

# تحلیل هندسی - جنبشی پهنه گسلی کلرد در شمال ازبک کوه، ایران مرکزی

محمد مومنی طارمسری<sup>۱</sup>، مریم ده بزرگی<sup>۲</sup>، رضا نوزعیم<sup>۳</sup> و علی یساقی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۱۴

## چکیده

گسل کلرد یکی از گسل های مهم بنیادی ایران مرکزی به شمار می رود. کوه های ازبک کوه نیز با راستای شمال خاور- جنوب باختر در شمال بلوک طبس، در ورقه ایران مرکزی در پهنه گسلی کلرد قرار دارند. بنابراین تجزیه و تحلیل چین ها و گسل ها در این پهنه دگرریخت شده می تواند در درک تکوین زمین ساختی این ناحیه از ایران مرکزی مفید باشد. در این مطالعه به منظور ارائه تصویری روشن برای درک تکامل ساختاری منطقه ازبک کوه، به انجام عملیات صحرایی و تجزیه و تحلیل هندسی - جنبشی گسل ها و چین ها و بررسی تکامل ساختاری آنها پرداخته شده است. نتیجه مطالعات نشان دهنده آن است که در بازه زمانی قبل از کرتاسه منطقه ازبک کوه تحت تأثیر یک رژیم تنش فشارشی با روند عمود بر گسل کلرد قرار داشته که سبب تشکیل چین ها و گسل های موازی با روند سطح محوری آنها شده است، سپس با تغییر رژیم فشارشی به راستالغز راست بر در زمان سنوزویک در جهت شمال خاور- جنوب باختر، گسل های منطقه و صفحه محوری چین ها و دیگر ساختارهای مرتبط با آنها تحت تأثیر این تنش امتدادلغز قرار گرفته اند. به طور کلی الگوی هندسی و جنبشی گسل های منطقه مورد مطالعه با توجه به گسل های اصلی و گسل های  $R'$ ،  $P$ ،  $R$  و  $X$  از نوع برش ساده و فشارش موازی با پهنه دگرریختی است، که در این الگو، برش ساده الگوی غالب است و فشارش مؤلفه جزئی به نظر می رسد. سازوکار گسل های منطقه مورد مطالعه نشان دهنده آن است که دگرریختی کوه های ازبک کوه به سمت مراحل پایانی برش ساده بوده است. گام های متعدد دگرریختی، حرکات برش ساده و شدت دگرشکلی در گستره مطالعاتی باعث شده است تا امتداد همه ساختارها به موازات پهنه گسلی اصلی در امتداد شمال خاور- جنوب باختر قرار گیرند.

**کلیدواژه ها:** تحلیل هندسی - جنبشی، گسل کلرد، ازبک کوه، ایران مرکزی.

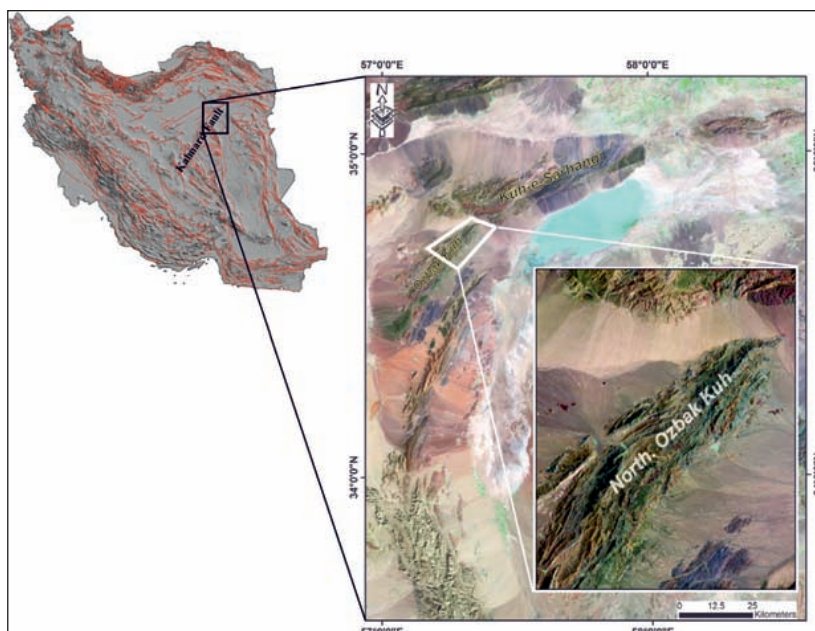
\*نویسنده مسئول: مریم ده بزرگی

E-mail: m\_dehbozorgi@khu.ac.ir

## ۱- پیش نوشتار

احاطه شده توسط گسل های راستالغز در خرده قاره ایران مرکزی در اثر همگرایی بین صفحات عربستان و اوراسیا در روند شمال، شمال خاور- جنوب، جنوب باختر دچار چرخش شده اند (Allen et al., 2011). گستره مطالعاتی بین عرض های جغرافیایی  $34^{\circ} 6' 8''$  تا  $34^{\circ} 8' 0''$  شمالی و طول های جغرافیایی  $57^{\circ} 15'$  تا  $57^{\circ} 43'$  خاوری قرار دارد که در نقشه ساختاری ایران و بر روی تصویر ماهواره ای نشان داده شده است (شکل ۱).

منطقه مورد مطالعه در پهنه ایران مرکزی، مابین بلوک یزد و طبس و به عبارت دقیق تر در مرز بلوک لوت در زیر پهنه ساختاری کاشمر - کرمان (Ramezani and Tucker, 2003) قرار دارد. پهنه ایران مرکزی از واحدهای ساختاری - رسوبی ایران زمین محسوب می شود که دارای ویژگی های ناهمگن و گوناگون است. به دلیل ناهمسانی های ساختاری - رسوبی گسترده، خرده قاره ایران مرکزی را می توان به بلوک های مختلفی تقسیم کرد. بلوک های



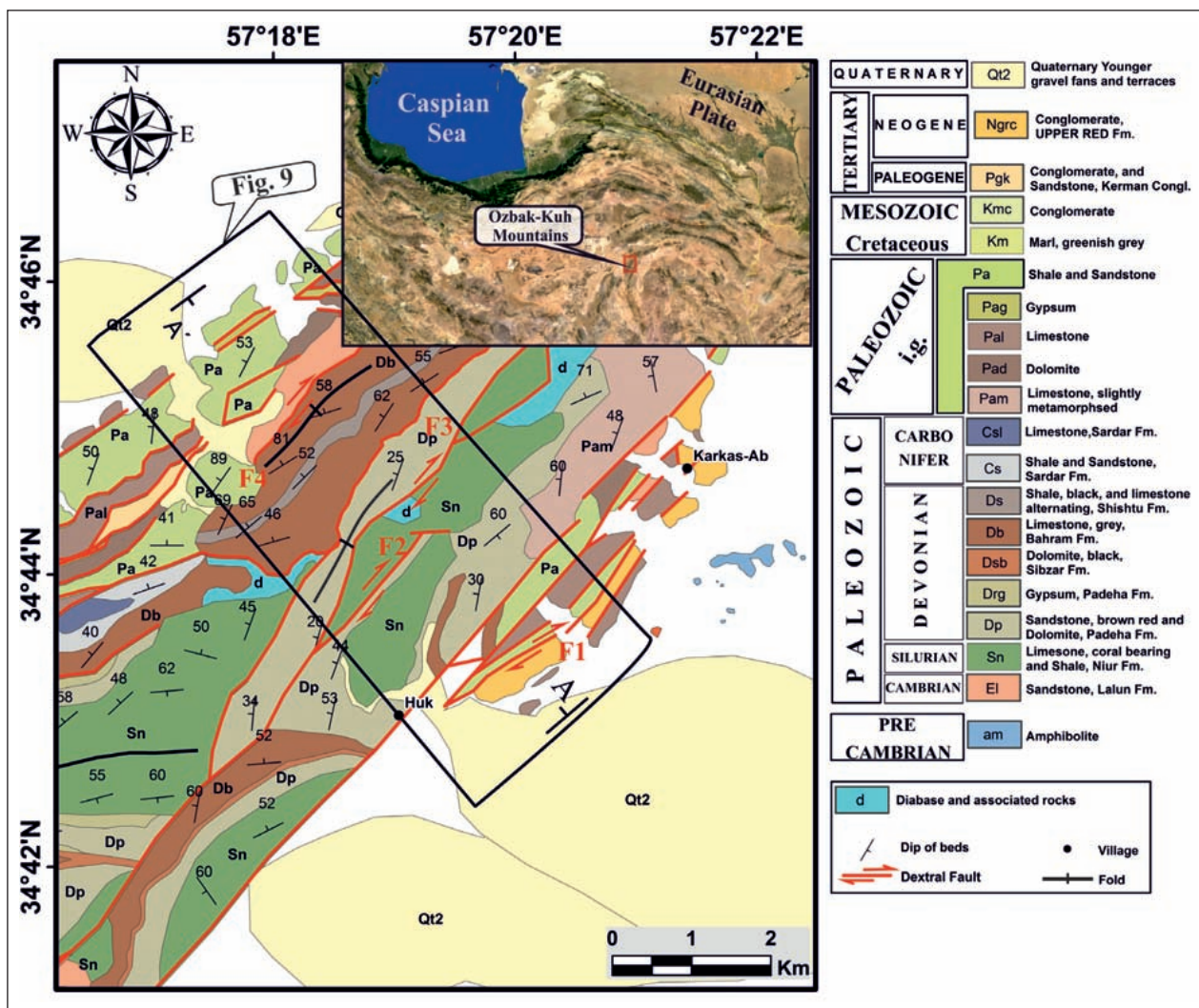
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر سایه روشن مدل رقومی ارتفاعی و تصویر ماهواره ای لندست ۷ در کوه های ازبک کوه.

