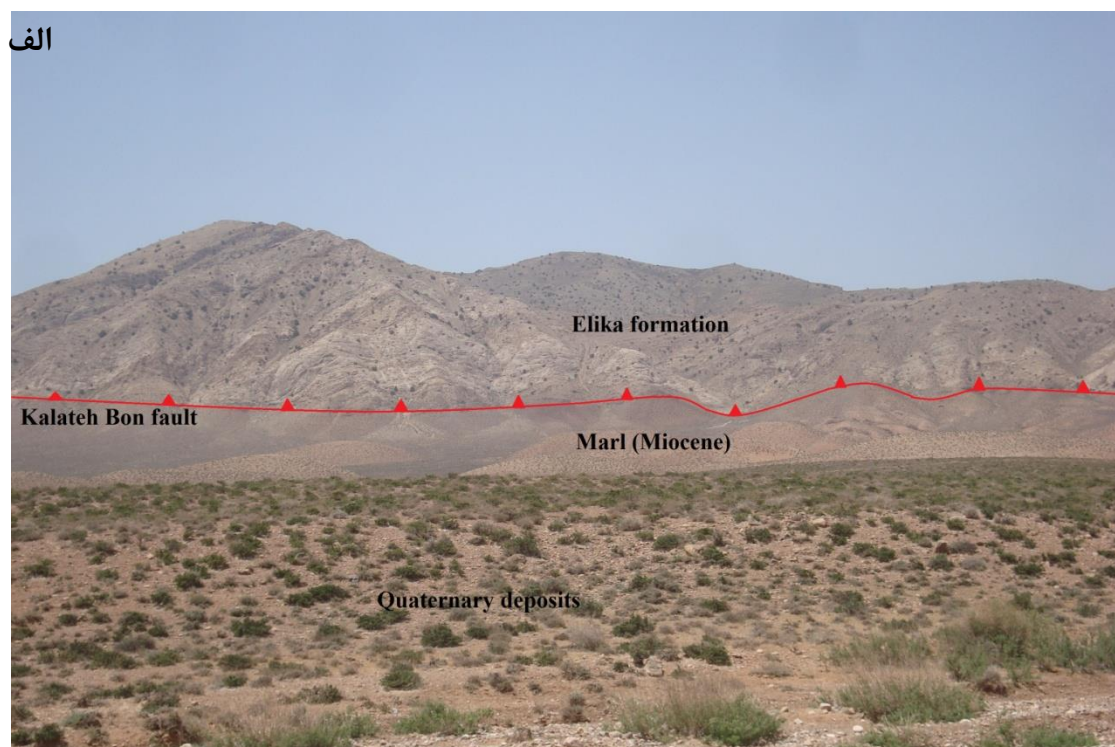
در بخش شمال خاوری محدوده مورد مطالعه، گسل کلاته بن به همراه دو راندگی هم روند با خود با نام‌های  $F_1$  و  $F_2$ ، سبب رانده شدن و قرار گرفتن سازندهای با سن‌های متفاوت در کنار هم شده است که با عنوان منطقه گسلی کلاته بن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۳-۱-۱-۱- گسل کلاته بن

گسل کلاته بن، درازایی در حدود ۲۵ کیلومتر داشته و داده‌های برداشت شده، مربوط به بخش جنوب باختری آن می‌باشد. این گسل با روند کلی شمال خاوری- جنوب باختری و شیب به سمت شمال باختر، سبب رانده شدن واحدهای کربناته سازند الیکا با سن تریاس بر روی کنگلومرای پلیوسن، مارن‌های میوسن و رسوبات کواترنری شده است (شکل ۳-۲).

مشاهدات صحرایی، خراش‌های گسلی، لمس دست و پله‌های موجود بر روی سطوح گسلی، دو سازوکار معکوس و چپ‌بر را بر روی گسل کلاته بن نشان می‌دهد که به نظر می‌آید فاز چپ‌بر جوان‌تر از فاز معکوس برای فعالیت این گسل می‌باشد (شکل ۳-۳-الف و ب). این گسل در مرز بین مارن‌های میوسن و سازند الیکا، سبب ایجاد پرتگاه‌هایی با شیب نزدیک به قائم و با ارتفاع حدود ۱۰ متر شده است (شکل ۳-۳-پ). در ضمن گسل کلاته بن به همراه تعدادی گسل موازی با خود، زون خرد شده-ای را در واحدهای سازند الیکا ایجاد کرده است (شکل ۳-۳-ت).

برداشت‌های صحرایی مربوط به وضعیت هندسی گسل کلاته بن در پیوست ۱ آورده شده است. استریوگرام‌های مربوط به این برداشت‌ها، شامل تصاویر سیکلوگرافیک داده‌های صفحه‌ای و نمودار هم‌تراز قطب آنها (شکل ۳-۴)، نشان دهنده موقعیت  $N73^{\circ}E, 61^{\circ}NW$  برای این گسل می‌باشد.

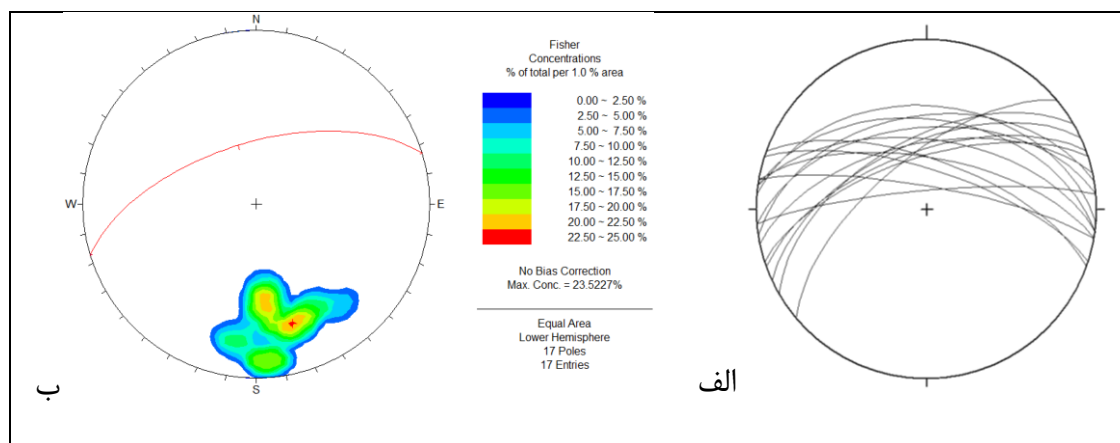


شکل ۳-۲- الف- رانده شدن سازند الیکا بر روی نهشته‌های نئوژن (دید به سمت شمال)؛ ب- برش نمادین با راستای

شمال باختری- جنوب خاوری از گسل کلاته بن و گسل  $F_1$



شکل ۳-۳- الف- نمایی از سطح گسل کلاته بن با موقعیت  $N87^{\circ}E, 79^{\circ}NW$  بر روی واحدهای کربناته سازند الیکا؛ خراش‌های گسلی ( $S_1$ ) با زاویه ریک زیاد نشان دهنده سازوکار معکوس می‌باشند (دید به سمت شمال)؛ ب- سطح گسل کلاته بن با موقعیت  $N85^{\circ}E, 79^{\circ}NW$  بر روی کنگلومرای سازند فجن؛ خراش‌های گسلی ( $S_2$ ) با زاویه ریک نزدیک به افقی، پله‌های گسلی و لمس دست، حاکی از سازوکار چپ‌بر روی این سطح است (دید به سمت شمال)؛ پ- پرتگاه گسلی ایجاد شده با ارتفاع حدود ۱۰ متر و شیب نزدیک به قائم توسط گسل کلاته بن بر روی سازند الیکا (جهت دید به سمت باختر)؛ ت- منطقه خرد شده ایجاد شده در سازند الیکا توسط گسل کلاته بن (دید به سمت شمال باختری).



شکل ۳-۴- الف- تصویر سیکلوگرافیک داده‌های برداشت شده از سطح گسل کلاته بن؛ ب- نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی که روند غالب  $N73^{\circ}E, 61^{\circ}NW$  را برای این گسل نشان می‌دهد.

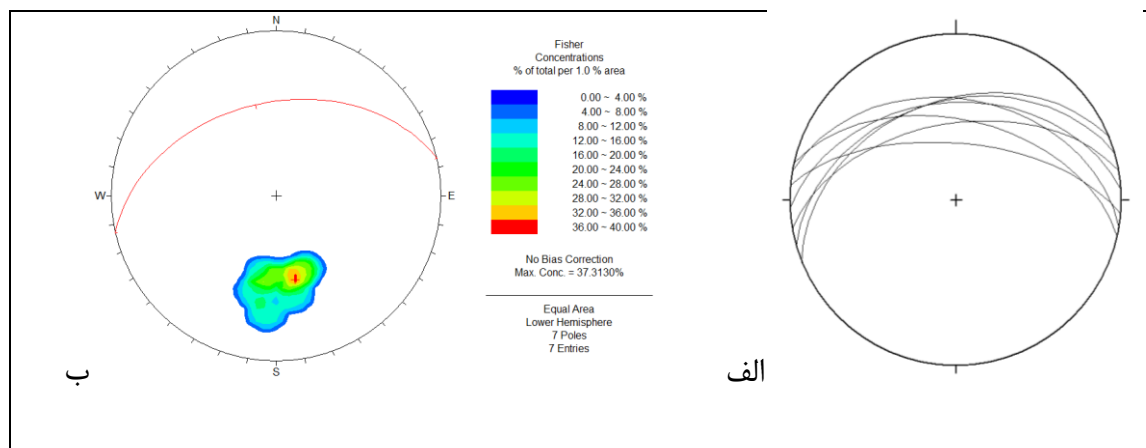
### ۳-۱-۱-۲- گسل $F_1$

گسل  $F_1$  در شمال خاوری منطقه مورد مطالعه و در حاشیه جنوبی تاقدیس سرخ‌چشمه قرار داشته و مرز بین سازند الیکا و سازند مبارک را تشکیل می‌دهد. این گسل با طول تقریبی ۷ کیلومتر و با روند شمال خاوری- جنوب باختری و شیب به سمت شمال باختر، سبب رانده شدن سازند مبارک (کربونیفر زیرین) بر روی سازند الیکا (تریاس زیرین- میانی) شده و دره باریکی را بین این دو سازند شکل داده است (شکل ۳-۵).

استریوگرام‌های مربوط به داده‌های برداشت شده (پیوست ۲) از سطوح مربوط به گسل  $F_1$ ، شامل تصاویر سیکلوگرافیک و نمودار هم‌تراز از قطب داده‌های صفحه‌ای، وضعیت هندسی غالب  $N77^{\circ}E, 42^{\circ}NW$  را برای این گسل نشان می‌دهد. همچنین یافته‌های صحرایی از چینه‌نگاری واحدهای سنگی فرادیواره و فرودیواره، به علاوه خراش‌های سطوح گسلی، سازوکار چپ‌بر با مؤلفه کوچک معکوس را برای این گسل تأیید می‌کند (شکل ۳-۶).



شکل ۳-۵- الف- دره گسلی ایجاد شده توسط گسل  $F_1$  و قرارگیری سازندهای الیکا و مبارک در کنار هم (دید به سمت شمال خاوری)؛ ب- سطح گسلی با موقعیت  $N77^{\circ}E, 50^{\circ}NW$  مربوط به گسل  $F_1$  بر روی سازند الیکا؛ خراش- های گسلی (S) با زاویه ریک کم و نزدیک به افقی، لمس دست و پله‌های گسلی نشان دهنده حرکت امتدادی چپ‌بر می‌باشند (جهت دید به سمت شمال).

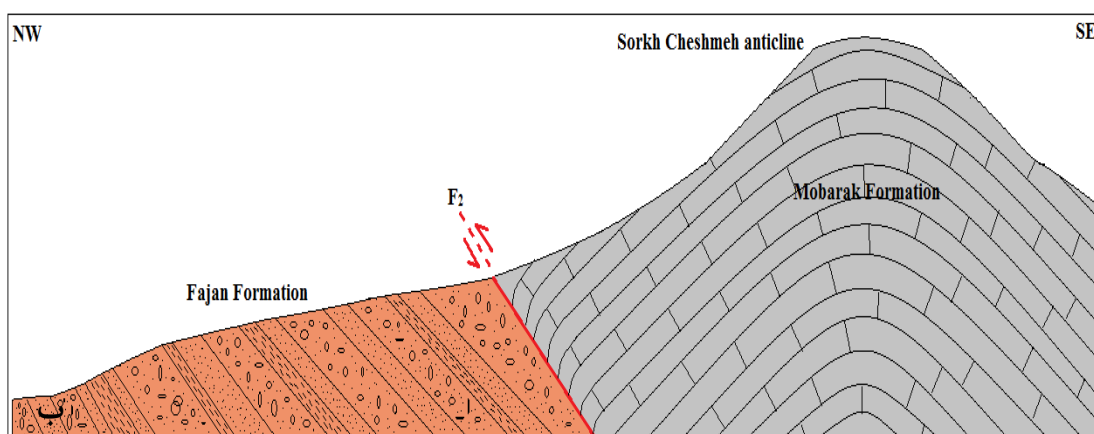
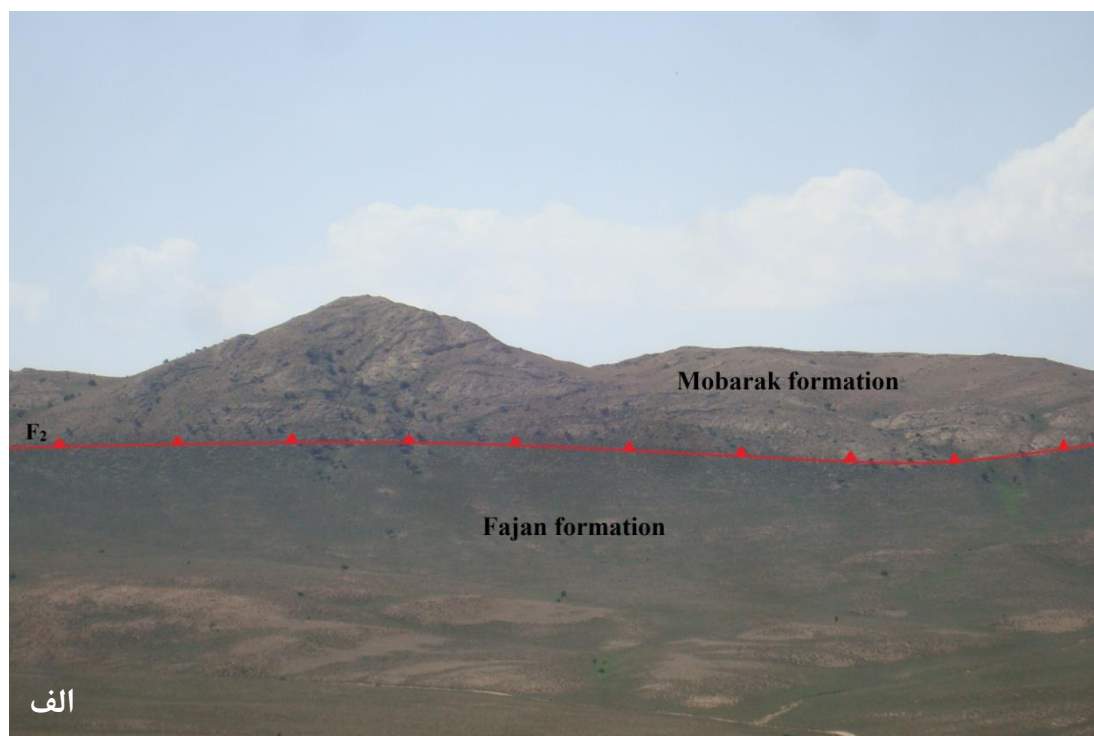


شکل ۳-۶- الف- نمودار سیکلوگرافیک بدست آمده از داده‌های برداشت شده از سطح گسل  $F_1$ ؛ ب- نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی که روند غالب  $N77^{\circ}E, 42^{\circ}NW$  را برای این گسل نشان می‌دهد.

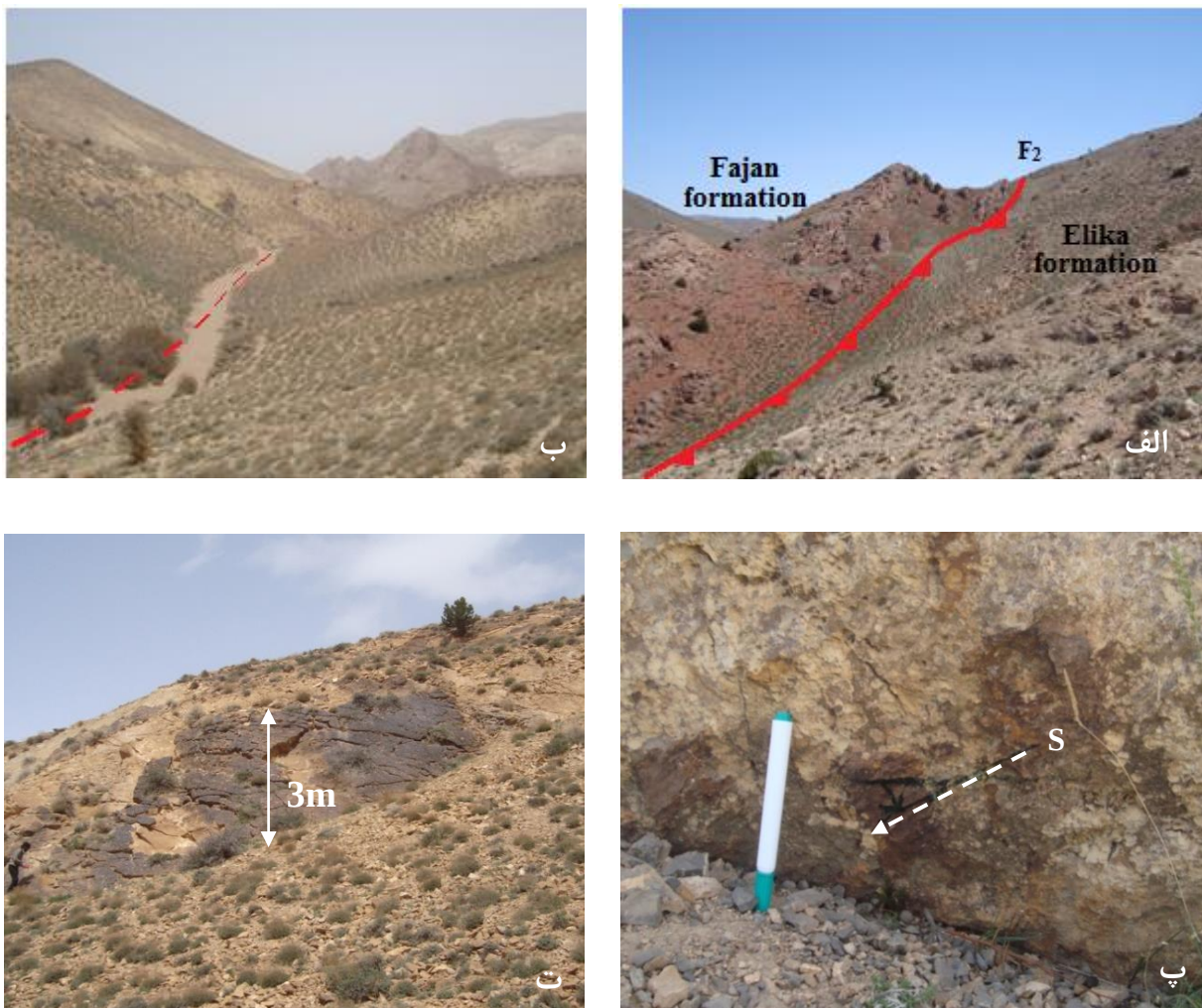
### F<sub>2</sub> - ۳-۱-۱-۳ گسل

گسل F<sub>2</sub> با طول تقریبی ۱۰ کیلومتر و با روند شمال خاوری- جنوب باختری تا خاوری- باختری و شیب به سمت جنوب- جنوب خاوری، در شمال خاوری منطقه مورد مطالعه قرار دارد. این گسل مرز شمالی تاقدیس سرخ‌چشمه را تشکیل داده و سبب رانده شدن سازند مبارک (کربونیفر زیرین) بر روی سازند فجن (پالئوسن) گشته است (شکل ۷-۳) و در قطعه جنوب باختری، در بخش‌هایی سبب قرارگیری سازندهای الیکا (تریاس زیرین- میانی) و فجن (پالئوسن) در کنار هم گردیده است (شکل ۳-۸-الف). این گسل به سمت باختر سبب ایجاد دره‌ای گسلی در سازند کرج گشته که شواهدی از آثار گسلش در دیواره‌های این دره مشاهده می‌شود (شکل ۳-۸-ب). در بخش‌هایی از این دره، سطح گسل دیواره‌هایی با شیب تند ایجاد کرده که شواهد سطح گسل روی این دیواره‌ها مشهود است (شکل ۳-۸-پ و ت).

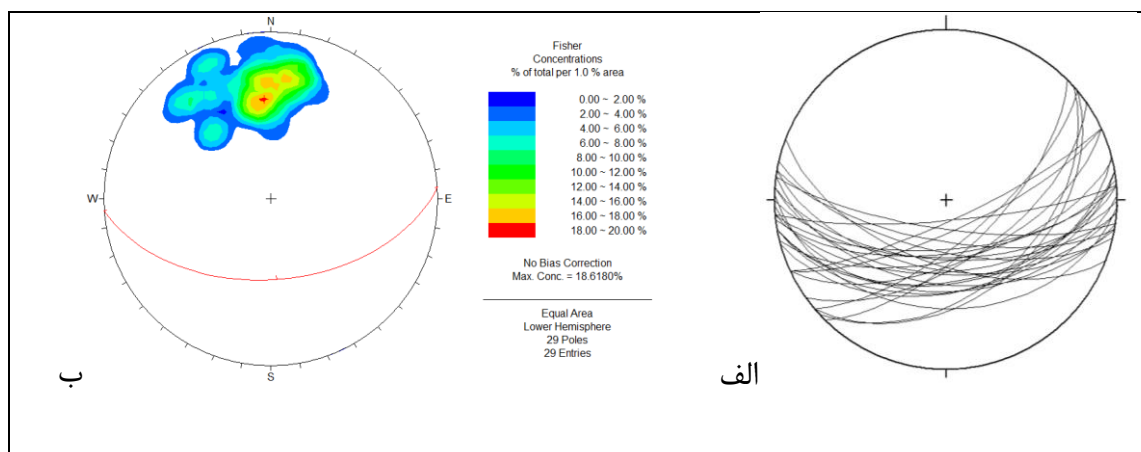
داده‌های برداشت شده از گسل F<sub>2</sub> (پیوست ۳) و استریوگرام‌های حاصل از این داده‌ها، موقعیت غالب N86°E, 50°SE را برای این گسل نشان می‌دهد (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۷-الف- گسل  $F_2$  در حاشیه شمالی تاقدیس سرخ‌چشمه که سبب رانده شدن سازند مبارک بر روی سازند فجن گشته است (دید به سمت جنوب)؛ ج- برش نمادین با راستای شمال باختری- جنوب خاوری از گسل  $F_2$  و سازندهای مبارک و فجن که در شکل الف مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۸-الف- قرارگیری سازندهای الیکا و فجین در کنار هم توسط گسل  $F_2$  (دید به سمت شمال خاوری)؛ ب- ایجاد دره‌ای نسبتاً باریک توسط انتهای جنوب باختری گسل  $F_2$  در واحدهای سازند کرج (دید به سمت شمال خاوری)؛ پ- سطح گسلی با موقعیت  $N45^{\circ}E, 66^{\circ}SE$ ، مربوط به گسل  $F_2$  بر روی سازند مبارک و خراش‌های گسلی که سازوکار معکوس راست‌بر را نشان می‌دهند (دید به سمت جنوب خاوری)؛ ت- ایجاد دیواره‌های با شیب تند در اطراف دره توسط گسل  $F_2$  (دید به سمت شمال باختری).



شکل ۳-۹-الف-نمودار سیکلوگرافیک بدست آمده از داده‌های برداشت شده از سطح گسل  $F_2$ ؛ ب- نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی که روند غالب  $N86^{\circ}E, 50^{\circ}SE$  را برای این گسل نشان می‌دهد.

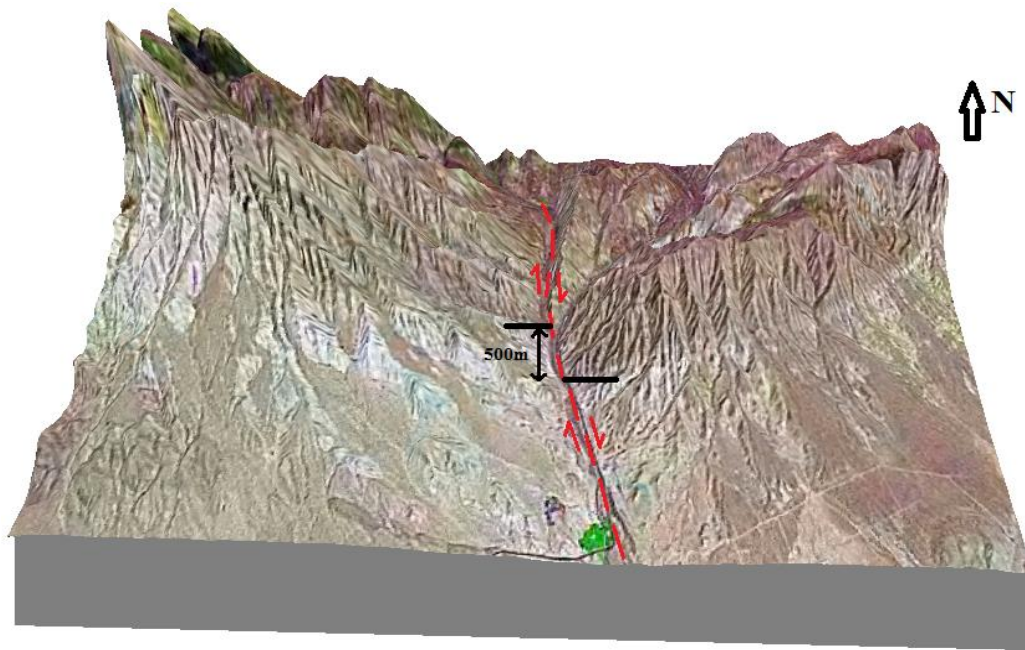
### ۳-۱-۲- گسل چهل دختر

طی مطالعات صحرایی انجام شده، گسلی با روند تقریبی  $N20^{\circ}W$  و در مسیر رودخانه خنج شناسایی گشت. با توجه به قرارگیری این گسل در منطقه چهل دختر، در این تحقیق با عنوان گسل چهل دختر از آن نام برده می‌شود.

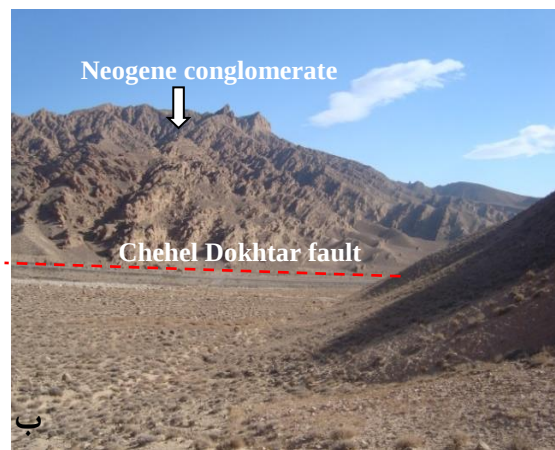
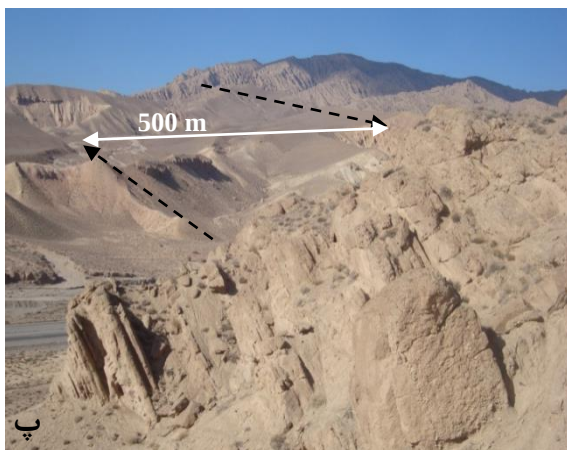
در طول این گسل به علت فعالیت فرسایشی رودخانه خنج، آثاری از سطح گسل مشاهده نشده، اما جابجایی لایه‌های طرفین رودخانه خنج، بخصوص واحدهای کنگلومرایی پلیوسن حاکی از حضور گسلی با سازوکار امتدادی راست‌بر به عنوان خاستگاه این رودخانه می‌باشد. این جابجایی لایه‌ها در طرفین رودخانه خنج حدود ۵۰۰ متر اندازه‌گیری شده است (شکل ۳-۱۰).

گسل چهل دختر از شمال به جنوب ضمن عبور از میان کنگلومرای پلیوسن و مارن‌های میوسن از حاشیه خاوری پادگان چهل دختر و از نزدیکی روستاهای اسلام‌آباد، هفت‌آباد و خنج می‌گذرد و انفصال و شگستگی‌های متعددی را در کنگلومرای پلیوستوسن ایجاد کرده و به صورت پوشیده به سمت جنوب ادامه می‌یابد و رودخانه خنج در راستای آن جریان یافته است. به سمت جنوب، حضور

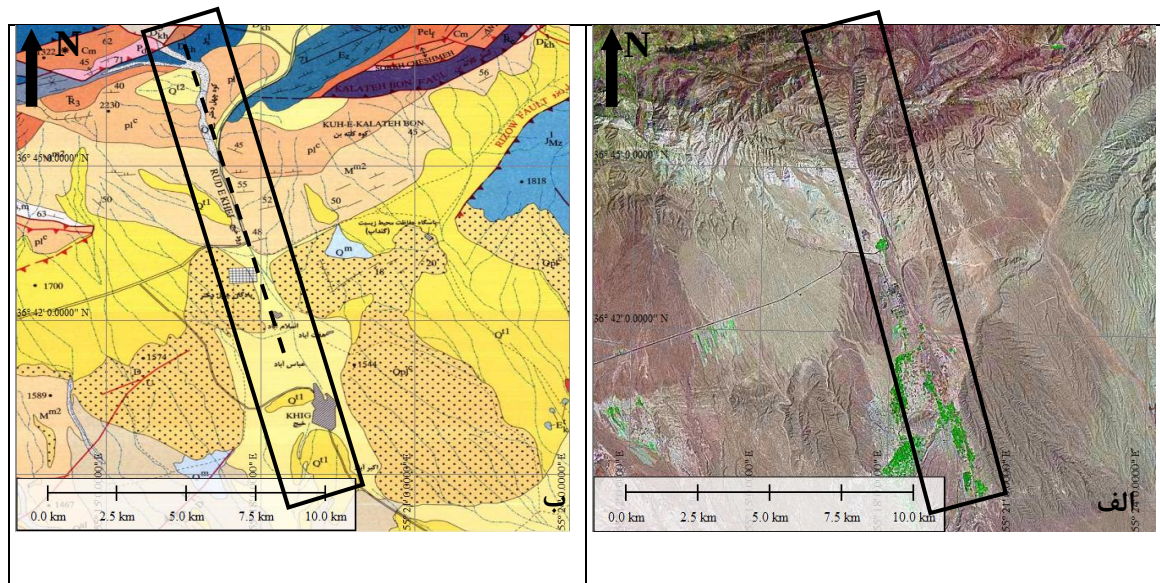
نهشته‌های سست نئوژن و کواترنری، تعقیب مسیر این گسل را مشکل ساخته و در نتیجه برآورد طول این گسل احتیاج به مطالعات دقیق‌تر و بیشتری دارد (شکل ۳-۱۱).



الف



شکل ۳-۱۰-الف- تصویر سه بعدی از مسیر رودخانه خج و گسل چهل‌دختر و جابجایی لایه‌ها در طرفین آن (تصویر سه بعدی از ترکیب داده‌های SRTM و تصویر ماهواره‌ای Landsat)؛ ب- قطع شدگی و عدم پیوستگی کنگلومرای نئوژن در طرفین گسل (دید به سمت شمال خاوری)؛ پ- جابجایی لایه‌های طرفین گسل چهل‌دختر به میزان حدود ۵۰۰ متر (دید به سمت باختر).

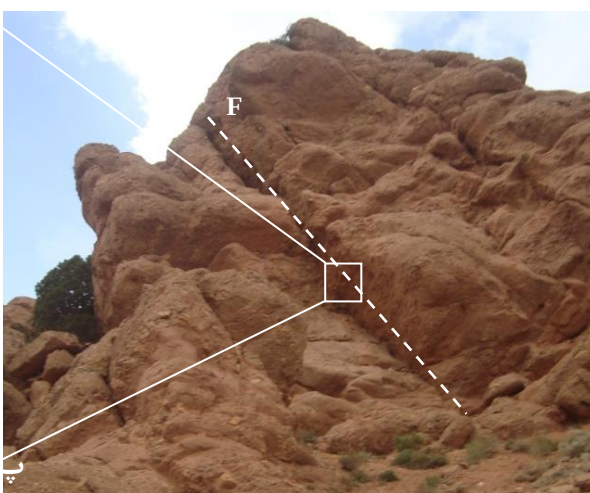
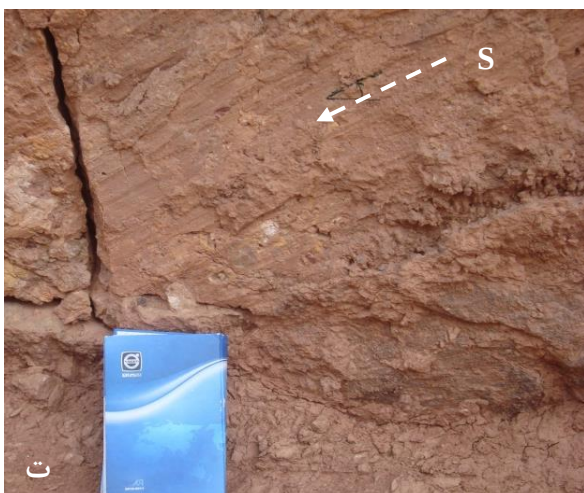


شکل ۳-۱۱-الف-بخشی از تصویر ماهواره‌ای Landsat منطقه مورد مطالعه که خطواره گسل چهل دختر توسط کادر سیاه رنگ مشخص شده است؛ ب- بخشی از نقشه زمین‌شناسی خوش‌یلاق (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۳) که راستای گسل چهل دختر توسط خط‌چین بر روی رودخانه خنج مشخص شده است.

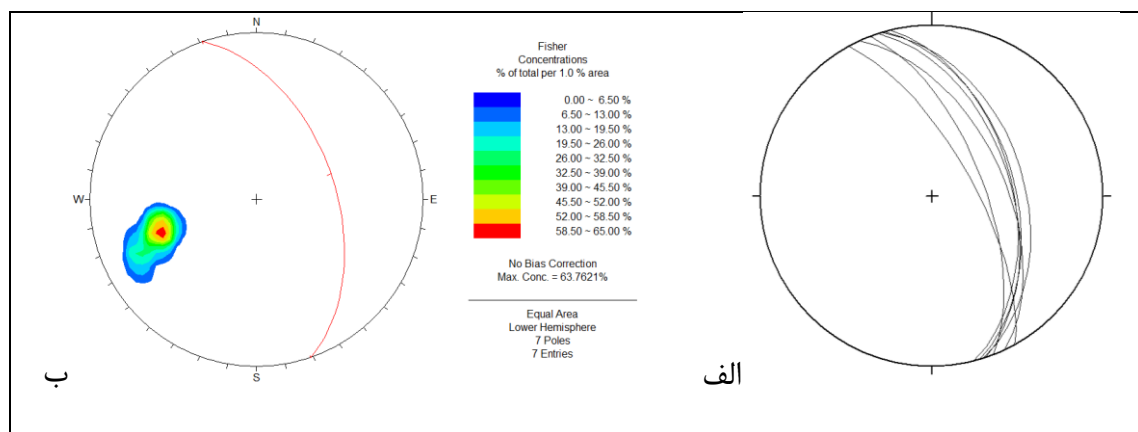
### ۳-۱-۳- گسل گورخان

این گسل، ناودیس گورخان را به طور عرضی قطع و دره‌ای را ایجاد کرده که به سمت جنوب رودخانه فصلی کوچکی بر روی آن تشکیل شده است (شکل ۳-۱۲). راه دسترسی به این دره گسلی از طریق جاده خاکی در پشت راهدارخانه گورخان می‌باشد. طول این گسل که دارای روند تقریبی شمالی-جنوبی می‌باشد، حدود ۴ کیلومتر برآورد می‌شود.

مشاهدات صحرایی و استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده (پیوست ۵) نشان می‌دهد که این گسل دارای موقعیت  $N19^{\circ}W, 51^{\circ}NE$  و سازوکار معکوس همراه با مؤلفه امتدادلغز راست‌بر می‌باشد (شکل ۳-۱۳).



شکل ۳-۱۲-الف و ب- دره‌ای که در ناودیس گورخان و کنگلومرای پلیوسن بر اثر عملکرد گسل گورخان ایجاد شده است (الف: دید به سمت شمال؛ ب: دید به سمت جنوب)؛ پ- رخنمونی از گسل گورخان در لایه‌های کنگلومرای پلیوسن (دید به سمت شمال خاوری)؛ ت- سطح گسله ایجاد شده توسط گسل گورخان؛ خراش‌ها و پله‌های گسلی ایجاد شده سازوکار معکوس و راست‌بر را نشان می‌دهد (دید به سمت خاور).