است که بیشتر سنگ‌های دوران پرکامبرین، پالئوزویک و سنگ‌های آذرین و دگرگونی مربوطه در این زیر پهنه برونزد دارند (Ramezani and Tucker, 2003). منطقه ازبک کوه در امتداد پهنه گسلی کلمرد یکی از مناطقی است که تحت تأثیر فازهای کوهزایی مختلفی از پرکامبرین تا به امروز قرار گرفته است. شناخت ساختارهای این منطقه، مقدمه‌ای بر مطالعه این پهنه گسلی است. منطقه ازبک کوه محل شاخص تعدادی از واحدهای چینه‌شناسی پالئوزویک است. تشکیل دهنده عمده واحدهای چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه ازبک کوه، آهک سازند نیور به سن سیلورین، ماسه‌سنگ سازند پادها، آهک بهرام و دولومیت سازند سبیزار به سن دوین و شیل و آهک‌های سازند سردر به سن کربونیفر است و در مناطق خاوری و باختری ازبک کوه واحدهای کامبرین و پرکامبرین برونزد دارند. نقشه زمین‌شناسی منطقه ازبک کوه که در مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰ تهیه شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه به شدت دگرخت شده‌اند که در نقشه‌های زمین‌شناسی به آن اشاره شده است و در تصاویر ماهواره‌ای به خوبی قابل مشاهده هستند. منطقه مورد مطالعه در شمال ازبک کوه تاکنون از لحاظ ساختاری مورد مطالعه قرار نگرفته است و اطلاعاتی درباره سازوکار گسل‌ها و چین‌های این منطقه و ارتباط بین گسلش و چین‌خوردگی و جنبش‌شناسی آنها در دست نیست. در این پژوهش قسمت شمالی کوه‌های ازبک کوه، در پهنه گسلی کلمرد، به منظور تحلیل هندسی- جنبشی مجموعه چین‌ها و گسل‌های موجود در منطقه انتخاب شده است تا با برداشت و مطالعه عناصر ساختاری بتوان تکامل ساختاری منطقه را مورد بررسی قرار داد.

## ۲- زمین‌شناسی عمومی

منطقه مابین بلوک‌های یزد و طبس به نام زیر پهنه کاشمر- کرمان شناخته شده



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰,۰۰۰ شمال ازبک کوه و محل برش ساختاری در آن (واحدهای چینه‌شناسی برگرفته از Ruttner et al., 1968).

شمالی‌ترین بخش گسل کلمرد و مرز باختری بلوک طبس قرار گرفته است. بر همین اساس، تاریخچه تکامل زمین‌ساختی ازبک کوه و هندسه کنونی آن، وابسته به این گسل و چرخش بلوک طبس و متعاقباً کلیه بلوک‌های ایران مرکزی و خاور ایران است (شکل ۱).

در این نقشه واحدهای چینه‌شناسی از Ruttner et al. (1968) اقتباس شده است. در این ناحیه، واحدهای متنوع سنگی با تغییرات سنی از پرکامبرین تا ترشیری رخنمون دارند. حجم عمده واحدهای سنگی ناحیه ازبک کوه، شامل سکانس کاملی از سنگ‌های رسوبی پالئوزویک است. ازبک کوه از لحاظ موقعیت زمین‌شناسی، در

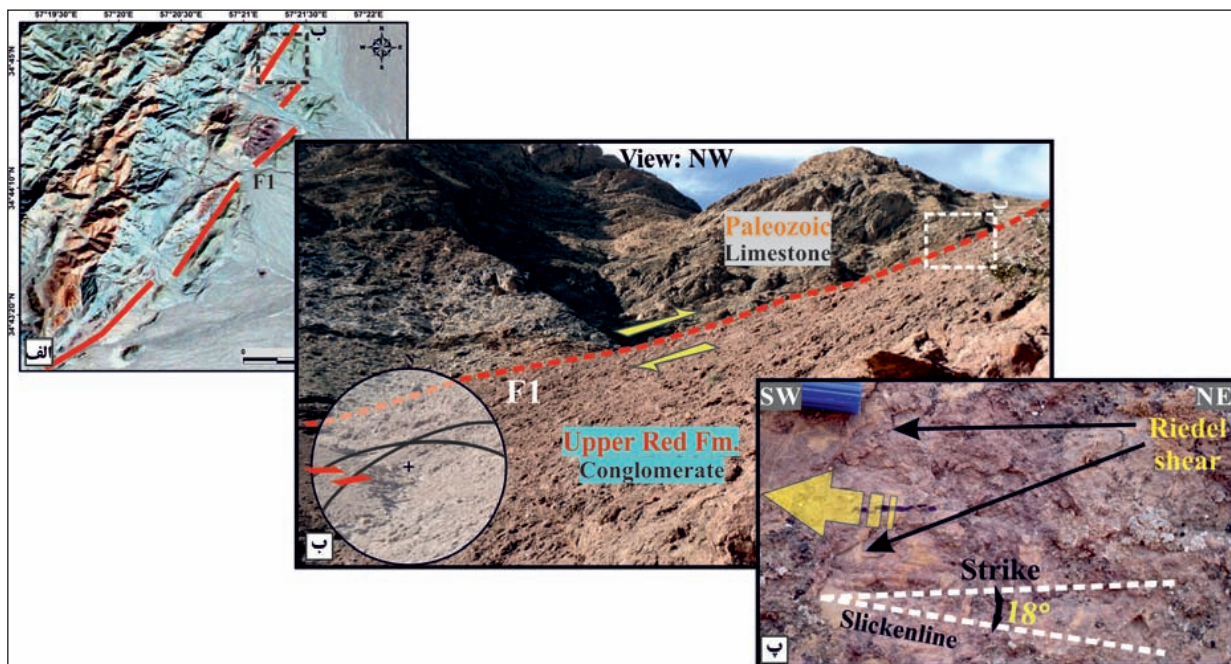
### ۳- روش کار

و صفحه محوری آنها به موازات گسل‌های اصلی منطقه است. بنابراین به منظور تعیین ارتباط بین چین‌ها با گسل‌های منطقه خصوصیات صفحه محوری نظیر امتداد و شیب آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر اساس مشاهدات صحرایی و بررسی تصویر ماهواره‌ای، موقعیت هندسی و جغرافیایی گسل‌ها و حرکات آنان مشخص شد. با توجه به اطلاعات حاصل، برش ساختاری و نقشه گسل‌های این منطقه رسم شد. در ادامه چین‌ها و گسل‌های مهم در برش AA' معرفی و به تفصیل توضیح داده می‌شوند.

#### ۳-۱. گسل‌های مورد مطالعه در ازبک‌کوه در برش AA'

– **گسل F1**: این گسل در مرزهای جنوب خاوری شمال ازبک‌کوه به صورت قطعه قطعه در بخش خاوری و شمال خاور روستای هوک بر روی تصویر ماهواره‌ای قابل مشاهده و ردیابی است (شکل ۳-الف). این گسل با طولی حدود ۷ کیلومتر دارای روند میانگین ۲۵۴ درجه و شیب ۷۰ درجه به سمت شمال باختر است که کنگلومرای سازند قرمز فوقانی را تحت تأثیر خود قرار داده است. این گسل کنگلومرای نئوژن را در کنار آهک‌های پالئوزویک قرار داده است (شکل ۳-ب). طبق مشاهدات صحرایی، صفحات گسلی دارای پله، خش‌لغزهای گسلی با ریک میانگین ۲۵ درجه و شکستگی‌های برشی از نوع R که در امتداد رخنمون‌های این گسل در سازند قرمز فوقانی برداشت شده است و همچنین قطعات کنگلومرای بریده شده، سازوکار این گسل را به صورت راستالغز راست‌بر نشان می‌دهد (شکل ۳-ب و شکل ۳-پ). ویژگی‌های عمومی این گسل در شکل ۳ آورده شده است.

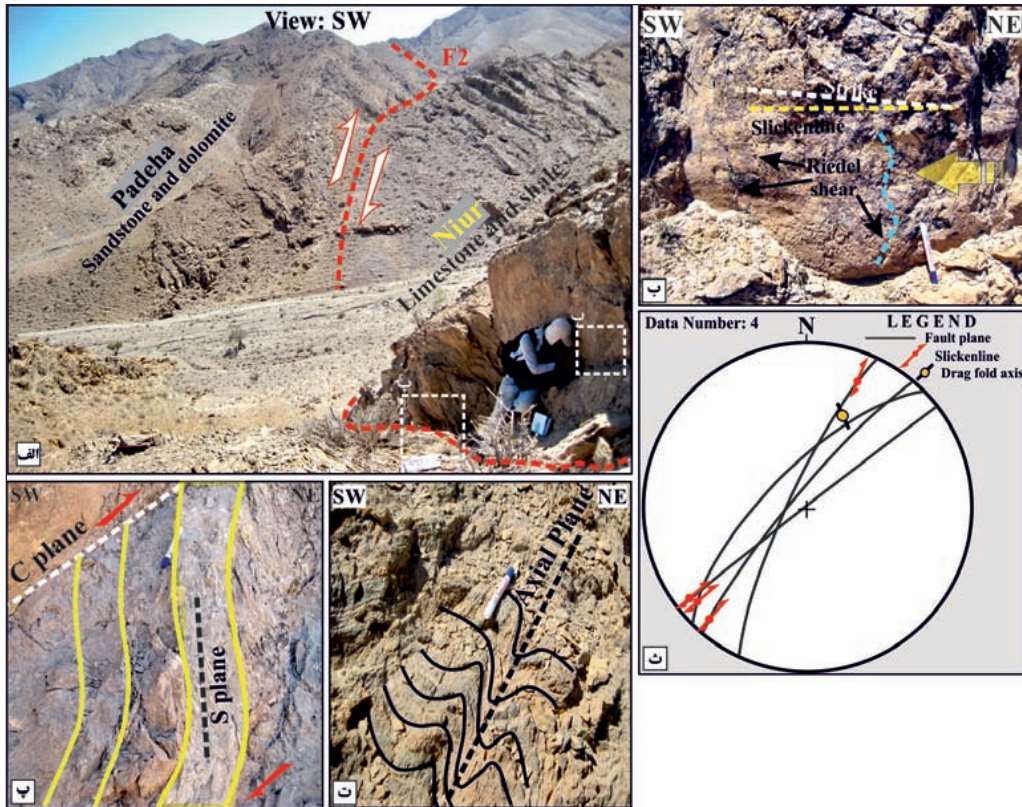
در این مطالعه برای بررسی و تحلیل ساختاری-جنبشی گستره شمال ازبک‌کوه به ترسیم یک برش ساختاری پرداخته شده است. شناسایی و بررسی ساختارهای منطقه ازبک‌کوه با برداشت‌ها و بازدیدهای صحرایی و همچنین با استفاده از اطلاعات نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ ازبک‌کوه و تصاویر ماهواره‌ای انجام و در ادامه به تلفیق و تکمیل داده‌ها پرداخته شد. برای ارزیابی جنبش‌شناسی چین‌خوردگی‌ها و گسل‌های گستره مورد مطالعه، هندسه ساختارهای موجود در راستای برش ساختاری AA' (شکل ۲) مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس ویژگی‌هایی مانند امتداد و شیب یال‌های چین و موقعیت محور که از چین‌ها در مطالعات صحرایی استخراج شد، این چین‌ها در تقسیم‌بندی‌های مختلفی از جمله (Hudleston (1973) و Fossen (2010) و Fleuty (1964) مورد مطالعه قرار گرفتند. همچنین بر اساس شواهد صحرایی، گسل‌های منطقه ازبک‌کوه و نوع حرکت آنها در برش ساختاری AA' مورد مطالعه قرار گرفتند. جهت تعیین نوع حرکت گسل‌ها از شاخص‌های استاندارد معرفی شده توسط (Petit (1987) و Doblas (1998) استفاده شده است. در عملیات صحرایی ساختارهایی مانند پهلوی چین‌ها، شیب و جهت شیب صفحه گسل، ساختار S-C، شکستگی‌های ریدل، زاویه ریک خش‌لغز و پله گسلی تشخیص داده شده و مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته‌اند. برداشت‌های صحرایی در برش AA' عمود بر روند ساختارهای اصلی انجام شد. بیشتر ساختارهای منطقه ازبک‌کوه را گسل‌های با روند شمال خاور-جنوب باختر تشکیل می‌دهند. چین‌خوردگی‌ها نیز در شمال ازبک‌کوه گسترش زیادی دارند



شکل ۳- مشخصات گسل F1: الف) تصویر ماهواره‌ای گسل F1؛ ب) مشاهدات صحرایی و تصویر استریوگرافیک گسل و خش‌لغزها؛ پ) موقعیت خش‌لغزها.

(شکل ۴-ث)، خش‌لغزهای این گسل با ریک ۱۰ تا ۱۵ درجه به همراه شکستگی‌های ریدل مرتبط با آن (شکل ۴-ب) سازوکار راستالغز راست‌بر را برای آن مشخص می‌کند (شکل ۴-الف). از دیگر ساختارهای مرتبط با این گسل، می‌توان به چین‌های مرتبط با آن در یک پهنه گسلی اشاره کرد (شکل ۴-ت). موقعیت محور این چین‌ها ۲۰/۴۲ است که با امتداد شمال خاوری-جنوب باختری این گسل همخوانی دارد. موقعیت محور این ریزچین‌ها به همراه گسل‌ها در تصویر استریوگرافیک آورده شده است (شکل ۴-ث).

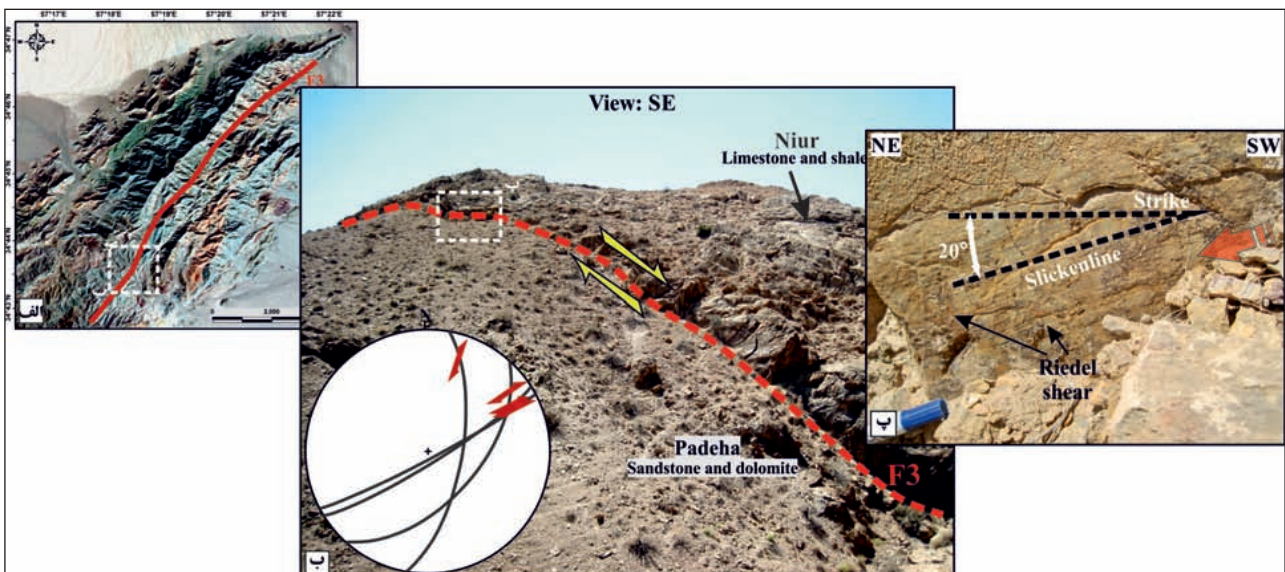
– **گسل F2**: این گسل با طولی حدود ۵ کیلومتر و شیب ۸۰ درجه به سمت شمال باختر، راستای میانگین ۲۲۰ درجه دارد. این گسل با حرکت خود دو سازند سنگ‌آهک و شیلی نیور به سن سیلورین و پادها (ماسه‌سنگ و دولومیت) به سن دونین را در کنار یکدیگر قرار داده است و با اینکه از نظر چینه‌شناسی همجواری این دو واحد در کنار هم طبیعی است، اما در مشاهدات صحرایی مرز این دو واحد که مرز سیلورین به دونین در ازبک‌کوه محسوب می‌شوند، گسله تشخیص داده شده است (شکل ۴-الف). صفحات C-S مشاهده شده در مجاورت این گسل



شکل ۴- مشخصات گسل F2: الف) نمایی از گسل F2 در بازدید صحرایی؛ ب) موقعیت خش لغزها بر روی صفحه گسل؛ پ) صفحات C-S- نشان‌دهنده سازوکار گسل؛ ت) چین مرتبط با این گسل؛ ث) تصویر استریوگرافیک گسل‌های برداشت شده به همراه موقعیت خش لغزها و محور drag fold.

مانند شکستگی‌های ریدل و خش لغز برداشت شده است (شکل ۵- پ) که باتوجه به آن سازوکار این گسل راستالغز راست بر تعیین شده است (شکل ۵- ب و شکل ۵- پ). این گسل با گسل F2 در یک پهنه گسلی و دگرریخت شده وسیع قرار دارند.