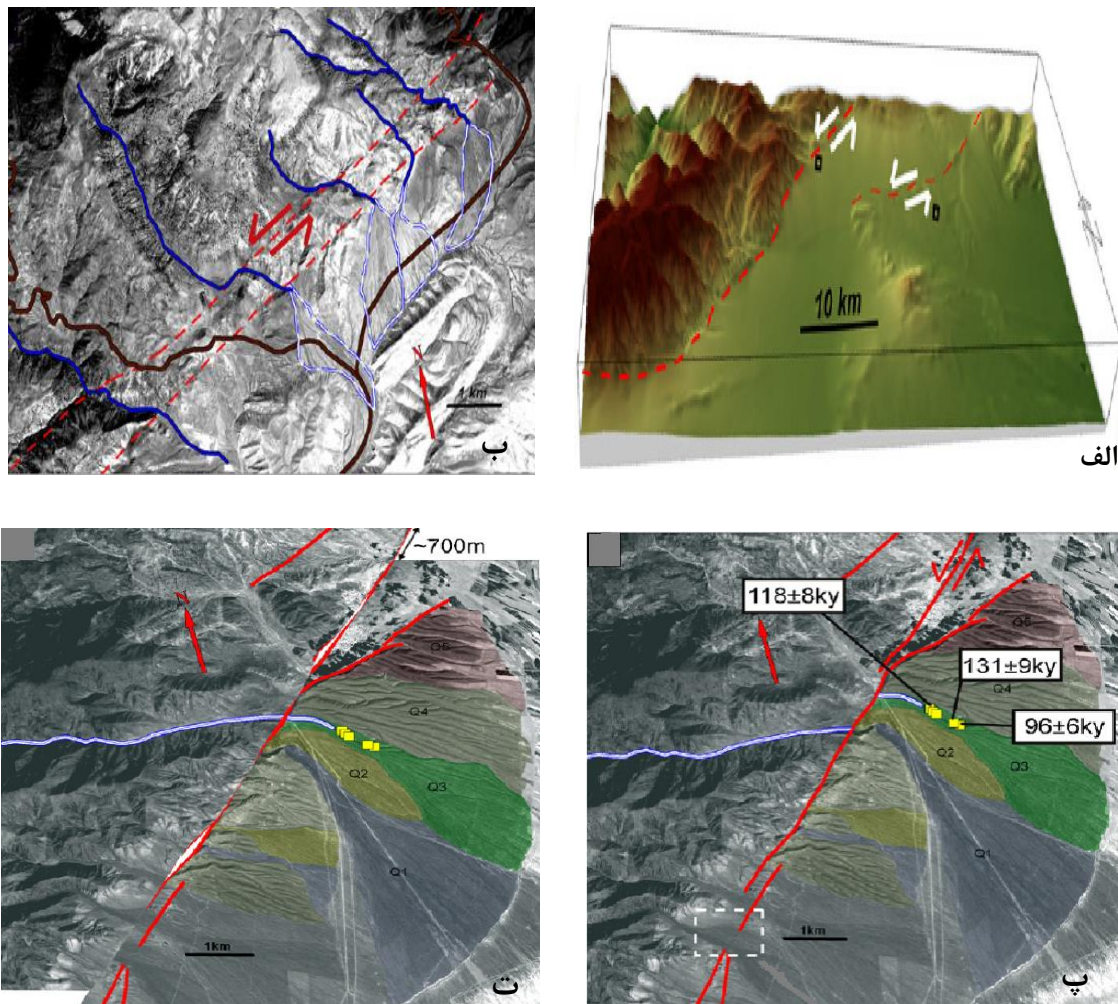
شکل ۳-۱۳-الف-نمودار سیکلوگرافیک بدست آمده از داده‌های برداشت شده از سطح گسل گورخان؛ ب-نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی که روند غالب  $N19^{\circ}W, 51^{\circ}NE$  را برای این گسل نشان می‌دهد.

### ۳-۱-۴- گسل ابر

گسل ابر با روند شمال خاوری- جنوب باختری در شمال باختری ناحیه مورد مطالعه دیده می‌شود. دنباله جنوب باختری این گسل وارد نقشه زمین‌شناسی علی‌آباد (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۵) شده که به سمت باختر، روندی خاوری- باختری می‌یابد. در نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه، این گسل با طولی حدود ۵۰ کیلومتر، از نوع راندگی و با مؤلفه امتدادی چپ‌بر و شیب آن به سمت شمال- شمال باختری ذکر شده است. گسل ابر به سمت شمال خاوری احتمالاً به گسل‌های گردنه خوش‌بیلاق متصل می‌گردد و به دلیل بهم ریختگی ناحیه اهمیتی ویژه دارد (جعفریان و جلالی، ۱۳۸۳).

جاویدفخر و همکاران (Javidfakhr et al 2011a)، معتقدند گسل ابر با طولی در حدود ۹۵ کیلومتر، بین روستای نکارمن و تیل‌آباد قرار دارد. به اعتقاد ایشان، این گسل با روند شمال خاوری- جنوب باختری، یک گسل امتدادلغز چپ‌بر با مؤلفه شیب لغز معکوس می‌باشد که مرز توپوگرافی مشخص و متمایزی بین نواحی کوهستانی و حوضه‌های کواترنری ایجاد کرده است (شکل ۳-۱۴-الف). انحراف رودخانه‌ها در سراسر گسل ابر نشان می‌دهد که این بخش در دوره کواترنری فعال بوده است. سیمای

زمین‌ریختی در طول گسل ابر به وسیله جابجایی چپ‌بر عوارضی مانند مخروط افکنه‌ها و مسیر رودخانه‌ها مشخص می‌باشد (شکل ۳-۱۴، ب، پ و ت).

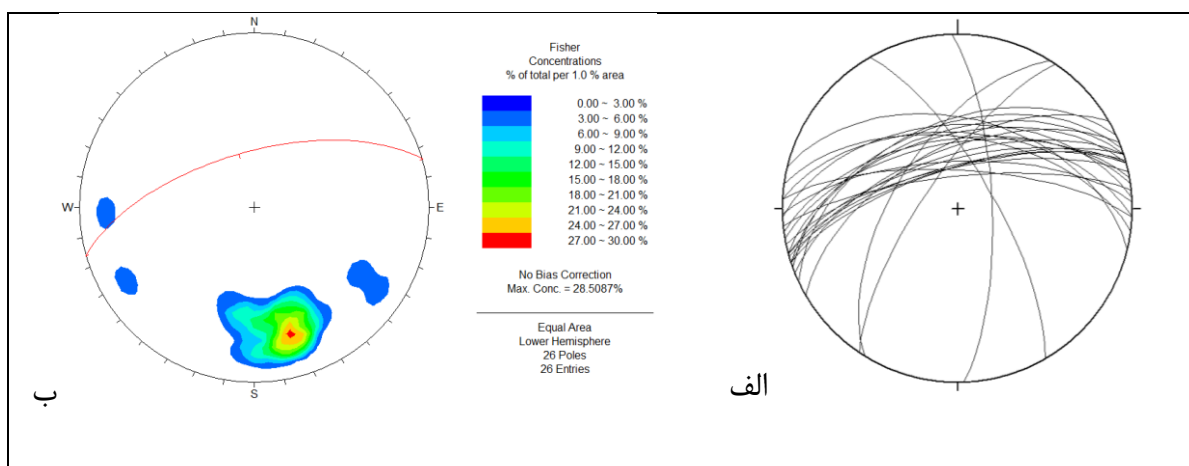


شکل ۳-۱۴-الف- تصویر سه‌بعدی بخشی از ناحیه مورد مطالعه که نشان می‌دهد گسل ابر مرز مشخصی بین نواحی کوهستانی و حوضه‌های کواترنری ایجاد کرده است؛ ب- انحراف چپ‌بر آبراهه‌ها در اثر عملکرد گسل ابر؛ پ- مخروط افکنه‌های کواترنری در طول گسل ابر؛ Q<sub>1</sub> تا Q<sub>5</sub> به ترتیب مخروط افکنه‌های جوان تا قدیمی‌تر را نشان می‌دهند. جابجایی مشخصی بین آبراهه‌های تغذیه‌کننده مخروط افکنه‌ها و جایگاه فعلی محور آنها دیده می‌شود؛ ت- بازسازی جابجایی رخ داده بر اثر عملکرد گسل ابر که محور Q<sub>3</sub> را با کانال تغذیه‌کننده آن منطبق می‌کند و مقدار جابجایی حدود ۷۰۰ متر را برای آن نشان می‌دهد (تصاویر برگرفته شده از Javidfakhr et al 2011a).

مشاهدات صحرایی و اطلاعات مربوط به سطوح برداشت شده از گسل ابر، نشان دهنده سازوکار معکوس همراه با مؤلفه امتدادی چپ‌بر برای این گسل می‌باشد (شکل ۳-۱۵). استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از سطح گسل ابر (پیوست ۶)، شامل نمودار هم‌تراز تراکم داده‌های مربوط به قطب صفحات گسلی نشان می‌دهد که موقعیت غالب بدست آمده برای صفحات گسلی  $N74^{\circ}E, 64^{\circ}NW$  می‌باشد. سطوح برداشت شده‌ای که روندی متفاوت نسبت به روند کلی گسل ابر نشان می‌دهند، احتمالاً گسل‌های فرعی مربوط به گسل اصلی ابر می‌باشند (شکل ۳-۱۶).



شکل ۳-۱۵- الف- دیواره گسلی مربوط به گسل ابر در شمال روستای ابر (دید به سمت شمال خاوری)؛ ب- سطح گسلی با موقعیت  $N72^{\circ}E, 53^{\circ}NW$  مربوط به گسل ابر با سازوکار معکوس و چپ‌بر (دید به سمت شمال باختری).



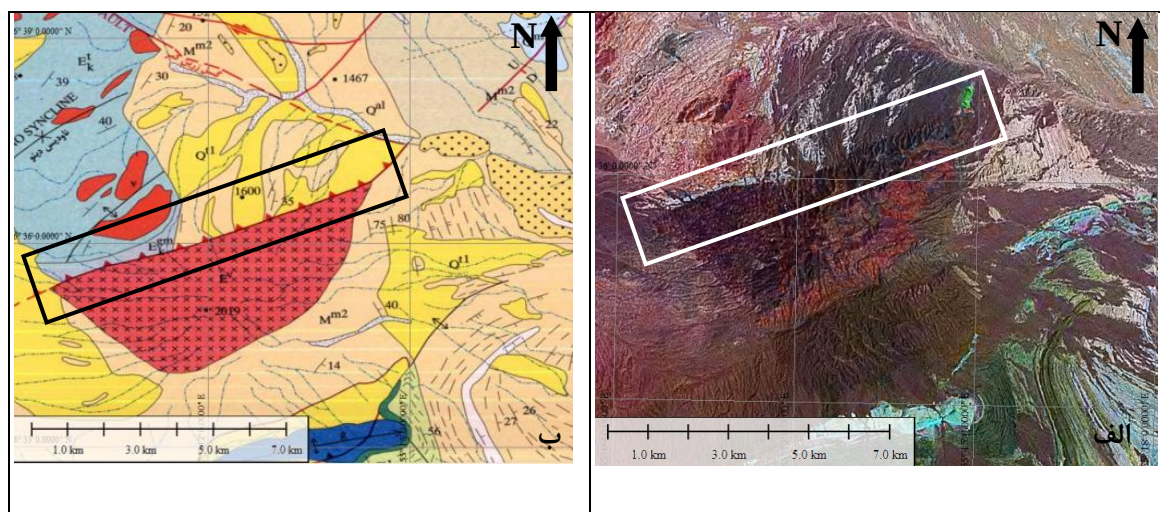
شکل ۳-۱۶- الف- نمودار سیکلوگرافیک بدست آمده از داده‌های برداشت شده از سطح گسل ابر؛ ب- نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی که روند غالب  $N74^{\circ}E, 64^{\circ}NW$  را برای این گسل نشان می‌دهد.

### ۳-۱-۵- گسل خیج

جاویدفخر و همکاران (Javidfakhr et al 2011a)، گسل خیج را با طول حدود ۵۵ کیلومتر و با راستای شمال خاوری- جنوب باختری معرفی کردند. گسل خیج مهمترین عنصر ساختاری بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه می‌باشد که با توجه به تغییرات هندسی، ریخت‌شناسی و سازوکار در طول آن، به سه قطعه با نام‌های کلاته‌خیج، سیاه‌کوه و ریزو تقسیم شده است که در ادامه به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

### ۳-۱-۵-۱- قطعه گسلی سیاه‌کوه

این قطعه در حاشیه شمالی سیاه‌کوه قرار دارد و مرز بین واحدهای آذرین سیاه‌کوه در شمال و واحدهای شیلی، توفی و ماسه‌سنگی سازند کرج در جنوب را تشکیل می‌دهد. در نقشه زمین‌شناسی خوش‌ییلاق (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۳) نام دینو بر روی این قطعه، نهاده شده است (شکل ۳-۱۷).



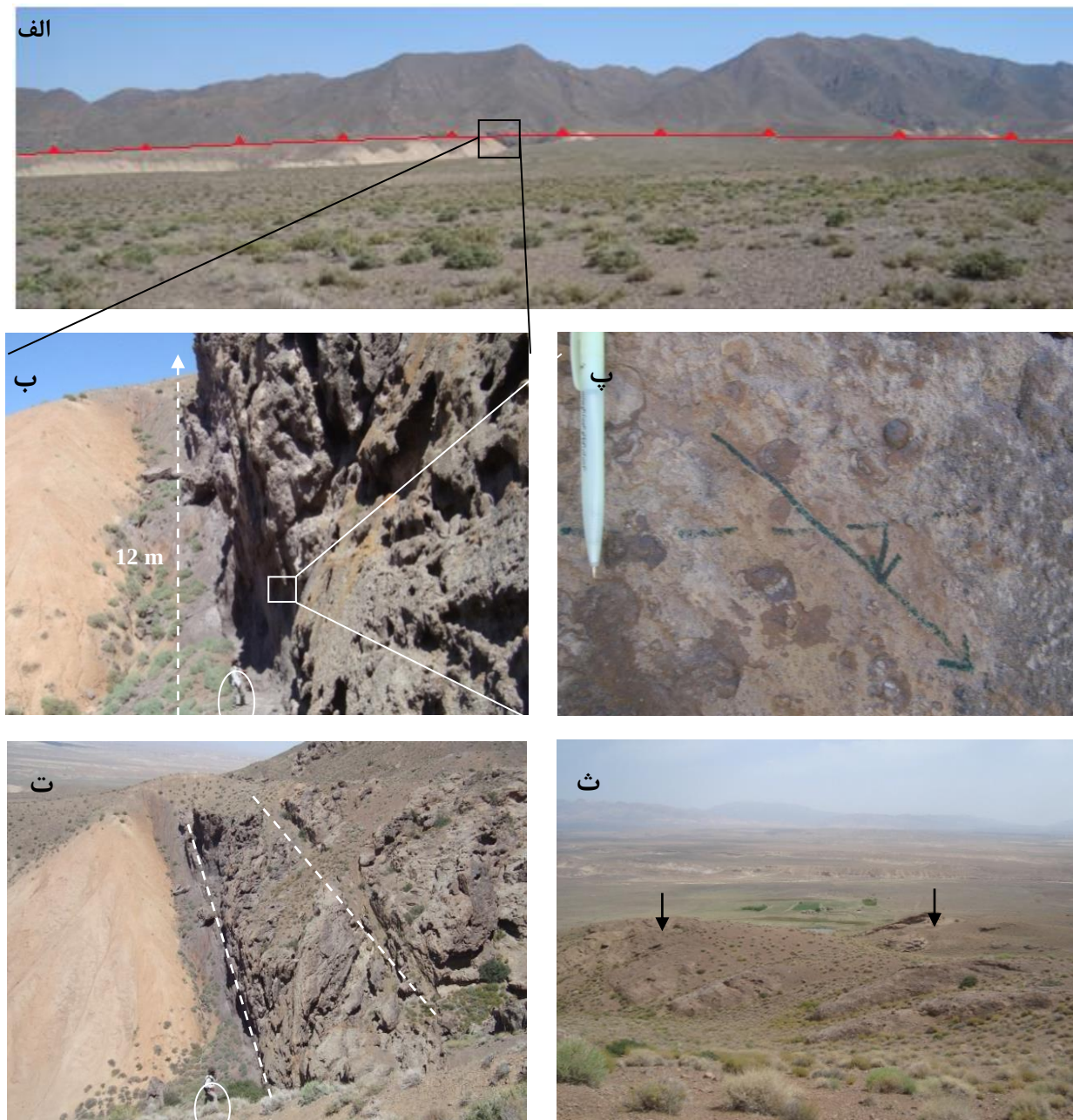
شکل ۳-۱۷- الف- بخشی از تصویر ماهواره‌ای Landsat منطقه مورد مطالعه که سیاه‌کوه و خطواره گسلی دینو در مرز شمالی آن به وضوح دیده می‌شوند؛ ب- بخشی از نقشه زمین‌شناسی خوش‌ییلاق (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۳) که گسل دینو را با امتداد شمال خاوری- جنوب باختری و شیب به سمت شمال باختری در حاشیه شمالی سیاه‌کوه مشخص کرده است.

این گسل در برخی قسمت‌ها پرتگاه‌هایی با شیب نزدیک به قائم و ارتفاع ۴ متر تا بیش از ۱۰ متر نیز به وجود آورده است. گسل‌های دیگری با هندسه مشابه و به موازات قطعه سیاه‌کوه وجود دارد که در دامنه شمالی سیاه‌کوه، زون بهم ریخته و خردشده‌ای را ایجاد کرده است. برداشت‌ها و شواهد صحرایی نشان می‌دهند که این قطعه دارای سازوکار معکوس همراه با مؤلفه چپ‌بر می‌باشد (شکل ۳-۱۸).

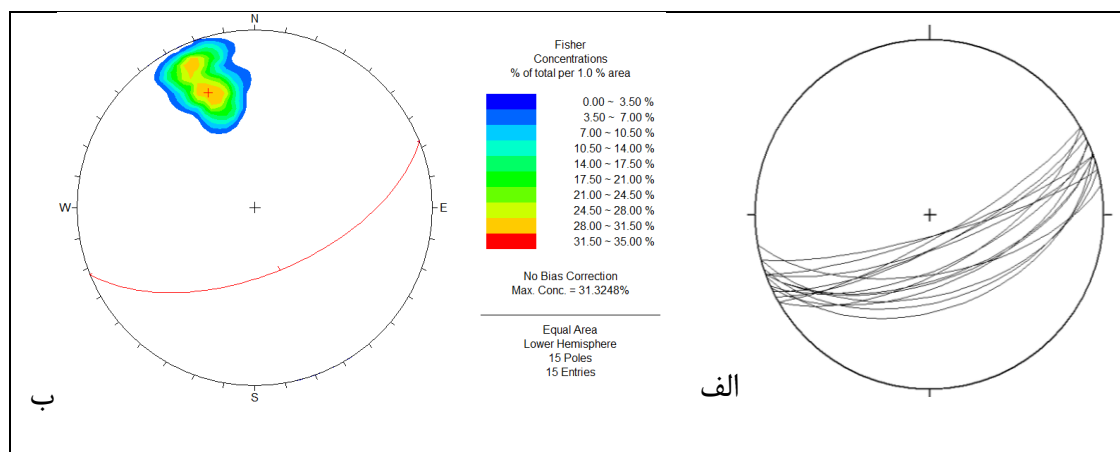
یکی دیگر از شواهد روی زمین گسل خیج، حضور چشمه‌های تراورتن‌ساز در بخش شمال خاوری قطعه سیاه‌کوه می‌باشد (شکل ۳-۱۸-ث).

داده‌های برداشت شده از قطعه سیاه‌کوه، در پیوست ۴ آورده شده است. استریوگرام‌های حاصل از این داده‌ها و نمودار هم‌تراز تراکم قطب صفحات گسلی، موقعیت غالب  $N68^{\circ}E, 59^{\circ}SE$  را برای داده‌های بدست آمده از این بخش از گسل خیج، نشان می‌دهد (شکل ۳-۱۹).

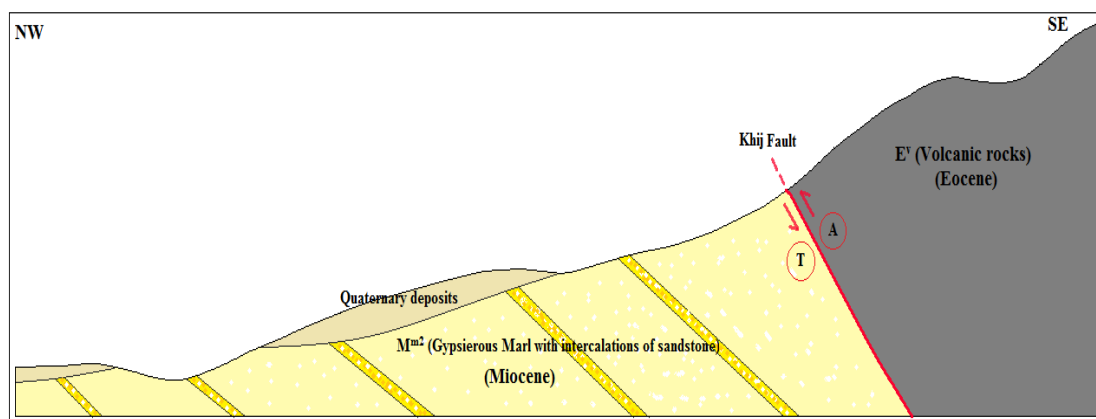
مطالعات میدانی و مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که شیب این گسل به سمت جنوب خاوری بوده و بر اثر عملکرد آن، واحدهای آتشفشانی ائوسن بر روی مارن‌های میوسن رانده شده‌اند (شکل ۳-۲۰).



شکل ۳-۱۸-الف- مرز گسله بین واحدهای آتشفشانی سیاه‌کوه و واحدهای سازند کرج (دید به سمت جنوب)؛ ب- پرتگاه ایجاد شده توسط قطعه سیاه‌کوه (دید به سمت شمال خاوری)؛ پ- سطح گسلی با موقعیت  $N75^{\circ}E, 80^{\circ}SE$  مربوط به قطعه سیاه‌کوه؛ خراش‌های گسلی، پله‌های ایجاد شده و لمس دست، سازوکار معکوس و چپ‌بر را نشان می‌دهند (دید به سمت جنوب خاوری)؛ ت- زون گسلی سیاه‌کوه که منطقه خرد شده و بهم ریخته‌ای را در سنگ‌های آتشفشانی حاشیه شمالی سیاه‌کوه ایجاد کرده است (دید به سمت شمال خاوری)؛ ث- نهشته‌های تراورتنی ایجاد شده بر روی قطعه سیاه‌کوه (دید به سمت شمال خاوری).



شکل ۳-۱۹-الف-نمودار سیکلوگرافیک بدست آمده از داده‌های برداشت شده از سطح قطعۀ گسلی سیاه‌کوه؛ ب- نمودار هم‌تراز قطب صفحات گسلی که روند غالب  $N68^{\circ}E, 59^{\circ}SE$  را برای این گسل نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۰-برش نمادین از شکل ۳-۱۸-الف با راستای شمال باختری- جنوب خاوری که نشان می‌دهد گسل خیج در شمال سیاه‌کوه با شیب به سمت جنوب خاوری، سبب رانده شدن واحدهای آتشفشانی ائوسن بر روی مارن‌های میوسن گشته است.

### ۳-۱-۵-۲- قطعۀ گسلی کلاته خیج

این قطعه با روند شمال خاوری- جنوب باختری، در جنوب باختری شهر کلاته خیج قرار گرفته است. قطعۀ کلاته خیج در تصاویر دورسنجی به صورت خطواره مشخصی دیده می‌شود که از شمال خاوری سیاه‌کوه آغاز شده و تا شمال خاوری شهر کلاته خیج ادامه می‌یابد. مطالعه تصاویر دورسنجی و مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که این گسل رسوبات کواترنری را بریده و کانال‌های رودخانه‌ای را به

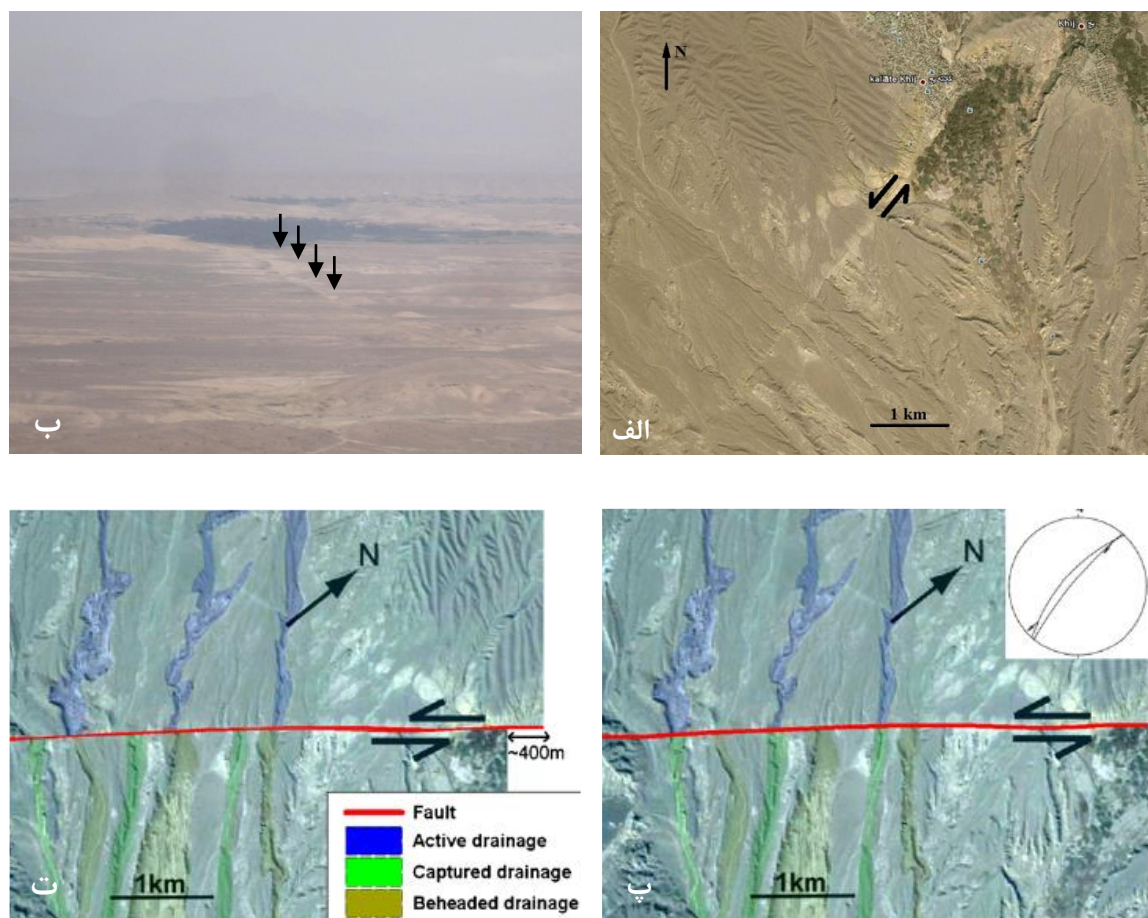
صورت چپ‌بر جابجا کرده است (شکل ۳-۲۱-الف و ب). جاویدفخر و همکاران (Javidfakhr et al 2011a) بر اساس بازسازی کانال‌های جابجا شده، حدود  $400 \pm 50$  متر جابجایی چپ‌بر را توسط این گسل شناسایی نموده‌اند (شکل ۳-۲۱-پ و ت).

مطالعات و مشاهدات ریخت‌شناسی در طول این قطعه نشان می‌دهد که این گسل مارن‌های میوسن را در کنار کنگلومرای پلیستوسن قرار داده است (شکل ۳-۲۲-الف). بر اثر عملکرد این گسل، مارن‌های میوسن در طول این خطواره گسلی رخنمون یافته و کنگلومرای پلیستوسن دچار خردشدگی گشته است (شکل ۳-۲۲-ب).

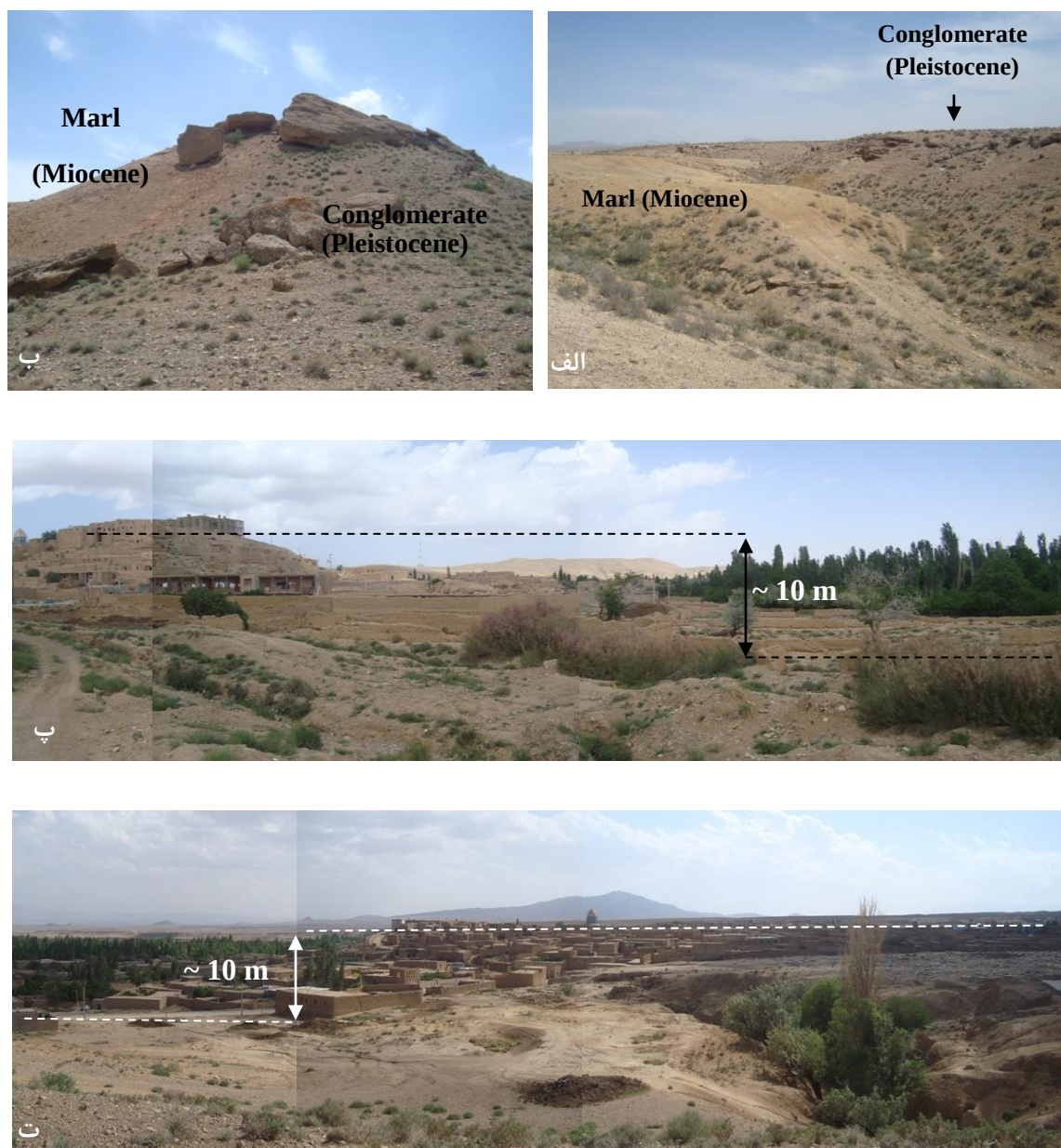
این گسل با عبور از حاشیه جنوبی شهر کلاته‌خیج و اختلاف توپوگرافی مشخصی که ایجاد کرده، مرز واضحی بین شهر کلاته‌خیج و باغستان‌های جنوب آن به وجود آورده، به طوری که اختلاف ارتفاع طرفین گسل قابل تخمین بوده و حدود ۱۰ متر برآورد شده است (شکل ۳-۲۲-پ و ت).

این قطعه با عملکرد معکوس خود سبب بالا آمدن بخش جنوب خاوری نسبت به بخش شمال باختری شده است. جاوید فخر و همکاران (Javidfakhr et al 2011a) با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی شده با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، میزان جابجایی عمودی ایجاد شده در طرفین این گسل را حدود ۱۲ متر تخمین زده‌اند (شکل ۳-۲۳).

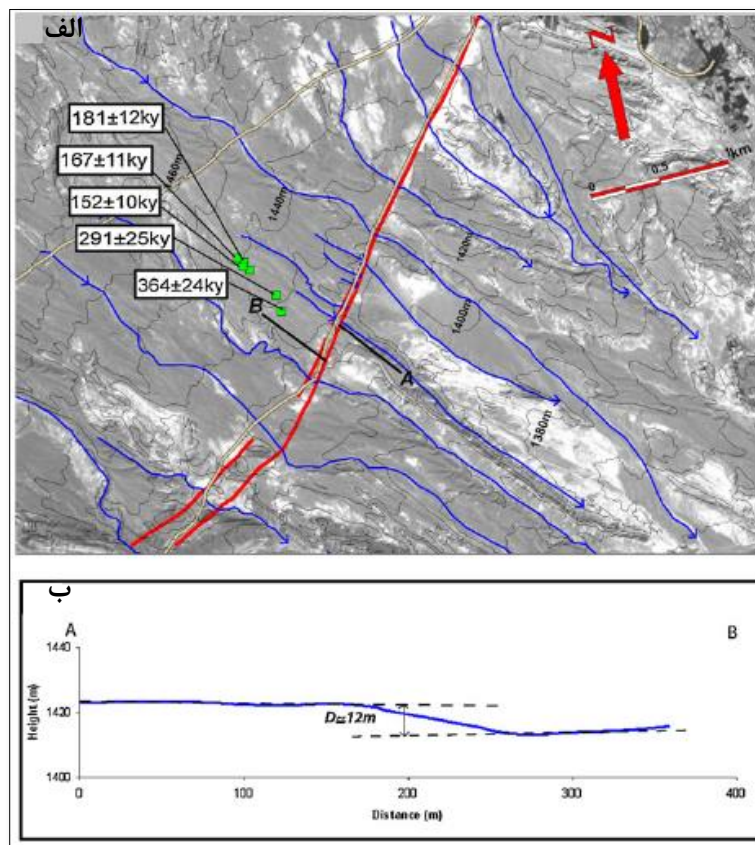
با توجه به عبور قطعه کلاته‌خیج از نهشته‌های کواترنری، واحدهای مارنی میوسن و کنگلومرای خرد شده پلیستوسن، سطحی که مربوط به این گسل باشد، مشاهده نشده و اطلاعات حاصله به طور عمده از ویژگی‌های زمین‌ریختی ایجاد شده بر اثر عملکرد این قطعه و هندسه ادامه جنوب باختری آن، یعنی قطعه سیاه‌کوه، بدست آمده است.



شکل ۳-۲۱-الف- تصویر Google Earth از قطعه کلاته‌خیج که جابجایی کانال‌ها در طول این گسل دیده می‌شود؛ ب- تصویر صحرایی از قطعه کلاته‌خیج (دید به سمت خاور)؛ پ- تصویر Google Earth رنگ‌آمیزی شده از قطعه کلاته‌خیج که جابجایی چپ‌بر کانال‌های رودخانه‌ای را نشان می‌دهد (برگرفته از Javidfakhr et al 2011a)؛ ت- تصویر بازسازی شده قطعه کلاته‌خیج که جابجایی چپ‌بر در حدود ۴۰۰ متر را برای این قطعه گسلی نشان می‌دهد (برگرفته از Javidfakhr et al 2011a).



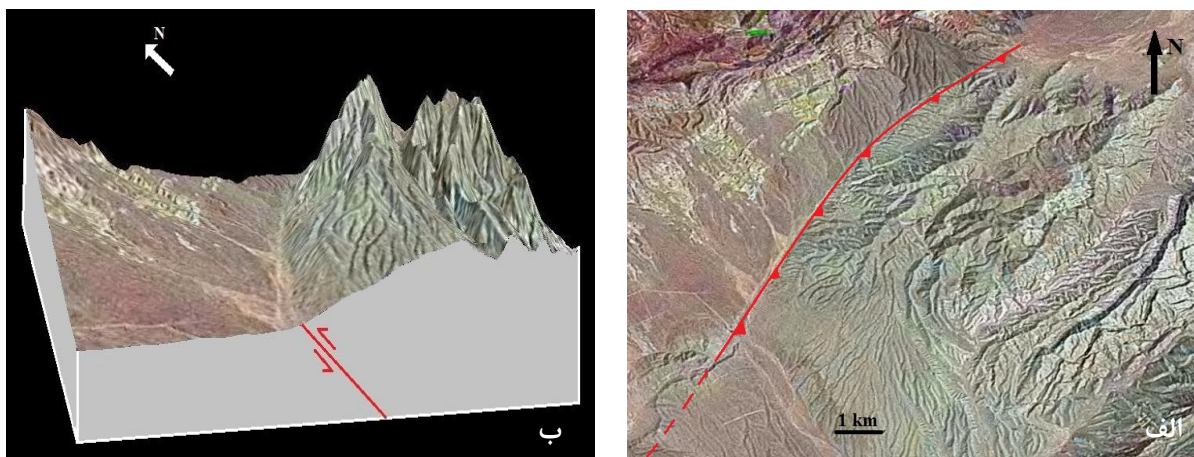
شکل ۳-۲۲ الف و ب- خردشدگی کنگلومرای پلیستوسن و قرارگیری آن در کنار مارن‌های میوسن بر اثر عملکرد قطعه کلاته‌خیج (الف: دید به سمت جنوب باختری، ب: دید به سمت شمال خاوری)؛ پ و ت- اختلاف ارتفاع ایجاد شده (حدود ۱۰ متر) بین شهر کلاته‌خیج و باغستان‌های جنوب آن بر اثر عملکرد قطعه کلاته‌خیج (پ- دید به سمت شمال خاوری، ت- دید به سمت جنوب باختری).



شکل ۳-۲۳-الف- بخشی از نقشهٔ توپوگرافی ناحیهٔ کلاته‌خیج با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ که بر روی تصویر ماهواره‌ای SPOT5 نمایش داده شده است؛ ب- نیمرخ توپوگرافی در راستای خط AB که اختلاف ارتفاع حدود ۱۲ متر را در طرفین گسل نشان می‌دهد (برگرفته از Javidfakhr et al 2011a).

### ۳-۵-۱-۳- قطعهٔ گسلی ریزو

قطعهٔ شمال خاوری گسل خیج که در نقشهٔ زمین‌شناسی خوش‌یلاق (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۳) با عنوان گسل ریزو نامیده شده است، با راستای شمال خاوری- جنوب باختری و شیب به سمت جنوب خاوری، سبب رانده شدن واحدهای آهکی ژوراسیک فوقانی (سازند لار) بر روی نهشته‌های کواترنری گشته است (شکل ۳-۲۴).