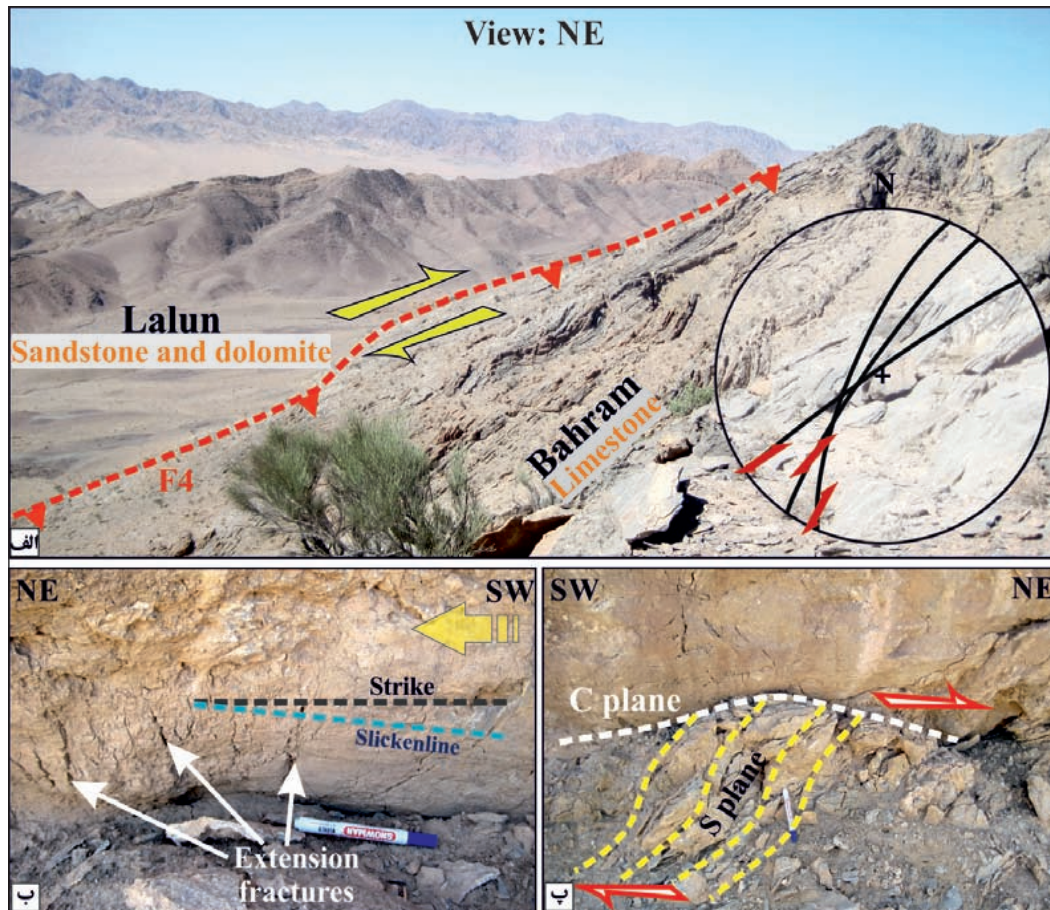
گسل F3: گسل F3 با طولی حدود ۱۲ کیلومتر دارای شیب میانگین ۷۷ درجه به سمت جنوب خاور و راستای متوسط ۵۰ درجه است. این گسل بر روی تصویر ماهواره‌ای به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۵- الف). با توجه به برداشت‌هایی که در قسمت‌های مختلف از صفحات این گسل انجام شده، شاخص‌های هندسی



شکل ۵- مشخصات و ویژگی‌های گسل F3: الف) موقعیت گسل F3 در شمال ازبک‌کوه بر روی تصویر ماهواره‌ای IRS؛ ب) نمایی از گسل در مشاهدات صحرایی به همراه تصویر استریوگرافیک گسل‌های برداشت شده به همراه موقعیت خش لغزها؛ پ) موقعیت خش لغزها.

صفحه گسلی که ریک میانگین ۲۰ درجه دارند (شکل ۶-ب) و شکستگی‌های کششی که آنها را همراهی می‌کنند و همچنین صفحات C-S که در مجاورت این گسل مشاهده شد (شکل ۶-پ) سازوکار راست‌لغز راست‌بر با مؤلفه راندگی نشان می‌دهد که این مؤلفه باعث قرار گیری ماسه‌سنگ لالون بر روی آهک بهرام شده است (شکل ۶-الف). ویژگی‌های عمومی این گسل در شکل ۶ به نمایش درآمده است.

– **گسل F4**: گسل F4 به طول حدود ۸ کیلومتر مرز جدا کننده واحدهای بهرام (سنگ آهک خاکستری رنگ) به سن دونین و سازند لالون (ماسه‌سنگ قرمز رنگ) به سن کامبرین است. این گسل با ترکیب رنگی کاذب و اختلاف رنگ واضحی که در تصویر ماهواره‌ای ایجاد می‌کند به وضوح قابل تشخیص است. این گسل با امتداد میانگین ۲۱۵ درجه و شیب ۸۲ درجه به سمت شمال باختر سازوکار راست‌لغز راست‌بر نشان می‌دهد (شکل ۶-الف). خش‌لغزهای برداشت شده از



شکل ۶- مشخصات و ویژگی‌های گسل F4: الف) نمایی از گسل F4 در مشاهدات صحرایی به همراه تصویر استریوگرافیک گسل‌های برداشت شده و موقعیت خش لغز بر روی آنها؛ ب) موقعیت خش لغزها بر روی صفحه این گسل؛ پ) صفحات C-S مشاهده شده در امتداد صفحه این گسل نشان‌دهنده سازوکار راست‌بر گسل.

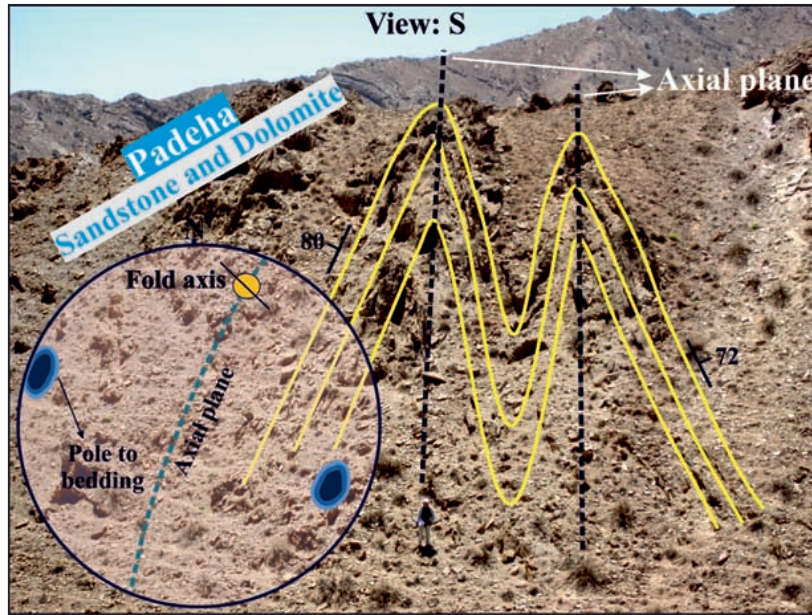
زاویه بین یالی چین‌ها (Fossen, 2010)، این چین‌ها با زاویه بین یالی ۳۰ درجه در کلاس چین‌های بسته (Tight) قرار می‌گیرند. به نظر می‌رسد چین خوردگی در منطقه ازبک کوه و شدت آن تا حد زیادی ناشی از افقی ژیبسی و مارنی سازند پادهاست که با توجه به گسترش زیاد این سازند در منطقه مورد مطالعه و همچنین نقش آفرینی افق تبخیری آن به عنوان یک سطح جدایشی (Detachment) چین‌های متعددی در این منطقه دیده می‌شود. قرار گیری سازند پادها در بخش‌های زیرین آهک‌های سازند بهرام و دولومیت سازند سیب‌زار باعث چین خوردگی زیاد این سازندها به خصوص در نواحی شمالی گستره مطالعاتی شده است.