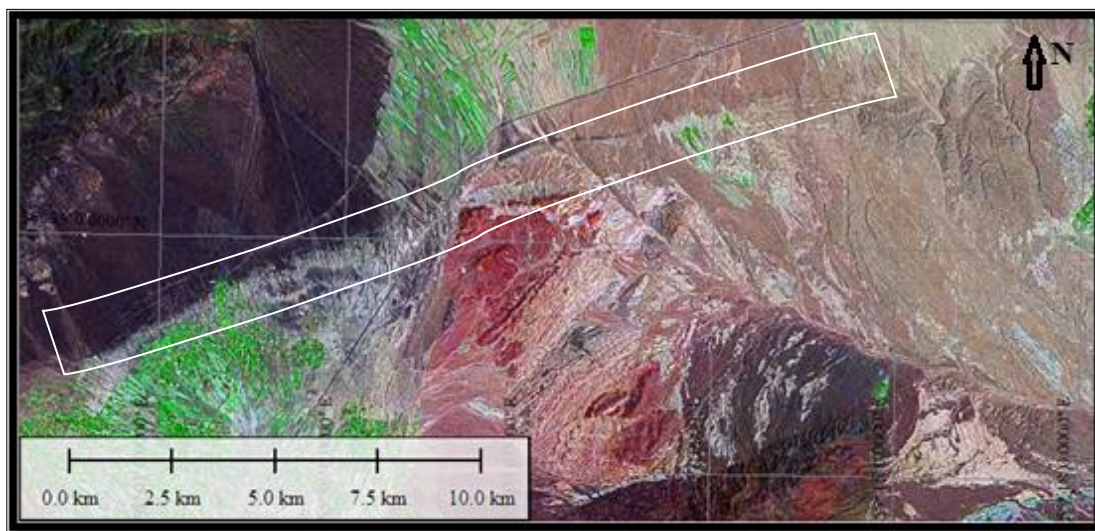
شکل ۳-۲۴-الف- تصویر ماهواره‌ای Landsat از قطعه ریزو؛ ب- رانده شدن سازند لار بر روی رسوبات کواترنری توسط گسل ریزو، در بخش شمال خاوری گسل خیج (تصویر سه بعدی از ترکیب داده‌های SRTM و تصویر ماهواره‌ای Landsat)

### ۳-۱-۶- گسل میقان

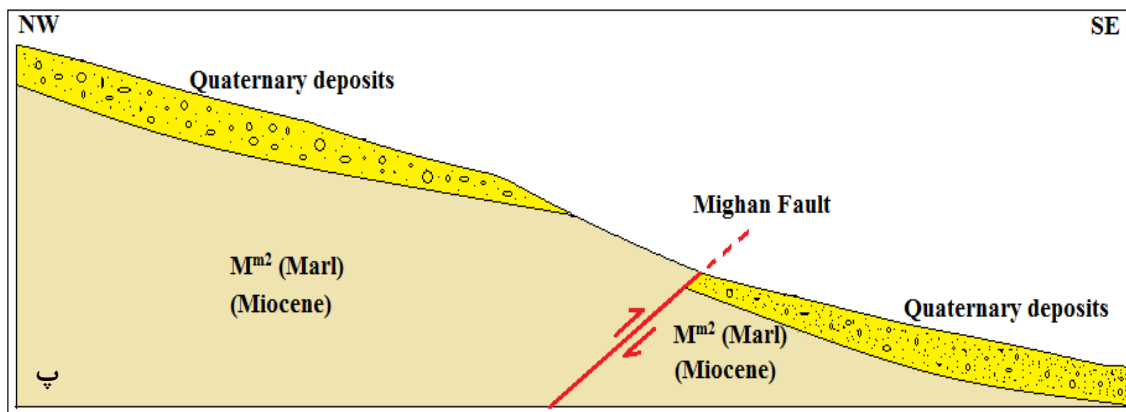
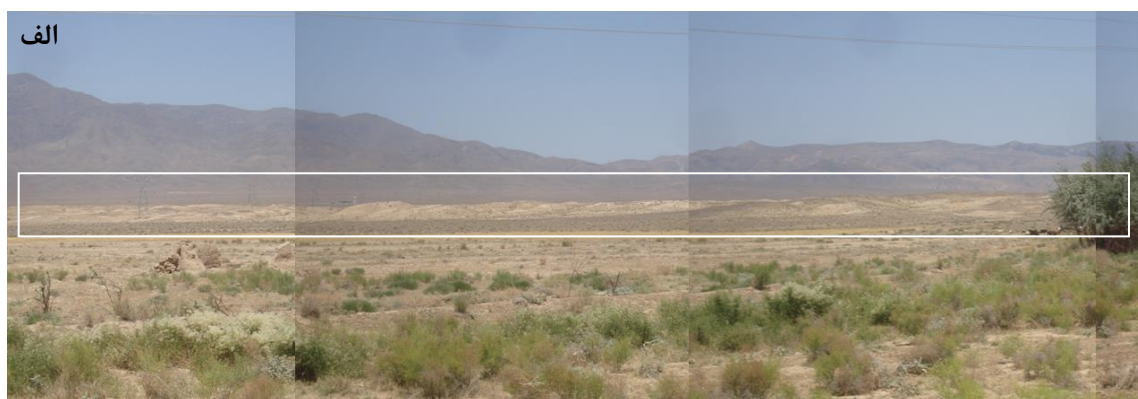
گسل میقان با روند شمال خاوری- جنوب باختری و شیب به سمت شمال باختری، در بخش میانی منطقه مورد مطالعه قرار دارد. بررسی تصاویر دورسنجی و شواهد صحرایی نشان می‌دهد که بخش خاوری این گسل، برخلاف آنچه که در نقشه زمین‌شناسی خوش‌یلاق (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۳) ثبت شده است، بعد از منطقه زرین‌کمر، در جنوب جاده اصلی شاهرود- آزادشهر ادامه می‌یابد (شکل ۳-۲۵).

شواهد صحرایی نشان می‌دهد که در طول گسل میقان مارن‌های میوسن رخنمون یافته و بلوک شمال باختری نسبت به بلوک جنوب خاوری بالا آمده است (شکل ۳-۲۶). به دلیل رخنمون این گسل در نهشته‌های کواترنری و مارن‌های میوسن، شواهدی از سطح گسل مشاهده نشده است. با توجه به اینکه این گسل با گسل‌های شناخته شده دیگری مانند گسل خیج و ابر، در یک قلمرو ساختاری قرار دارد، می‌توان سازوکار معکوس همراه با مؤلفه چپ‌بر را برای آن در نظر داشت.

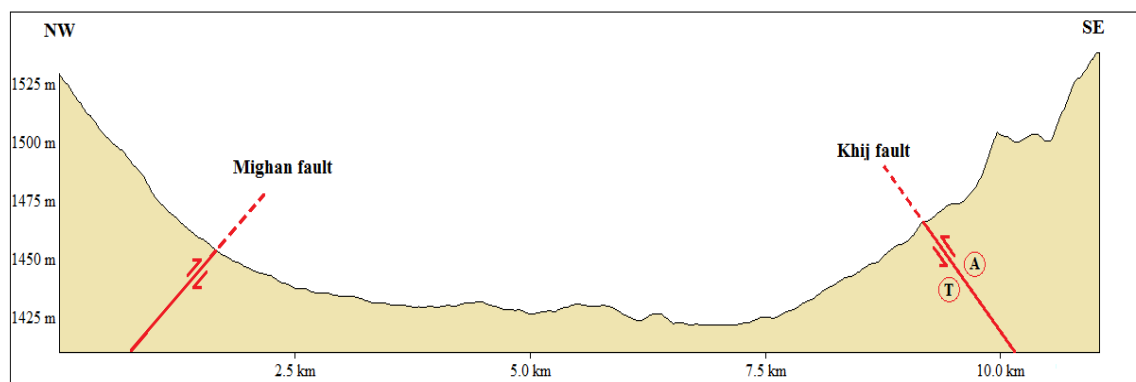
بخش فروافتاده‌ای در فاصله بین گسل‌های میقان و خیج ایجاد شده است که توپوگرافی نسبتاً پستی را از خود نشان می‌دهد. گسل‌های میقان و خیج با عملکرد معکوس خود عامل اصلی در شکل‌گیری این منطقه فروافتاده بوده و مرزهای این بخش با مناطق مرتفع اطراف را می‌سازند (شکل ۳-۲۷).



شکل ۳-۲۵- الف- تصویر Google Earth از گسل میقان که مسیر تقریبی این گسل توسط خط قرمز مشخص شده است؛ ب- تصویر ماهواره‌ای Landsat از گسل میقان (کادر سفید رنگ) که دنباله خاوری آن در جنوب جاده اصلی شاهرود-آزادشهر دیده می‌شود.



شکل ۳-۲۶- الف- تصویر صحرایی از گسل میقان که رخنمون مارن‌های میوسن در امتداد آن دیده می‌شود (کادر سفید رنگ) (دید به سمت شمال- شمال باختری)؛ ب- اختلاف توپوگرافی ایجاد شده در طرفین گسل میقان و بالآمدگی بلوک شمال باختری نسبت به بلوک جنوب خاوری (دید به سمت شمال)؛ پ- برش نمادین از گسل میقان در تصویر ب، با راستای شمال باختری- جنوب خاوری.



شکل ۳-۲۷- فروافتادگی ایجاد شده بر اثر عملکرد معکوس گسل‌های میقان و خیج (در مقیاس قائم، ضریب اغراق اعمال شده است).

### ۳-۱-۷- سایر گسل‌ها

در محدوده مورد مطالعه، شکستگی‌ها و گسل‌های فرعی دیگری نیز شناسایی شدند که به دلیل اهمیت کم و تعداد زیاد آنها، از آوردن توضیحات مربوط به آنها در این بخش خودداری شده، اما در نقشه‌های ساختاری و زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه، مشخص گشته‌اند (پیوست‌های ۱۹ و ۲۰).

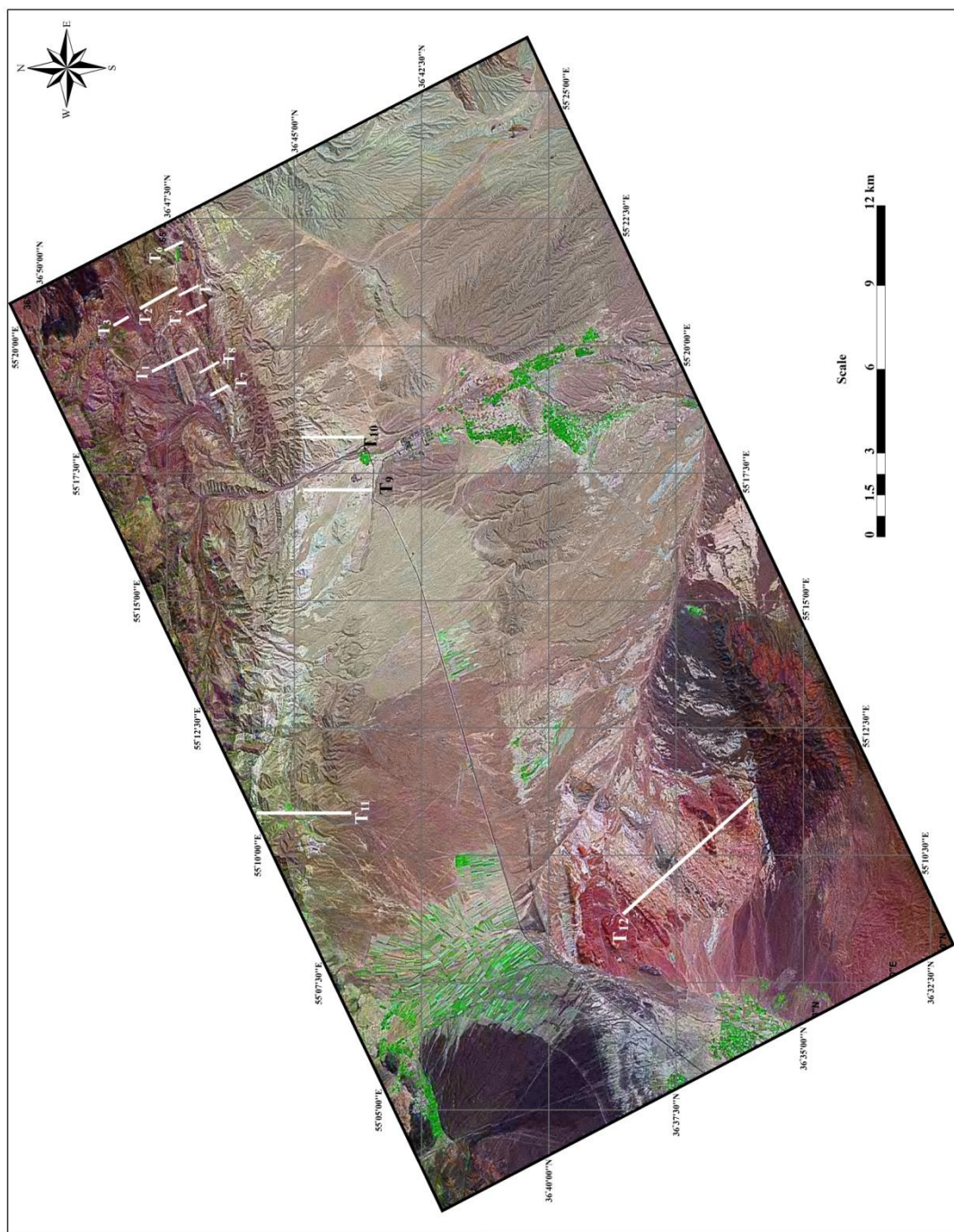
در بخش جنوب خاوری ناحیه مورد مطالعه که در محدوده پناهگاه حیات وحش خوش‌بیلاق قرار می‌گیرد، گسل‌های دیگری نیز وجود دارند که در تصاویر دورسنجی قابل تشخیص می‌باشند و به نظر می‌رسد که برخی از آنها رسوبات کواترنری را نیز بریده‌اند؛ اما علیرغم هماهنگی‌های صورت گرفته و دریافت مجوزهای لازم، به علت ممانعت‌های ایجاد شده توسط محیط‌بانان و مسئولان پاسگاه حفاظت محیط زیست گنداب، انجام مطالعات میدانی و مشاهدات صحرایی جهت شناسایی ویژگی‌های ساختاری و چینه‌شناسی، در این بخش از منطقه مورد مطالعه صورت نپذیرفت.

### ۳-۲- چین‌خوردگی

اطلاعات دورسنجی و مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه، چین‌خوردگی‌هایی با مقیاس‌های کوچک و بزرگ وجود دارد. آثار این چین‌خوردگی‌ها را می‌توان با وجود چین‌هایی به صورت تاقدیس، ناودیس و یا رخنمون‌هایی از لایه‌های تک شیب، در واحدهای سنگی با سن‌های مختلف مشاهده کرد. برخی از این چین‌ها در مطالعات قبلی مانند نقشه زمین‌شناسی خوش‌یلاق (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۳)، نام‌هایی از قبیل تاقدیس سرخ‌چشمه، تاقدیس و ناودیس دینو و ناودیس چهل‌دختر، بر آنها نهاده شده است.

به منظور برداشت چین‌های منطقه مورد مطالعه، ۱۲ پیمایش انجام شده (شکل ۳-۲۸) و حدوداً ۵۸۰ بار موقعیت سطح لایه‌بندی برداشت گردید. با استفاده از داده‌های برداشت شده و با کمک نرم-افزارهای استریوگرافیک، خصوصیات هندسی چین‌ها از قبیل موقعیت خط لولا، سطح محوری و زاویه بین یالی مشخص و جایگاه آنها در طبقه‌بندی فلوتی (Fleuty 1964)، بر اساس زاویه بین یالی و میل خط لولا و شیب سطح محوری مشخص گردید.

مطالعه وضعیت چین‌خوردگی در این منطقه نشان می‌دهد که روند غالب چین‌خوردگی، شمال خاوری- جنوب باختری تا خاوری- باختری می‌باشد. چین‌های ناحیه مورد مطالعه، بر مبنای زاویه بین دو یال، به طور عمده در رده باز (Open) و به تعداد محدودتری در رده ملایم (Gentle) قرار دارند. بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا نیز جایگاه چین‌های این ناحیه در دور رده: ۱- ایستاده و تقریباً افقی (Upright sub-horizontal) و ۲- ایستاده با میل ملایم (Upright gently plunging) و به تعداد محدودتری در رده چین‌های پر شیب با میل ملایم (Steeply inclined gently plunging) قرار دارد. خاطر نشان می‌شود تمامی ساخت‌های مشاهده شده، اعم از گسل‌ها و چین‌ها، در نقشه‌های ساختاری و زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه، در پیوست‌های ۱۹ و ۲۰ آورده شده‌اند.



شکل ۲۸-۳- مسیر پیمایش‌های صورت گرفته (T<sub>1</sub> تا T<sub>12</sub>) جهت شناسایی وضعیت چین‌خوردگی‌های منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای Landsat

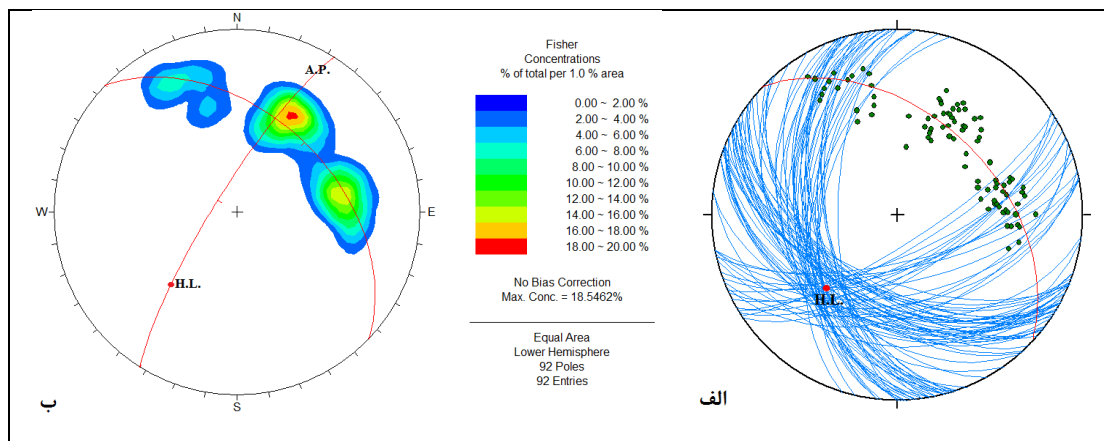
### ۳-۲-۱- ناودیس چهل دختر

نام چهل دختر برای این ناودیس برگرفته از نقشه زمین‌شناسی خوش‌یلاق (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۳) می‌باشد. ناودیس چهل دختر حاصل چین‌خوردگی سازندهای کرج و فجن در شمال خاوری ناحیه مورد مطالعه و قبل از گردنه خوش‌یلاق می‌باشد. شکل ۳-۲۹ تصاویر روی زمین این ناودیس را نشان می‌دهد. ویژگی‌های هندسی این ناودیس در دو پیمایش  $T_1$  و  $T_2$  مورد مطالعه قرار گرفته که پیمایش  $T_1$  در سازند کرج و پیمایش  $T_2$  در سازند فجن انجام شده است.



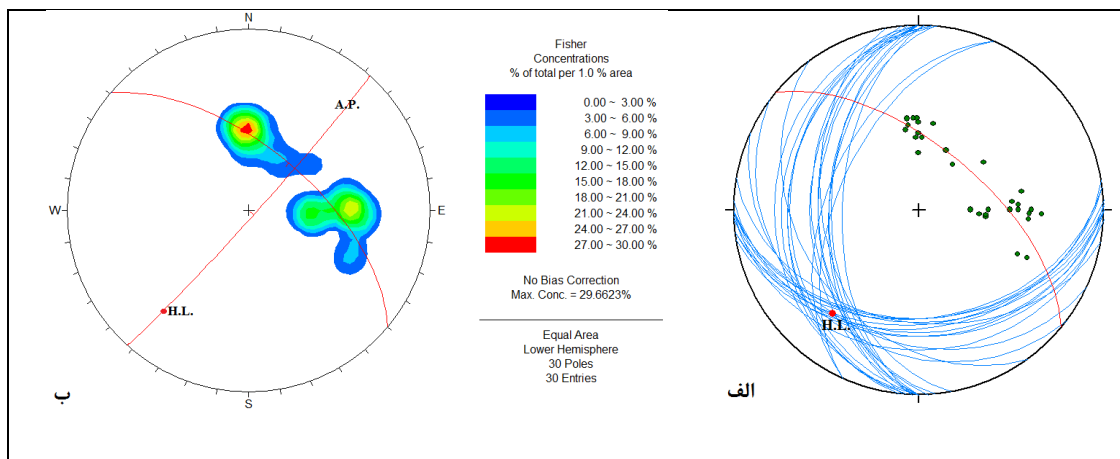
شکل ۳-۲۹- الف- ناودیس چهل دختر در سازند کرج (دید به سمت جنوب باختری)؛ ب- ناودیس چهل دختر در سازند فجن (دید به سمت جنوب)

استریوگرام‌های مربوط به داده‌های پیمایش  $T_1$  (پیوست ۷) در شکل ۳-۳۰ مشاهده می‌شود. بر اساس استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از این پیمایش، خط لولای این چین دارای موقعیت  $44,224^\circ$  و سطح محوری آن دارای موقعیت  $302,80^\circ$  می‌باشد. زاویه بین یالی این چین  $85^\circ$  درجه است که در تقسیم‌بندی چین‌ها بر اساس زاویه بین دو یال (Fleuty 1964) در رده چین‌های باز (Open) و در تقسیم‌بندی دیگر بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا (Fleuty 1964)، در رده چین‌های ایستاده با میل متوسط (Upright-moderately plunging) قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۳۰- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس چهل‌دختر در پیمایش  $T_1$  (سازند کرج)؛ الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت ۴۴،۲۲۴ ؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال ( $85^\circ$ ) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت ۸۰،۳۰۲

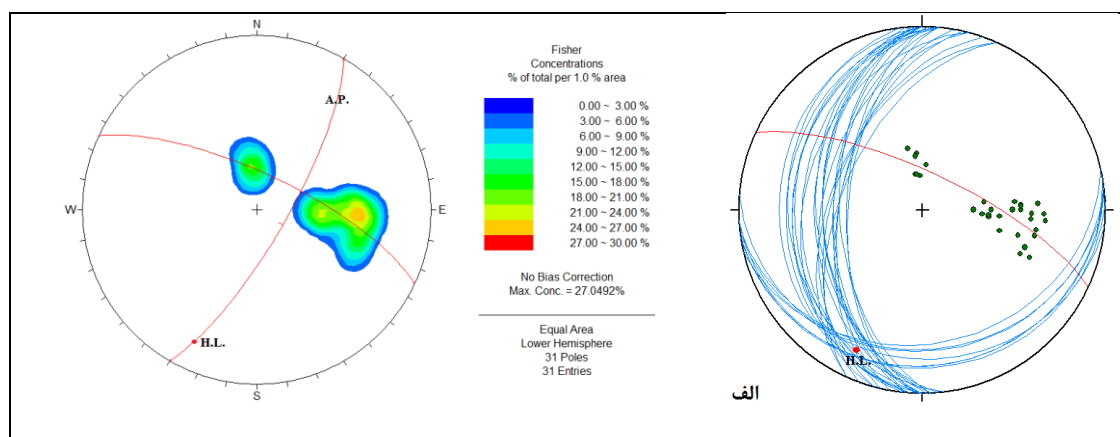
استریوگرام‌های بدست آمده از داده‌های حاصل از پیمایش  $T_2$  (پیوست ۸) نشان می‌دهد که خط لولای این ناودیس دارای موقعیت ۲۸،۲۲۰ و سطح محوری آن دارای موقعیت ۸۷،۱۳۲ می‌باشد (شکل ۳-۳۱). زاویه بین دو یال در این ناودیس ۱۲۳ درجه می‌باشد که در رده چین‌های ملایم (Gentle) و بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا در رده چین‌های ایستاده با میل ملایم (Upright-gently plunging) قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۳۱- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس چهل‌دختر در پیمایش  $T_2$  (سازند فجن)؛ الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت ۲۸،۲۲۰ ؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال ( $123^\circ$ ) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت ۸۷،۱۳۲

### ۳-۲-۲- تاقدیس چهل‌دختر در سازند فجن

در پیمایش T<sub>2</sub>، بعد از ناودیس چهل‌دختر (در سازند فجن)، این تاقدیس قرار دارد. بر اساس استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از این تاقدیس (پیوست ۹)، موقعیت خط لولا ۱۷،۲۰۵ و سطح محوری آن دارای موقعیت ۷۶،۱۲۰ می‌باشد (شکل ۳-۳۲). زاویه بین یالی در این چین ۱۲۶ درجه بوده که در رده چین‌های ملایم (Gentle) و بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا، در رده چین‌های پرشیب با میل ملایم (Steeply inclined-gently plunging) قرار دارد.



شکل ۳-۳۲- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از تاقدیس چهل‌دختر در سازند فجن؛ الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت ۱۷،۲۰۵ ؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال ( $126^\circ$ ) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت ۷۶،۱۲۰

### ۳-۲-۳- تاقدیس چهل‌دختر در سازند کرج

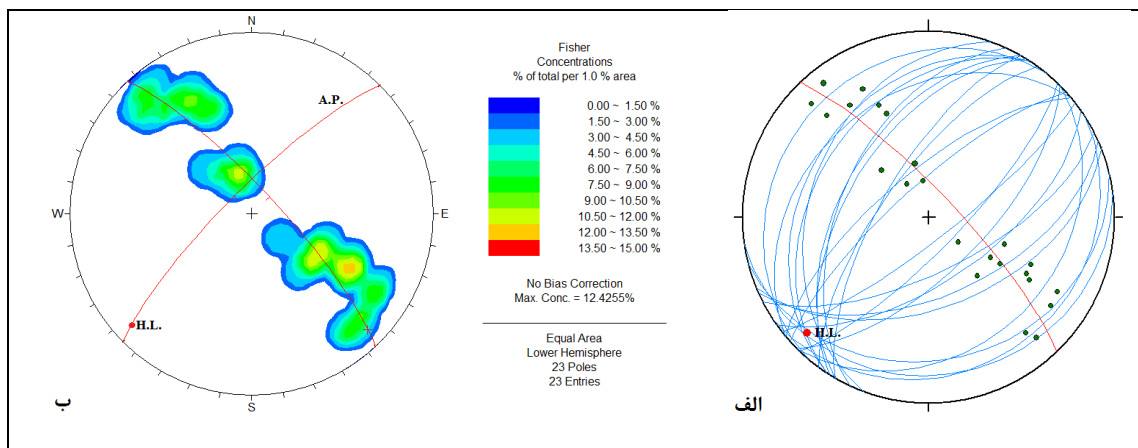
واحدهای آهکی سازند کرج که ناودیس چهل‌دختر را ساخته‌اند، به سمت جنوب تاقدیسی را به وجود آورده‌اند که مشخصات آن بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه دیده نمی‌شود. این تاقدیس در واحدهای سازند کرج مشاهده (شکل ۳-۳۳) و در دو پیمایش (T<sub>4</sub> و T<sub>5</sub>) مورد مطالعه قرار گرفته است.



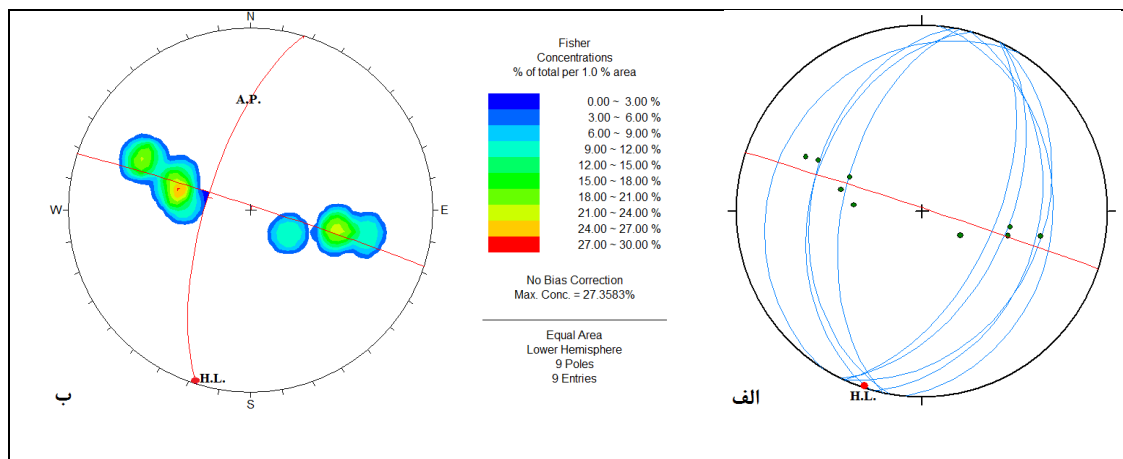
شکل ۳-۳۳-الف- منطقه لولای تاقدیس چهل دختر در سازند کرج در پیمایش T<sub>4</sub> (دید به سمت جنوب باختری)؛ ب- منطقه لولای تاقدیس چهل دختر در پیمایش T<sub>5</sub> (دید به سمت شمال خاوری).

براساس استریوگرام‌های بدست آمده از داده‌های برداشت شده از پیمایش T<sub>4</sub> (پیوست ۱۱)، موقعیت خط لولای این تاقدیس ۱۱،۲۲۷ و سطح محوری آن ۷۹،۳۱۵ می‌باشد (شکل ۳-۳۴). زاویه بین یالی بدست آمده حدود ۱۰۰ درجه بوده که طبق تقسیم‌بندی چین‌ها بر اساس زاویه بین دو یال، در رده چین‌های باز (Open) و در طبقه‌بندی دیگر بر مبنای شیب سطح محوری و میل لولا، در رده چین‌های پرشیب با میل ملایم (Steeply inclined-gently plunging) قرار می‌گیرد.

داده‌های برداشت شده از پیمایش T<sub>5</sub> (پیوست ۱۱) و استریوگرام‌های بدست آمده از آن (شکل ۳-۳۵) نشان می‌دهند که خط لولا دارای موقعیت ۰۲،۱۹۸ و سطح محوری با موقعیت ۷۰،۲۸۷ می‌باشد. زاویه بین یال‌های این چین در این پیمایش ۹۷ درجه بدست آمده که این تاقدیس را در رده چین‌های باز (Open) قرار می‌دهد. بر اساس میل لولای چین و شیب سطح محوری نیز این تاقدیس در رده چین‌های پرشیب و تقریباً افقی (Steeply inclined-sub-horizontal) قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۳۴- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از تاق‌دیس چهل‌دختر در پیمایش  $T_4$  در سازند کرج  
الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت ۱۱،۲۲۷ ؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به منظور  
تعیین زاویه بین دو یال ( $10^\circ$ ) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت ۷۹،۳۱۵

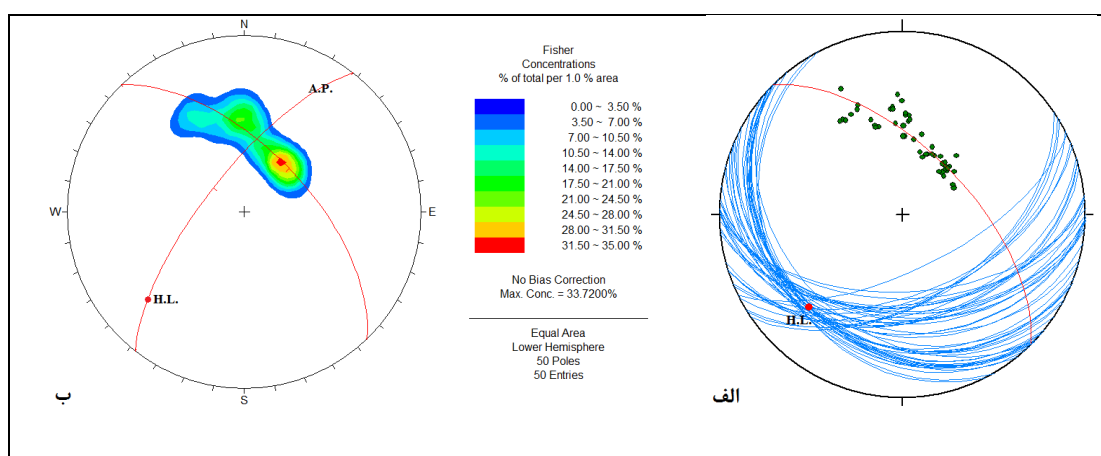


شکل ۳-۳۵- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از تاق‌دیس چهل‌دختر در پیمایش  $T_5$  در سازند کرج  
الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت ۰۲،۱۹۸ ؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به  
منظور تعیین زاویه بین دو یال ( $97^\circ$ ) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت ۷۰،۲۸۷

### ۳-۲-۴- ناودیس فجن

این ناودیس قبل از گردنه خوش‌ییلاق و در حاشیه شمالی جاده اصلی شاهرود- آزادشهر قرار دارد. این  
چین‌خوردگی در سازند تخریبی فجن مشاهده گردید و به همین دلیل ناودیس فجن نامیده می‌شود.  
ویژگی‌های هندسی این چین در پیمایش  $T_3$  مورد مطالعه قرار گرفته است.

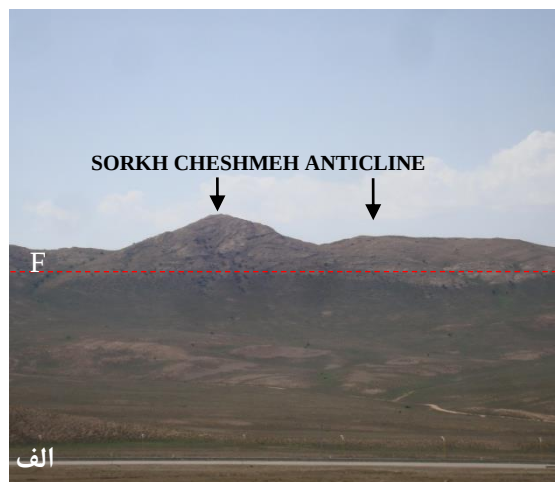
استریوگرام‌های مربوط به داده‌های برداشت شده از پیمایش  $T_3$  (پیوست ۱۰) در شکل ۳-۳۶ مشاهده می‌شود. استریوگرام‌های مربوط به این چین، نشان می‌دهند که موقعیت خط لولا ۲۹،۲۲۶ و سطح محوری ۷۲،۳۰۸ می‌باشد. زاویه بین یال‌های این چین ۱۴۰ درجه می‌باشد که بر مبنای زاویه بین یالی در رده چین‌های ملایم (Gentle) و بر مبنای شیب سطح محوری و میل لولا، در رده چین‌های پرشیب با میل ملایم (Steeply inclined-gently plunging) قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۳۶- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس فجن؛ الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت ۲۹،۲۲۶ ؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال (۱۴۰°) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت ۷۲،۳۰۸

### ۳-۲-۵- تاقدیس سرخ چشمه

این تاقدیس قبل از گردنه خوش‌یلاق و در بخش جنوبی جاده اصلی شاهرود- آزادشهر قرار دارد. شیل و آهک‌های تیره رنگ سازند مبارک، یال‌ها و هسته این تاقدیس را تشکیل می‌دهند (شکل ۳-۳۷). این چین‌خوردگی در سه پیمایش ( $T_6$ ،  $T_7$  و  $T_8$ ) مورد بررسی قرار گرفته که داده‌های برداشت شده از پیمایش‌های  $T_6$ ،  $T_7$  و  $T_8$  به ترتیب در پیوست ۱۲، ۱۳ و ۱۴ آورده شده است.



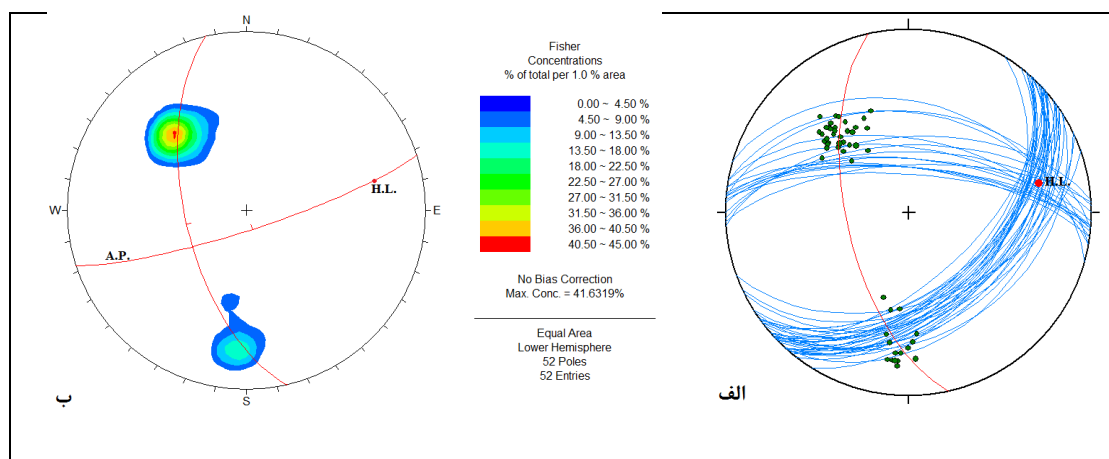
شکل ۳-۳۷-الف- تاقدیس سرخ‌چشمه در حاشیه جنوبی جاده اصلی شاهرود- آزادشهر و مرز گسله آن با واحدهای زیرین (دید به سمت جنوب)؛ ب- بخشی از منطقه لولای تاقدیس سرخ‌چشمه در واحدهای آهکی تیره رنگ سازند مبارک در پیمایش T<sub>6</sub> (دید به سمت شمال باختری)؛ پ- بخشی از چین‌خوردگی واحدهای شیلی و آهکی سازند مبارک در پیمایش T<sub>7</sub> (دید به سمت جنوب خاوری)؛ ت- تاقدیس بازسازی شده سرخ‌چشمه در پیمایش T<sub>8</sub> (دید به سمت شمال خاوری).

استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از پیمایش T<sub>6</sub> بیان‌کننده موقعیت ۲۸،۰۷۷ برای خط لولا و ۸۱،۱۶۲ برای سطح محوری و ۷۷ درجه برای زاویه بین یالی در این چین می‌باشند (شکل ۳-۳۸) که بر اساس زاویه بین دو یال، این تاقدیس را در رده چین‌های باز (Open) قرار می‌دهد.

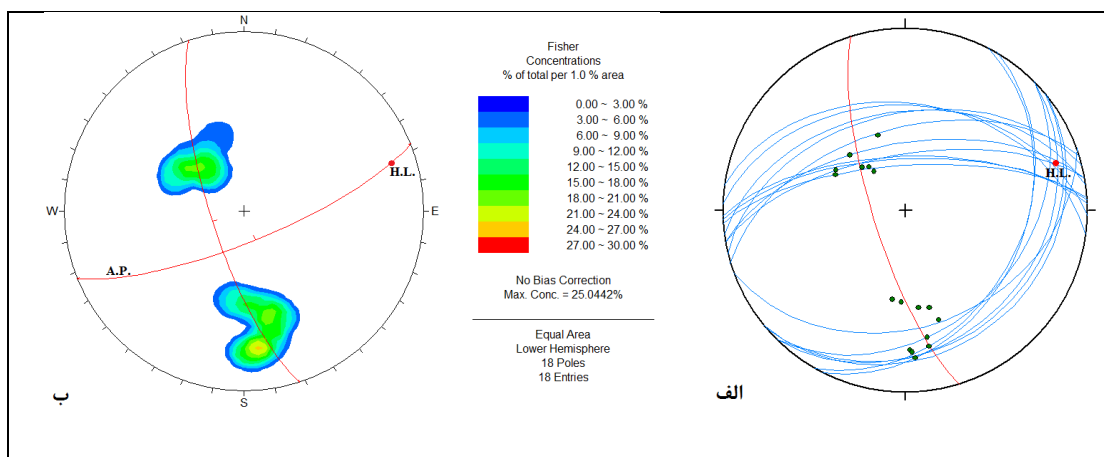
تاقدیس سرخ‌چشمه در این پیمایش، بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا، در رده چین‌های ایستاده با تمایل ملایم (Upright- gently plunging) قرار می‌گیرد.

بر اساس استریوگرام‌های بدست آمده از داده‌های پیمایش T<sub>7</sub>، خط لولای تاقدیس سرخ‌چشمه دارای موقعیت ۱۵،۰۷۲ و سطح محوری آن به موقعیت ۷۶،۱۵۸ می‌باشد (شکل ۳-۳۹). زاویه بین دو یال در این پیمایش ۹۵ درجه بدست آمده که این تاقدیس را در رده چین‌های باز (Open) قرار می‌دهد. این تاقدیس در رده‌بندی چین‌ها بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا نیز، در رده چین‌های پرشیب با تمایل ملایم (Steeply inclined-gently plunging) قرار می‌گیرد.

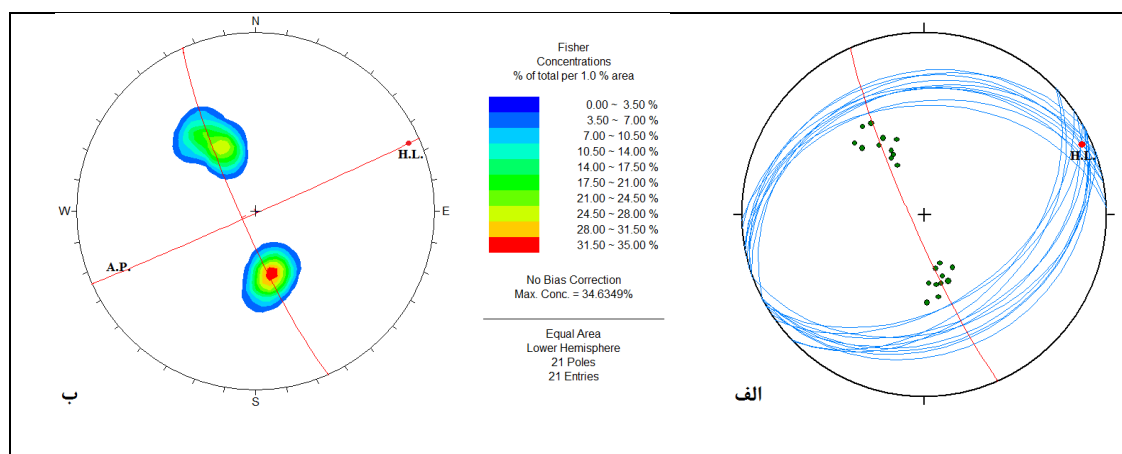
استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از پیمایش T<sub>8</sub> (شکل ۳-۴۰) نشان می‌دهند که خط لولای تاقدیس سرخ‌چشمه به موقعیت ۰۷،۰۶۶ و سطح محوری آن دارای موقعیت ۸۹،۱۵۶ می‌باشد. زاویه بین دو یال در این چین ۱۰۹ درجه بوده که این تاقدیس را در رده چین‌های باز (Open) قرار داده و بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا نیز در رده چین‌های ایستاده و تقریباً افقی (Upright-sub-horizontal) قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۳۸- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از تاقدیس سرخ‌چشمه طی پیمایش T<sub>6</sub> در سازند مبارک؛ الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت ۲۸،۰۷۷؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال ( $77^\circ$ ) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت ۸۱،۱۶۲



شکل ۳-۳۹- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از تاقدیس سرخ‌چشمه طی پیمایش  $T_7$  در سازند مبارک؛ الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت  $150.72^\circ$ ؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال ( $95^\circ$ ) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت  $76.158^\circ$



شکل ۳-۴۰- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از تاقدیس سرخ‌چشمه طی پیمایش  $T_8$  در سازند مبارک؛ الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت  $7.066^\circ$ ؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال ( $109^\circ$ ) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت  $89.156^\circ$

### ۳-۲-۶- چین خوردگی نهشته‌های میوسن

نهشته‌های میوسن در ناحیه چهل‌دختر شامل مارن‌های ژئوپس‌دار به همراه میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ سست و کنگلومرا می‌باشد که تحت تأثیر فرآیندهای زمین‌ساختی دچار چین‌خوردگی شده و ناودیس‌ها و تاقدیس‌هایی با مقیاس‌های کوچک و بزرگ تشکیل داده‌اند (شکل ۳-۴۱).

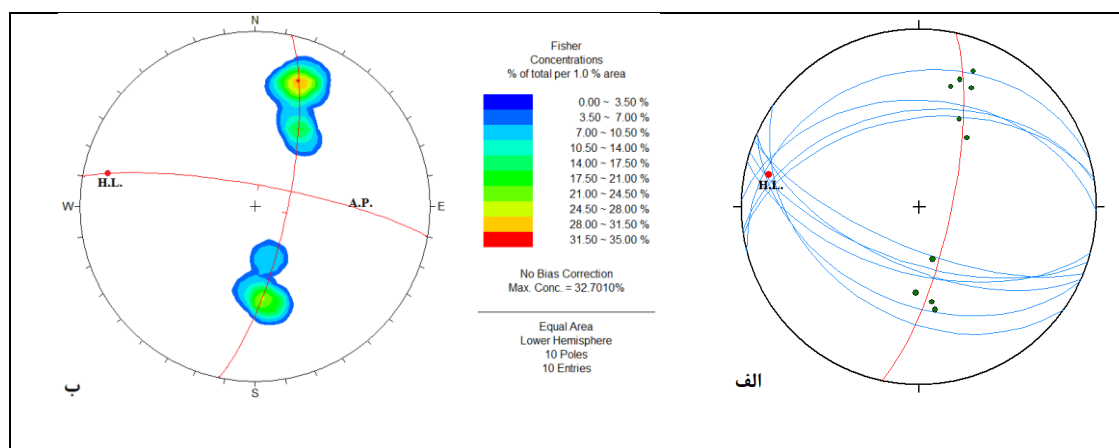


شکل ۳-۴۱- چین‌خوردگی‌های رسوبات میوسن؛ الف- ناودیس  $Fo_1$  در پیمایش  $T_9$  (دید به سمت باختر)؛ ب و پ- تاقدیس  $Fo_2$  در پیمایش  $T_9$  (دید به سمت خاور)؛ ت- تاقدیس  $Fo_3$  در پیمایش  $T_{10}$  (دید به سمت جنوب باختری)؛ ث- ناودیس  $Fo_4$  در پیمایش  $T_{10}$  (دید به سمت شمال خاوری)؛ ج- تاقدیس  $Fo_5$  در پیمایش  $T_{10}$  (دید به سمت باختر).

این نهشته‌ها در دو پیمایش ( $T_9$  و  $T_{10}$ ) مورد بررسی قرار گرفته که داده‌های برداشت شده از این پیمایش‌ها در پیوست ۱۵ آورده شده و در ادامه به تشریح ویژگی‌های هندسی چین‌های شناسایی شده در این پیمایش‌ها پرداخته می‌شود.

### ۳-۲-۶-۱- ناودیس $F_{01}$

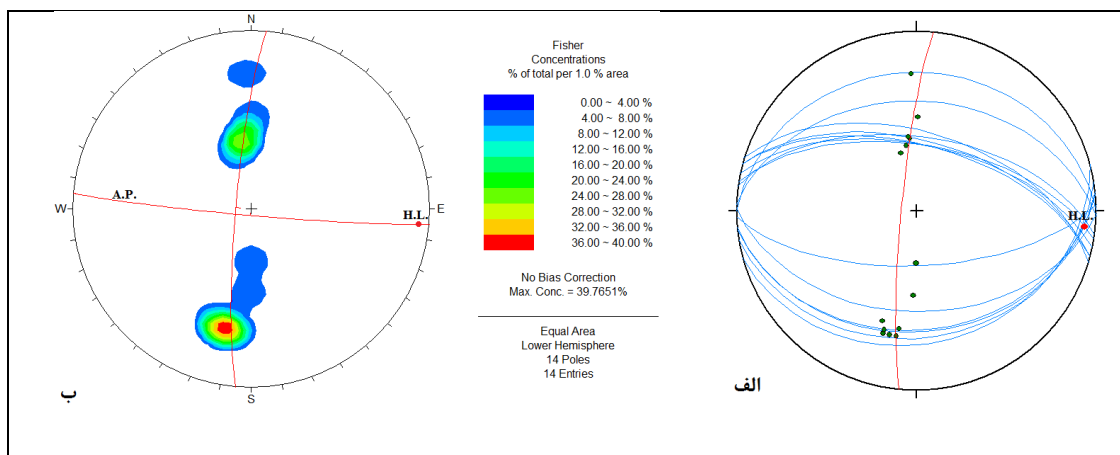
این ناودیس در حاشیه جاده شاهرود- آزادشهر و در نزدیکی پادگان چهل‌دختر شناسایی گردید. مارن-های میوسن و میان لایه‌های کنگلومرایی درون آن، یال‌ها و هسته این ناودیس را ساخته‌اند (شکل ۳-۴۱-الف). براساس استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده (پیوست ۱۵)، این چین یک ناودیس مایل با میل به سمت باختر می‌باشد که موقعیت خط لولای آن  $15,282^\circ$  و موقعیت سطح محوری آن  $80,010^\circ$  بدست آمده است (شکل ۳-۴۲). این ناودیس براساس زاویه بین یالی ( $95^\circ$ ) در رده چین‌های باز (Open) و براساس شیب سطح محوری و میل لولا، در رده چین‌های ایستاده با تمایل ملایم (Upright- gently plunging) قرار دارد.



شکل ۳-۴۲- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس  $F_{01}$ ؛ الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت  $15,282^\circ$  ؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال ( $95^\circ$ ) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت  $80,010^\circ$

۳-۲-۶-۲- Fo<sub>2</sub> تاقدیس

این چین یک تاقدیس مایل با روند خاوری-باختری، با میل به سمت خاور می‌باشد که در پیمایش T<sub>9</sub> و در واحدهای مارنی میوسن شناسایی گردید (شکل ۳-۴۱-ب و پ). بر اساس استریوگرام‌های بدست آمده از داده‌های برداشت شده (پیوست ۱۵)، خط لولای این تاقدیس با موقعیت ۰۷،۰۹۵ و سطح محوری آن دارای موقعیت ۸۷،۱۸۵ می‌باشد (شکل ۳-۴۳). این چین، براساس زاویه بین یالی که در حدود ۹۱ درجه می‌باشد، در رده چین‌های باز (Open) و براساس شیب سطح محوری و میل لولا در رده چین‌های ایستاده و تقریباً افقی (Upright-sub-horizontal) قرار می‌گیرد.

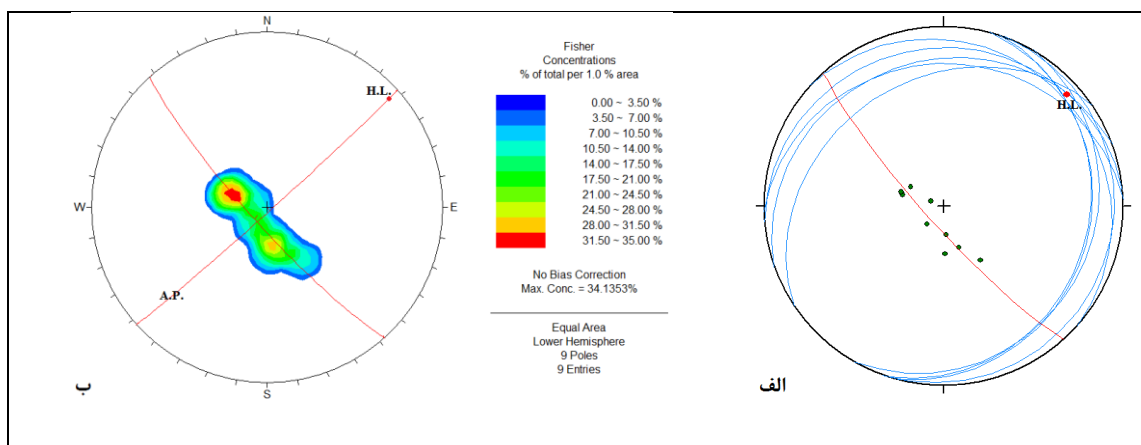


شکل ۳-۴۳- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از تاق‌دیس  $\text{FO}_2$ ؛ الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت  $07,095$ ؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال ( $91^\circ$ ) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت  $87,185$

**F03 ۳-۲-۶-۳ - تاقدیس**

این تاقدیس با روند شمال خاوری- جنوب باختری در پیمایش  $T_{10}$  شناسایی شد. مارن‌های میوسن و میان لایه‌های کنگلومرای درون آن، یال‌ها و هسته این ناودیس را ساخته‌اند (شکل ۳-۴۱-ت). استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از این چین (پیوست ۱۵) نشان می‌دهد که خط لولای این تاقدیس دارای موقعیت  $0.8, 0.48$  و موقعیت سطح محوری آن  $88, 138$  می‌باشد (شکل ۳-۳).

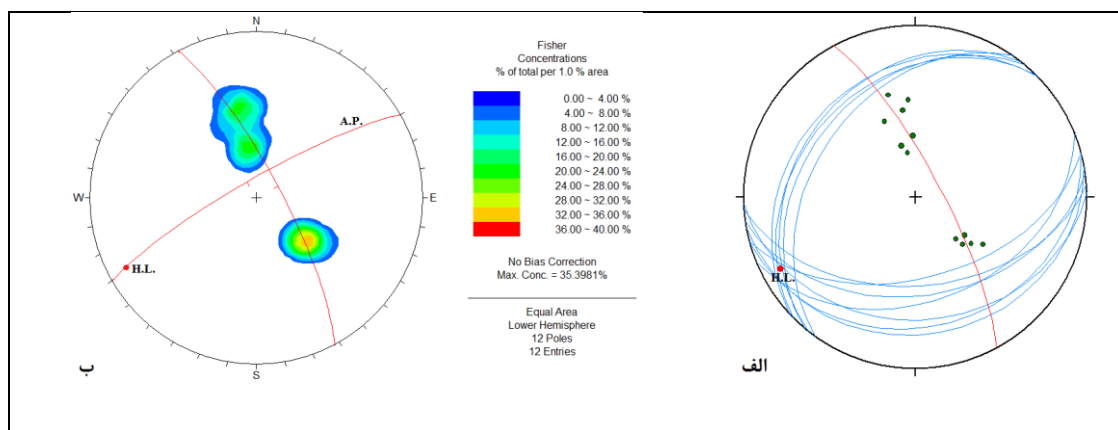
۴۴). این تاقدیس، براساس زاویه بین یالی که در حدود ۱۴۰ درجه می‌باشد، در رده چین‌های با فشردگی ملایم (Gentle) و براساس شیب سطح محوری و میل لولا در رده چین‌های ایستاده و تقریباً افقی (Upright-sub-horizontal) قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۴۴- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از تاقدیس  $F_{03}$ ؛ الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت  $08,048^\circ$ ؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال ( $140^\circ$ ) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت  $88,138^\circ$

### ۳-۲-۶-۴- ناودیس $F_{04}$

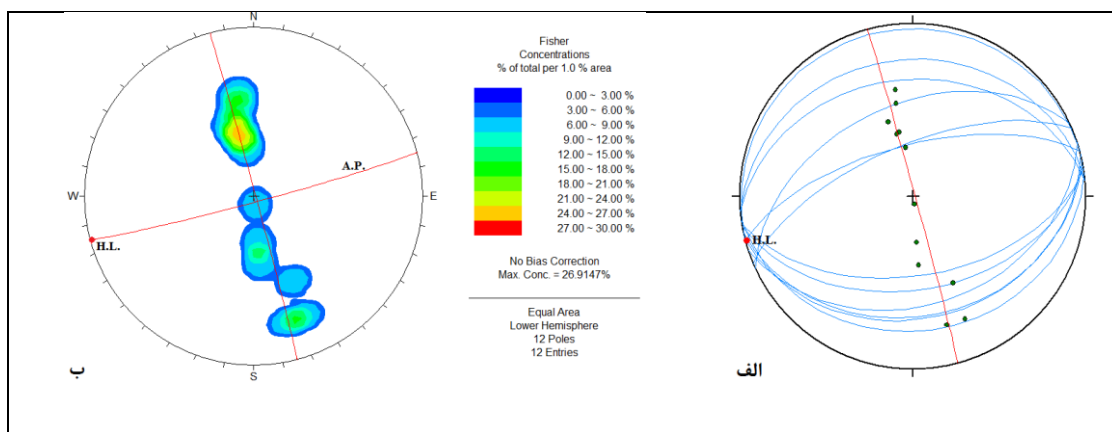
این ناودیس که در مارن‌های میوسن و میان لایه‌های کنگلومرایی درون آن مشاهده می‌شود، با روند شمال خاوری- جنوب باختری در پیمایش  $T_{10}$  شناسایی گردید (شکل ۳-۴۱-ث). استریوگرام‌های بدست آمده از داده‌های برداشت شده از این چین (پیوست ۱۵) نشان می‌دهد که خط لولا و سطح محوری این ناودیس به ترتیب دارای موقیت  $12,242^\circ$  و  $81,330^\circ$  می‌باشد (شکل ۳-۴۵). این ناودیس براساس زاویه بین یالی، که در حدود ۹۵ درجه می‌باشد، در رده چین‌های باز (Open) و بر مبنای شیب سطح محوری و میل لولا در رده چین‌های ایستاده با تمایل ملایم (Upright- gently) قرار دارد.



شکل ۳-۴۵- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس  $F0_4$ ؛ الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت  $12,242$ ؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال ( $95^\circ$ ) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت  $81,330$

### ۳-۲-۵- تاقدیس $F0_5$

این تاقدیس با روند کلی خاوری- باختری در پیمایش  $T_{10}$  و در مارن‌های میوسن و میان لایه‌های کنگلومرایی درون آن مورد شناسایی قرار گرفت (شکل ۳-۴۱-ج). داده‌های برداشت شده از این تاقدیس در پیوست ۱۵ و استریوگرام‌های حاصل از این داده‌ها در شکل ۳-۴۶ مشاهده می‌شود. خط لولای این چین به موقعیت  $01,255$  و سطح محوری آن دارای موقعیت  $87,165$  می‌باشد. این تاقدیس بر مبنای زاویه بین یالی، که حدود  $95$  درجه می‌باشد، در رده چین‌های باز (Open) و براساس شیب سطح محوری و میل لولا در رده چین‌های ایستاده و تقریباً افقی (Upright-sub-horizontal) قرار می‌گیرد.



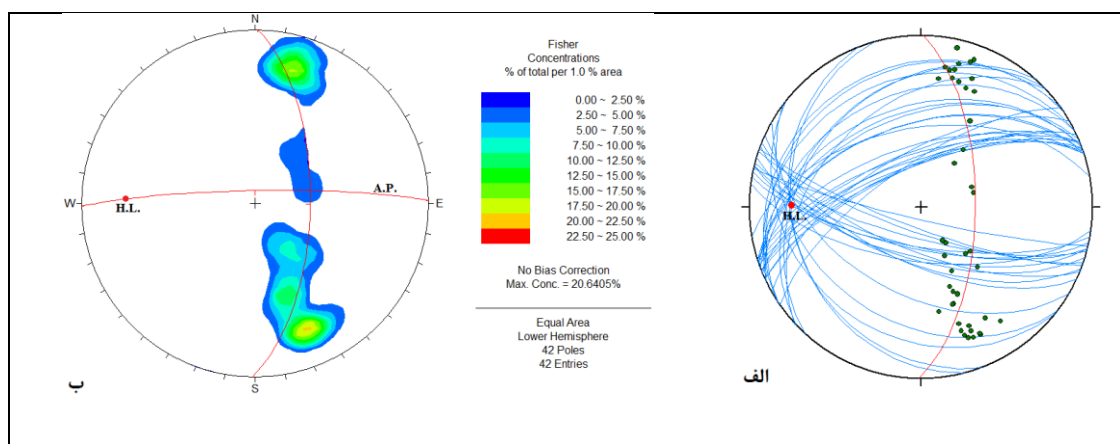
شکل ۳-۴۶- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از تق‌دیس  $F_{05}$ ؛ الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت  $01,255$ ؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال ( $95^\circ$ ) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت  $87,165$

### ۳-۲-۷- ناودیس گورخان

این ناودیس در شمال راهدارخانه گورخان و در واحدهای کنگلومرایی پلیوسن که هسته و یال‌های این چین را تشکیل می‌دهند، قرار گرفته است (شکل ۳-۴۷). براساس استریوگرام‌های بدست آمده از داده‌های برداشت شده (پیوست ۱۶)، می‌توان بیان داشت که این چین یک ناودیس مایل بوده که موقعیت خط لولای آن  $26,271$  و موقعیت سطح محوری آن  $84,359$  می‌باشد (شکل ۳-۴۸). زاویه بین دو یال در این ناودیس حدود  $65$  درجه بوده و بنابر تقسیم‌بندی چین‌ها براساس زاویه بین یالی، در رده چین‌های بسته (Close) و براساس شیب سطح محوری و میل لولا در رده چین‌های ایستاده با تمایل ملایم (Upright- gently plunging) قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۴۷- ناودیس گورخان در واحدهای کنگلومرای پلیوسن (دید به سمت شمال باختری)



شکل ۳-۴۸- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس گورخان طی پیمایش  $T_{11}$  در کنگلومرای پلیوسن؛ الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت ۲۶،۲۷۱ ؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال ( $65^\circ$ ) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت ۸۴،۳۵۹

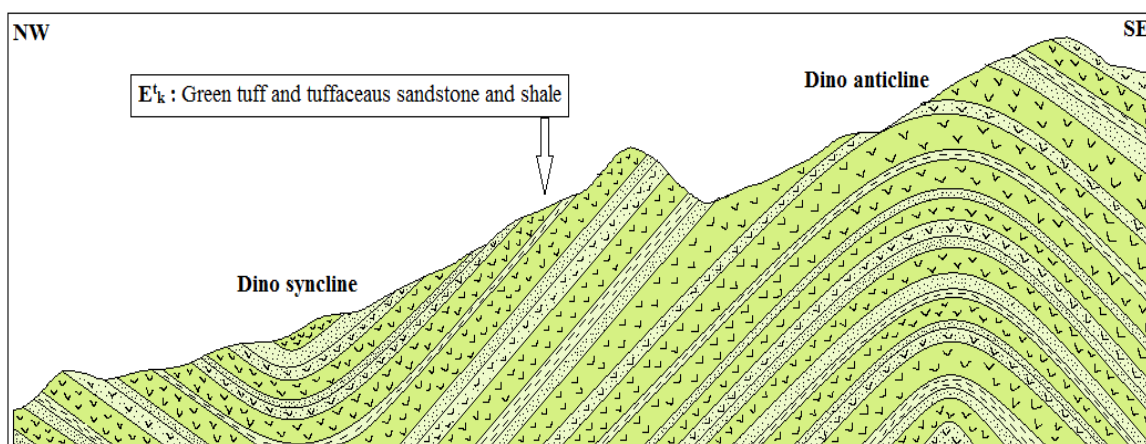
### ۳-۲-۸- ناودیس دینو

این ناودیس در منطقه زرین‌کمر و در حد فاصل جاده اصلی شاهرود- آزادشهر و سیاه‌کوه قرار دارد. واحدهای شیلی، ماسه‌سنگی و توف‌های سازند کرج، یال‌ها و هسته این ناودیس را تشکیل داده‌اند (شکل ۳-۴۹).

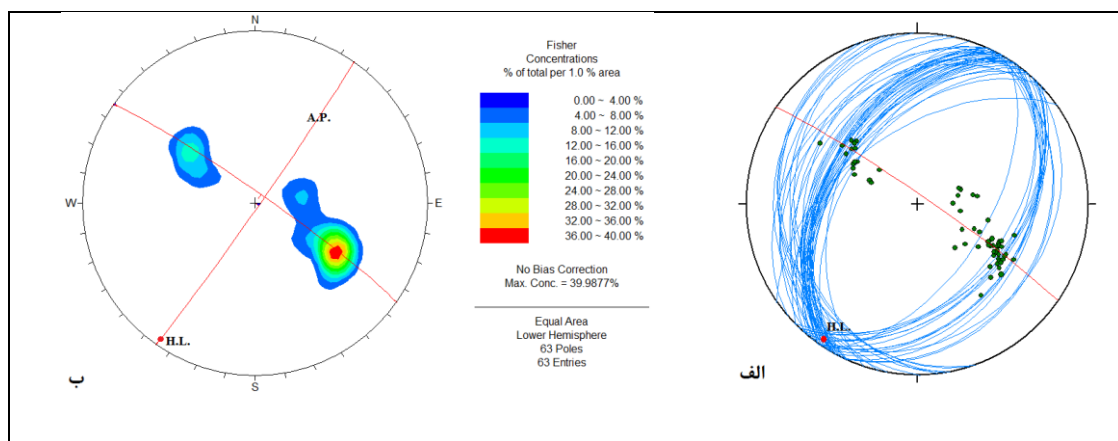
داده‌های برداشت شده از ناودیس دینو (پیمایش T<sub>12</sub>) در پیوست ۱۷ و استریوگرام‌های حاصل از آن در شکل ۳-۵۰ آورده شده است. خط لولای این ناودیس با موقعیت ۰۵،۲۱۵ و سطح محوری آن دارای موقعیت ۸۸،۱۲۵ می‌باشد. زاویه بین دو یال در این چین ۹۵ درجه می‌باشد که بر اساس زاویه بین یالی در رده چین‌های باز (Open) و بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا در رده چین‌های ایستاده و تقریباً افقی (Upright-sub-horizontal) قرار می‌گیرد.

### ۳-۲-۹- تاقدیس دینو

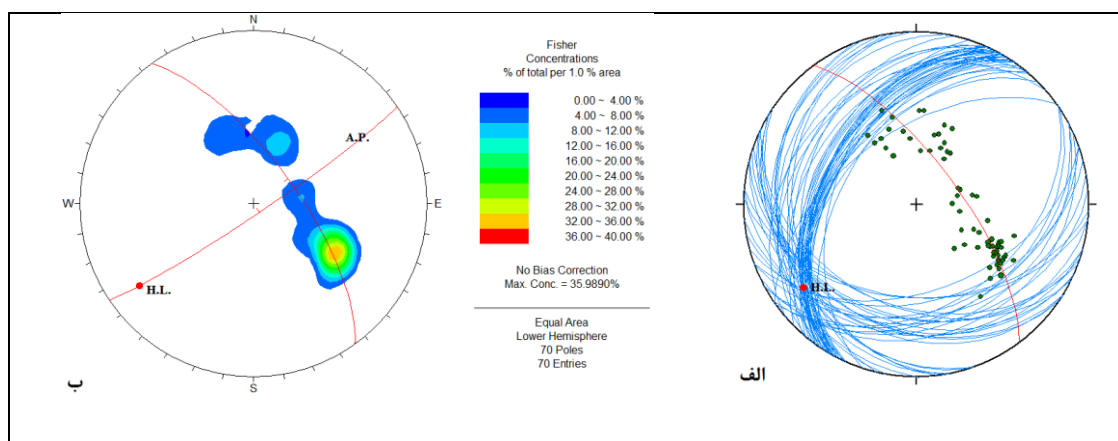
این تاقدیس در حد فاصل ناودیس دینو و سیاه‌کوه و در واحدهای شیلی، ماسه‌سنگی و توف‌های سازند کرج دیده می‌شود (شکل ۳-۴۹). استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از این تاقدیس (پیوست ۱۸) نشان می‌دهند که خط لولای این چین با موقعیت ۲۰،۲۳۴ و سطح محوری آن دارای موقعیت ۸۵،۱۴۶ می‌باشد (شکل ۳-۵۱). زاویه بین یال‌های این چین ۱۱۰ درجه بدست آمده که در رده‌بندی چین‌ها بر اساس زاویه بین یالی در رده چین‌های باز (Open) و در رده‌بندی دیگر، بر مبنای شیب سطح محوری و میل لولا، در رده چین‌های ایستاده با تمایل ملایم (Upright-gently plunging) قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۴۹- مدل نمادین از ناودیس و تاقدیس دینو در واحدهای شیلی، ماسه‌سنگی و توف‌های سازند کرج



شکل ۳-۵۰- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از ناودیس دینو؛ الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت  $05.215^\circ$ ؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال ( $95^\circ$ ) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت  $88.125^\circ$



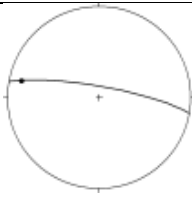
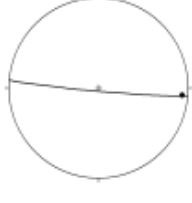
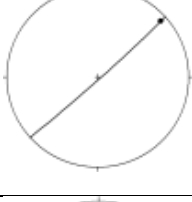
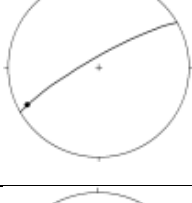
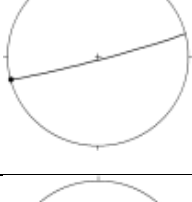
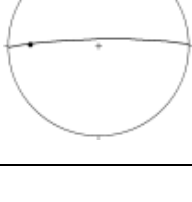
شکل ۳-۵۱- استریوگرام‌های حاصل از داده‌های برداشت شده از تاق‌دیس دینو؛ الف- نمودار  $\beta$  و نمودار  $\pi$  و تعیین خط لولا (H.L.) با موقعیت  $20.234^\circ$ ؛ ب- نمودار هم‌تراز یال‌های چین به منظور تعیین زاویه بین دو یال ( $110^\circ$ ) و تعیین سطح محوری (A.P.) با موقعیت  $85.146^\circ$

در جدول ۳-۱، خلاصه‌ای از مشخصات هندسی چین‌های بررسی شده در منطقه مورد مطالعه، به تفکیک سازندها، ارائه شده است.

جدول ۳-۱- خلاصه ویژگی‌های هندسی چین‌های منطقه مورد مطالعه

| نام چین                          | سازند | سن       | زاویه بین دو یال | خط لولا | سطح محوری | استریوگرام |
|----------------------------------|-------|----------|------------------|---------|-----------|------------|
| ناودیس چهل دختر<br>(در دو سازند) | کرج   | ائوسن    | ۸۵°              | ۴۴، ۲۲۴ | ۸۰، ۳۰۲   |            |
|                                  | فجن   | پالئوسن  | ۱۲۳°             | ۲۸، ۲۲۰ | ۸۷، ۱۳۲   |            |
| تاقدیس چهل دختر                  | فجن   | پالئوسن  | ۱۲۶°             | ۱۷، ۲۰۵ | ۷۶، ۱۲۰   |            |
| تاقدیس چهل دختر                  | کرج   | ائوسن    | ۱۰۰°             | ۱۱، ۲۲۷ | ۷۹، ۳۱۵   |            |
|                                  |       |          | ۹۷°              | ۰۲، ۱۹۸ | ۷۰، ۲۸۷   |            |
| ناودیس فجن                       | فجن   | پالئوسن  | ۱۴۰°             | ۲۹، ۲۲۶ | ۷۲، ۳۰۸   |            |
| تاقدیس سرخ چشمه                  | مبارک | کربونیفر | ۷۷°              | ۲۸، ۰۷۷ | ۸۱، ۱۶۲   |            |
|                                  |       |          | ۹۵°              | ۱۵، ۰۷۲ | ۷۶، ۱۵۸   |            |
|                                  |       |          | ۱۰۹°             | ۰۷، ۰۶۶ | ۸۹، ۱۵۶   |            |
| ناودیس دینو                      | کرج   | ائوسن    | ۹۵°              | ۰۵، ۲۱۵ | ۸۸، ۱۲۵   |            |
| تاقدیس دینو                      | کرج   | ائوسن    | ۱۱۰°             | ۲۰، ۲۳۴ | ۸۵، ۱۴۶   |            |

ادامه جدول ۱-۳

| نام چین                      | سازند | سن     | زاویه بین دو یال | خط لولا | سطح محوری | استریوگرام                                                                          |
|------------------------------|-------|--------|------------------|---------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| ناودیس <b>Fo<sub>1</sub></b> | -     | میوسن  | ۹۵°              | ۱۵۰.۲۸۲ | ۸۰.۰۱۰    |    |
| تاقدیس <b>Fo<sub>2</sub></b> | -     | میوسن  | ۹۱°              | ۰۷.۰۹۵  | ۸۷.۱۸۵    |    |
| تاقدیس <b>Fo<sub>3</sub></b> | -     | میوسن  | ۱۴۰°             | ۰۸.۰۴۸  | ۸۸.۱۳۸    |   |
| ناودیس <b>Fo<sub>4</sub></b> | -     | میوسن  | ۹۵°              | ۱۲.۲۴۲  | ۸۱.۳۳۰    |  |
| تاقدیس <b>Fo<sub>5</sub></b> | -     | میوسن  | ۹۵°              | ۰۱.۲۵۵  | ۸۷.۱۶۵    |  |
| ناودیس گورخان                | -     | پلیوسن | ۶۵°              | ۲۶.۲۷۱  | ۸۴.۳۵۹    |  |

## فصل چهارم

### ریخت زمین ساخت

کالر و پینتر (Keller & pinter 1996) در تعریفی، ریخت زمین ساخت (Morphotectonic) را «علم مطالعه شکل‌ها و سیمای ایجاد شده در سطح زمین، بر اساس فرآیندهای زمین ساختی» بیان کرده‌اند. در تعریفی دیگر، موريساوا و هاك (Morisawa & Hack 1989) این طور بیان می‌کنند که ریخت زمین ساخت به عنوان مشخص کننده رابطه بین زمین ساخت و شکل‌های سطحی می‌باشد و با داشتن این ارتباط می‌توان حوادث زمین ساختی را از طریق مطالعه شکل‌ها و ناهمواری‌های سطح زمین تعبیر کرد.

عناصر زمین ساختی (گسل‌ها و چین‌ها) تا حد زیادی سیمای زمین ریختی منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده‌اند. در بخش‌های شمالی و شمال خاوری منطقه، راندگی‌ها و چین‌ها، از عوامل اصلی ایجاد اشکال سطحی و ارتفاعات بوده و زمین ریخت بخش‌های پست میانی و جنوبی، تحت تأثیر عملکرد گسل‌های معکوس با مؤلفه چیره امتداد لغز است. در این میان شکل‌گیری پرتگاه‌های گسلی در امتداد اکثر گسل‌های منطقه از مهمترین مناظر ریخت زمین ساختی می‌باشد.

ریخت‌شناسی آبراهه‌ها نیز متأثر از عملکرد گسل‌ها و فعالیت زمین ساختی منطقه بوده است که در ادامه با بکارگیری شاخص‌های ریخت زمین ساختی، چگونگی این تأثیر ارزیابی خواهد شد.

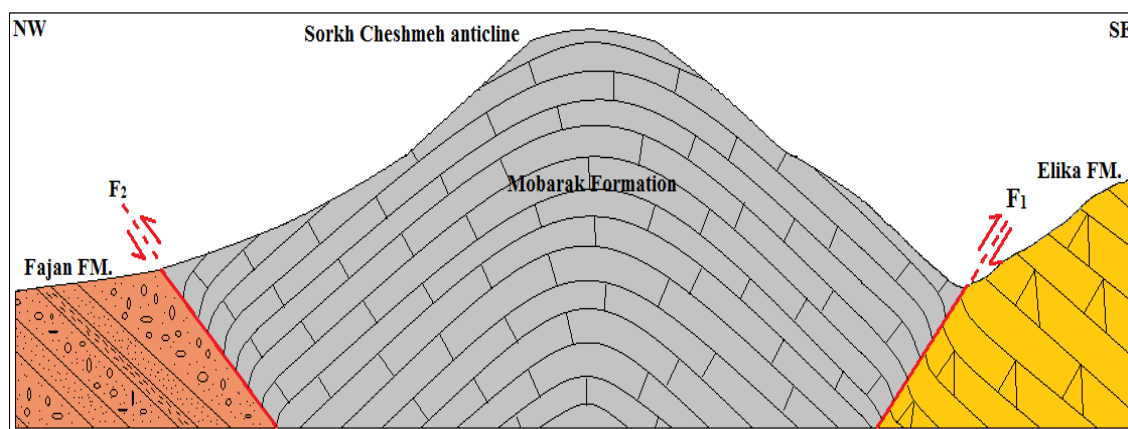
منطقه مورد بررسی، به لحاظ زمین ریختی، قابل تفکیک به بخش‌های مرتفع شمالی و بخش‌های نسبتاً پست میانی و جنوبی می‌باشد. در این فصل به بررسی تأثیر فرآیندهای زمین ساختی بر روی شکل و سیمای ایجاد شده در سطح زمین پرداخته می‌شود.

#### ۴-۱- ریخت زمین ساخت بخش‌های شمالی

بخش‌های شمالی ناحیه مورد مطالعه را ارتفاعاتی تشکیل می‌دهند که چین خوردگی واحدهای رسوبی و گسل‌های معکوس (فشاری)، عامل اصلی شکل‌گیری این ارتفاعات می‌باشد. گسل‌های ابر و کلاته بن نیز در شکل‌گیری سیمای زمین ریختی بخش‌های شمالی منطقه مورد بررسی نقش بسزایی دارند.