### ۳-۳. برش ساختاری AA'

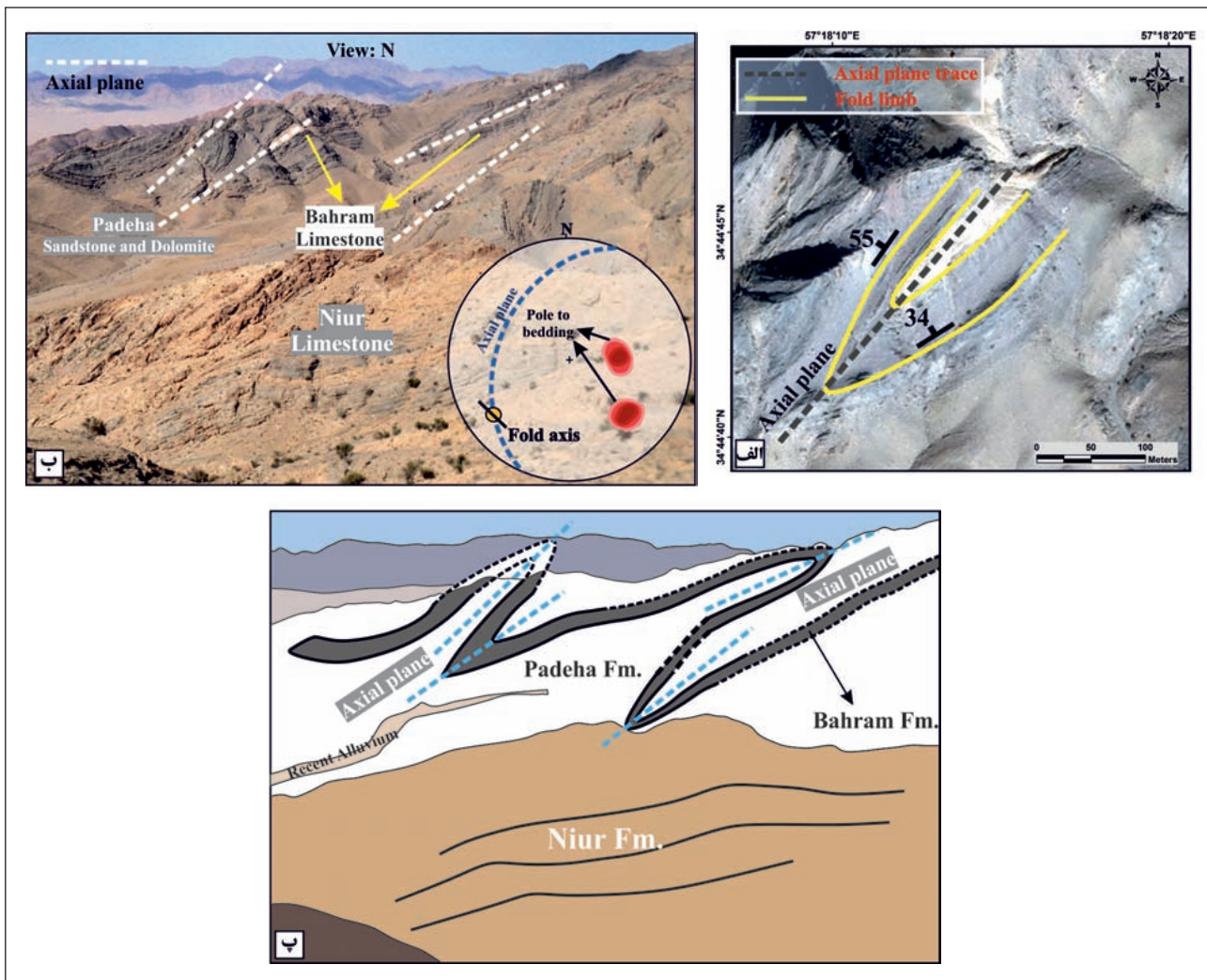
برش ساختاری AA' در راستای N145 ترسیم شده و حدود ۵/۵ کیلومتر طول دارد. این برش از بخش جنوب خاوری شمال ازبک کوه در مجاورت روستای هوک آغاز می‌شود و در قسمت شمال باختر نیمه شمالی ازبک کوه پایان می‌یابد (شکل ۹).

### ۳-۲. چین‌های مهم در محدوده برش ساختاری AA'

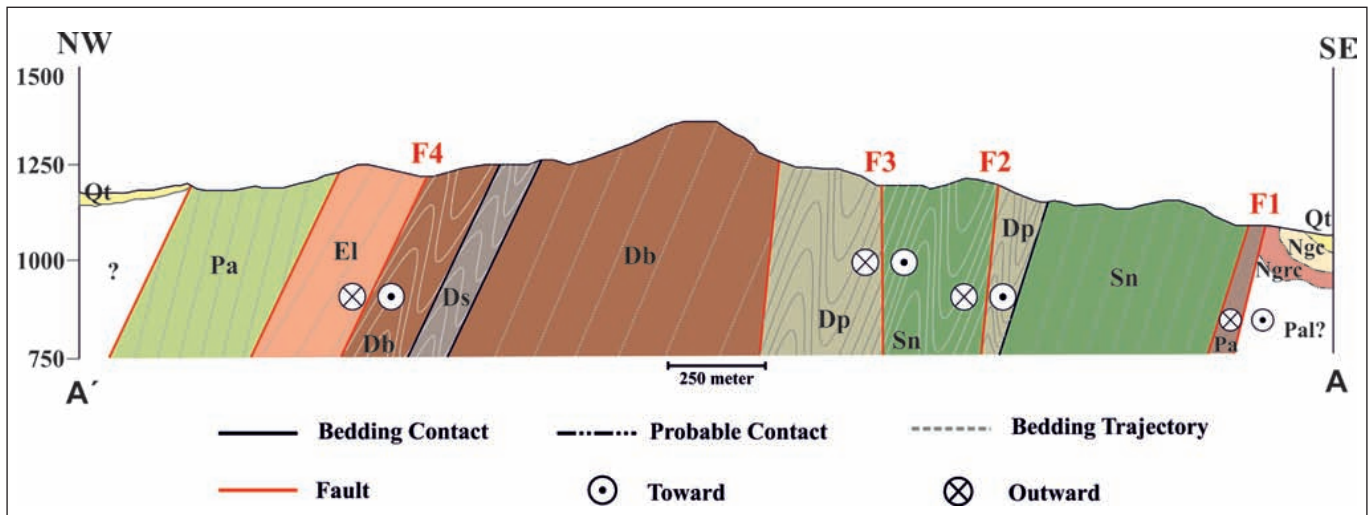
در مسیر برش ساختاری AA' در شمال ازبک کوه تعداد زیادی چین در مقیاس کوچک، متوسط و بزرگ مشاهده شده و مورد اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند که مجموعه چین‌های باختر هوک نامیده می‌شوند، که در این مطالعه ویژگی‌های چند چین مهم این برش ساختاری بیان می‌شود. یکی از این چین‌ها، چین H3 است. این چین به صورت توالی تاقدیس و ناودیس در ۲ کیلومتری باختر روستای هوک مشاهده شده است (شکل ۷). مشخصات این چین در جدول ۱ نشان داده شده است. چین بعدی، چین H4 است. چین H4 با گسترش حدود ۲۰۰ متر در آهک‌های بهرام در فاصله ۲/۵ کیلومتری باختر روستای هوک گسترش داشته (شکل ۸) و بر روی تصویر ماهواره‌ای قابل تشخیص است (شکل ۸-الف). مشخصات این چین در (جدول ۱) آورده شده است. چین‌های مطالعه شده در این پژوهش در تقسیم‌بندی Fleuty (1964) از نوع پلانژدار ملایم تا متوسط هستند. در تقسیم‌بندی بر اساس



شکل ۷- موقعیت چین H3 در بازدید صحرائی، لایه‌بندی و صفحه محوری و نمودار کانتوری قطب‌های لایه‌بندی در تصویر استریوگرافیک.



شکل ۸- مشخصات و ویژگی‌های چین H4 (الف) موقعیت چین در تصویر ماهواره‌ای SAS planet به همراه لایه‌بندی و سطح محوری؛ (ب) موقعیت چین H4 در بازدید صحرائی از ازبک کوه، قطب‌های لایه‌بندی و صفحه محوری چین در تصویر استریوگرافیک؛ (پ) مدل شمانتیک و شکل گویا شده چین H4.



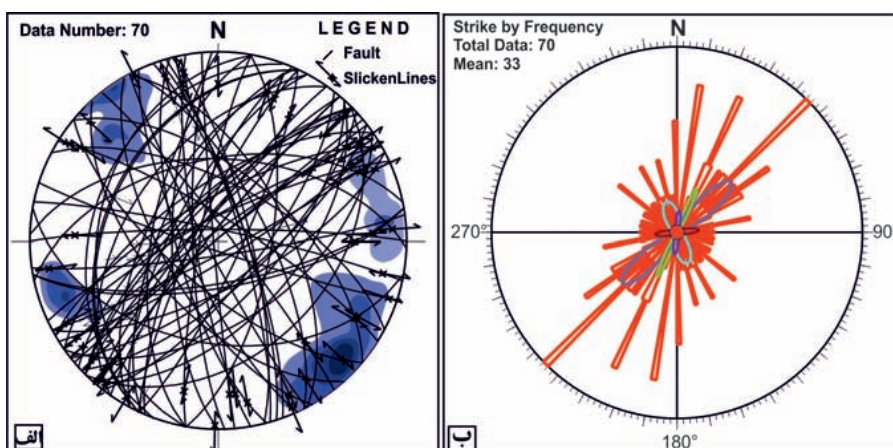
شکل ۹- موقعیت برش AA' در شمال ازبک کوه.

تصاویر ماهواره‌ای نیز قابل تشخیص هستند که در قسمت‌های قبل به تفکیک به شرح گسل‌ها و چین‌های مهم این برش پرداخته شد.