#### ۴-۱-۱- چین خوردگی واحدهای رسوبی

در شمال خاوری ناحیه مورد مطالعه، گسل‌های معکوس و چین خوردگی واحدهای سنگی، از موارد اصلی شکل دهنده مناظر زمین ریختی می‌باشند. این ساختارها سبب شکل‌گیری ارتفاعات نسبتاً بلند در این بخش می‌باشند که از آن جمله می‌توان به ناودیس و تاقدیس چهل دختر و تاقدیس سرخ‌چشمه اشاره کرد. از این میان تاقدیس سرخ‌چشمه که در واحدهای آهکی سازند مبارک (کربونیفر زیرین) دیده می‌شود، بلندترین ارتفاعات این بخش را تشکیل می‌دهد. گسل  $F_1$  در حاشیه جنوبی این تاقدیس با شیب به سمت شمال و گسل  $F_2$  با شیب به سمت جنوب که مرز شمالی این تاقدیس را تشکیل می‌دهد، با فعالیت خود عاملی در تشدید بالآآمدگی و مرتفع شدن این ناحیه می‌باشند (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱- برش ساختاری نمادین از تاقدیس سرخ‌چشمه

در بخش‌های شمالی منطقه، واحدهای کنگلومرای پلیوسن دیده می‌شوند که این نهشته‌ها پس از رسوبگذاری در این زمان، طی فاز کوهزایی پلیوسن - پلیستوسن (پاسادنین)، دچار چین خوردگی شده و ارتفاعات نسبتاً بلند نواحی شمالی را تشکیل می‌دهند (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲- واحدهای کنگلومرای پلیوسن که طی فاز کوهزایی پلیوسن- پلئیسٹوسن (پاسادنین) چین خورده و ارتفاعات شمالی منطقه را ساخته‌اند (الف: دید به سمت شمال باختری؛ ب: دید به سمت شمال خاوری)

#### ۴-۱-۲- دره‌های گسلی

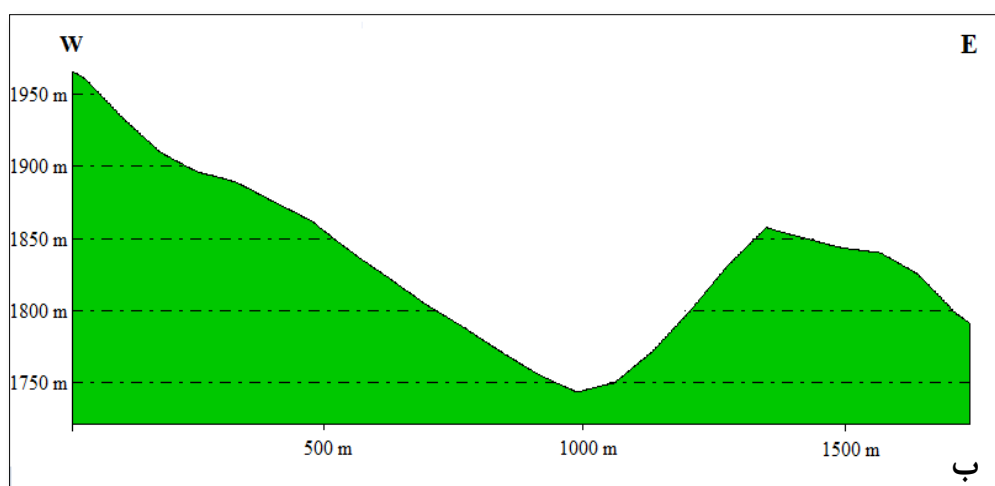
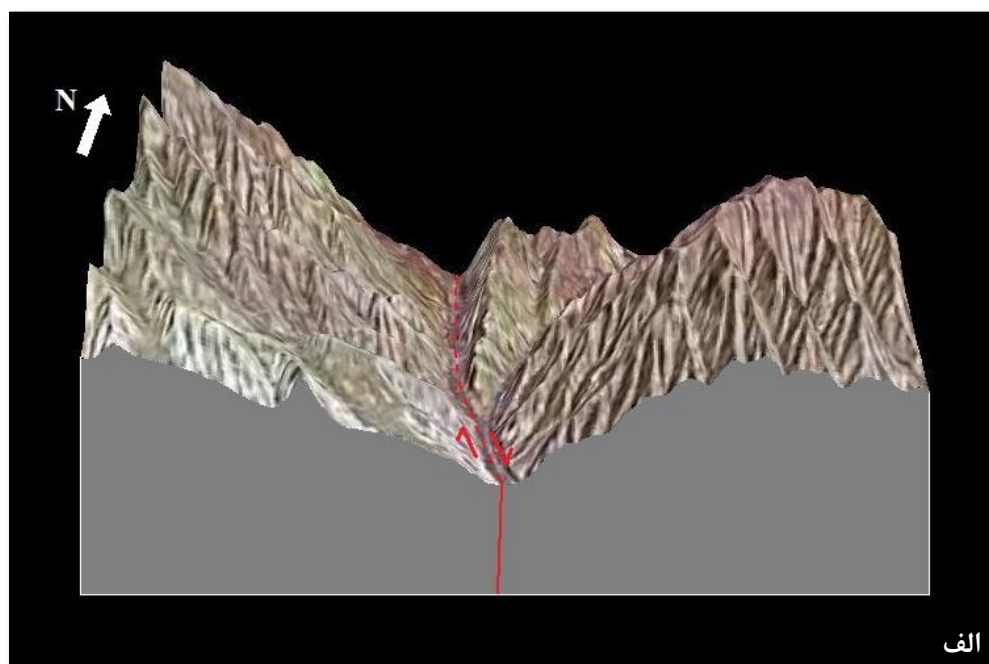
در برخی موارد گسل‌ها با قطع کردن واحدهای رسوبی سخت و با توجه به خردشدگی و هوازدگی عمیقی که ایجاد می‌کنند، مجاری عبور آب را فراهم کرده که به تدریج به دره‌هایی در مسیر رودخانه‌ها تبدیل می‌شوند.

گسل  $F_1$  در شمال خاوری منطقه مورد مطالعه با روند شمال خاوری- جنوب باختری، سبب رانده شدن سازند مبارک بر روی سازند الیکا شده و دره باریکی را بین این دو سازند تشکیل داده است (شکل ۴-۳-الف). این آبراهه در ادامه به دره‌ای که توسط گسل  $F_2$  در سازند کرج ایجاد شده، پیوسته و به سمت باختر ادامه می‌یابد (شکل ۴-۳-ب).

در بخش شمالی منطقه، گسل گورخان با عملکرد خود نهشته‌های نئوژن را قطع کرده و دره باریکی با راستای شمالی- جنوبی ایجاد کرده است (شکل ۴-۳-پ). گسل چهل دختر نیز واحدهای کنگلومرای پلیوسن را به صورت عرضی قطع کرده و بستر مناسبی را برای رودخانه خنج فراهم آورده که در نتیجه فرسایش صورت گرفته بر اثر جریان یافتن این رودخانه، دره نسبتاً عریضی در مسیر آن ایجاد شده است (شکل ۴-۳-ت و شکل ۴-۴).



شکل ۳-۴-الف- دره گسلی ایجاد شده توسط گسل  $F_1$  و قرارگیری سازندهای الیکا و مبارک در کنار هم (دید به سمت شمال خاوری)؛ ب-ایجاد دره‌ای نسبتاً باریک توسط انتهای جنوب باختری گسل  $F_2$  در واحدهای سازند کرج (دید به سمت شمال خاوری)؛ پ- گسل گورخان که آبراهه باریکی را در مسیر خود ایجاد کرده است (دید به سمت جنوب)؛ ت- مسیر رودخانه خبیج که بر اثر قطع شدگی واحدهای کنگلومرای پلیوسن توسط گسل چهل دختر ایجاد گشته است (دید به سمت شمال باختری).

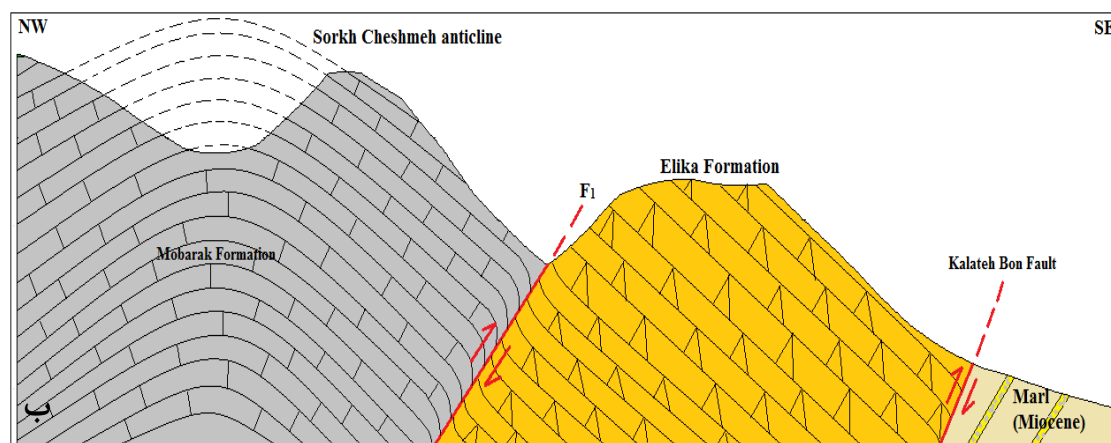
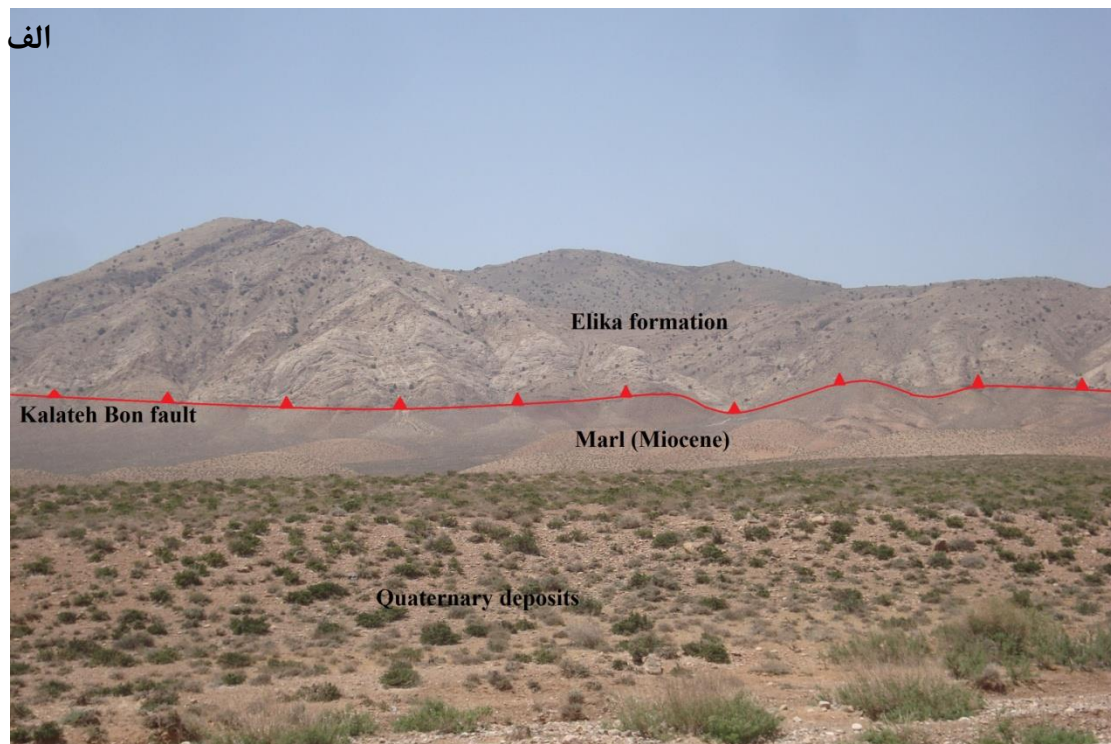


شکل ۴-۴-الف- تصویر سه بعدی از دره رودخانه خبیج که توسط گسل چهل دختر ایجاد گشته است (تصویر سه بعدی از ترکیب داده‌های SRTM و تصویر ماهواره‌ای Landsat)؛ ب- نیمرخ توپوگرافی از مسیر رودخانه خبیج (ضریب اغراق در مقیاس قائم اعمال شده است).

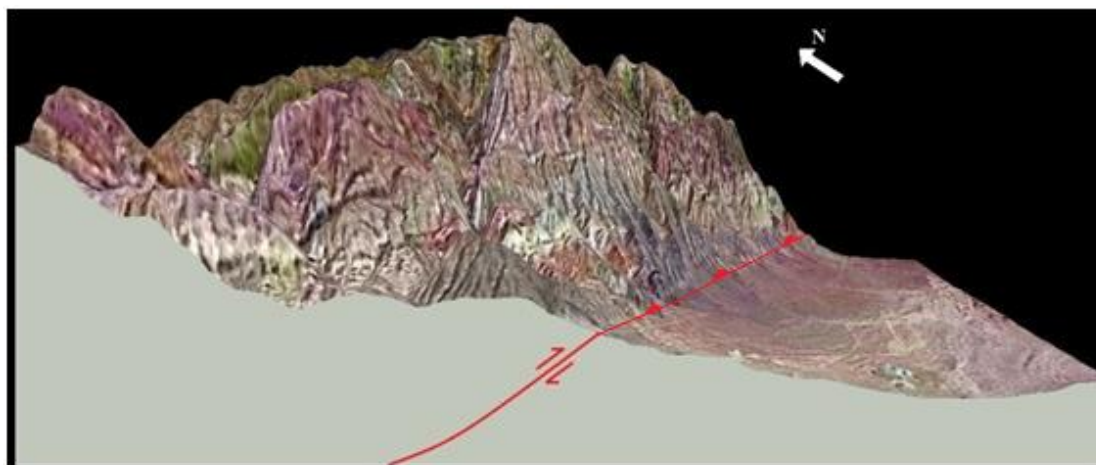
#### ۴-۱-۳- سیمای زمین ریختی گسل کلاته بن

در بخش شمال خاوری ناحیه مورد مطالعه، گسل کلاته بن با راستای شمال خاوری- جنوب باختری تا خاوری- باختری، با فعالیت معکوس خود سبب رانده شدن واحدهای سازند الیکا (تریاس زیرین- میانی) بر روی مارن‌های میوسن و رسوبات کواترنری گشته (شکل ۴-۵) و به این ترتیب در

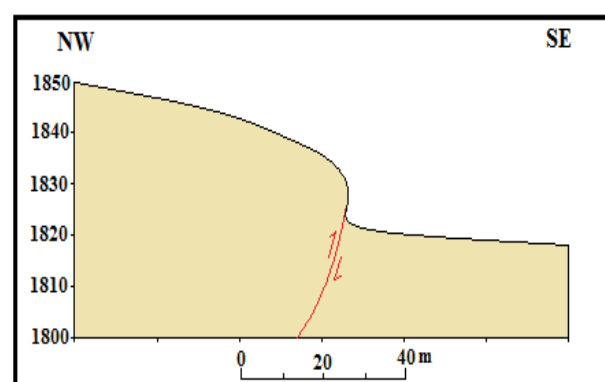
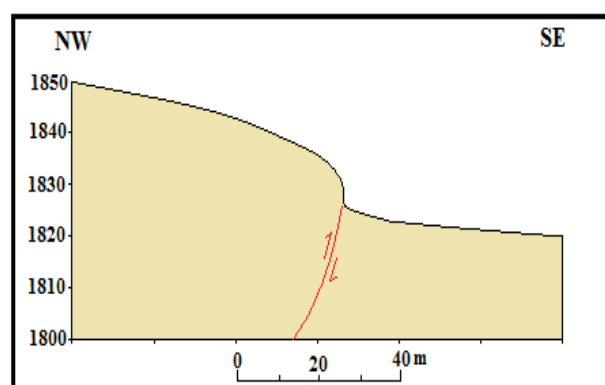
بخش‌هایی، مرز ارتفاعات شمالی خود با بخش‌های پست جنوبی را تشکیل می‌دهد (شکل ۴-۶). این گسل در مرز بین مارن‌های میوسن و سازند الیکا، سبب ایجاد پرتگاه‌هایی با شیب نزدیک به قائم و با ارتفاع مختلف شده است (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۵-الف- رانده شدن سازند الیکا بر روی نهشته‌های نتوژن (دید به سمت شمال)؛ ب- برش نمادین با راستای  $F_1$  شمال باختری- جنوب خاوری از گسل کلاته بن و گسل



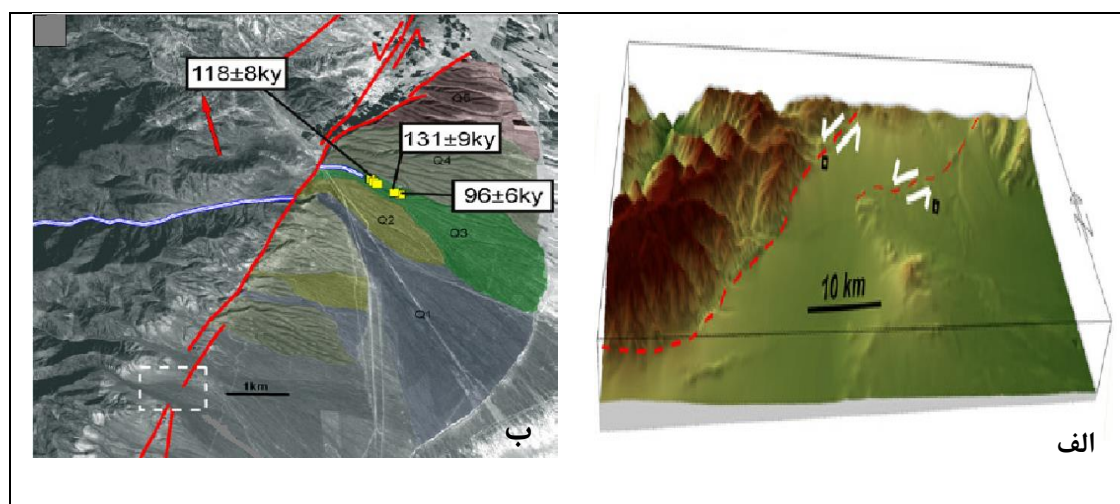
شکل ۴-۶- حرکت رو به بالای فرادیواره گسل کلاته بن که باعث افزایش ارتفاع سازندهای الیکا، دورود و مبارک در مجاورت نهشته‌های کواترنری گشته و مرز بین بخش‌های مرتفع شمالی با نواحی پست جنوبی را تشکیل داده است (تصویر سه بعدی از ترکیب داده‌های SRTM و تصویر ماهواره‌ای Landsat)



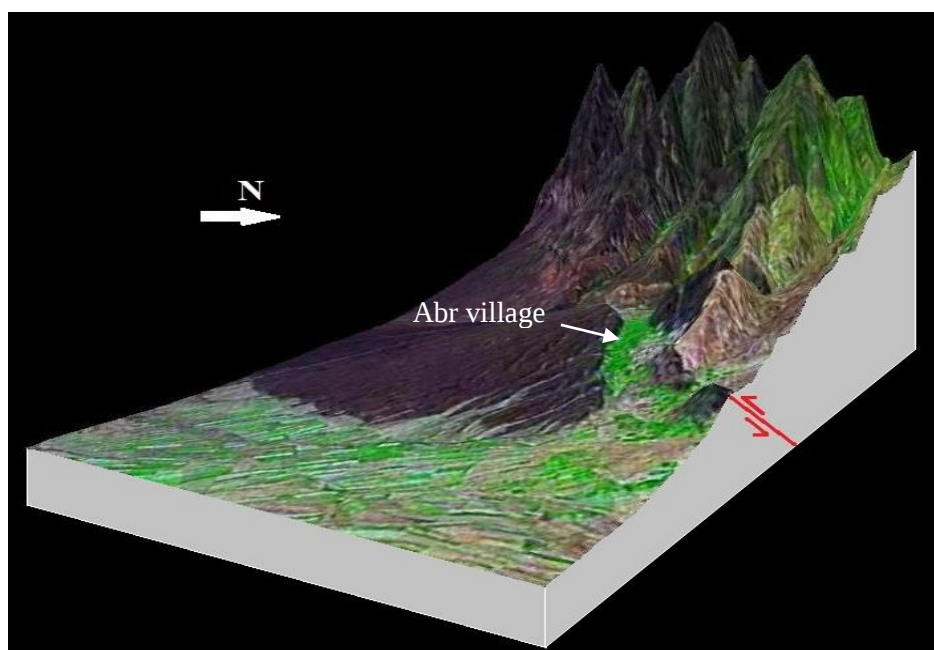
شکل ۴-۷- پرتگاه‌های ایجاد شده توسط گسل کلاته بن با ارتفاع حدود ۶ و ۱۰ متر، به همراه مقطع عرضی ترسیم شده از آن (الف: دید به سمت شمال خاوری؛ ب- دید به سمت شمال باختری).

#### ۴-۱-۴- سیمای زمین ریختی گسل ابر

در قسمت شمال باختری منطقه، گسل ابر با راستای شمال خاوری- جنوب باختری مرز مشخصی را بین نواحی مرتفع کوهستانی در شمال و حوضه‌های کواترنری در جنوب ایجاد کرده است (شکل ۴-۸-الف). در ضمن سیمای زمین ریختی این بخش، توسط جابجایی چپ‌بر عوارضی مانند مخروط افکنه‌ها و مسیر رودخانه‌ها توسط گسل ابر، تحت تأثیر قرار گرفته است (شکل ۴-۸-ب). عملکرد معکوس این گسل سبب رانده شدن واحدهای رسوبی قدیمی در فرادیواره (واحدهای پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک) بر روی رسوبات کواترنری در بخش‌های پست جنوبی شده است (شکل ۴-۹).



شکل ۴-۸-الف- تصویر سه بعدی بخشی از ناحیه مورد مطالعه که نشان می‌دهد گسل ابر مرز مشخصی بین نواحی کوهستانی و حوضه‌های کواترنری ایجاد کرده است؛ ب- مخروط افکنه‌های کواترنری در طول گسل ابر؛ Q<sub>1</sub> تا Q<sub>5</sub> به ترتیب مخروط افکنه‌های جوان تا قدیمی‌تر را نشان می‌دهند؛ جابجایی مشخصی بین کانال‌های تغذیه‌کننده مخروط افکنه‌ها و جایگاه فعلی محور آنها دیده می‌شود (برگرفته از Javidfakhr et al 2011a).



شکل ۴-۹- گسل ابر در مرز بین نواحی مرتفع کوهستانی و حوضه‌های کواترنری و رانده شدن واحدهای رسوبی فرادیواره بر روی رسوبات کواترنری (تصویر سه بعدی از ترکیب داده‌های SRTM و تصویر ماهواره‌ای Landsat)

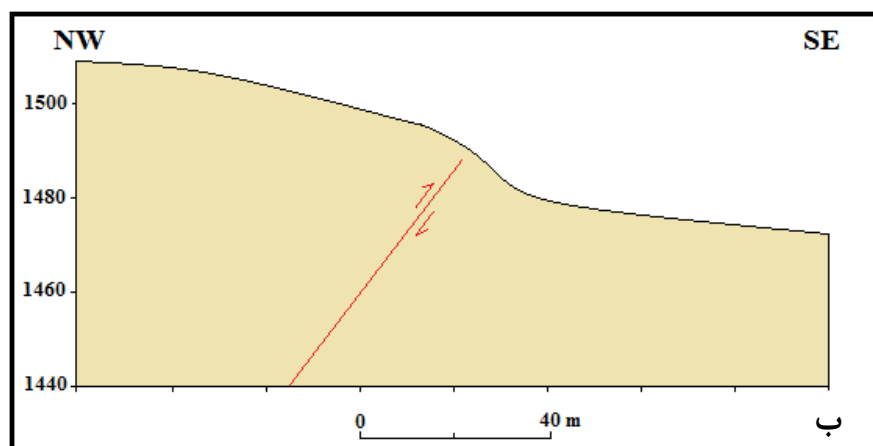
#### ۴-۲- ریخت زمین ساخت بخش‌های میانی و جنوبی

به سمت نواحی میانی و جنوبی منطقه مورد مطالعه، نهشته‌های مارنی میوسن و رسوبات کواترنری، بخش‌های نسبتاً مسطح و پست را تشکیل می‌دهند. سیمای زمین‌ریختی این مناطق به طور عمده متأثر از حضور و عملکرد گسل‌های میقان و خیج می‌باشد.

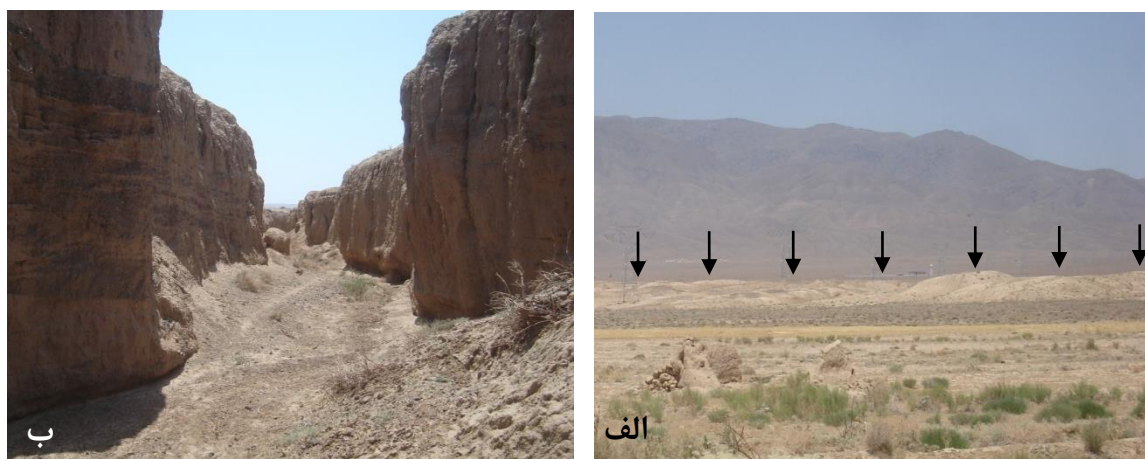
##### ۴-۲-۱- سیمای زمین‌ریختی گسل میقان

بر اثر عملکرد شیب لغز گسل میقان، بلوک شمال باختری این گسل بالا آمده و در طول این گسل اختلاف ارتفاع مشخصی بین بلوک‌های شمال باختری و جنوب خاوری ایجاد شده و پرتگاه‌های گسلی با ارتفاعات مختلف شکل گرفته است که ارتفاع این پرتگاه‌ها در اطراف روستای قلعه نوخرقان به ۱۰ متر نیز می‌رسد (شکل ۴-۱۰). بر اثر این جابجایی رخ داده، مارن‌های میوسن در طول این گسل

رخنمون یافته و تپه‌های مارنی سفید رنگ و نه چندان مرتفعی را به صورت ممتد ایجاد کرده (شکل ۱۱-۴ الف) کهرخنمون و حضور رسوبات سست مارنی و فرسایش آنها باعث کاهش شیب پرتگاه‌ها بر روی این گسل گشته است. به واسطهٔ بالآمدگی نواحی شمال باختری، فرسایش بستر آبراهه‌ها در بخش شمالی (جهت رسیدن به تعادل با بخش جنوبی) تشدید یافته و ویژگی‌های زمین‌ریختی این نواحی را تحت تأثیر قرار داده است (شکل ۱۱-۴ ب).



شکل ۱۰-۴- پرتگاه گسلی ایجاد شده بر روی گسل میقان با ارتفاع حدود ۱۰ متر و مقطع عرضی ترسیم شده از آن (دید به سمت شمال باختری)



شکل ۴-۱۱- الف- تپه‌های مارنی ایجاد شده بر روی گسل میقان (دید به سمت شمال باختری)؛ ب- فرسایش بستر آبراهه‌ها در نواحی شمالی گسل میقان (دید به سمت جنوب)

#### ۴-۲-۲- سیمای زمین‌ریختی گسل خیج

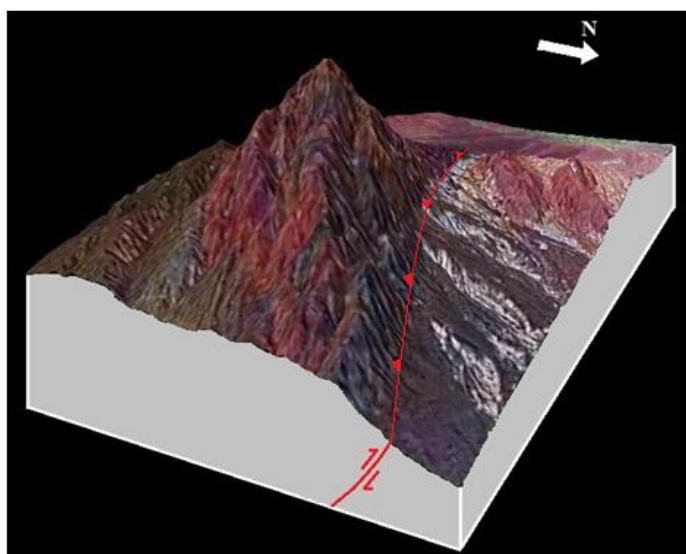
بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه، به غیر از محدودهٔ زرین‌کمر تا سیاه‌کوه، نواحی نسبتاً پستی را شامل می‌شود که مهمترین عامل ساختاری تأثیرگذار بر ریخت‌شناسی این بخش، گسل خیج می‌باشد. این گسل در حاشیهٔ شمالی سیاه‌کوه، با عملکرد معکوس خود در بالاآمدگی و افزایش ارتفاع سیاه‌کوه در بلوک جنوب خاوری نقش داشته است (شکل ۴-۱۲). پرتگاه‌های گسلی، شاخص‌ترین پدیدهٔ زمین‌ریختی ایجاد شده بر روی گسل خیج می‌باشد.

در قطعهٔ سیاه‌کوه، این پرتگاه‌ها با شیب تقریباً قائم، با ارتفاع‌های مختلف دیده می‌شوند که فعالیت معکوس گسل خیج در این بخش، سبب ایجاد این مناظر زمین‌ریختی گشته است (شکل ۴-۱۳).

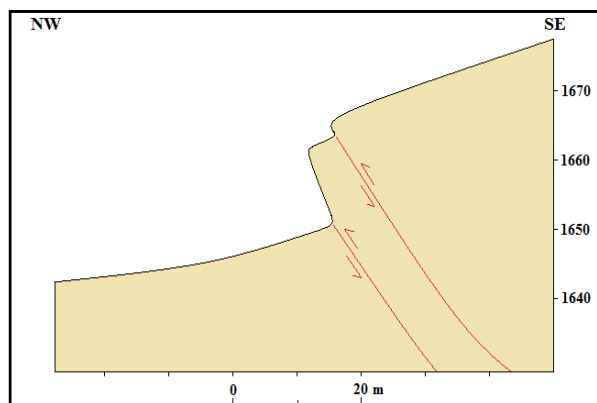
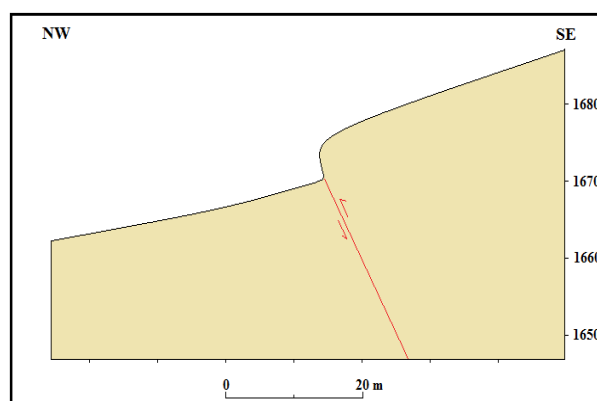
گسل خیج در بخش خاوری منطقه مورد مطالعه، سبب رانده شدن واحدهای آهکی سازند لار بر روی رسوبات کواترنری گشته و ارتفاعات خاوری ناحیه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد (شکل ۴-۱۴).

در تصاویر دورسنجی، در جنوب باختری شهر کلاته‌خیج، گسل خیج به صورت خطوارهٔ کاملاً مشخصی دیده می‌شود که رسوبات کواترنری را به وضوح بریده است. عملکرد این گسل باعث جابجایی آبراهه‌ها

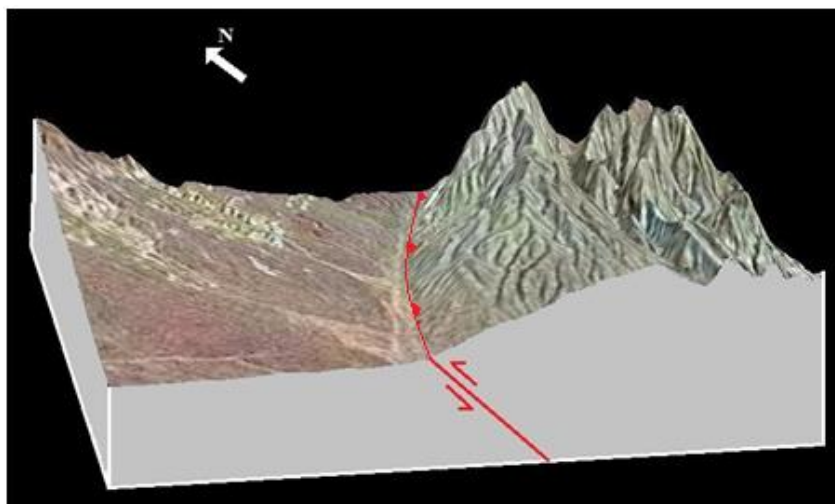
و کانال‌های رودخانه‌ای و ایجاد اختلاف ارتفاع بین بلوک‌های طرفین گشته است (شکل ۴-۱۵).



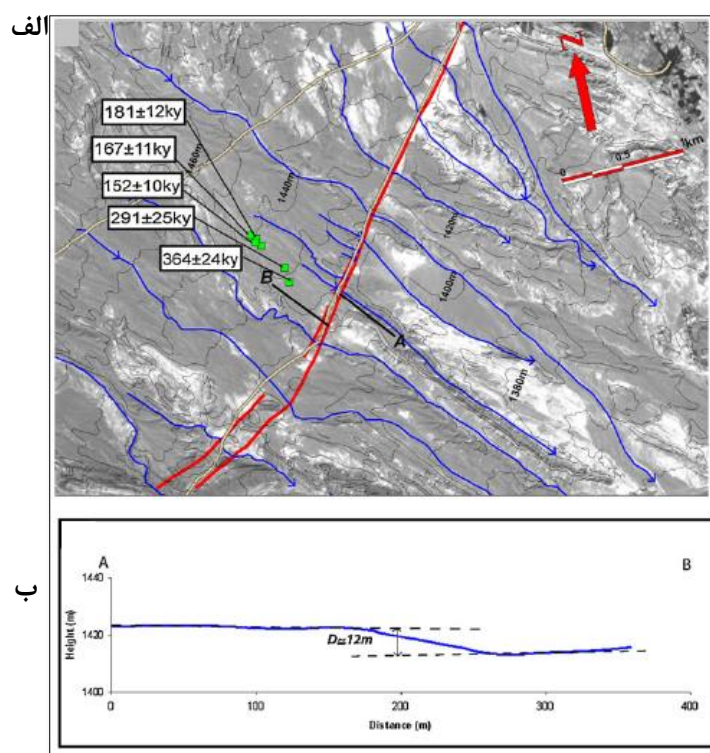
شکل ۴-۱۲- گسل خیج در حاشیه شمالی سیاه کوه و حرکت رو به بالای فرادیواره این گسل (تصویر سه بعدی از ترکیب داده‌های SRTM و تصویر ماهواره‌ای Landsat)



کل ۴-۱۳- الف- پرتگاه‌های شکل گرفته بر روی گسل خیج در حاشیه شمالی سیاه کوه با ارتفاع حدود ۵ و ۱۲ متر و مقاطع عرضی رسم شده از آن (الف و ب: جهت دید به سمت شمال خاوری)



شکل ۴-۱۴- رانده شدن سازند لار بر روی رسوبات کواترنری توسط گسل خیج، در بخش خاوری منطقه مورد مطالعه (تصویر سه بعدی از ترکیب داده‌های SRTM و تصویر ماهواره‌ای Landsat)



شکل ۴-۱۵-الف- بخشی از نقشه توپوگرافی ناحیه کلاته خیج با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ که بر روی تصویر ماهواره‌ای SPOT5 نمایش داده شده است؛ ب- نیمرخ توپوگرافی در راستای خط AB که اختلاف ارتفاع حدود ۱۲ متر را در طرفین گسل نشان می‌دهد (برگرفته از Javidfakhr et al 2011a).

## فصل پنجم

### نو زمین ساخت

اُبراچف (Obruchev 1948) نو زمین ساخت (Neotectonics) را مطالعه جنبش‌های جوان و اخیر معرفی می‌کند که از پایان ترشیری و نیمه اول کواترنری به وقوع پیوسته است.

در تعریفی دیگر، اسلمونز (Slemmons 1991) نو زمین ساخت را به طور گسترده به عنوان رخدادها و فرآیندهای زمین‌ساختی به وقوع پیوسته در بعد از میوسن می‌داند.

مورنر (Morner 1990) معتقد است که بسته به رژیم زمین‌ساختی، فاز نو زمین‌ساختی در مکان‌های مختلف، از زمان‌های متفاوت آغاز شده است. استیوارت و هنکوک (Stewart & Hancock 1994) با اصول تفکر مورنر موافق بوده و در تعریفی جامع‌تر، نو زمین‌ساخت را به صورت شاخه‌ای از زمین‌ساخت در نظر می‌گیرند که به درک حرکات گذشته زمین که تاکنون تداوم یافته‌اند، مربوط می‌باشد. در واقع در این تعریف، زمان آغاز این حرکات مهم نیست و آنچه اهمیت دارد، تداوم آنها در عهد حاضر است.

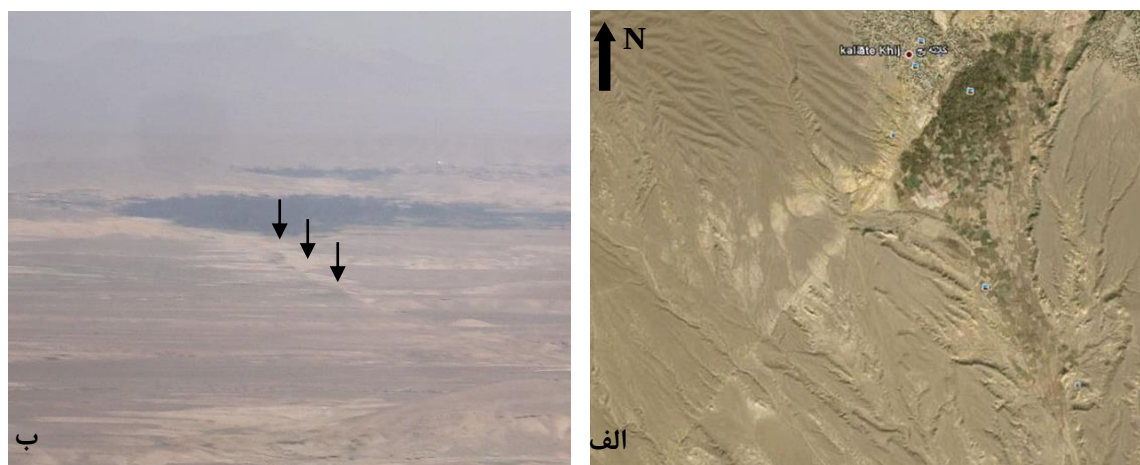
به طور کلی فعالیت‌های نو زمین‌ساختی با علائم و شواهد مختلف از جمله علائم و شواهد زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی، تاریخی، باستان‌شناسی، زلزله‌شناسی و ژئودزی قابل شناسایی و بررسی هستند. از جمله علائم و شواهد نو زمین‌ساختی می‌توان به گواه‌های زمین‌ریختی همچون پرتگاه‌های گسلی، جابجایی آبراهه‌ها، فرسایش بستر رودخانه‌ها، چشمه‌های تراورتن‌ساز، جابجایی مخروط افکنه‌ها و همچنین دگرریختی سازندهای جوان و رسوبات کواترنری اشاره کرد.

## ۵-۱- قطع شدگی رسوبات کواترنری

قطع شدگی رسوبات جوان و کواترنری یکی از عوامل تشخیص گسل‌ها و فعالیت نو زمین‌ساختی می‌باشد. این رسوبات از آن جهت که دگرشکلی‌های موجود در آنها جوان و متعلق به زمان کواترنری است، حائز اهمیت بوده و شاهی برای فعالیت کواترنری گسل‌ها خواهند بود. گسترش نهشته‌های جوان و کواترنری در منطقه مورد مطالعه در شکل ۵-۱ مشاهده می‌شود.