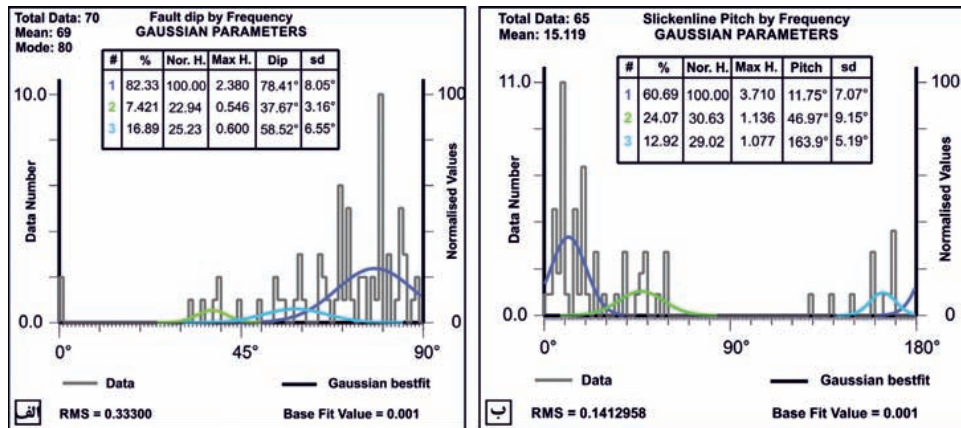
#### ۴- بحث

ازبک کوه به صورت مستمر تحت تأثیر فازهای دگرشکلی قرار داشته که ادامه این دگرشکلی باعث تغییر وضعیت قرارگیری ساختارها شده است. در واقع آرایش اولیه گسل‌ها در ازبک کوه توسط دگرشکلی‌های متعدد تغییر یافته است. این تغییرات در اثر چرخش و یا چین خوردگی صورت می‌گیرد (Waldron, 2005). از نشانه‌های پهنه‌های برشی راستالغز می‌توان به قرارگیری سازندهای با سن و رخساره‌های متفاوت در کنار هم، حالت پلکانی گسل‌ها و شکستگی‌ها، خش‌لغزهای گسلی با زاویه کم و توسعه ساختارهای کشش، فشارش و برش به‌طور هم‌زمان در کنار یکدیگر و جدایش آن‌ها با مرزهای عمود اشاره کرد (Woodcock and Fischer, 1986; Sylvester, 1988). منطقه ازبک کوه نیز در پهنه گسلی کلمرداز ساختارهای راستالغز محسوب می‌شود و نشانه‌های پهنه‌های برشی راستالغز را نشان می‌دهد که تحت تأثیر مؤلفه کوتاه‌شدگی و کشیدگی که در طی فعالیت‌های زمین‌ساختی متفاوت عمل کرده‌اند، قرار گرفته است. در منطقه مورد مطالعه مؤلفه غالب گسل‌ها راستالغز است. زوایای ریک برداشت شده گویای آن است که گسل‌های ازبک کوه راستالغز محض نیستند بلکه باندکی مؤلفه شیب‌لغز، این گسل‌ها در رده گسل‌های مورب‌لغز قرار می‌گیرند. تصویر استریوگرافیک در شکل‌های ۱۰-الف و ب و نمودارهای فراوانی مربوط به پارامترهای هندسی برداشت شده از کلیه گسل‌ها در عملیات صحرائی در شمال ازبک کوه در شکل‌های ۱۱-الف و ب نمایش داده شده است.

در این قسمت از ازبک کوه بیشترین گسترش را سازندهای نیور (سنگ آهک و شیل)، پادها (ماسه‌سنگ و دولومیت) و بهرام (سنگ آهک خاکستری رنگ) دارند. از نظر چینه‌شناسی در شمال ازبک کوه رخنمون کنگلومرهای سازند قرمز فوقانی دیده می‌شود که فقط منحصر به این بخش در تمامی کوه‌های ازبک کوه است (شکل ۲). این واحدها به سن نوژن با مرز گسله در کنار شیل و آهک‌های پالئوزوئیک قرار گرفته‌اند. در این بخش از شمال ازبک کوه به دلیل گسلش و پهنه‌های گسلی وضعیت لایه‌بندی واحدهای سنگ‌شناسی بسیار متغیر است. اما به‌طور میانگین شیب لایه‌ها ۵۵ تا ۷۰ درجه به سمت شمال باختر است. در برش AA' از نظر مکانی پس از واحدهای کوترنری و نوژن، واحدهای سنگ‌آهک، شیل و ماسه‌سنگ‌های پالئوزوئیک هستند که به هیچ سازندی در ازبک کوه تعلق ندارند و بیشتر به صورت قطعات کوچک با گسلش فراوان در منطقه وجود دارند. پس از این واحدها سازند نیور به سن سیلورین قرار دارد. جدایی این واحدها از یکدیگر توسط یک گسل پی‌سنگی بزرگ صورت می‌گیرد. تمامی گسل‌ها در این برش ساختاری گسل‌های راستالغز راست‌بر با مؤلفه معکوس با راستای شمال خاور- جنوب باختر هستند که باعث قرارگیری سازندهای متفاوت در کنار هم شده است. بیشتر گسل‌های راستالغز در این برش دارای زاویه ریک بسیار کم (۵ تا ۲۰ درجه) هستند. در این برش چین‌های ناشی از خمش لایه‌ها در اثر گسل خوردگی (Drag fold) مشاهده و اندازه‌گیری شد که تمایل و صفحه محوری آنها در امتداد گسل‌های اصلی منطقه است. در پیمایش صورت گرفته در این برش تعدادی چین در مقیاس متوسط و بزرگ به صورت تاقدیس و ناودیس‌های متوالی مشاهده و اندازه‌گیری شد که در



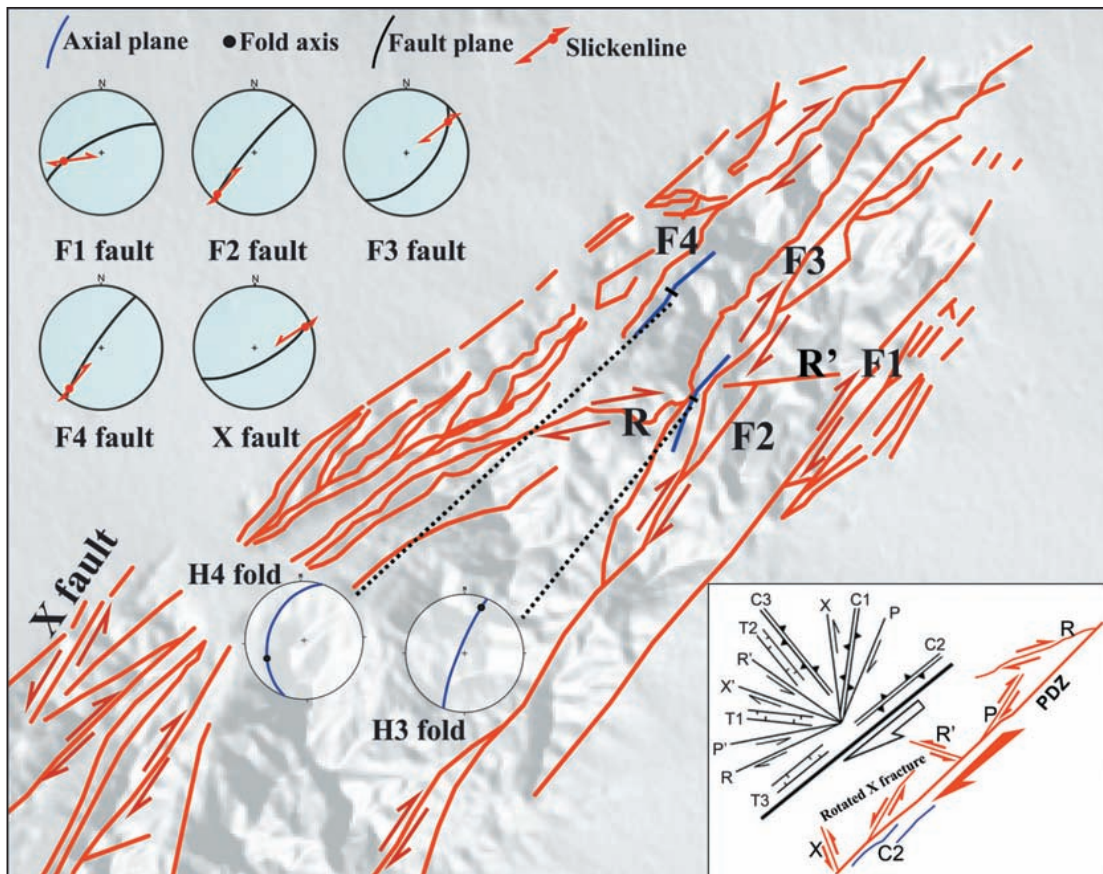
شکل ۱۰-الف) تصویر استریوگرافیک گسل‌ها و نمودار کانتوری قطب صفحات گسل؛ ب) نمودار گل‌سرخ امتداد گسل‌های برداشت شده در ازبک کوه.



شکل ۱۱- الف) نمودار فراوانی شیب گسل‌های ازبک کوه؛ ب) نمودار فراوانی زاویه افتادگی (Rake) خش لغز کلیه گسل‌های برداشت شده.

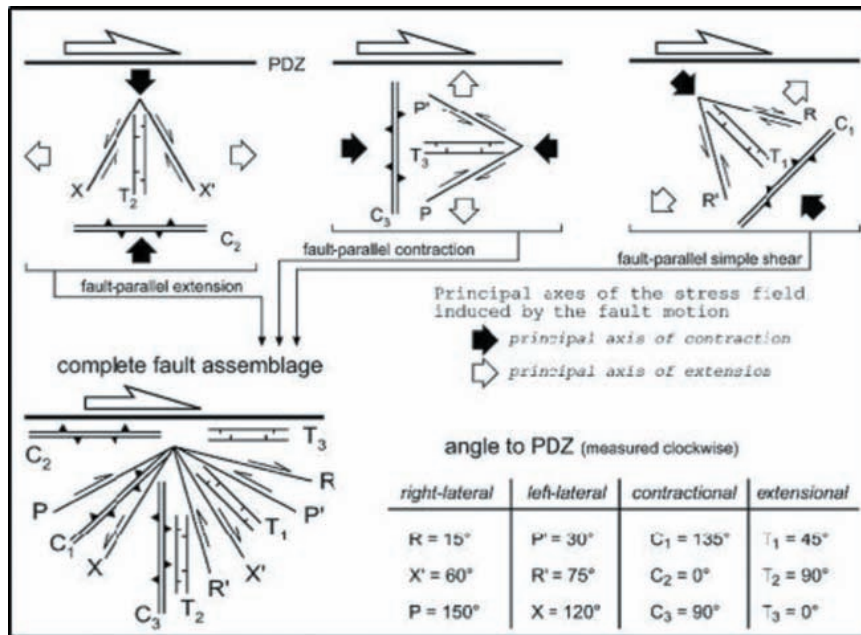
پهنه دگربرختی اصلی ایجاد می‌شود (Swanson, 1988; Storti et al., 2006). در این الگو روابط بین گسل اصلی و گسل‌ها و شکستگی‌های فرعی کوچک‌تر ترسیم شده است (شکل ۱۳) که به اختصار در این بخش توضیح داده می‌شود. کشش به موازات گسل، دسته‌ای از گسل‌های متقاطع X (چپ‌بر) و X' (راست‌بر) را به وجود می‌آورد و نیمساز آنها، گسل یا درزه T<sub>2</sub> است که امتداد آن عمود بر ساختارهای فشارشی C<sub>2</sub> است (راندگی، چین‌خوردگی، کلیواژ). فشارش به موازات گسل دسته‌ای از گسل‌های متقاطع P (راست‌بر) و P' (چپ‌بر) را به وجود می‌آورد. گسل یا درزه T<sub>3</sub> نیمساز این دو گسل را تشکیل می‌دهد و امتداد آن نیز عمود بر ساختارهای فشارشی C<sub>3</sub> است (راندگی، چین‌خوردگی، کلیواژ). برش ساده به موازات گسل، دسته‌ای از گسل‌های متقاطع مزدوج راستالغز