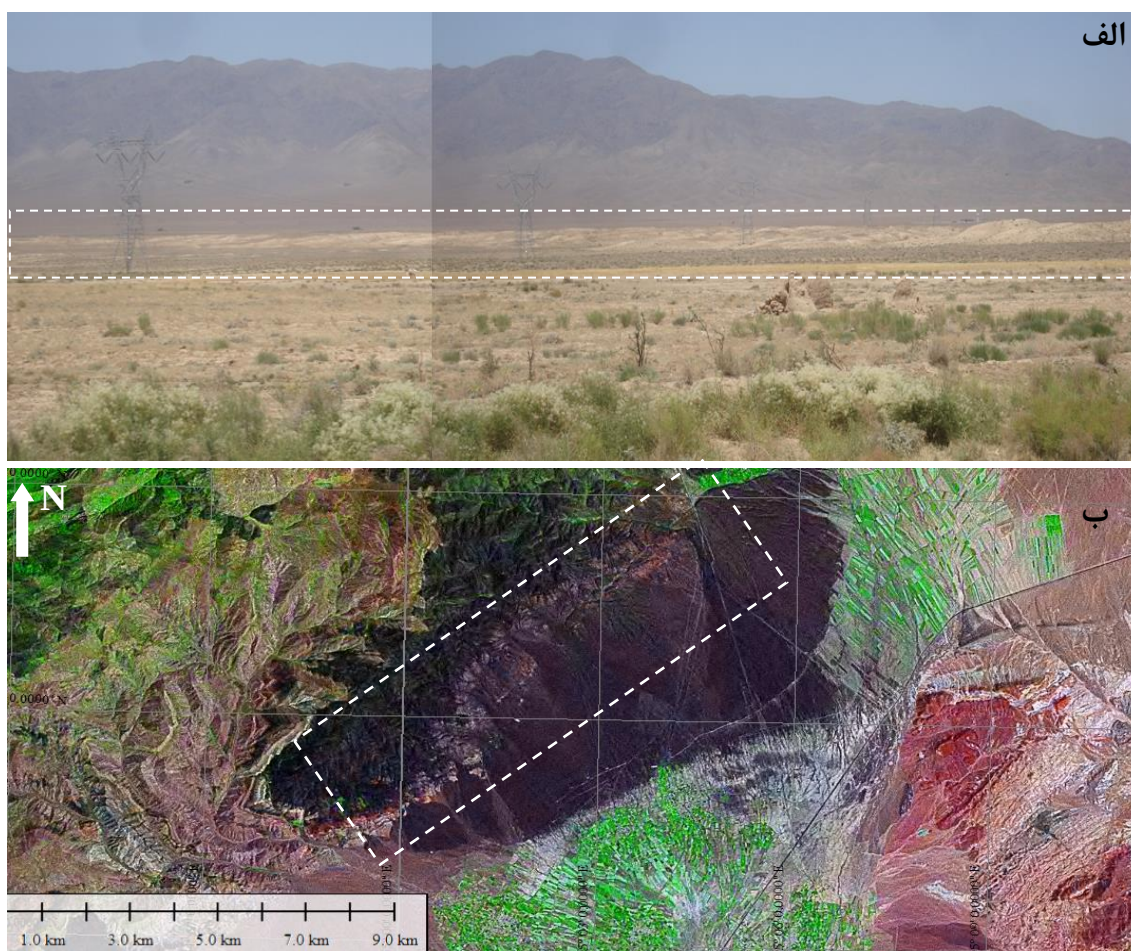
با توجه به مطالعات انجام شده بر روی گسل‌های منطقه مورد مطالعه و قطع شدگی نهشته‌های کواترنری، فعالیت کواترنری برخی از این گسل‌ها محرز شده است. یکی از این گسل‌ها، گسل خبیج می‌باشد که مشاهدات صحرایی و تصاویر دورسنجی، قطع شدگی رسوبات کواترنری توسط این گسل را در جنوب باختری شهر کلاته‌خیج به وضوح نشان می‌دهند (شکل ۵-۲).



شکل ۵-۲-الف- تصویر Google Earth از گسل خبیج در جنوب باختری شهر کلاته‌خیج که رسوبات کواترنری و آبراهه-ها را قطع کرده است؛ ب- تصویر صحرایی از گسل خبیج که قطع شدگی نهشته‌های کواترنری بر روی آن مشخص می‌باشد (جهت دید به سمت خاور).

در شمال روستاهای میقان و قلعه نوخرقان، بر اثر عملکرد گسل میقان، قطع شدگی رسوبات کواترنری در سراسر طول این گسل و رخنمون واحدهای مارنی میوسن در زیر این رسوبات دیده می‌شود (شکل ۵-۳-الف).

گسل ابر که با راستای شمال خاوری- جنوب باختری، مرز بین دشت و کوهستان را می‌سازد، در طول خود علاوه بر جابجایی مخروط افکنه‌ها و انحراف مسیر آبراهه‌ها، رسوبات کواترنری را تحت تأثیر قرار داده است که در تصاویر دورسنجی به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۵-۳-ب).

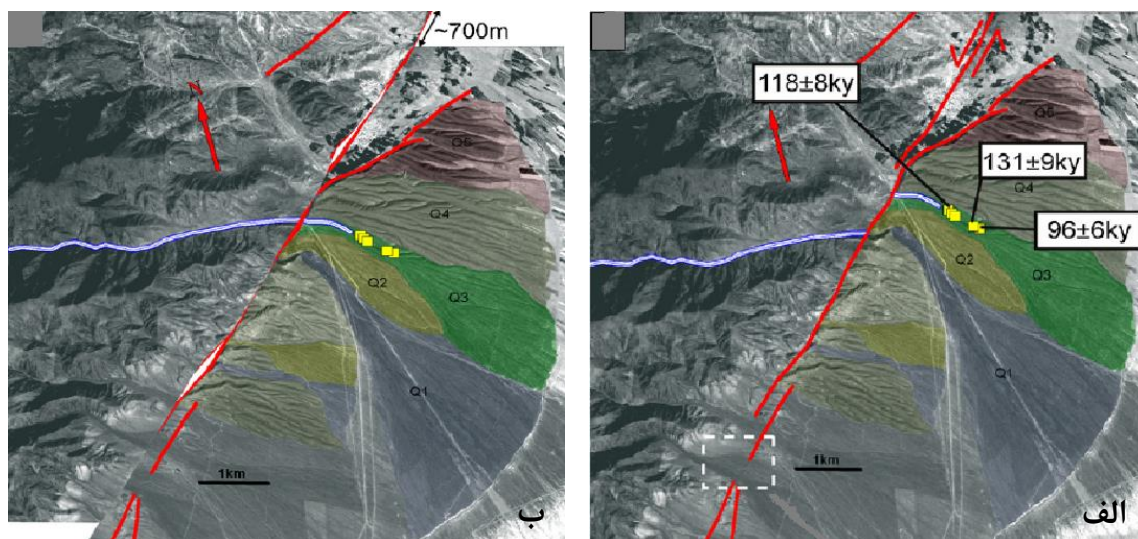


شکل ۵-۳-الف- قطع شدگی رسوبات کواترنری توسط گسل میقان و رخنمون مارن‌های میوسن در امتداد آن (دید به سمت شمال)؛ ب- تصویر ماهواره‌ای Landsat از بخش شمالی جاده شاهرود- آزادشهر که بریده شدن رسوبات کواترنری توسط گسل ابر (کادر خط چین)، با روند شمال خاوری- جنوب باختری، مشخص می‌باشد.

## ۵-۲- جابجایی مخروط افکنه‌ها

مخروط افکنه‌ها از بخش‌های مهم سامانه‌های رودخانه‌ای در نواحی خشک و نیمه خشک هستند و شاید بتوان آنها را به عنوان نقطه پایانی یک سامانه فرسایشی و نهشته‌گذاری تلقی کرد (Ritter et al 1995). این رسوبات از جدیدترین نهشته‌های یک ناحیه از لحاظ سنی محسوب می‌شوند که اغلب در پلیوکواترنری ایجاد شده‌اند. بنابراین هر گونه حرکت، تحول و دگرشکلی نو زمین‌ساختی در منطقه می‌تواند بر روی این رسوبات تأثیرگذار باشد و این نهشته‌ها بیانگر نکات درخور توجهی در مورد عملکرد و تاریخچه تحولات نو زمین‌ساختی می‌باشند.

جاویدفخر و همکاران (Javidfakhr et al 2011a)، در مرز شمالی منطقه مورد مطالعه، اثر گسل ابر را در جابجایی مخروط افکنه‌ها و کانال‌های تغذیه کننده آنها نشان داده و میزان این جابجایی را حدود ۷۰۰ متر برآورد کرده‌اند (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵-الف- تصویر ماهواره‌ای مخروط افکنه‌های کواترنری در طول گسل ابر؛  $Q_1$  تا  $Q_5$  به ترتیب مخروط افکنه‌های جوان تا قدیمی‌تر را نشان می‌دهند؛ جابجایی مشخصی بین کانال‌های تغذیه‌کننده مخروط افکنه‌ها و جایگاه فعلی محور آنها دیده می‌شود؛ ب- بازسازی جابجایی رخ داده بر اثر عملکرد گسل ابر که محور  $Q_3$  را با کانال تغذیه‌کننده آن منطبق می‌کند و مقدار جابجایی حدود ۷۰۰ متر را برای آن نشان می‌دهد (برگرفته شده از Javidfakhr et al 2011a).

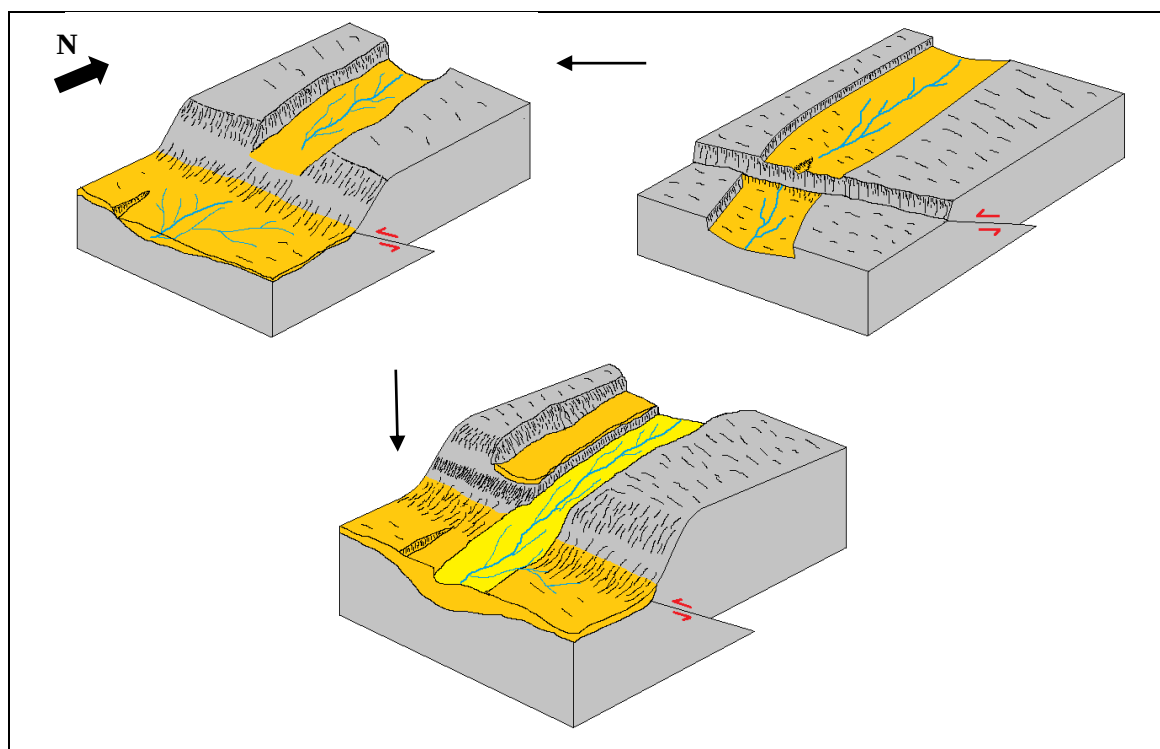
### ۵-۳- فرسایش بستر رودخانه‌ها

رویداد فعالیت‌های زمین‌ساختی در یک ناحیه که موجب بالآمدگی، فرونشینی و یا جابجایی (قائم یا افقی) یک بلوک سنگ‌کره‌ای در طول گسل‌ها می‌شود، آثاری محسوس بر سامانه‌های رودخانه‌ای دارد؛ به طوری که در پی آن، تغییراتی در شیب دامنه‌ها و کف دره‌ها ایجاد شده و در نتیجه ریخت‌شناسی رودخانه‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرند. این تغییرات در اثر عملکرد گسل و بالآمدگی محلی منطقه است که در نتیجه آن حفر بیشتری در بستر رودخانه صورت می‌گیرد؛ لذا شیب آبراهه‌ها و رودخانه‌ها به صورت محلی افزایش می‌یابد (Schoorl & Veldkamp 2003).

بر اثر عملکرد گسل میقان بلوک شمال باختری این گسل، بالاآمده و در نتیجه در تمام طول گسل حفر بیشتری توسط آبراهه‌ها در بالادست گسل صورت پذیرفته است (شکل ۵-۵). مدل ارائه شده در شکل ۵-۶ عملکرد معکوس گسل میقان و تغییر هندسه آبراهه‌ها در نتیجه فعالیت این گسل را نشان می‌دهد.



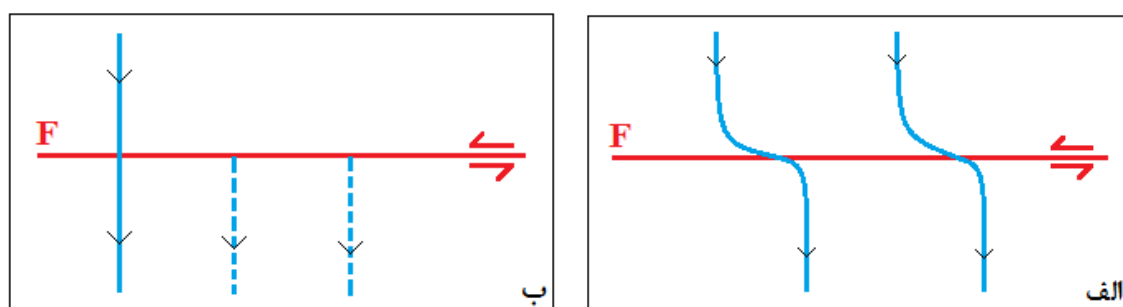
شکل ۵-۵-الف- حفر بستر آبراهه‌ها در بخش شمال باختری گسل میقان، بر اثر بالاآمدگی این قطعه؛ ب- لایه‌بندی افقی نهشته‌های کواترنری، که بر اثر حفاری‌های ایجاد شده در دیواره آبراهه‌ها مشاهده می‌شود (دید تصاویر به سمت جنوب خاوری).



شکل ۵-۶- مدل نمادین از عملکرد گسل میقان و تأثیر بر روی سامانه آبراهه‌ها

## ۵-۴- جابجایی آبراهه‌ها

انحراف در مسیر آبراهه‌های یک منطقه می‌تواند دلیلی بر وجود یک گسل راستالغز باشد. گاهی نیز حرکت راستالغز گسل‌ها، آبراهه‌ها را به طور کلی از ادامه بستر اصلی جدا می‌کند و جریان‌های بعدی در آبراهه‌های جابجا شده موجب ایجاد بستر جدید در مسیر پائین دست می‌گردد (شکل ۵-۷).

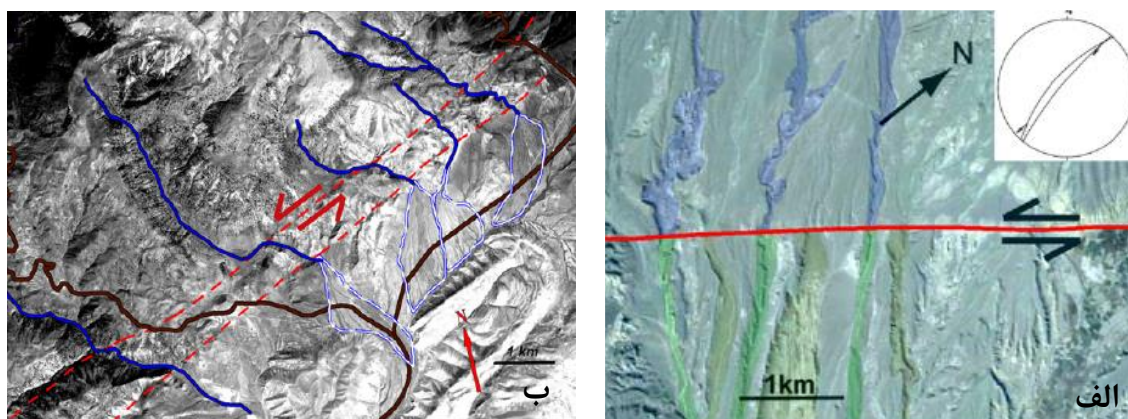


شکل ۵-۷- انحراف و جابجایی آبراهه‌ها بر اثر عملکرد یک گسل راستالغز چپ‌بر؛ الف- تغییر مسیر آبراهه در امتداد

گسل؛ ب- دو آبراهه از کار افتاده در نتیجه دو جنبش گسل

گسل خبیج در جنوب باختری شهر کلاته‌خیج سبب جابجایی کانال‌های رودخانه‌ای به صورت چپ‌بر شده است. جاویدفخر و همکاران (Javidfakhr et al 2011a) با مطالعه بر روی این گسل، میزان این جابجایی را  $400 \pm 50$  متر برآورد کرده‌اند (شکل ۵-۸-الف).

انحراف آبراهه‌های اصلی در سراسر گسل ابر نشان دهنده فعالیت کواترنری این گسل می‌باشد. عملکرد چپ‌بر این گسل باعث انحراف و جابجایی آبراهه‌ها در طول آن شده است (شکل ۵-۸-ب).

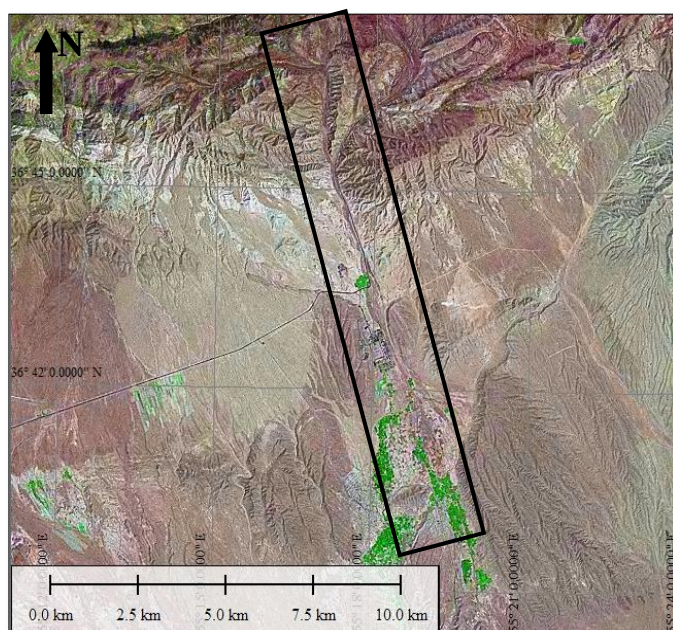


شکل ۵-۸-الف- تصویر Google Earth رنگ آمیزی شده از گسل خلیج که جابجایی چپ بر کانال های رودخانه ای را نشان می دهد؛ ب- انحراف چپ بر آبراهه ها در اثر عملکرد گسل ابر (بر گرفته از Javidfakr et al 2011a).

## ۵-۵- آبراهه های مستقیم

سطح گسل ها، مجاری مناسبی برای عبور آب تشکیل می دهند و با توجه به خردشدگی و هوازدگی عمیق تر در طول گسل ها، به تدریج آبراهه های اصلی در طول آنها شکل می گیرد. این آبراهه ها تا رسیدن به دره بزرگتر به صورت مستقیم بوده و الگوی عمومی زهکشی منطقه را تحت تأثیر قرار می دهند.

گسل چهل دختر با راستای شمال باختری- جنوب خاوری و با سازوکار امتدادلغز راست بر، سازند شمشک، کنگلومرای پلیوسن، واحدهای میوسن و کنگلومرای پلیستوسن را در مسیر خود قطع کرده است. ایجاد شکستگی ها و خردشدگی ها در واحدهای فوق، توسط عملکرد گسل چهل دختر، مسیر مستقیمی را برای رودخانه خلیج فراهم کرده است (شکل ۵-۹).



شکل ۵-۹-الف-بخشی از تصویر ماهواره‌ای Landsat منطقه مورد مطالعه که خطواره گسل چهل دختر توسط کادر سیاه رنگ مشخص شده است.

#### ۵-۶- چشمه‌های تراورتن‌ساز

چشمه‌های گسلی معمولاً در جایی که گسل‌ها سنگ‌های نفوذپذیر را در کنار سنگ‌های نفوذناپذیر قرار می‌دهند، تشکیل می‌شوند. گسل‌ها که معمولاً به عنوان سدهای زیر زمینی عمل می‌کنند، به طور معمول در یک طرف سطح آب بالاتری دارند و بعضی مواقع چشمه‌های خطی در امتداد آنها دیده می‌شوند.

در اطراف برخی از چشمه‌های ایجاد شده توسط فعالیت گسل‌ها، نهشته‌های تراورتنی بر جای می‌مانند که این چشمه‌ها را به عنوان چشمه‌های تراورتن‌ساز می‌نامند. به دلیل درجه زمین گرمایی بالا و فشار زیاد در اعماق زمین، کربنات کلسیم در آب‌های زیرزمینی به صورت محلول وجود دارد. حال اگر در اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی، محلی برای خروج آب‌های زیرزمینی فراهم شود، این آب‌ها در سطح زمین جاری می‌شوند و ایجاد چشمه‌های گسلی را می‌نمایند. به دلیل کاهش سریع دما و

فشار در سطح زمین،  $\text{CO}_2$  موجود در این آب‌ها از آن خارج شده و در نتیجه در اثر اشباع آب از کلسیم، این رسوبات به صورت کربنات کلسیم ( $\text{CaCO}_3$ ) در محل چشمه‌ها نهشته می‌شوند.

ارتباط بین نهشته‌های تراورتنی و گسل‌های فعال و سایر سیستم‌های گسیختگی کاملاً به اثبات رسیده است؛ به طوری که بارنز و همکاران (Barnes et al 1978) اظهار داشتند که یک رابطه جهانی بین چشمه‌های تراورتن‌ساز با زون‌های فعال زمین‌ساختی وجود دارد و این به دلیل نقش کلیدی گسلش در انتقال جریان‌های هیدروترمال می‌باشد.

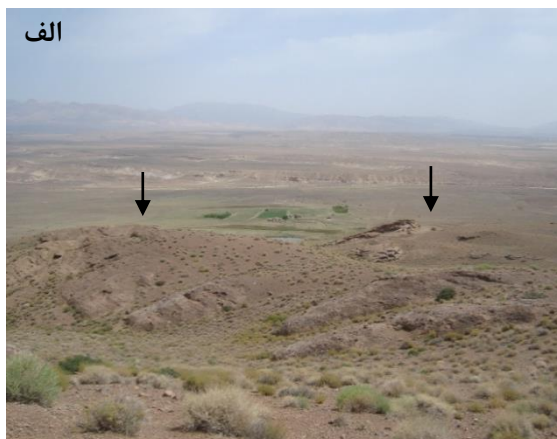
هانکوک و همکاران (Hancock et al 1999) با مطالعه صحرایی در تراورتن‌های برخی نواحی مانند ترکیه، یونان، ایتالیا و آمریکا، به بررسی ارتباط بین مناطق گسلی و نهشته‌های تراورتنی پرداختند. ایشان اینطور بیان داشتند که عملکرد دگرشکلی‌ها در محل‌های جانبی مناطق گسلی، به گونه‌ای است که می‌تواند باعث ایجاد شبکه درزه‌های متقاطع شده و شرایط حرکت سیالات هیدروترمال در زیر زمین را فراهم آورد. این جنبه تراویتونیکس (Travitonics) می‌تواند در شناسایی خطر زمین‌لرزه بسیار حائز اهمیت باشد.

در حاشیه شمال خاوری سیاه‌کوه، نهشته‌های تراورتنی به صورت نقطه‌ای در امتداد گسل خیج مشاهده می‌شود که به نظر می‌رسد بر اثر عملکرد این گسل و ظهور چشمه‌های تراورتن‌ساز بر جای گذاشته شده‌اند. افقی بودن این نهشته‌ها حاکی از جوان بودن این نهشته‌ها بوده که خود نشان دهنده فعالیت نو زمین‌ساختی گسل خیج می‌باشد (شکل ۵-۱۰).

ب



الف



شکل ۵-۱۰-الف- نهشته‌های تراورتنی که به صورت خطی در شمال خاوری سیاه‌کوه و در امتداد گسل خیج قرار دارند (دید به سمت شمال خاوری)؛ ب- لایه‌بندی افقی نهشته‌های تراورتنی.

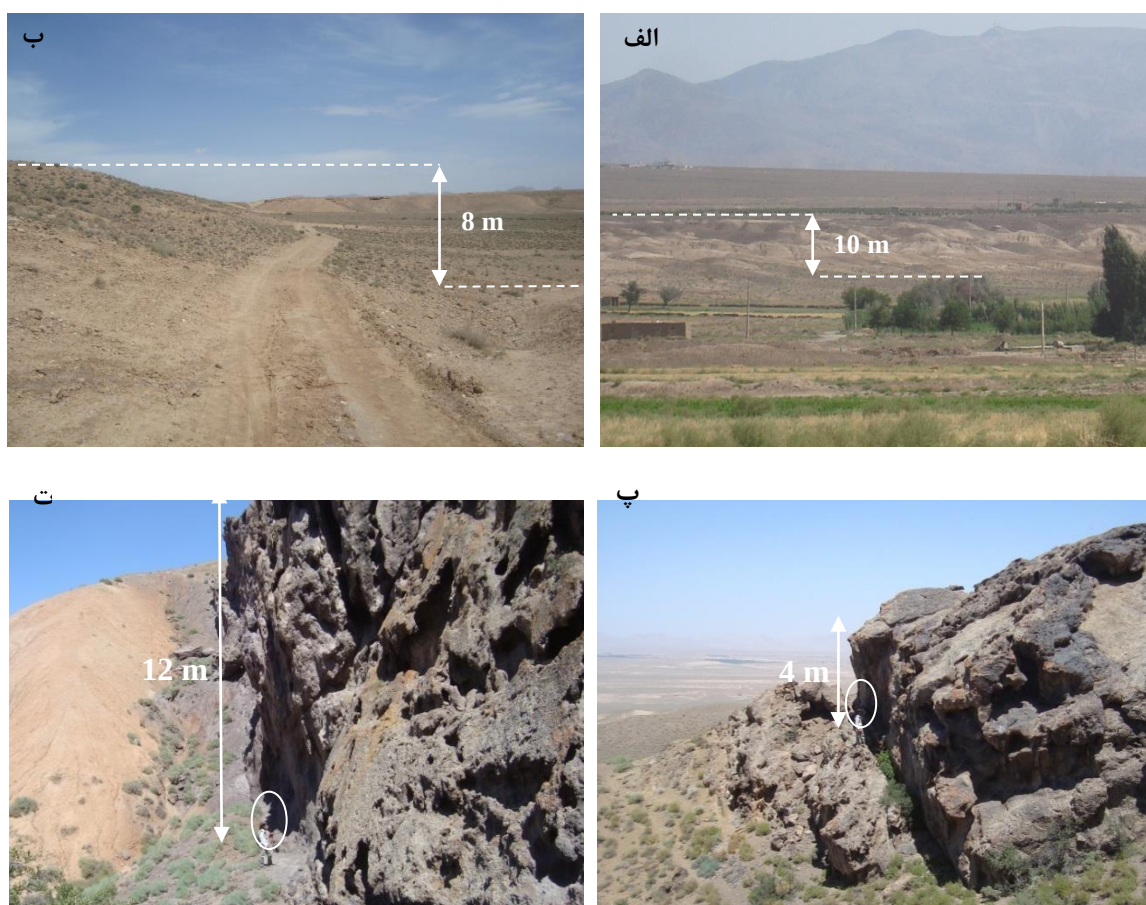
#### ۵-۷- پرتگاه‌های گسلی

پرتگاه‌های گسلی، تغییر ناگهانی شیب و ریخت‌شناسی سطح زمین می‌باشند که بر اثر عملکرد گسل‌ها ایجاد شده‌اند. این پرتگاه‌ها عبارتند از دیواره‌های پرشیب و طویل که در اثر حرکت گسل و در طول آن تشکیل می‌شوند. در ناحیه مورد مطالعه، به واسطه فعالیت کواترنری برخی از گسل‌ها، پرتگاه‌هایی در امتداد این گسل‌ها ایجاد شده است.

گسل میقان با راستای شمال خاوری- جنوب باختری سبب رانده شدن بلوک شمال باختری بر روی بلوک جنوب خاوری گشته و در سراسر طول گسل ایجاد پرتگاه کرده است که ارتفاع آن بخصوص در مناطق قلعه نوخرقان و میقان به حدود ۱۰ متر می‌رسد. به واسطه ایجاد این پرتگاه در رسوبات سست کواترنری و فرسایش صورت گرفته بر روی آن، این پرتگاه شیب ملایمی یافته است، اما اختلاف ارتفاع ذکر شده در طرفین این گسل به طور مشخصی قابل مشاهده است (شکل ۵-۱۱-الف).

گسل خیج، در جنوب باختری شهر کلاته‌خیج و در تصاویر دورسنجی، به صورت خطواره کاملاً مشخصی دیده می‌شود که رسوبات کواترنری را بریده است. بر اثر عملکرد این گسل پرتگاه‌های گسلی با ارتفاع مختلف از حدود ۳ تا ۱۰ متر ایجاد شده است (شکل ۵-۱۱-ب).

گسل خیج در حاشیه شمالی سیاه‌کوه با راستای شمال خاوری- جنوب باختری و شیب به سمت جنوب خاوری، واحدهای آذرین ائوسن را قطع کرده و سبب رانده شدن این واحدها بر روی نهشته‌های کواترنری گشته است. بر اثر عملکرد این گسل در برخی مناطق، پرتگاه‌هایی با ارتفاع ۴ متر تا بیش از ۱۰ متر ایجاد شده است (شکل ۵-۱۱-پ و ت)



شکل ۵-۱۱-الف- اختلاف ارتفاع ایجاد شده در طرفین گسل میقان بر اثر عملکرد این گسل و ایجاد پرتگاه با شیب ملایم (دید به سمت شمال)؛ ب- پرتگاه ایجاد شده بر اثر عملکرد گسل خیج که بر اثر فرسایش شیب ملایمی یافته است (دید به سمت شمال خاوری)؛ پ- قطع شدن واحدهای آذرین ائوسن توسط گسل خیج در حاشیه شمالی سیاه‌کوه و پرتگاه ایجاد شده با ارتفاع حدود ۴ متر (دید به سمت شمال خاوری)؛ ت- پرتگاه ایجاد شده با شیب نزدیک به قائم و ارتفاع حدود ۱۲ متر توسط گسل خیج در شمال سیاه‌کوه (دید به سمت شمال خاوری).

## ۵-۸- دگرریختی سازندهای جوان

دگرشکلی واحدهای سنگی و نهشته‌هایی که در بازه زمانی نو زمین ساختی تشکیل شده‌اند، از شواهد مهم در شناخت تأثیر فرآیندهای زمین ساختی جوان بر مناطق مختلف می‌باشد.

واحدهای رسوبی جوان در منطقه مورد مطالعه، شامل نهشته‌های مارنی میوسن، کنگلومرای پلیوسن و انواع رسوبات کواترنری می‌باشد که به بررسی دگرریختی‌های زمین ساختی اعمال شده بر آنها پرداخته می‌شود.

نهشته‌های نئوژن در منطقه مورد مطالعه شامل مارن‌های میوسن به همراه میان لایه‌های ماسه‌سنگی و کنگلومرای و واحدهای عمدتاً کنگلومرای پلیوسن می‌باشد. چین خوردگی این نهشته‌ها و ایجاد چین‌های فراوان در آنها (چین‌های  $Fo_1$  تا  $Fo_5$  و ناودیس گورخان)، از شواهد مهم تأثیر فرآیندهای زمین ساختی جوان بر این ناحیه می‌باشد (شکل ۵-۱۲).

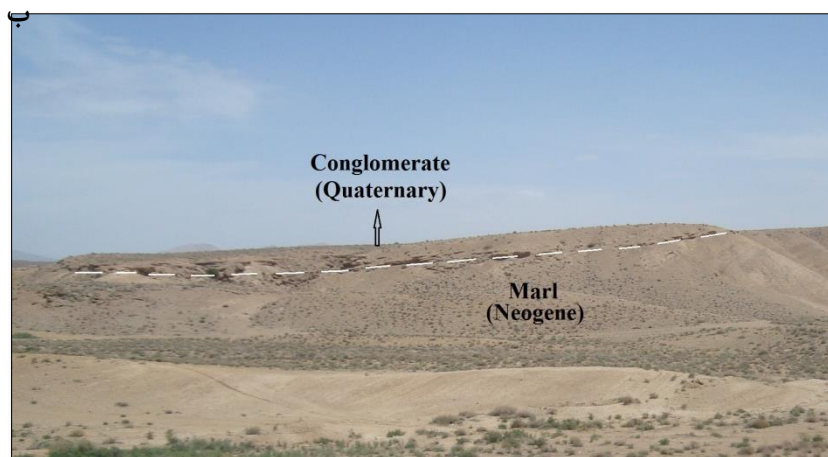
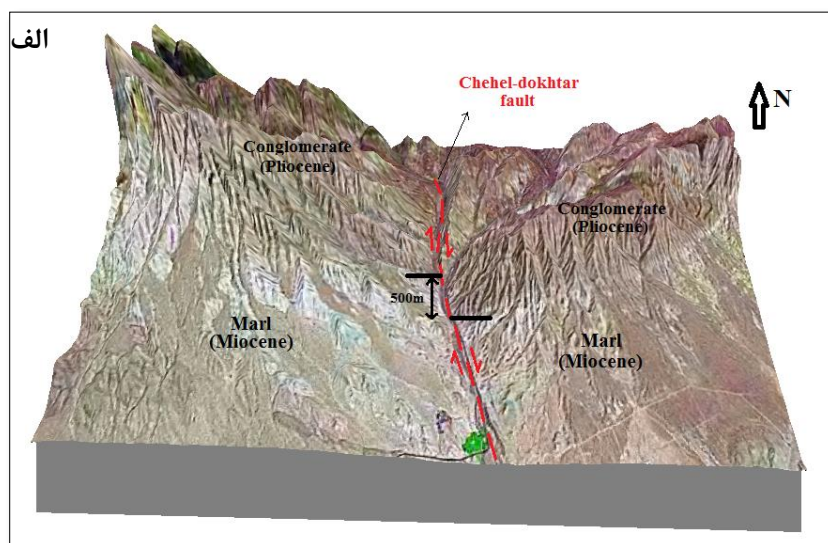
نهشته‌های نئوژن منطقه مورد مطالعه، طی فاز کوهزایی پلیوسن- پلیستوسن (پاسادنین) دچار چین خوردگی شده‌اند. قطع شدگی و جابجایی این واحدهای رسوبی بر اثر عملکرد گسل چهل دختر نشان می‌دهد که گسل چهل دختر، یک گسل نو زمین ساختی است (شکل ۵-۱۳-الف).

در جنوب باختری شهر کلاته خنج، کنگلومرای کواترنری به صورت ناپیوسته بر روی نهشته‌های نئوژن دیده می‌شود که بر اثر فرآیندهای زمین ساختی دچار کج شدگی (tilting) گشته و از حالت افقی خارج شده‌اند (شکل ۵-۱۳-ب).



شکل ۵-۱۲- چین خوردگی نهشته‌های مارنی و کنگلومرای نئوژن در منطقه مورد مطالعه طی فعالیت‌های نو زمین -

ساختی



شکل ۵-۱۳-الف- قطع شدگی و جابجایی نهشته‌های نتوژن به وسیله گسل چهل دختر؛ ب- کج شدگی واحدهای نسبتاً سخت کواترنری که به صورت ناپیوسته بر روی نهشته‌های نتوژن قرار دارند (دید به سمت شمال خاوری).

## فصل ششم

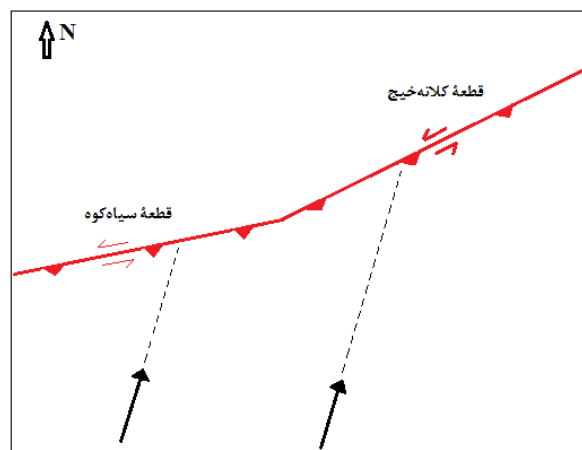
### بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق، طی مطالعات انجام شده بر روی ساختارهای منطقه، خصوصیات این ساختارها مشخص شده است. در این فصل، با توجه به اطلاعات بدست آمده از این پژوهش و مطالعات صورت گرفته پیشین، به تحلیل ساختارهای منطقه و تشریح نتایج بدست آمده پرداخته می‌شود.

## ۶-۱- الگوی گسلش

### ۶-۱-۱- گسل خیج

این گسل با طول حدود ۵۵ کیلومتر و با راستای شمال خاوری- جنوب باختری و شیب به سمت جنوب خاوری، دارای سازوکار امتدادلغز چپ‌بر همراه با مؤلفه معکوس می‌باشد. قطعات سیاه‌کوه، کلاته‌خیج و ریزو با قرارگیری در یک امتداد، بخش‌های مختلف این گسل را تشکیل می‌دهند. لازم به ذکر است که سازوکار این گسل در قطعات مختلف آن تفاوت اندکی را نشان می‌دهد. گسل خیج در قطعه سیاه‌کوه دارای سازوکار معکوس همراه با مؤلفه چپ‌لغز بوده که به سمت شمال خاوری با تغییر روندی که از خود نشان می‌دهد (قطعه کلاته‌خیج)، سبب غالب شدن سازوکار امتدادی از نوع چپ‌بر شده است. قطعه‌های گسلی سیاه‌کوه و کلاته‌خیج، نتیجه شکست و گسلش ناشی از اعمال تنش‌های جدید (نو زمین‌ساختی) نیستند؛ بلکه گسل‌هایی هستند که در فازهای تنشی گذشته تشکیل شده و در میدان‌های تنش جدید مجدداً فعال شده‌اند. در نتیجه هندسه این قطعه‌ها ارتباطی با میدان تنش جاری ندارد، ولی لغزش‌های ایجاد شده بر روی آنها در شرایط تنش‌های جدید، تابع ارتباط هندسی و زاویه بین این قطعه‌ها با سوی تنش است که در قطعه سیاه‌کوه مؤلفه شیب‌لغز بزرگ‌تر و بر روی قطعه کلاته‌خیج مؤلفه امتدادلغز بزرگ‌تر (البته به صورت چپ‌بر) ایجاد نموده است (شکل ۶-۱).



شکل ۶-۱- مدل نمادین از ارتباط سازوکار قطعه‌های مختلف گسل خلیج با سوی تنش حاکم بر منطقه

#### ۶-۱-۲- گسل ابر

گسل ابر با درازای حدود ۹۵ کیلومتر و با راستای شمال خاوری- جنوب باختری (Javidfakhr et al 2011a) در حاشیه شمالی منطقه مورد مطالعه قرار دارد. بخش کوچکی از این گسل در شمال باختری ناحیه مورد مطالعه رخنمون یافته که دارای سازوکار معکوس همراه با مؤلفه چپ‌لغز می‌باشد.