در برداشت‌های صورت گرفته از گسل‌های منطقه ازبک کوه، بر اساس تحلیل‌های آماری راستای غالب گسل‌ها و شکستگی‌ها به صورت N33E و شیب میانگین آنها معادل ۶۹ درجه به سمت شمال باختر است (شکل ۱۱- الف). زاویه افتادگی خش لغزهای برداشت شده از حالت افقی تا ۳۰ درجه متغیر و میانگین زاویه افتادگی خش لغز برابر با ۱۵ درجه از سمت جنوب باختر است (شکل ۱۱- ب). به منظور بررسی رابطه بین گسل‌ها و پهنه اصلی دگربرختی (PDZ) گسل کلمرد در ازبک کوه با توجه به مدل Swanson (1988) و Storti et al. (2006)، الگوی گسل‌خوردگی منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). ساختارهای مختلفی در ارتباط با گسل‌های راستالغز ایجاد می‌شود که با توجه به جهت تنش اعمال شده ۱۲ نوع گسل و شکستگی‌های با زوایای مختلف در ارتباط با



شکل ۱۲- الگوی گسل‌های برداشت شده در منطقه ازبک کوه و مقایسه آن با مدل Swanson (1988) و Storti et al. (2006).

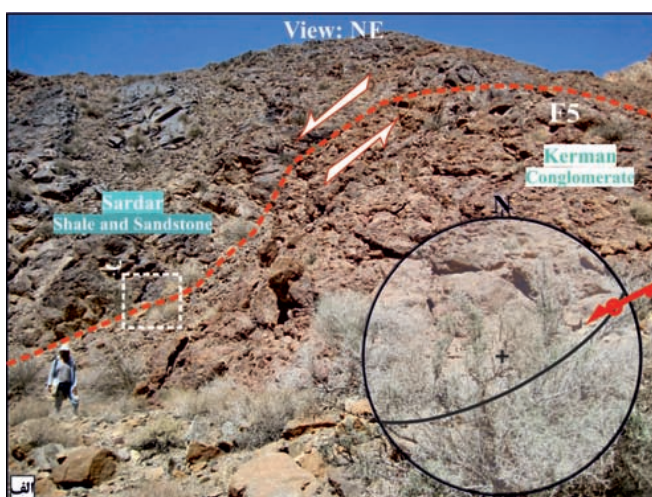




شکل ۱۳- آرایش گسل ها در پهنه برشی راستالغز (Swanson, 1988; Storti et al., 2006).

گام‌های متعدد گرسکلی باعث تغییر آرایش گسل‌ها و ساختارها به خصوص در قسمت‌های شمالی منطقه مورد مطالعه (مرز بلوک لوت) شده است که به دلیل نرخ بالای دگرریختی راستالغز، همه ساختارها به موازات یکدیگر قرار دارند. به عنوان مثال، گسل‌های راست‌بر R گسترش و فراوانی خوبی در منطقه دارند؛ اما فراوانی دیگر شکستگی‌ها و گسل‌ها بسیار کم و محدود است و یا به‌طور کل مشاهده نشده‌اند که این امر بنا بر دلایل فوق می‌تواند به دلیل تأثیرپذیری زیاد نیمه شمالی از یک کوه از دگرریختی و چرخش ساختارها در آن باشد و یا اینکه تشکیل بقیه گسل‌ها بسیار محدود بوده است و یا اینکه تشکیل نشده‌اند. با این وجود در نیمه جنوبی منطقه مورد مطالعه حفظ‌شدگی و فراوانی گسل‌های فرعی در ارتباط با گسل اصلی بیشتر بوده است. از جمله این شواهد می‌توان به یک گسل چپ‌بر در قسمت جنوبی منطقه مورد مطالعه اشاره کرد (شکل‌های ۱۲ و ۱۴).

R (راست‌بر) و R' (چپ‌بر) را ایجاد می‌کند و توسط گسل‌ها یا درزه‌های T<sub>1</sub> به دو قطعه تقسیم می‌شود که امتداد این درزه عمود بر ساختارهای فشارشی C<sub>1</sub> است (Swanson, 1988; Storti et al., 2006). با توجه به مطالعات و برداشت‌های ساختاری، گسل‌های چپ‌بر X با کشش موازی گسل در ازبک‌کوه تشکیل شده‌اند. ساختارهای فشارشی (C<sub>2</sub>) که در منطقه مورد مطالعه شامل چین‌ها و گسل‌های معکوس می‌شوند نیز موازی با پهنه دگرریختی اصلی ایجاد شده‌اند. همچنین فشارش به موازات گسل اصلی، گسل‌های راست‌بر P را ایجاد کرده است. با اندازه‌گیری و بررسی‌های صحرایی مشخص شد که برش ساده به موازات پهنه دگرریختی اصلی، گسل‌های مزدوج و متقاطع راستالغز راست‌بر (R) و راستالغز چپ‌بر (R') را تشکیل داده است. کم‌وبیش وضعیت تمامی این ساختارها با توجه به فازهای دگرریختی گوناگون در ازبک‌کوه دچار تغییراتی شده است.



شکل ۱۴- مشخصات و ویژگی‌های گسل X: الف) نمای از گسل X در بازدید صحرایی و تصویر استریوگرافیک (گسل؛ ب) موقعیت خشل‌لغز بر روی صفحه گسل؛ پ) صفحات C-S مشاهده شده در امتداد صفحه این گسل نشان‌دهنده سازوکار چپ‌بر گسل.

به‌طور کلی با توجه به مدل Swanson (1988) و Storti et al. (2006)، الگوی هندسی و جنبشی گسل‌های منطقه مورد مطالعه با توجه به گسل‌های اصلی و گسل‌های R، R'، P، X از نوع برش ساده و فشارش موازی با پهنه دگرریختی (Fault-parallel simple shear, Fault-parallel contraction) است، که در این الگو حرکت برش ساده برای منطقه مورد مطالعه الگوی غالب است و فشارش مؤلفه جزئی به نظر می‌رسد.

این گسل کنگلومرای کرمان به سن پالئوژن را با حرکت چپ‌بر بریده است. بنابراین با توجه به زاویه آن با گسل کلمرد از جمله گسل‌های نوع X (چپ‌بر) مربوط به گسل اصلی محسوب می‌شود، که در طی مراحل بعدی دگرریختی چرخیده است و زاویه آن کمتر از مدل پیشنهادی (Swanson, 1988) و Storti et al., (2006) برای این نوع گسل‌هاست، که این امر بیانگر تأثیر حرکت راستالغز راست‌بر کنونی گسل اصلی کلمرد و فرانهادگی حرکات ناشی از این تنش بر روی ساختارهای قدیمی تر است.

تغییر سازوکار آنها به مورب‌لغز، تغییر امتداد صفحه محوری چین‌ها، کوتاه‌شدگی و کشیدگی است. ادامه فرآیندهای دگرشکلی در این منطقه باعث شده تا امتداد همه ساختارها، به موازات پهنه دگر ریختی اصلی قرار بگیرد. نتایج حاصل از بررسی‌های ساختاری در منطقه ازبک‌کوه را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

منطقه ازبک‌کوه ابتدا تحت تأثیر رژیم تنش فشارشی قرار داشته که سبب تشکیل چین‌ها و گسل‌های موازی با روند سطح محوری آنها در این پهنه شده است. سپس با تغییر رژیم فشارشی به راست‌الغز در جهت شمال‌خاور- جنوب‌باختر، گسل‌های منطقه و صفحه محوری چین‌ها و دیگر ساختارهای مرتبط با آنها تحت تأثیر این تنش امتدادلغز قرار گرفتند. که با توجه به دگرشیبی کنگلومرای کرمان بر روی واحدهای پالئوزویک زمان این دگرریختی مربوط به بعد از کرتاسه است. در نتیجه حرکت راست‌الغز راست‌بر کنونی گسل اصلی کلمرد و دگرریختی‌های ناشی از این تنش بر روی ساختارهای قدیمی‌تر فرانهاده شده است.