#### ۶-۱-۳- گسل چهل دختر

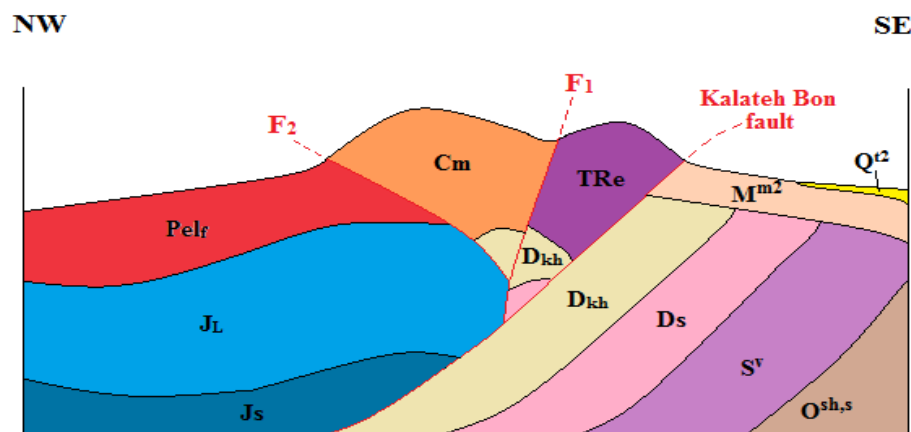
علیرغم عدم مشاهده سطوح مربوط به این گسل، جابجایی واحدهای رسوبی طرفین این گسل، به خصوص واحدهای کنگلومرایی پلیوسن، حاکی از سازوکار امتدادی راست‌بر برای این گسل می‌باشد.

#### ۶-۱-۴- گسل میقان

این گسل با روند شمال خاوری- جنوب باختری و شیب به سمت شمال باختری، در بخش میانی منطقه مورد مطالعه قرار دارد. بالا آمدگی بلوک شمال باختری این گسل، عملکرد معکوس آن را نشان داده و به دلیل هم راستا بودن و قرارگیری بین دو گسل اصلی منطقه (گسل خلیج در جنوب و گسل ابر در شمال)، می‌توان مؤلفه چپ‌بر را برای سازوکار امتدادی آن در نظر گرفت.

#### ۵-۱-۶- منطقه گسلی کلاته بُن

گسل اصلی این بخش که در شمال خاوری ناحیه مورد مطالعه قرار دارد، گسل کلاته بن می‌باشد. رانده شدن سازند الیکا (تریاس زیرین- میانی) بر روی نهشته‌های میوسن و رسوبات کواترنری توسط گسل کلاته بن، نشان دهنده فعالیت معکوس آن است. شواهد صحرایی از سطح این گسل، حاکی از سازوکار امتدادی چپ‌بر بر روی آن می‌باشد. در نتیجه می‌توان دو فاز جداگانه را برای فعالیت این گسل در نظر گرفت که فعالیت راستالغز آن جوان‌تر است. گسل‌های دیگر این منطقه، گسل‌های  $F_1$  و  $F_2$  می‌باشند که به نظر می‌رسد در عمق به یکدیگر رسیده و همراه با گسل کلاته بن، گسل واحدی را تشکیل می‌دهند (شکل ۶-۲).



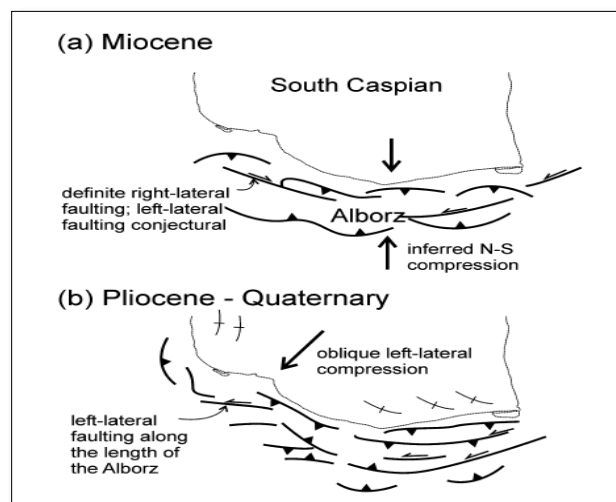
شکل ۶-۲- مقطع عرضی از منطقه گسلی کلاته بن؛ گسل‌های کلاته بن،  $F_1$  و  $F_2$  در عمق به هم رسیده و گسل واحدی را تشکیل می‌دهند.

با توجه به موارد ذکر شده در مورد گسل‌های اصلی ناحیه مورد مطالعه و با توجه به پوشیده بودن قسمت عمده این منطقه توسط واحدهای رسوبی شکل گرفته بعد از ائوسن و رانده شدن سازندهای قدیمی‌تر بر روی این واحدها، می‌توان این‌طور بیان داشت که تکامل ساختاری ناحیه مورد بحث در ارتباط با آخرین مراحل کوهزایی آلپی می‌باشد. طی فاز کوهزایی پیرنئن (ائوسن بالایی- آلیگوسن) و

بر اثر همگرایی شمالی- جنوبی صفحات عربستان و اوراسیا، دریا در این منطقه پسروی و شرایط خروج از محیط دریایی ایجاد گشته است (آقانباتی، ۱۳۸۳).

تغییر شکل فشاری سنوزوئیک در البرز، از میوسن (یا کمی پیش‌تر) و با اولین مرحله برخورد صفحات عربی و اوراسیا آغاز گشت که در این زمان جهت‌گیری تنش بیشینه، شمالی- جنوبی بوده و البرز به طور غالب تحت تنش فشاری قرار داشته است. با غلبه تنش اعمال شده از صفحه عربی و آغاز حرکت رو به سمت باختر پی‌سنگ خزر جنوبی نسبت به ایران از زمان پلیوسن، جهت تنش بیشینه ناحیه‌ای از حالت شمالی- جنوبی به راستای شمال خاوری- جنوب باختری تغییر کرده (شکل ۶-۳) و تغییر در شرایط دگرشکلی فشاری به چپ‌لغز را سبب شده است (Allen et al 2003).

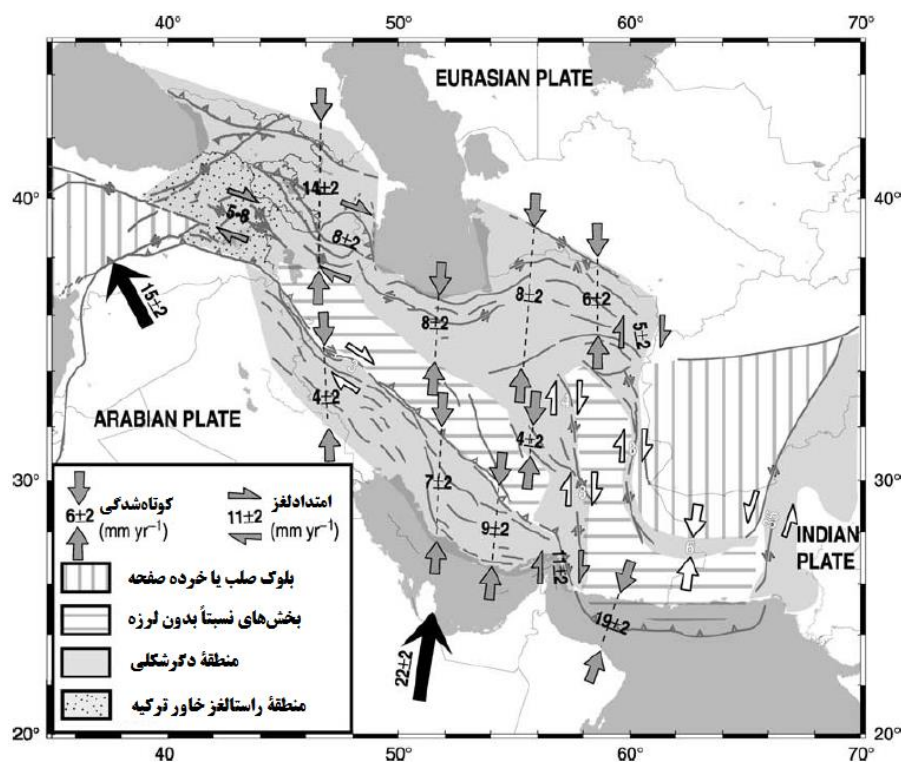
این تغییرات، شرایط شکل‌گیری و فعالیت گسل‌های امتدادلغز چپ‌گرد را ایجاد کرده که تاکنون به فعالیت خود ادامه داده‌اند.



شکل ۶-۳- تکامل ساختاری البرز در اواخر دوران سنوزوئیک؛ تغییر شکل در میوسن بیشتر به صورت فشارشی همراه با حرکات راست‌لغز و بعد از میوسن به سبب جابجایی رو به سمت باختر پی‌سنگ خزر جنوبی، حرکات غالب به طور عمده از نوع چپ‌بر می‌باشد (برگرفته از Allen et al 2003)

در سال‌های اخیر، مطالعات ژئودزی متعددی در بخش‌های مختلف ایران از جمله البرز صورت گرفته و نرخ جابجایی در نواحی مختلف محاسبه گشته است. بر اساس اندازه‌گیری‌های ژئودزیکی صورت گرفته توسط جمور و بایر (Djamour and Bayer 2005)، کوتاه‌شدگی کنونی البرز عمدتاً مربوط به دامنه شمالی و حرکت امتدادی چپ‌بر روی گسل‌های اصلی در دامنه جنوبی متمرکز می‌باشد.

ورنانت و همکاران (Vernant et al 2004) با اندازه‌گیری‌های GPS صورت گرفته بر روی البرز، میزان  $8 \pm 2$  میلی‌متر کوتاه‌شدگی در سال را برای این ناحیه از ایران برآورد کردند (شکل ۴-۶).



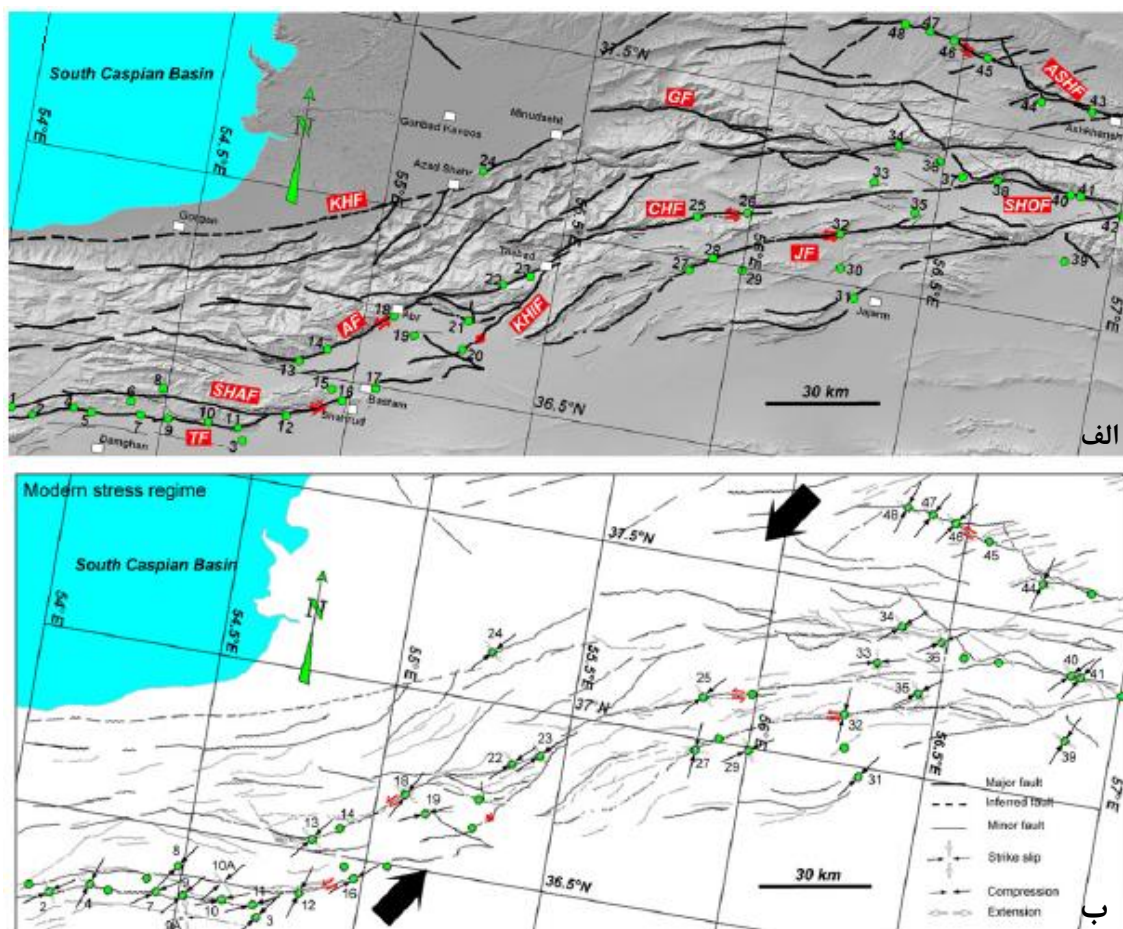
شکل ۴-۶- نمایش نتایج بررسی‌های ورنانت و همکاران (Vernant et al 2004)؛ پیکان‌های سیاه نشانگر جنبش صفحه عربستان نسبت به اوراسیا می‌باشند. پیکان‌های خاکستری نرخ‌های دگرشکلی اندازه‌گیری شده توسط GPS را نشان می‌دهند. پیکان‌های سفید نمایانگر نرخ‌های برآورد شده به کمک GPS، شواهد زمین‌شناسی و زلزله‌شناسی هستند. تمامی نرخ‌ها بر حسب میلی‌متر در سال می‌باشد (برگرفته از Vernant et al 2004).

محققین متعددی طی پژوهش‌های خود به بررسی جهت تنش‌های دیرینه و کنونی حاکم بر البرز پرداخته‌اند. امیدی و همکاران (۱۳۸۱) در بازسازی تنش کواترنری در نیمه جنوبی البرز خاوری، جهت تنش بیشینه را رو به سمت شمال-شمال خاوری معرفی کرده‌اند.

گلونکا (Golonka 2007) این طور بیان می‌دارد که با حرکت رو به باختر خزر جنوبی نسبت به ایران در زمان پلیوسن، جهت تنش بیشینه از حالت شمالی-جنوبی به حالت شمال خاوری-جنوب باختری تغییر روند داده و تاکنون ادامه دارد.

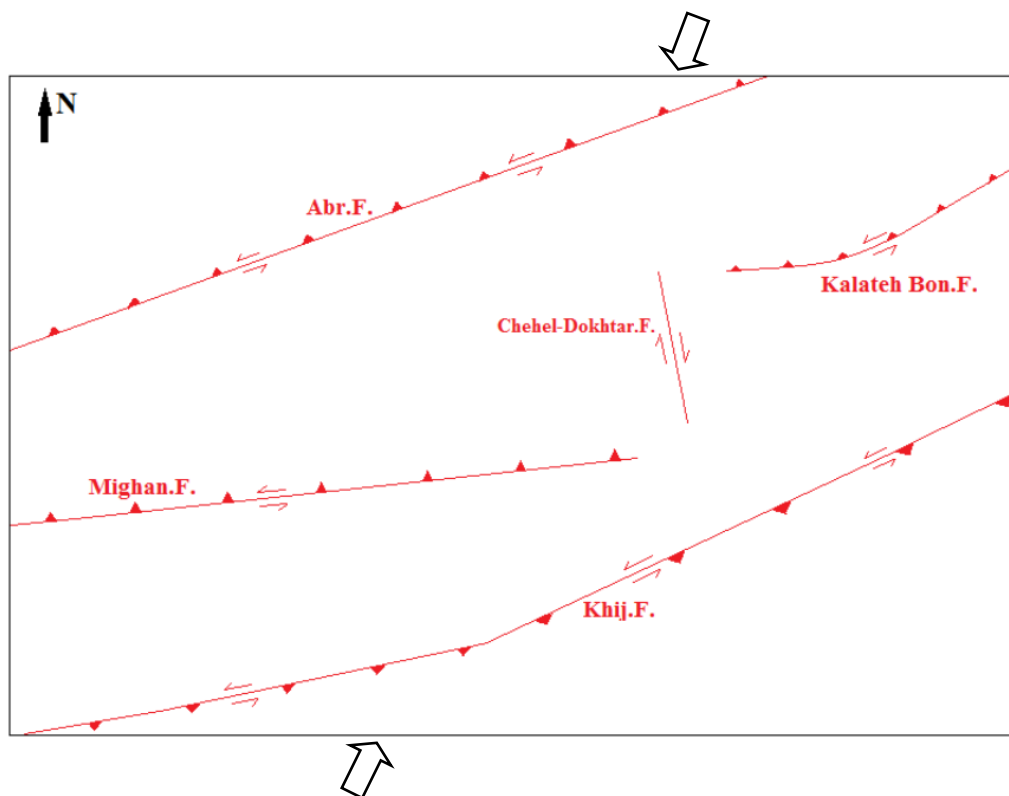
مطالعات جاوید فخر و همکاران (Javidfakhr et al 2011b) نیز دستاوردهای گذشته را مبنی بر وجود گسل‌های امتدادلغز چپ‌بر با راستای شمال خاوری-جنوب باختری در البرز خاوری تأیید می‌نماید. به اعتقاد ایشان، رژیم زمین‌ساختی ترافشارشی بر این منطقه حاکم بوده و تنش اصلی بیشینه در وضعیت امروزی، راستای شمال خاوری-جنوب باختری دارد (شکل ۶-۵).

با توجه به جهت تنش حاکم بر البرز (شمال خاوری)، به خصوص در البرز خاوری، پیش‌بینی می‌شود که گسل‌های با راستای شمالی-جنوبی، سازوکار امتدادی راست‌بر را از خود نشان دهند که این موضوع با اطلاعات و شواهد بدست آمده از گسل‌های شمالی-جنوبی منطقه (گسل چهل‌دختر و گسل گورخان) مطابقت دارد.



شکل ۶-۵-الف- نقشه ساختاری گسل‌های منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های اندازه‌گیری جنبش گسل‌ها بر روی تصویر SRTM؛ (AF: گسل ابر، ASHF: گسل آشخانه، CHF: گسل چشمه‌نیک، GF: گسل گلستان، JF: گسل جاجریم، KHF: گسل خزر، KHIF: گسل خج، SHAF: گسل شاهرود، SHOF: گسل شوقان، TF: گسل طزهره). ب- وضعیت امروزی تنش اصلی بیشینه (برگرفته از Javidfakhr et al 2011b).

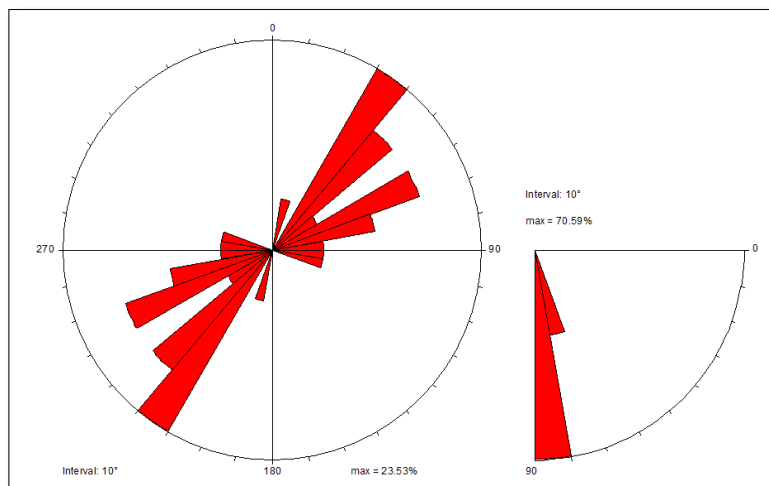
شکل ۶-۶ ارتباط بین سازوکار گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه با جهت تنش بیشینه حاکم بر منطقه را نشان می‌دهد و می‌توان بیان داشت که وضعیت سوی تنش بیشینه و هندسه و سازوکار گسل‌های ناحیه مورد مطالعه با الگوی دگرشکلی ترافشارشی چپ‌گرد مطابقت دارد.



شکل ۶-۶- ارتباط سوی تنش بیشینه با سازوکار گسل‌های منطقه مورد مطالعه که نشان می‌دهد شرایط دگرشکلی ترافشارشی چپ‌گرد بر منطقه حاکم می‌باشد.

## ۲-۶- الگوی چین‌خوردگی

نتایج مطالعه چین‌خوردگی‌های صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه، مبین روند غالب شمال خاوری- جنوب باختری برای چین‌های ناحیه مورد مطالعه می‌باشد که از روند ساختارهای البرز خاوری تبعیت می‌کند (شکل ۶-۷).

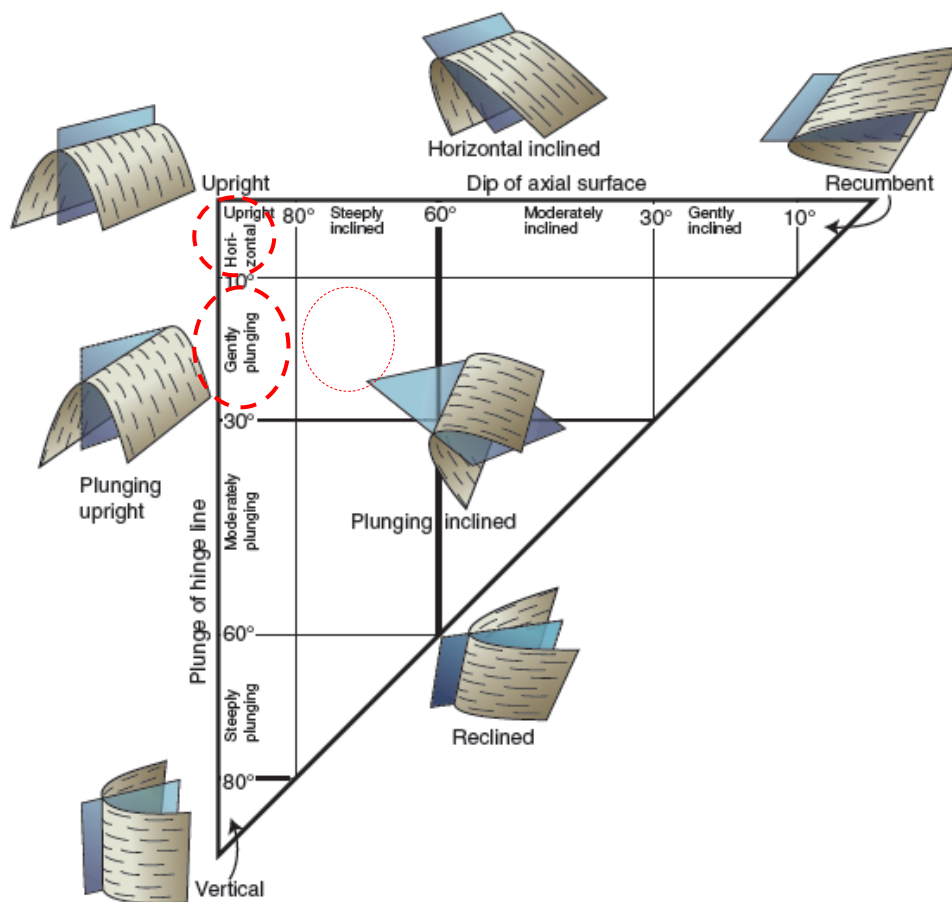


شکل ۶-۷- نمودار گل سرخی مربوط به سطوح محوری چین‌ها؛ الف- نمودار گل سرخی امتدادی که روند غالب شمال خاوری- جنوب باختری را نشان می‌دهد؛ ب- نمودار گل سرخی شیبی؛ تمامی سطوح محوری چین‌ها دارای شیب بین ۷۰ تا ۹۰ درجه و عمدتاً دارای شیبی بیش از ۸۰ درجه می‌باشند.

بررسی وضعیت هندسی چین‌خوردگی‌ها نشان می‌دهد که طبق رده‌بندی فلوتی (Fleuty 1964)، بر اساس شیب سطح محوری و میل لولا، چین‌های منطقه به طور عمده در دو رده: ۱- ایستاده و تقریباً افقی (Upright sub-horizontal) و ۲- ایستاده با میل ملایم (Upright gently plunging) و به تعداد محدودتری در رده چین‌های پر شیب با میل ملایم (Steeply inclined gently plunging) قرار می‌گیرند (شکل ۶-۸).

طبق رده‌بندی دیگر که بر مبنای زاویه بین دو یال صورت می‌گیرد (Fleuty 1964)، چین‌های منطقه به طور عمده در رده باز (Open) و به تعداد محدود در رده ملایم (Gentle) قرار می‌گیرند (جدول ۶-۱).

نکته دیگری که در مورد چین‌های منطقه قابل توجه است، مربوط به جهت میل لولای چین‌ها می‌باشد. به غیر از تاقدیس سرخ‌چشمه، جهت میل لولای تمامی چین‌هایی که حالت افقی ندارند، به سمت جنوب باختری می‌باشد.



شکل ۸-۶- رده‌بندی چین‌ها براساس شیب سطح محوری و میل لولای چین (Fleuty 1964) (برگرفته از Fossen 2010).

جایگاه چین‌های منطقه مورد مطالعه در این رده‌بندی، بر روی شکل مشخص شده است.

جدول ۱-۶- طبقه‌بندی چین‌ها بر اساس زاویه بین یال‌ها (Fleuty 1964)

چین‌های منطقه به طور عمده در رده باز (Open) و به تعداد محدودتری در رده ملایم (Gentle) قرار دارند.

|     | Description of fold | Interlimb angle |
|-----|---------------------|-----------------|
| ✓   | Gentle              | 120-180         |
| ✓ ✓ | Open                | 70-120          |
|     | Close               | 30-70           |
|     | Tight               | 0-30            |
|     | Isoclinal           | 0               |
|     | Mushroom            | Negative values |

### ۳-۶- تأثیر فعالیت گسل‌ها بر روی ریخت‌شناسی

ریخت‌شناسی ناحیه مورد مطالعه به طور عمده متأثر از فعالیت گسل‌های اصلی منطقه (گسل‌های خیج، میقان، کلاته بن و ابر) می‌باشد.

گسل ابر با سازوکار شیب لغز معکوس و مؤلفه امتداد لغز چپ‌بر، مرز توپوگرافی مشخص و متمایزی را بین نواحی کوهستانی و حوضه‌های کواترنری ایجاد کرده است. این گسل با سازوکار معکوس خود و همچنین با جابجایی چپ‌بر عوارضی مانند مخروط افکنه‌ها و مسیر رودخانه‌ها، سیمای زمین‌ریختی منطقه را تحت تأثیر قرار داده است (Javidfakhr et al 2011a).

بر اثر عملکرد گسل میقان و بالا آمدن بلوک شمال باختری آن، اختلاف توپوگرافی مشخصی در تمام طول این گسل ایجاد شده که در مطالعات میدانی، این تغییرات ریخت‌شناسی به وضوح قابل مشاهده می‌باشد.

گسل خیج، به خصوص در حاشیه شمالی سیاه‌کوه با عملکرد معکوس خود منطقه را تحت تأثیر قرار داده و سبب ایجاد پرتگاه‌های گسلی متعددی شده است. این گسل در بخش‌های دیگر نیز اختلاف توپوگرافی مشخصی را در طرفین خود ایجاد کرده که در جنوب شهر کلاته‌خیج این اختلاف ارتفاع ایجاد شده به خوبی قابل مشاهده می‌باشد.

گسل کلاته بن نیز در طول خود مرز مشخصی را بین نواحی کوهستانی در شمال و نواحی پست جنوبی ایجاد کرده و در برخی نقاط پرتگاه‌های گسلی با شیب نزدیک به قائم را شکل داده است.

#### ۴-۶- ارزیابی فعالیت کواترنری گسل‌ها

با توجه به اینکه بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه توسط رسوبات کواترنری پوشیده شده است، مطالعه این رسوبات و تأثیر گسل‌ها بر روی آنها می‌تواند تأثیر قابل توجهی در شناخت و ارزیابی فعالیت گسل‌ها در طی دوره کواترنری، داشته باشد.

یکی از گسل‌های منطقه مورد مطالعه که رسوبات کواترنری را بریده، گسل خیج می‌باشد که تأثیر عملکرد این گسل بر روی رسوبات این زمان و جابجایی کانال‌های رودخانه‌ای، در جنوب باختری شهر کلاته خیج به وضوح نمایان می‌باشد.

گسل میقان نیز دیگر گسل اصلی ناحیه مورد بررسی است که با قطع کردن رسوبات کواترنری در سراسر طول خود، فعالیت خود را طی این دوران نمایان ساخته است.

همان طور که از مطالعه تصاویر دورسنجی بر می‌آید، گسل ابر در بخش‌هایی از طول خود که توسط رسوبات کواترنری پوشیده شده است، با قطع کردن این نهشته‌ها، فعالیت کواترنری خود را به اثبات رسانده و انحراف آبراهه‌ها و جابجایی مخروط افکنه‌ها توسط این گسل نیز دلیل دیگری بر فعالیت گسل ابر طی دوره کواترنری می‌باشد.

#### ۵-۶- پیشنهادات

جهت انجام مطالعات دقیق‌تر و تکمیلی، می‌توان به انجام مطالعات دیرینه لرزه‌شناسی بر روی گسل‌های کواترنری منطقه مانند خیج، میقان و ابر، جهت تعیین فعالیت گسل‌های ذکر شده اشاره نمود.

همچنین انجام مطالعات تنش دیرین (Paleostress) بر مبنای لغزش گسل‌ها جهت شناخت میدان تنش حاکم، در راستای ارتقاء دانش نو زمین‌ساختی در منطقه پیشنهاد می‌شود.

ادامه مطالعات ساختاری به سمت بخش‌های باختری منطقه مورد مطالعه جهت شناسایی فعالیت و ادامه روند گسل‌های خیج، ابر و میقان نیز کمک شایانی به تعیین گستردگی و فعالیت گسل‌های ذکر شده در بخش‌های مجاور می‌نماید.

## پیوست‌ها

## پیوست‌ها:

پیوست ۱- داده‌های برداشت شده از سطح گسل کلاته بن در محدوده مورد مطالعه

\* جهت حرکت فرادیواره؛ ۱: حرکت رو به بالا (معکوس)؛ ۲: حرکت رو به پائین (نرمال)؛ ۳: راست‌بر؛ ۴: چپ‌بر

| Fault plane |     | Slicken lines |        |        | Geographiic setting |               |
|-------------|-----|---------------|--------|--------|---------------------|---------------|
| Dip.Dir.    | Dip | Azimuth       | Plunge | Sense* | latitude            | longitude     |
| 351         | 44  | 067           | 13     | 4      | 36° 46' 20.5''      | 55°20'34.0''  |
| 330         | 56  | 247           | 11     | 3      | 36° 46' 21.2''      | 55°20'34.3''  |
| 358         | 46  | 070           | 18     | 4      | 36° 46' 20.9''      | 55° 20'37.0'' |
| 340         | 62  | 065           | 09     | 4      | 36° 46' 20.9''      | 55°20'40.1''  |
| 350         | 65  | 071           | 19     | 4      | 36° 46' 21.1''      | 55°20'40.9''  |
| 008         | 71  | 093           | 15     | 4      | 36° 46' 20.8''      | 55°20'41.1''  |
| 342         | 65  | 260           | 16     | 3      | 36° 46' 21.0''      | 55°20'47.7''  |
| 348         | 58  | 046           | 41     | 1      | 36° 46' 21.0''      | 55°20'47.9''  |
| 355         | 39  | 052           | 24     | 4      | 36° 46' 21.3''      | 55°20'47.9''  |
| 355         | 50  | 017           | 48     | 1      | 36° 46' 21.3''      | 55°20'48.7''  |
| 010         | 66  | 094           | 14     | 4      | 36° 46' 21.6''      | 55°21'04.6''  |
| 358         | 56  | 011           | 55     | 1      | 36° 46' 21.8''      | 55°21'19.0''  |
| 357         | 79  | 010           | 79     | 1      | 36° 46' 22.8''      | 55°21'25.7''  |
| 355         | 79  | 084           | 05     | 4      | 36° 46' 23.0''      | 55°21'36.0''  |
| 355         | 81  | 267           | 15     | 3      | 36° 46' 22.7''      | 55°21'36.4''  |
| 320         | 65  | 042           | 16     | 4      | 36° 46' 23.4''      | 55°21'40.0''  |
| 335         | 58  | 062           | 07     | 4      | 36° 46' 23.9''      | 55°21'40.5''  |

پیوست ۲- داده‌های برداشت شده از سطح گسل F<sub>1</sub>

\* جهت حرکت فرادیواره؛ ۱: حرکت رو به بالا (معکوس)؛ ۲: حرکت رو به پائین (نرمال)؛ ۳: راست‌بر؛ ۴: چپ‌بر

| Fault plane |     | Slicken lines |        |        | Geographiic setting |               |
|-------------|-----|---------------|--------|--------|---------------------|---------------|
| Dip.Dir.    | Dip | Azimuth       | Plunge | Sense* | latitude            | longitude     |
| 350         | 52  | 064           | 20     | 4      | 36°46'40.8''        | 55°20'50.0''  |
| 338         | 40  | 055           | 11     | 4      | 36°46'50.2''        | 55°20'58.1''  |
| 005         | 62  | 069           | 39     | 1      | 36°46'55.0''        | 55°21'14.1''  |
| 357         | 41  | 080           | 06     | 4      | 36°47'04.0''        | 55°21'48.5''  |
| 010         | 39  | 057           | 30     | 1      | 36°47'09.1''        | 55°22' 03.6'' |
| 344         | 40  | 020           | 34     | 1      | 36°47'10.0''        | 55°22' 28.4'' |
| 013         | 50  | 100           | 04     | 4      | 36°47'18.2''        | 55°22'50.0''  |

پیوست ۳- داده‌های برداشت شده از سطح گسل F<sub>2</sub>

\* جهت حرکت فرادیواره؛ ۱: حرکت رو به بالا (معکوس)؛ ۲: حرکت رو به پائین (نرمال)؛ ۳: راست‌بر؛ ۴: چپ‌بر

| Fault plane |     | Slicken lines |        |        | Geographiic setting |              |
|-------------|-----|---------------|--------|--------|---------------------|--------------|
| Dip.Dir.    | Dip | Azimuth       | Plunge | Sense* | latitude            | longitude    |
| 188         | 49  | 112           | 17     | 3      | 36°47'00.0''        | 55°20'49.3'' |
| 140         | 70  | 056           | 16     | 3      | 36°46'56.1''        | 55°20'43.6'' |
| 138         | 45  | 059           | 12     | 3      | 36°46'55.6''        | 55°20'42.6'' |
| 140         | 42  | 057           | 07     | 3      | 36°46'54.0''        | 55°20'37.5'' |
| 170         | 50  | 117           | 37     | 1      | 36°46'54.0''        | 55°20'37.5'' |
| 135         | 66  | 061           | 32     | 3      | 36°46'53.6''        | 55°20'36.5'' |
| 193         | 65  | 281           | 04     | 4      | 36°46'50.1''        | 55°20'30.0'' |
| 193         | 65  | 125           | 40     | 1      | 36°46'50.1''        | 55°20'30.0'' |
| 188         | 76  | 131           | 65     | 1      | 36°46'48.8''        | 55°20'27.2'' |
| 173         | 64  | 259           | 09     | 4      | 36°46'11.0''        | 55°18'24.0'' |
| 155         | 80  | 244           | 07     | 4      | 36°46'10.5''        | 55°18'24.2'' |
| 190         | 56  | 103           | 05     | 3      | 36°46'10.1''        | 55°18'28.0'' |
| 201         | 59  | 142           | 41     | 1      | 36°46'10.0''        | 55°18'28.2'' |
| 166         | 61  | 102           | 39     | 1      | 36°46'10.3''        | 55°18'28.5'' |
| 175         | 66  | 119           | 53     | 1      | 36°46'12.1''        | 55°18'34.0'' |
| 155         | 60  | 235           | 18     | 4      | 36°46'12.0''        | 55°18'33.5'' |
| 170         | 49  | 248           | 13     | 4      | 36°46'07.6''        | 55°18'49.1'' |
| 184         | 61  | 107           | 22     | 3      | 36°46'07.6''        | 55°18'49.1'' |
| 190         | 70  | 111           | 28     | 3      | 36°46'07.6''        | 55°18'49.1'' |
| 180         | 62  | 092           | 05     | 3      | 36°46'07.6''        | 55°18'49.1'' |
| 165         | 45  | 085           | 11     | 3      | 36°46'07.6''        | 55°18'49.1'' |
| 170         | 45  | 102           | 21     | 3      | 36°46'10.3''        | 55°18'57.0'' |
| 184         | 54  | 124           | 35     | 1      | 36°46'18.0''        | 55°19'24.1'' |
| 182         | 36  | 132           | 25     | 1      | 36°46'17.4''        | 55°19'24.5'' |
| 155         | 75  | 082           | 48     | 1      | 36°46'31.0''        | 55°19'44.1'' |
| 175         | 55  | 263           | 21     | 4      | 36°46'36.3''        | 55°19'44.6'' |
| 175         | 80  | 261           | 10     | 4      | 36°46'31.2''        | 55°19'45.0'' |
| 145         | 60  | 060           | 09     | 3      | 36°46'41.0''        | 55°20'19.2'' |
| 178         | 45  | 095           | 07     | 3      | 36°46'41.3''        | 55°20'19.6'' |

پیوست ۴- داده‌های برداشت شده از قطعه گسلی شمال سیاه‌کوه

\* جهت حرکت فرادیواره؛ ۱: حرکت رو به بالا (معکوس)؛ ۲: حرکت رو به پائین (نرمال)؛ ۳: راست‌بر؛ ۴: چپ‌بر

| Fault plane |     | Slicken lines |        |        | Geographiic setting |              |
|-------------|-----|---------------|--------|--------|---------------------|--------------|
| Dip.Dir.    | Dip | Azimuth       | Plunge | Sense* | latitude            | longitude    |
| 170         | 62  | 255           | 09     | 4      | 36°36'33.4''        | 55°13'33.4'' |
| 160         | 80  | 249           | 05     | 4      | 36°36'29.2''        | 55°13'12.4'' |
| 150         | 64  | 161           | 64     | 1      | 36°36'29.0''        | 55°13'12.1'' |
| 150         | 79  | 236           | 18     | 4      | 36°36'25.7''        | 55°13'02.5'' |
| 156         | 65  | 156           | 65     | 1      | 36°36'25.6''        | 55°13'02.0'' |
| 160         | 59  | 243           | 12     | 4      | 36°36'25.7''        | 55°13'02.2'' |
| 152         | 75  | 238           | 17     | 4      | 36°36'25.1''        | 55°13'01.0'' |
| 154         | 75  | 242           | 10     | 4      | 36°36'24.2''        | 55°12'58.8'' |
| 160         | 74  | 244           | 22     | 4      | 36°36'22.7''        | 55°12'56.9'' |
| 165         | 80  | 245           | 45     | 1      | 36°36'20.2''        | 55°12'51.0'' |
| 165         | 52  | 218           | 37     | 1      | 36°36'19.4''        | 55°12'50.1'' |
| 159         | 45  | 239           | 11     | 4      | 36°36'18.2''        | 55°12'43.4'' |
| 162         | 49  | 237           | 18     | 4      | 36°36'18.0''        | 55°12'40.1'' |
| 155         | 57  | 221           | 33     | 4      | 36°36'18.0''        | 55°12'40.2'' |
| 160         | 60  | 231           | 30     | 4      | 36°36'17.1''        | 55°12'32.3'' |

پیوست ۵- داده‌های برداشت شده از گسل گورخان

\* جهت حرکت فرادیواره؛ ۱: حرکت رو به بالا (معکوس)؛ ۲: حرکت رو به پائین (نرمال)؛ ۳: راست‌بر؛ ۴: چپ‌بر

| Fault plane |     | Slicken lines |        |        | Geographiic setting |              |
|-------------|-----|---------------|--------|--------|---------------------|--------------|
| Dip.Dir.    | Dip | Azimuth       | Plunge | Sense* | latitu'de           | longitude    |
| 073         | 45  | 004           | 20     | 3      | 36°45'19.2''        | 55°11'55.1'' |
| 076         | 51  | 000           | 17     | 3      | 36°45'22.6''        | 55°11'55.5'' |
| 074         | 50  | 358           | 17     | 3      | 36°45'23.1''        | 55°11'55.0'' |
| 061         | 70  | 340           | 24     | 3      | 36°45'23.8''        | 55°11'55.4'' |
| 069         | 65  | 346           | 15     | 3      | 36°45'25.0''        | 55°11'54.8'' |
| 065         | 55  | 346           | 16     | 3      | 36°45'29.7''        | 55°11'49.5'' |
| 072         | 52  | 354           | 15     | 3      | 36°45'37.6''        | 55°11'49.9'' |

## پیوست ۶- داده‌های برداشت شده از گسل ابر

\* جهت حرکت فرادیواره؛ ۱: حرکت رو به بالا (معکوس)؛ ۲: حرکت رو به پائین (نرمال)؛ ۳: راست‌بر؛ ۴: چپ‌بر

| Fault plane |     | Slicken lines |        |        | Geographiic setting |              |
|-------------|-----|---------------|--------|--------|---------------------|--------------|
| Dip.Dir.    | Dip | Azimuth       | Plunge | Sense* | Latitude            | longitude    |
| 352         | 57  | 001           | 57     | 1      | 36°32'09.9''        | 54°50'30.3'' |
| 014         | 47  | 025           | 46     | 1      | 36°32'09.5''        | 54°50'26.0'' |
| 348         | 71  | 029           | 65     | 1      | 36°32'09.3''        | 54°50'25.4'' |
| 003         | 72  | 065           | 55     | 4      | 36°32'09.0''        | 54°50'25.0'' |
| 088         | 74  | 088           | 74     | 1      | 36°32'09.1''        | 54°50'23.2'' |
| 354         | 75  | 058           | 58     | 4      | 36°32'08.3''        | 54°50'22.0'' |
| 304         | 74  | 015           | 48     | 4      | 36°32'12.2''        | 54°50'20.5'' |
| 302         | 60  | 351           | 49     | 4      | 36°32'12.8''        | 54°50'21.5'' |
| 003         | 54  | 027           | 52     | 1      | 36°32'11.1''        | 54°50'15.4'' |
| 060         | 73  | 107           | 66     | 1      | 36°32'09.8''        | 54°50'17.6'' |
| 358         | 68  | 010           | 67     | 1      | 36°32'09.8''        | 54°50'17.6'' |
| 340         | 50  | 019           | 43     | 4      | 36°42'20.5''        | 55°05'12.0'' |
| 345         | 55  | 041           | 39     | 4      | 36°42'24.9''        | 55°05'14.5'' |
| 338         | 62  | 032           | 48     | 4      | 36°42'27.5''        | 55°05'16.4'' |
| 345         | 70  | 053           | 46     | 4      | 36°42'33.3''        | 55°05'16.4'' |
| 350         | 59  | 043           | 45     | 4      | 36°42'34.1''        | 55°05'17.0'' |
| 342         | 65  | 354           | 64     | 1      | 36°42'37.1''        | 55°05'25.9'' |
| 344         | 71  | 023           | 66     | 1      | 36°42'37.7''        | 55°05'26.3'' |
| 342         | 53  | 035           | 38     | 4      | 36°42'40.9''        | 55°05'29.8'' |
| 330         | 61  | 034           | 38     | 4      | 36°42'50.5''        | 55°05'38.1'' |
| 335         | 49  | 025           | 36     | 4      | 36°42'50.8''        | 55°05'38.3'' |
| 345         | 67  | 008           | 65     | 1      | 36°42'53.6''        | 55°05'41.2'' |
| 342         | 71  | 030           | 63     | 1      | 36°42'54.0''        | 55°05'42.3'' |
| 357         | 50  | 049           | 36     | 4      | 36°42'58.1''        | 55°05'43.8'' |
| 338         | 62  | 027           | 51     | 4      | 36°43'01.1''        | 55°05'47.6'' |
| 008         | 56  | 069           | 36     | 4      | 36°43'02.4''        | 55°05'47.9'' |

پیوست ۷- داده‌های برداشت شده از ناودیس چهل دختر در پیمایش  $T_1$ 

| No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. |
|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|
| 1  | 63  | 146      | 20 | 44  | 187      | 39 | 46  | 210      | 58 | 41  | 229      | 77 | 45  | 264      |
| 2  | 65  | 148      | 21 | 41  | 198      | 40 | 55  | 211      | 59 | 48  | 241      | 78 | 38  | 260      |
| 3  | 64  | 155      | 22 | 45  | 198      | 41 | 56  | 219      | 60 | 54  | 252      | 79 | 41  | 267      |
| 4  | 69  | 153      | 23 | 44  | 208      | 42 | 48  | 218      | 61 | 47  | 251      | 80 | 46  | 266      |
| 5  | 77  | 147      | 24 | 37  | 202      | 43 | 57  | 213      | 62 | 38  | 252      | 81 | 46  | 255      |
| 6  | 74  | 149      | 25 | 36  | 205      | 44 | 50  | 217      | 63 | 39  | 248      | 82 | 49  | 268      |
| 7  | 72  | 156      | 26 | 55  | 201      | 45 | 50  | 210      | 64 | 47  | 253      | 83 | 44  | 262      |
| 8  | 66  | 169      | 27 | 54  | 202      | 46 | 42  | 217      | 65 | 59  | 258      | 84 | 52  | 276      |
| 9  | 67  | 150      | 28 | 47  | 201      | 47 | 61  | 202      | 66 | 50  | 255      | 85 | 50  | 269      |
| 10 | 67  | 162      | 29 | 40  | 202      | 48 | 54  | 225      | 67 | 58  | 260      | 86 | 54  | 270      |
| 11 | 50  | 159      | 30 | 41  | 202      | 49 | 51  | 227      | 68 | 59  | 262      | 87 | 57  | 283      |
| 12 | 46  | 166      | 31 | 56  | 200      | 50 | 58  | 221      | 69 | 53  | 254      | 88 | 53  | 287      |
| 13 | 54  | 169      | 32 | 59  | 211      | 51 | 51  | 208      | 70 | 49  | 258      | 89 | 50  | 276      |
| 14 | 66  | 160      | 33 | 57  | 209      | 52 | 54  | 208      | 71 | 44  | 264      | 90 | 55  | 275      |
| 15 | 45  | 157      | 34 | 50  | 205      | 53 | 49  | 212      | 72 | 48  | 269      | 91 | 56  | 276      |
| 16 | 69  | 167      | 35 | 54  | 208      | 54 | 50  | 218      | 73 | 55  | 253      | 92 | 64  | 270      |
| 17 | 60  | 169      | 36 | 39  | 202      | 55 | 50  | 210      | 74 | 42  | 255      |    |     |          |
| 18 | 50  | 168      | 37 | 42  | 214      | 56 | 37  | 235      | 75 | 55  | 265      |    |     |          |
| 19 | 30  | 188      | 38 | 51  | 207      | 57 | 49  | 228      | 76 | 50  | 260      |    |     |          |

پیوست ۸- داده‌های برداشت شده از ناودیس چهل دختر در پیمایش  $T_2$ 

| No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. |
|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|
| 1  | 32  | 183      | 11 | 39  | 190      | 21 | 56  | 272      |
| 2  | 25  | 180      | 12 | 36  | 171      | 22 | 41  | 270      |
| 3  | 32  | 178      | 13 | 41  | 179      | 23 | 50  | 272      |
| 4  | 25  | 217      | 14 | 41  | 177      | 24 | 54  | 294      |
| 5  | 29  | 205      | 15 | 39  | 180      | 25 | 49  | 294      |
| 6  | 36  | 234      | 16 | 34  | 180      | 26 | 30  | 276      |
| 7  | 47  | 260      | 17 | 31  | 270      | 27 | 45  | 270      |
| 8  | 51  | 270      | 18 | 23  | 270      | 28 | 45  | 267      |
| 9  | 38  | 173      | 19 | 27  | 274      | 29 | 42  | 265      |
| 10 | 41  | 173      | 20 | 50  | 275      | 30 | 30  | 274      |

## پیوست ۹- داده‌های برداشت شده از تاق‌دیس چهل‌دختر در سازند فجین

| No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. |
|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|
| 1  | 31  | 270      | 11 | 45  | 270      | 21 | 45  | 285      |
| 2  | 23  | 270      | 12 | 45  | 267      | 22 | 36  | 285      |
| 3  | 27  | 274      | 13 | 42  | 265      | 23 | 45  | 268      |
| 4  | 50  | 275      | 14 | 30  | 274      | 24 | 35  | 275      |
| 5  | 56  | 272      | 15 | 53  | 280      | 25 | 20  | 185      |
| 6  | 41  | 270      | 16 | 50  | 290      | 26 | 25  | 175      |
| 7  | 50  | 272      | 17 | 53  | 283      | 27 | 28  | 167      |
| 8  | 54  | 294      | 18 | 57  | 275      | 28 | 24  | 173      |
| 9  | 49  | 294      | 19 | 28  | 263      | 29 | 15  | 177      |
| 10 | 30  | 276      | 20 | 53  | 267      | 30 | 16  | 170      |

## پیوست ۱۰- داده‌های برداشت شده از ناودیس فجین

| No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. |
|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|
| 1  | 26  | 224      | 14 | 26  | 240      | 27 | 45  | 182      | 40 | 45  | 162      |
| 2  | 25  | 228      | 15 | 30  | 209      | 28 | 42  | 184      | 41 | 42  | 163      |
| 3  | 28  | 224      | 16 | 29  | 225      | 29 | 35  | 182      | 42 | 41  | 165      |
| 4  | 30  | 225      | 17 | 31  | 214      | 30 | 35  | 181      | 43 | 51  | 153      |
| 5  | 28  | 226      | 18 | 27  | 200      | 31 | 43  | 185      | 44 | 65  | 154      |
| 6  | 28  | 224      | 19 | 29  | 203      | 32 | 40  | 181      | 45 | 54  | 158      |
| 7  | 30  | 231      | 20 | 30  | 207      | 33 | 46  | 182      | 46 | 52  | 157      |
| 8  | 29  | 219      | 21 | 29  | 196      | 34 | 48  | 174      | 47 | 51  | 148      |
| 9  | 29  | 223      | 22 | 34  | 189      | 35 | 49  | 175      | 48 | 41  | 163      |
| 10 | 25  | 221      | 23 | 33  | 204      | 36 | 48  | 175      | 49 | 50  | 149      |
| 11 | 36  | 223      | 24 | 29  | 202      | 37 | 52  | 180      | 50 | 51  | 146      |
| 12 | 26  | 243      | 25 | 37  | 194      | 38 | 41  | 176      |    |     |          |
| 13 | 30  | 220      | 26 | 45  | 184      | 39 | 55  | 178      |    |     |          |

پیوست ۱۱- داده‌های برداشت شده از تاق‌دیس چهل‌دختر در سازند کرج در پیمایش T<sub>4</sub> و T<sub>5</sub>

| T <sub>4</sub> |     |          |    |     |          |    |     |          | T <sub>5</sub> |     |          |
|----------------|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|----------------|-----|----------|
| No             | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No             | Dip | Dip.Dir. |
| 1              | 76  | 318      | 11 | 33  | 303      | 21 | 55  | 156      | 1              | 58  | 115      |
| 2              | 70  | 320      | 12 | 17  | 310      | 22 | 62  | 145      | 2              | 52  | 116      |
| 3              | 69  | 300      | 13 | 50  | 158      | 23 | 66  | 153      | 3              | 35  | 115      |
| 4              | 70  | 306      | 14 | 66  | 135      |    |     |          | 4              | 37  | 105      |
| 5              | 51  | 300      | 15 | 16  | 172      |    |     |          | 5              | 30  | 095      |
| 6              | 54  | 302      | 16 | 17  | 147      |    |     |          | 6              | 40  | 280      |
| 7              | 51  | 295      | 17 | 24  | 166      |    |     |          | 7              | 55  | 282      |
| 8              | 36  | 290      | 18 | 29  | 135      |    |     |          | 8              | 40  | 286      |
| 9              | 38  | 303      | 19 | 80  | 142      |    |     |          | 9              | 20  | 302      |
| 10             | 34  | 320      | 20 | 76  | 134      |    |     |          |                |     |          |

پیوست ۱۲- داده‌های برداشت شده از تاق‌دیس سرخ‌چشمه در پیمایش T<sub>6</sub>

| No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. |
|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|
| 1  | 49  | 160      | 14 | 50  | 132      | 27 | 55  | 132      | 40 | 63  | 000      |
| 2  | 42  | 154      | 15 | 43  | 133      | 28 | 48  | 130      | 41 | 60  | 358      |
| 3  | 55  | 143      | 16 | 49  | 136      | 29 | 47  | 128      | 42 | 56  | 356      |
| 4  | 54  | 139      | 17 | 52  | 137      | 30 | 44  | 135      | 43 | 70  | 004      |
| 5  | 54  | 144      | 18 | 53  | 132      | 31 | 50  | 132      | 44 | 73  | 004      |
| 6  | 53  | 137      | 19 | 34  | 132      | 32 | 50  | 138      | 45 | 70  | 006      |
| 7  | 46  | 138      | 20 | 40  | 133      | 33 | 54  | 136      | 46 | 66  | 003      |
| 8  | 50  | 145      | 21 | 46  | 122      | 34 | 46  | 143      | 47 | 70  | 005      |
| 9  | 33  | 147      | 22 | 40  | 139      | 35 | 45  | 148      | 48 | 66  | 005      |
| 10 | 38  | 142      | 23 | 48  | 131      | 36 | 47  | 155      | 49 | 70  | 008      |
| 11 | 43  | 137      | 24 | 50  | 130      | 37 | 44  | 005      | 50 | 69  | 357      |
| 12 | 44  | 145      | 25 | 50  | 132      | 38 | 40  | 016      | 51 | 61  | 008      |
| 13 | 60  | 137      | 26 | 51  | 139      | 39 | 45  | 010      | 52 | 57  | 010      |

پیوست ۱۳- داده‌های برداشت شده از تاق‌دیس سرخ‌چشمه در پیمایش T<sub>7</sub>

| No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. |
|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|
| 1  | 66  | 358      | 7  | 53  | 343      | 13 | 27  | 135      |
| 2  | 70  | 356      | 8  | 46  | 346      | 14 | 36  | 120      |
| 3  | 67  | 357      | 9  | 53  | 343      | 15 | 35  | 117      |
| 4  | 65  | 350      | 10 | 42  | 002      | 16 | 35  | 135      |
| 5  | 60  | 350      | 11 | 41  | 008      | 17 | 22  | 141      |
| 6  | 45  | 352      | 12 | 25  | 140      | 18 | 36  | 160      |

پیوست ۱۴- داده‌های برداشت شده از تاق‌دیس سرخ‌چشمه در پیمایش T<sub>8</sub>

| No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. |
|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|
| 1  | 32  | 340      | 8  | 38  | 350      | 15 | 25  | 152      |
| 2  | 31  | 356      | 9  | 40  | 358      | 16 | 45  | 136      |
| 3  | 25  | 348      | 10 | 32  | 350      | 17 | 41  | 137      |
| 4  | 27  | 332      | 11 | 37  | 147      | 18 | 36  | 160      |
| 5  | 23  | 342      | 12 | 30  | 153      | 19 | 32  | 153      |
| 6  | 29  | 343      | 13 | 29  | 150      | 20 | 48  | 150      |
| 7  | 32  | 346      | 14 | 39  | 152      | 21 | 49  | 145      |

پیوست ۱۵- داده‌های برداشت شده از چین‌خوردگی‌های نهشته‌های میوسن در پیمایش‌های T<sub>9</sub> و T<sub>10</sub>

| Fo <sub>1</sub> |     |          | Fo <sub>2</sub> |     |          | Fo <sub>3</sub> |     |          | Fo <sub>4</sub> |     |          | Fo <sub>5</sub> |     |          |
|-----------------|-----|----------|-----------------|-----|----------|-----------------|-----|----------|-----------------|-----|----------|-----------------|-----|----------|
| No              | Dip | Dip.Dir. | No              | Dip | Dip.Dir. | No              | Dip | Dip.Dir. | No              | Dip | Dip.Dir. | No              | Dip | Dip.Dir. |
| 1               | 62  | 204      | 1               | 39  | 002      | 1               | 19  | 105      | 1               | 25  | 165      | 1               | 62  | 204      |
| 2               | 71  | 202      | 2               | 24  | 000      | 2               | 17  | 120      | 2               | 29  | 178      | 2               | 71  | 202      |
| 3               | 64  | 198      | 3               | 60  | 009      | 3               | 06  | 110      | 3               | 42  | 172      | 3               | 64  | 198      |
| 4               | 59  | 195      | 4               | 60  | 015      | 4               | 20  | 108      | 4               | 47  | 176      | 4               | 59  | 195      |
| 5               | 45  | 205      | 5               | 56  | 008      | 5               | 11  | 042      | 5               | 21  | 170      | 5               | 45  | 205      |
| 6               | 39  | 215      | 6               | 60  | 012      | 6               | 30  | 326      | 6               | 39  | 158      | 6               | 39  | 215      |
| 7               | 49  | 351      | 7               | 54  | 017      | 7               | 13  | 355      | 7               | 51  | 165      | 7               | 49  | 351      |
| 8               | 45  | 352      | 8               | 58  | 015      | 8               | 22  | 358      | 8               | 40  | 305      | 8               | 45  | 352      |
| 9               | 40  | 002      | 9               | 65  | 178      | 9               | 20  | 340      | 9               | 32  | 315      | 9               | 40  | 002      |
| 10              | 25  | 345      | 10              | 43  | 181      |                 |     |          | 10              | 35  | 310      | 10              | 25  | 345      |
|                 |     |          | 11              | 33  | 175      |                 |     |          | 11              | 28  | 316      |                 |     |          |
|                 |     |          | 12              | 27  | 165      |                 |     |          | 12              | 30  | 308      |                 |     |          |
|                 |     |          | 13              | 30  | 171      |                 |     |          |                 |     |          |                 |     |          |
|                 |     |          | 14              | 34  | 174      |                 |     |          |                 |     |          |                 |     |          |

پیوست ۱۶- داده‌های برداشت شده از ناودیس گورخان در پیمایش T<sub>11</sub>

| No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. |
|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|
| 1  | 64  | 330      | 10 | 64  | 338      | 19 | 19  | 327      | 28 | 34  | 217      | 37 | 66  | 194      |
| 2  | 71  | 335      | 11 | 70  | 335      | 20 | 21  | 325      | 29 | 48  | 210      | 38 | 65  | 197      |
| 3  | 70  | 325      | 12 | 50  | 341      | 21 | 26  | 334      | 30 | 63  | 205      | 39 | 69  | 202      |
| 4  | 65  | 342      | 13 | 61  | 342      | 22 | 31  | 316      | 31 | 71  | 194      | 40 | 63  | 201      |
| 5  | 71  | 338      | 14 | 50  | 342      | 23 | 26  | 249      | 32 | 80  | 200      | 41 | 78  | 199      |
| 6  | 70  | 340      | 15 | 44  | 339      | 24 | 40  | 317      | 33 | 75  | 195      | 42 | 64  | 188      |
| 7  | 68  | 341      | 16 | 41  | 340      | 25 | 32  | 312      | 34 | 84  | 193      |    |     |          |
| 8  | 67  | 338      | 17 | 46  | 337      | 26 | 26  | 255      | 35 | 71  | 190      |    |     |          |
| 9  | 52  | 350      | 18 | 34  | 334      | 27 | 26  | 218      | 36 | 70  | 192      |    |     |          |

پیوست ۱۷- داده‌های برداشت شده از ناودیس دینو در پیمایش T<sub>12</sub>

| No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. |
|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|
| 1  | 42  | 136      | 17 | 36  | 305      | 33 | 45  | 300      | 49 | 45  | 302      |
| 2  | 41  | 130      | 18 | 55  | 325      | 34 | 44  | 296      | 50 | 40  | 295      |
| 3  | 42  | 134      | 19 | 51  | 315      | 35 | 39  | 298      | 51 | 44  | 302      |
| 4  | 40  | 132      | 20 | 54  | 310      | 36 | 50  | 288      | 52 | 40  | 300      |
| 5  | 42  | 125      | 21 | 51  | 308      | 37 | 50  | 300      | 53 | 30  | 294      |
| 6  | 25  | 116      | 22 | 49  | 307      | 38 | 45  | 304      | 54 | 30  | 310      |
| 7  | 56  | 122      | 23 | 47  | 311      | 39 | 49  | 305      | 55 | 25  | 300      |
| 8  | 46  | 128      | 24 | 50  | 305      | 40 | 35  | 283      | 56 | 28  | 319      |
| 9  | 44  | 134      | 25 | 47  | 302      | 41 | 44  | 298      | 57 | 29  | 263      |
| 10 | 36  | 122      | 26 | 50  | 301      | 42 | 33  | 294      | 58 | 22  | 252      |
| 11 | 24  | 115      | 27 | 55  | 300      | 43 | 41  | 300      | 59 | 27  | 261      |
| 12 | 35  | 119      | 28 | 48  | 304      | 44 | 45  | 297      | 60 | 21  | 250      |
| 13 | 35  | 125      | 29 | 42  | 299      | 45 | 50  | 303      | 61 | 21  | 280      |
| 14 | 36  | 124      | 30 | 40  | 295      | 46 | 50  | 305      | 62 | 20  | 259      |
| 15 | 33  | 115      | 31 | 44  | 295      | 47 | 46  | 297      | 63 | 17  | 269      |
| 16 | 24  | 132      | 32 | 45  | 302      | 48 | 45  | 294      |    |     |          |

پیوست ۱۸- داده‌های برداشت شده از تاق‌دیس دینو در پیمایش T<sub>12</sub>

| No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. | No | Dip | Dip.Dir. |
|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|----|-----|----------|
| 1  | 35  | 198      | 15 | 35  | 152      | 29 | 49  | 307      | 43 | 50  | 288      | 57 | 40  | 295      |
| 2  | 40  | 206      | 16 | 40  | 145      | 30 | 47  | 311      | 44 | 50  | 300      | 58 | 44  | 302      |
| 3  | 29  | 214      | 17 | 30  | 152      | 31 | 50  | 305      | 45 | 45  | 304      | 59 | 40  | 300      |
| 4  | 25  | 212      | 18 | 35  | 146      | 32 | 47  | 302      | 46 | 49  | 305      | 60 | 30  | 294      |
| 5  | 29  | 204      | 19 | 25  | 185      | 33 | 50  | 301      | 47 | 35  | 283      | 61 | 30  | 310      |
| 6  | 29  | 211      | 20 | 45  | 185      | 34 | 55  | 300      | 48 | 44  | 298      | 62 | 25  | 300      |
| 7  | 34  | 195      | 21 | 40  | 200      | 35 | 48  | 304      | 49 | 33  | 294      | 63 | 28  | 319      |
| 8  | 38  | 160      | 22 | 45  | 182      | 36 | 42  | 299      | 50 | 41  | 300      | 64 | 29  | 263      |
| 9  | 31  | 175      | 23 | 25  | 155      | 37 | 40  | 295      | 51 | 45  | 297      | 65 | 22  | 252      |
| 10 | 43  | 165      | 24 | 36  | 305      | 38 | 44  | 295      | 52 | 50  | 303      | 66 | 27  | 261      |
| 11 | 26  | 195      | 25 | 55  | 325      | 39 | 45  | 302      | 53 | 50  | 305      | 67 | 21  | 250      |
| 12 | 32  | 205      | 26 | 51  | 315      | 40 | 45  | 300      | 54 | 46  | 297      | 68 | 21  | 280      |
| 13 | 35  | 170      | 27 | 54  | 310      | 41 | 44  | 296      | 55 | 45  | 294      | 69 | 20  | 259      |
| 14 | 48  | 160      | 28 | 51  | 308      | 42 | 39  | 298      | 56 | 45  | 302      | 70 | 17  | 269      |

## منابع

### منابع فارسی:

- آقانباتی، س.ع.، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۵۵ ص.
- آقانباتی، س.ع.، (۱۳۷۷)، "چینه‌شناسی ژوراسیک در ایران"، جلد اول، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۵۵ ص.
- اعراب، ف.، (۱۳۸۷)، "تحلیل ساختاری چین‌خوردگی و گسلش در باختر شاهرود"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه دامغان، ۱۷۶ ص.
- امیدی، پ.، نوگل سادات، م.، قرشی، م.، (۱۳۸۱)، "بازسازی تنش کواترنری بر اساس تحلیل لغزش در نیمه جنوبی البرز خاوری"، فصلنامه علمی- پژوهشی علوم زمین، شماره ۴۵-۴۶.
- پورکرمانی، م.، سلگی، ع.، (۱۳۸۸)، "مورفوتکتونیک"، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، ۱۸۷ ص.
- جعفریان، م.ب.، جلالی، ع.، (۱۳۸۳)، "نقشه زمین‌شناسی خوش‌ییلاق به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- خدابخش، س.، (۱۳۸۳)، "راهنمای تدوین پایان‌نامه برای دانشجویان علوم پایه"، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ۸۰ ص.
- حافظی مقدس، ن.، (۱۳۸۸)، "زمین ریخت‌شناسی کاربردی"، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۲۵۶ ص.
- خسروتهرانی، خ.، (۱۳۶۷)، "کلیاتی درباره چینه‌شناسی ایران و مقاطع تیپ تشکیلات"، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۴۲ ص.

رحیمی، ب.، (۱۳۸۱)، "مطالعات ساختاری رشته کوه البرز در شمال دامغان"، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۰۸ ص.

زمانی پدرام، م.، کریمی، ه.ر.، (۱۳۸۵)، "نقشه زمین‌شناسی علی‌آباد به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

شهرابی، م.، (۱۳۷۸)، "تریاس در ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، ۲۷۹ ص.

عباس نژاد، ا.، (۱۳۷۶)، "بررسی نو زمین‌ساختی مخروط‌افکنه‌های ناحیه کرمان"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۲۵-۲۶.

علیمی، ن.، (۱۳۸۴)، "بررسی لیتواستراتیگرافی سازندهای زیارت و کرج در شمال غرب و شمال شاهرود"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۷۶ ص.

قاسمی، م.ر.، (۱۳۸۷)، "پایه‌های زمین‌شناسی ساختمانی"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۲۰ ص.

قرشی، م.، آرین، م.، (۱۳۸۹)، "تکتونیک ایران"، انتشارات مربع آبی، ۳۳۶ ص.

مختارپور، ح.، (۱۳۷۶)، "سنگ‌شناسی و محیط رسوبی سنگ‌های آواری پرمین زیرین (سازند دورود) در ناحیه البرز"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۲۶-۲۵.

معماریان، ح.، (۱۳۸۷)، "زمین‌شناسی ساختاری"، انتشارات دانشگاه تهران، ۸۶۶ ص.

میرباقری، س. ر.، (۱۳۸۶)، "مشخصات سنگ‌شناسی، محیط رسوبی و سکانس استراتیگرافی سازند شمشک در ناحیه خوش‌یلاق"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۱۴ ص.

نورافکن، ا.، امیدی، پ.، طاهری، ع.، (۱۳۹۰)، "هندسه چین خوردگی نهشته‌های نئوژن در ناحیه چهل دختر (شمال خاوری شاهرود)"، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم، تهران.

نورافکن، ا.، طاهری، ع.، امیدی، پ.، (۱۳۹۰)، "تکتونیک و محیط رسوبی نهشته‌های میوسن- پلیوسن در ناحیه چهل دختر (شمال خاوری شاهرود)"، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن زمین-شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم، تهران.

### منابع لاتین:

- Afshar Harb, A., (1979), "The stratigraphy, tectonics and petroleum geology of the Kopet Dagh region, Northern Iran", Ph.D. Thesis, univ. of London .UK.
- Aharipour, R., Moussavi, M.R., Mosaddegh, H., Mistiaen, B., (2010), "Facies features and paleoenvironmental reconstruction of the Early to Middle Devonian syn-rift volcano-sedimentary succession (Padeha formation) in the Eastern-Alborz Mountain, NE Iran", *Facies* 56: 279-294.
- Alavi, M., (1996), "Tectonostratigraphy synthesis and structural style of the Alborz mountain system in Northern Iran", *Geodynamic*, 21(1), 1-33.
- Alavi Naini, M., Salehi-Rad, R., (1990), "Geological map of Gorgan, scale: 1:250000", *Geol. Surv. Iran*.
- Allen, M.B., Ghassemi, M.R., Shahrabi, M., Qorashi, M., (2003), "Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran", *Journal of Structural Geology*, v.25, pp. 659-627.
- Asserto, R., (1966), "The Jurassic Shemshak formation in central Elburz (Iran)".
- Barnes. I., Irwin, W.P., White, D.E., (1978), "Global distribution of carbon dioxide discharges and major zones of seismicity", United States Geological Survey, Water Resources Investigations, P. 78-39, Open File report.
- Berberian, M., King, G.G., (1981), "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", *Canadian Journal Earth Science*, 18: 210-265.

- Bozorgnia, F., (1973), "Paleozoic foraminiferal biostratigraphy of central and east Alborz Mountains, Iran". NIOC, Geological laboratories, 4:1-185.
- Brunet, M.F., Wilmsen, M., Granath, J.W., (2009), "South Caspian to Central Iran Basins", Geological Society London, London.
- Collinson, J.D., (1996), "Alluvial sediment. In: Sedimentary environments: processes facies and stratigraphy" , 3<sup>rd</sup> (h.G.Reading ed), Blackwell sciences, 37-82.
- Dedual, E., (1967), "Zur geologie des mittleren and unteren Karaj-Tales, Zentral – Elbourz (Iran)", 123 pp.
- Dellenbach, J., (1964), "Contribution a' L' etude geologique de la region situee a' L' est de Tehran (Iran)", fac. Sci. Uniiv. Strasbourg (France), 117 pp.
- Djamour, Y., Bayer, R., (2005), "Contribution of the geodetic observations (GPS and Leveling) to study the tectonic deformation and seismic hazard on the Central Alborz, Iran", Geophys. Res. Abstracts, Vol. 7, 1P.
- Ehteshami Moinabadi, M., Yassaghi, A., (2006), "Geometry and kinematics of the Mosha fault, south central Alborz Range, Iran: An example of basement involved thrusting", Journal of Asian Earth Sciences, doi: 10.1016,
- Fleuty, M.J., (1964), "The description of fold, Proceedings of the Geologist Association", vol. 35, pp. 461-492.
- Fossen, H., (2010), "Structural Geology", Cambridge University Press, New York.
- Fursich, F.T., Wilmsen, M., Seyed-Emami, K., Majidifard, M.R., (2009), "Lithostratigraphy of the Upper Triassic-Middle Jurassic Sheemshak Group of Northern Iran ,South Caspian to Central Iran Basin", The Geological Society, London, Special Publication, 312, 129-160.
- Golonka, J., (2007), "Geodynamic evolution of the South Caspian Basin", In: Yilmaz, Isaksen (Eds.), Oil and Gas of the Greater Caspian Area, American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology, Vol. 55, PP. 17-41.
- Hancock, P.L., Chalmers, R.M.L., Altunel, E., Cakir, Z., (1999), "Travertines: using travertines in active fault studies", Journal of Structural Geology. 21. PP 903-916.

- Hollingworth, J., Walker, R., Jackson, J., Bolourchi, M.J., Eshraghi, S.A., (2006), "Left lateral strike-slip faulting in the east of Alborz, NE Iran", AGU, 87(52), Fall Meet. Suppl.
- Jackson, J., Priestly, K., Allen, M., Berberian, M., (2002), "Active tectonic of the South Caspian Basin", *Geophysical Journal International*, v.148, p. 214-245.
- Javidfakhr, B., Bellier, O., Shabanian, E., Siame, L., Leanni, L., Bourles, D., Ahmadian, S., (2011a), "Fault kinematics and active tectonics at the southeastern boundary of the eastern Alborz (Abr and Khij fault zones)", *Geodynamic implications for NNE Iran*, *Journal of Geodynamics*, doi: 10.1016.
- Javidfakhr, B., Bellier, O., Shabanian, E., Ahmadian, S., Saidi, A., (2011b), "Plio-Quaternary tectonic regime changes in the transition zone between Alborz and Kopeh Dag mountain ranges (NE Iran)", *Journal of Tectonophysics*, doi: 10.1016.
- Jenny, J., (1977), "Precambrian et paleozoique in Ferieur, del Elbourz oriental anre Aliiabad et Shahrud, Iran du Inord-east", *Eclogae Geologica Helvetiae*, 70(30), 761-770.
- Marshak, S., Mitra, G., (1988), "Basic methods of structural geology", New-jersey: prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Martinson, O.J., Ryseth, A., Helland-Hansen, W., Flesche, H., Torkildsen, G., Idil, S., (1999), "Stratigraphic base level and fluvial architecture: Ericson Sansdstone (Companian). Rock springs uplifts, SW Wyoming, USA", *Sedimentology* 47, 235-259.
- Miall, A.D., (1996), "The geology of fluvial deposits, sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology", Springer-verlag, New York, 582 p.
- Miall, A.D., (2000), "Principle of Sedimentary Basin Analysis", (3<sup>rd</sup> edition), Springer-verlag, New York, 668 p.
- Morisawa, M., Hack, J.I., (1989), "Tectonic Geomorphology", Boston university, Chippenham, Wiltshire.
- Morner, N., (1990), "Neotectonics and structural geology", general introduction: *Bulletin International Quaternary Association Neotectonic Commission* 13, 87.
- Nogole Sadat, M.A.A., (1993), "Seismotectonic map of Iran", Geological Survey of Iran.

- Obruchev, V.A., (1948), "Osnovnyje certy kinetiki plastiki neotectoniki", Izvestiya Akademii Nauk UzSSR Sertiya Geologicheskaya, 5.
- Ramsay, J.G., Huber, M.I., (1983), "The techniques of modern structural geology", Volume 1: Strain analysis, London: Academic Press.
- Ramsay, J.G., Huber, M.I., (1987), "The techniques of modern structural geology", Volume 2: Fold and Fractures, London: Academic Press.
- Reading, H.G., (1996), "Sedimentary environments: processes facies and stratigraphy", 3<sup>rd</sup> Ed, Blackwell sciences, 688 pp.
- Ritter, D.F., Kochel, R.C., Miller, J.R., (1995), "Process Geomorphology", 3<sup>rd</sup> Ed: W.C. Brown. Publishers, Dubuque, IA, 539 pp.
- Schoorl, J.M., Veldkamp, A., (2003), "Late Cenozoic landscape development and its tectonic implications for the Guadalhorce valley near Alora (Southern Spain)", Geomorphology 50. P. 43-57.
- Sengor, A. M. C., Altiner, D., Cin, A., Ustamoar, T. and Hsu, K. J., (1988), "Origin and Assembly of the Teyhyside Orogenic collage at the expense of Gondwana Land, in: Gondwana and Tethys", (ed. By M.G. Audley charls and A. Hahham), Geol. Soc. Of London, Spicial paper 37, 119-181.
- Slemmons, D.B., (1991), Introduction. In: Slemmons, D.B., Engdahl, E.R., Zoback, M.D., Blackwell, D.D., (eds). "Neotectonics of North America", Geological Society of America 1-20.
- Stampfli, G.M., (1978), "Etude geologique generale de Elburz oriental au S.Gonbad –e – qabus, (Iran, NE)", these fac. Sei. Univ. Geneve, 1-315.
- Stewart, I.S., Hancock, P.L., (1994), "Neotectonics. In: Continental deformation", ed. By P.L. Hancock). Pergamon press Ltd, Oxford, PP. 370-376.
- Stocklin, J., (1968), "Structural history and tectonics of Iran, A review", American Association of petroleum Geologists Bulletin. v. 52, pp. 1229-1258.
- Tatar, M., (2001), "Etude seismotectonique de deux zones de collision continental: Le Zagros Central et l' Alborz (Iran)", PhD. Thesis, University de Joseph Fourier.
- Vail, P. R., Mitchum, R. M. and Thompson III, S., (1977), "Seismic stratigraphy and global changes of sea level", part 4. In: Global cycles of relative changes of sea level. AAPG Mem. 26, 83-97.

- Vernant, Ph., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., Masson. F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R, Tavakoli, F., Chery, J., (2004), "Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman, *Geophys. J. Int.*, Vol. 157, PP. 381-398.
- Vita-Finzi, C., (1986), "Recent Earth movement- An introduction to Neotectonics", Academic Press, London, pp. 226.

## **Abstract**

Chehel-Dokhtar area in the northeast of Shahrood, is a part of south margin the eastern Alborz. Stratigraphic studies illustrate outcrops of Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic rock units in this area with prevailing northeast-southwest to east-west structural trend. All of the studied folds, except for Sorkh-Cheshmeh anticline which is the result of folding in Lower Carboniferous limestone (Mobarak Formation), are production of folding in Tertiary formation. Based on interlimb angle of fold (Fleuty 1964), most of the fold have taken place in open field and with less frequently is gentle. Based on the dip of axial plane and plunge of hinge line, the studied fold are classified into two domains: 1- Upright sub-horizontal, 2- Upright gently plunging and just a few located in rank of steeply inclined gently plunging. The faults that their strikes are northeast-southwest such as Abr, Mighan, Khij and Kalateh Bon, have left lateral reverse mechanism and those with north-south trend include right lateral mechanism. This geometrical arrangement and kinematics of faults is compatible with regional left lateral transpression. Geomorphologic features of studied area highly affected by tectonic elements such as folds and faults. Reverse faults and folds are main factors in creating morphology of north part, but plains in middle and southern parts are largely created by Khij and Mighan with prevailing strike slip component. Evidences of neotectonics activities are observable with some geological records such as fault escarpment, dislocated streams, travertine forming spring, displacement of alluvial fans and also deformation of young formation and quaternary sediments.

Key words: Chehel-Dokhtar, Shahrood, Mighan, Khij, Abr, Neotectonic



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Earth Sciences**

**Tectonic Group**

**Structural analysis of folding and faulting in the Chehel Dokhter region  
(Northeast of Shahrood)**

**Akbar Nourafkan**

**Supervisor**

**Dr. P. Omid**

**Advisor**

**Dr. A. Taheri**

**July 2012**