دلیل اصلی چین‌خوردگی منطقه ازبک‌کوه (به خصوص سازندهای بهرام، سیب‌زار، نیور و پادها) به علت وضعیت سنگ‌شناسی سازند پادها و افق تبخیری مربوط به این سازند است که در قسمت زیرین آهک‌های بهرام و دولومیت‌های سیب‌زار قرار گرفته است و به عنوان یک سطح جدایشی (Detachment) عمل می‌کند.

با توجه به مؤلفه شیب‌لغز معکوس اندکی که گسل‌های گستره مطالعاتی را همراهی می‌کند، منطقه ازبک‌کوه در دسته مناطق ترفشارش (Transpression) مورب قرار می‌گیرد. بدین ترتیب گسل‌های منطقه ازبک‌کوه در گروه گسل‌های راست‌الغز با اندکی مؤلفه مایل دسته‌بندی می‌شوند.

اندازه‌گیری، مطالعه و آرایش گسل‌های  $P$ ،  $R$ ،  $R'$  و  $X$  در منطقه ازبک‌کوه نشان‌دهنده برش ساده و فشارش به موازات پهنه دگرریختی است که برش ساده، الگوی غالب بوده و مؤلفه فشارش، جزئی است.

فرایندهای متعدد دگرریختی، حرکات برش ساده و شدت دگرشکلی در گستره مطالعاتی باعث شده است تا امتداد همه ساختارها (گسل‌ها، صفحه محوری چین‌ها، شکستگی‌های برشی همراه با گسل) به موازات پهنه گسلی اصلی در امتداد شمال‌خاور- جنوب‌باختر قرار بگیرد.

بنابراین در مطالعات ساختاری انجام شده در ۷۰ گسل برداشت شده در شمال ازبک‌کوه می‌توان موقعیت میانگین آنها را  $N33E/69, NW$  و سازوکار آنها را به صورت راست‌الغز راست‌بر با مؤلفه شیبی معکوس جزئی در نظر گرفت (شکل ۱۱-الف). با توجه به موقعیت چینه‌شناسی سازندهای مختلف و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تعدادی از گسل‌ها در ازبک‌کوه تشخیص داده و در نقشه آورده شده است، اما فرسایش شدید و مدفون شدن این ساختارها در زیر رسوبات جوان‌تر، در نتیجه تأثیر فازهای کوهزایی مختلف، موجب شده است تا شاخص‌های هندسی- جنبشی و دگرریختی مربوط به آنها قابل تشخیص نباشد. زاویه افتادگی خشل‌لغز (Rake) متوسط حرکت گسل‌های منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده آن است که دگرریختی کوه‌های ازبک‌کوه به سمت مراحل پایانی برش ساده بوده است. در مناطق ترفشارشی مانند کوه‌های ازبک‌کوه، انتظار تشکیل ساختارهای مختلفی مانند چین‌ها و گسل‌های معکوس و حوضه‌های کششی وجود دارد؛ اما به دلیل دگرشکلی‌های متعدد، حرکات برش ساده و شدت دگرشکلی، گسل‌هایی با روند یکسان و چین‌های با سطح محوری موازی روند گسل‌های اصلی منطقه، عمده‌ترین ساختارها در این پهنه دگرریخته هستند که حاصل عملکرد فازهای مختلف دگرشکلی است که از پرمبرین شروع شده است و با توجه به مطالعات مومنی طارم‌سری و همکاران (۱۳۹۴) و (Moumeni-Taromsari et al. 2018) تا عهد حاضر نیز ادامه دارد. با توجه به شواهدی که در این بخش ارائه شد، در طی بازبینی‌های صحرائی صورت گرفته و مطالعات دفتری گسل‌های منطقه ازبک‌کوه امتداد تقریباً شمال‌خاور- جنوب‌باختر دارند. صفحات گسلی نیز بسیار پرسیب (۷۰ تا ۸۵ درجه) و دارای ریک کمتر از ۳۰ درجه هستند.

## ۵- نتیجه‌گیری

منطقه ازبک‌کوه در پهنه گسلی کلمرد از ساختارهای راست‌الغز راست‌بر محسوب می‌شود که تحت تأثیر مؤلفه کوتاه‌شدگی و کشیدگی قرار گرفته است که در طی فعالیت‌های زمین‌ساختی متفاوت عمل کرده‌اند. دگرشکلی در منطقه ازبک‌کوه موجب کوچک شدن زاویه بین گسل‌های فرعی شده و ادامه این تغییر سبب شده است که گسل‌ها به موازات پهنه گسل اصلی قرار بگیرند. از نتایج گام‌های متعدد دگرشکلی در ازبک‌کوه تغییرات زاویه بین گسل‌های امتدادلغز و شیب‌لغز محض و

## کتابنگاری

مؤمنی طارم‌سری، م.، ده بزرگی، م.، یسافی، ع. و نوزعیم، ر.، ۱۳۹۴- ارزیابی تکنونیک فعال ازبک‌کوه در شمال طبس، ایران مرکزی، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۴، شماره ۳، صص. ۵۰ تا ۶۹.

## References

- Allen, M. B., Kheirkhah, M., Emami, M. H. and Jones, S. J., 2011- Right-lateral shear across Iran and kinematic change in the Arabia-Eurasia collision zone, *Geophysical Journal International*, 184, pp.555-574.
- Doblas, M., 1998- Slickenside kinematic indicators. *Tectonophysics*, 295(1), pp.187-197.
- Fleuty, M. J., 1964- The description of folds, London: Proceedings of the Geologists Association, 75, pp.461-492.
- Fossen, H., 2010- Structural geology, Cambridge university press, Pages: 463.
- Hudleston, P. J., 1973- Fold morphology and some geometric implications of theories of fold development, *Tectonophysics* 16, pp.1-46.
- Moumeni-Taromsari, M., Dehbozorgi, M., Nozaem and R. Yassaghi, A., 2018- Active tectonics analysis of the Kalmard fault zone, Central Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, 11(14), p.369.
- Petit, J. P., 1987- Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks, *Journal of Structural Geology*, 9(5), pp.597-608.
- Ramezani, J. and Tucker, R., 2003- The Saghand Region, Central IRAN: U-Pb geochronology, petrogenesis and implication for Gondwana tectonics, *American Journal of Science*, 303, pp.622-665.
- Ruttner, A., Nabavi, M. H. and Alavi, M., 1968- Geological map of Ozbak-Kuh Mountain (1:100,000), Geological survey of Iran press.
- Storti, F., Rossetti, F., Laufer, A. L. and Salvini, F., 2006- Consistent Kinematic architecture in the damage zones of intraplate strike-slip fault systems in North Victoria Land, Antarctica and implication for fault zones evolution, *Journal of Structural Geology* 28, pp.50-63.
- Swanson, M. T., 1988- Pseudotachylyte-bearing strike-slip duplex structures in the Fort Foster Brittle Zone of southernmost Maine, *Journal of Structural Geology* 10, pp.813-828.
- Sylvester, A. G., 1988- Strike-slip faults, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 100, pp.1666-1703.
- Waldron, J. W., 2005- Extensional fault arrays in strike-slip and transtension, *Journal of Structural Geology*, 27, pp.23-34.
- Woodcock, N. H. and Fischer, M., 1986- Strike-slip duplexes, *J. Struct. Geol.*, 8, pp.725-735.

# Geometric- kinematic analysis of the Kalmard fault zone, north of Ozbak-Kuh, central Iran

M. Moumeni<sup>1</sup>, M. Dehbozorgi<sup>2\*</sup>, R. Nozaem<sup>3</sup> and A. Yassaghi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>M.Sc., Faculty of Earth Science, Kharazmi University, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Assistant Professor, Faculty of Earth Science, Kharazmi University, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Assistant Professor, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

<sup>4</sup>Associate Professor, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2017 March 11

Accepted: 2017 September 05

## Abstract

Kalmard fault is considered as one of the fundamental faults in central Iran zone. The Ozbak Kuh mountains with a NE-SW strike are located in central Iran in the Kalmard fault zone. Hence, analyze the folds and faults in this deformed zone can aid in the understanding of structural evolution of this area in central Iran. In this study, field operations and geometric-kinematic analysis of folds and faults, also study of their structural evolution are integrated in order to provide a better understanding of the structural evolution of the Ozbak Kuh area. The results display that before Cretaceous period the Ozbak-Kuh area was influenced by a compressional regime with a prependicular trend with respect to the Kalmrad fault that it caused the formation of folds and faults paralell to folds axial plane trends, after that compressional regime changing to a dextral strike slip regime in Cenozoic in direction of NE- SW, all structures in the study area such as, faults, folds axial plain and other related structures were influenced by the aforementioned strike slip stress. Generally the geometric- kinematic pattern of faults in the study area regarding to the major and R, P, R', and X faults is kind of simple shear and contraction parallel to deformed zone. In this pattern the simple shear is dominant and compression is trivial component. The mechanism of the faults in the study area shows that the deformation of the Ozbak Kuh mountains is toward the final stages of simple shear. The multiple steps of deformation, simple shear movements and intensity of deformation in the study area caused that the strike of all structures is to be in direction of NE-SW that it is parallel to the main fault zone.

**Keywords:** Geometric- kinematic analysis, Kalmard fault, Ozabk-Kuh, Central Iran

For Persian Version see pages 245 to 254

\*Corresponding author: M. Dehbozorgi; E-mail: m\_dehbozorgi@khu.ac.ir