

سامانه شکستگی‌ها در کمر بند چین خورده کپه‌داغ در ناحیه شمال خاوری بجنورد

فرزین قائمی^۱ و فرح قائمی^۲

^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
^۲ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۷/۱۱

چکیده

ناحیه خراسان شمالی یکی از مناطق فعال زمین‌ساختی ایران به شمار می‌آید. بیشتر گسل‌های مهم در این ناحیه، از نوع راستالغز با مؤلفه‌های چپ‌بر و راست‌بر است و گسل‌های راندگی در درجه دوم اهمیت قرار دارند. بخشی از گسل‌های راندگی، قدیمی‌تر از گسل‌های راستالغز و بخشی دیگر جوان‌تر از آنها هستند و گسل فعال به شمار می‌آیند. این گسل‌ها، نتیجه ایجاد انحنا در گسل‌های راستالغز و تبدیل آنها به گسل‌های معکوس هستند. گسل‌های کواترنری، با توجه به نشانه‌های فعالیت، در ناحیه شناسایی شده‌اند. چهار دسته درزه در ناحیه بررسی شده که دو دسته آنها کششی و دو دسته دیگر برشی هستند. مختصات تنش‌های اصلی ایجاد کننده آنها عبارت است از: $(\delta_1 = N9^\circ E, 5^\circ) - (\delta_2 = S1^\circ W, 86^\circ) - (\delta_3 = N81^\circ W, 1^\circ)$ مجموعه گسل‌های راستالغز جوان به صورت گسل‌های همراه بر روی یکدیگر تأثیر گذار هستند. نمونه آن در زمین‌لرزه سال ۱۳۷۵ بر روی گسل یک‌شاخ دیده می‌شود که حرکات کوچکی را در گسل‌های بابا امان و قارلق ایجاد کرده است.

کلیدواژه‌ها: گسل راستالغز، گسل راندگی، بجنورد، گسل‌های همراه، گسل فعال، درزه، پهنه گسل

*نویسنده مسئول: فرزین قائمی

E-mail: farzinmail@yahoo.com

۱- مقدمه

در این پژوهش مشخصات سینماتیک همه گسل‌های موجود در ناحیه به تفصیل مطالعه شده و به ویژه به آثار فعالیت‌های جوان و بریدگی رسوبات کواترنری توجه خاصی شده است. با بررسی درزه‌ها و مختصات لایه‌های چین‌خورده، رابطه بین درزه‌ها و گسل‌ها با چین‌خوردگی‌ها بررسی شد (شکل ۱). هدف از این مطالعه عبارت است از: شناسایی گسل‌های کواترنری که دارای توان فعالیت هستند، تعیین مختصات درزه‌ها و گسل‌های موجود به منظور تعیین سامانه تنش بیشینه ایجاد کننده ساختارهای زمین‌شناسی در منطقه، رده بندی انواع گسل‌های موجود و تعیین روابط سنی بین آنها.

۲- مطالعات پیشین

نخستین بررسی‌های زمین‌شناسی در حوضه کپه‌داغ توسط Greisbach (1881) از سازمان زمین‌شناسی هند، در خاور کپه‌داغ انجام شد. پس از آن، بیشتر مطالعات زمین‌شناسی در حوضه کپه‌داغ توسط شرکت ملی نفت ایران انجام گرفت. در همین راستا (Afshar-Harb 1979) ۱۳ مقطع تیپ از سازندهای کپه‌داغ را معرفی و اندازه‌گیری کرد. در سال ۱۳۶۴ نقشه زمین‌شناسی ناحیه بجنورد با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ توسط سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شد. در سال ۱۳۷۳ کتاب زمین‌شناسی کپه‌داغ نوشته دکتر افشار حرب، توسط سازمان زمین‌شناسی کشور به چاپ رسید که اطلاعات کامل و جامعی در مورد چینه‌شناسی حوضه کپه‌داغ در اختیار قرار می‌دهد. (Hollingsworth et al. 2008, 2007, 2006) بر روی زمین‌لرزه سال ۱۳۷۵ بجنورد و فعالیت‌های زمین‌ساختی در این مناطق مطالعاتی را انجام داده‌اند. در این پژوهش و در کاری متفاوت، به ویژگی‌های ساختاری و فعالیت هر یک از گسل‌ها به صورت جداگانه پرداخته می‌شود.

۳- گسلش (گسل خوردگی)

یکی از ساختارهای مهم در منطقه، گسل‌ها هستند. بیشتر گسل‌های شناخته‌شده، از نوع راستالغز یا مؤلفه‌های چپ‌بر و راست‌بر بوده و تعدادی نیز گسل‌های راندگی و معکوس هستند. در این پژوهش گسل‌ها را بر اساس هندسه و سینماتیک آنها تقسیم‌بندی کرده و سازوکار، مشخصات هندسی و تاریخچه حرکتی آنها را در حد امکان، مورد بررسی قرار خواهیم داد.

۳-۱. گسل‌های راستالغز

مهم‌ترین گسل‌ها در محدوده مورد بررسی، گسل‌های راستالغز هستند که ویژگی‌های ساختاری و توان فعالیت آنها مطالعه شده است. ویژگی‌های زمین‌ساختی این گسل‌ها که محصول این پژوهش است به صورت خلاصه در جدول ۱ معرفی شده است. برخی از گسل‌ها به صورت کامل در زیر معرفی می‌شوند:

– **گسل بابا امان:** طول گسل در حدود ۳۱/۵ کیلومتر و امتداد آن NE-SW است. بر اساس بررسی خشل‌لغزها، لغزش از نوع چپ‌بر با مقدار کمی لغزش شیپی است. میزان جدایش افقی آن در حدود ۴۰۰ متر و پهنه گسلی بین ۱۰ تا ۵۰ متر در تغییر است. حرکت در امتداد گسل سبب ایجاد جابه‌جایی پلکانی در رسوبات کواترنری شده است (شکل ۶) (غفوری و همکاران، ۱۳۷۸). زمین‌لرزه سال ۱۳۷۵ بجنورد بر روی گسل یک‌شاخ، سبب جابه‌جایی اندکی در طول این گسل نیز شده که آثار شکستگی جدید، لغزش زمین و برش جاده آسفالت (شکل ۷) در جنوب تونل بابا امان، از شواهد این حرکت است. انتهای جنوبی گسل در رسوبات عهد حاضر جنوب شهر بجنورد قرار داشته و انتهای شمالی آن به گسل توپکانلو متصل شده و در رسوبات کواترنری خاتمه می‌یابد. گسل بابا امان محور تاقدیس سرچشمه و ناودیس شیخ و گسل راندگی سرچشمه را بریده است. در فضای میان گسل‌های توپکانلو و بابا امان تعداد زیادی گسل‌های فرعی راستالغز چپ‌بر دیده می‌شوند که حاصل حرکت این دو گسل در کنار هم هستند.

– **گسل ناوه:** این گسل راستالغز راست‌بر بوده و طولی حدود ۳۲/۵ کیلومتر دارد. در مجاورت روستای ناوه، انحنا به امتداد گسل ایجاد شده است که آن را به دو بخش تقسیم کرده است. موقعیت بخش جنوبی گسل N52W, 81W و امتداد بخش شمالی آن N10W است. گسلش محور ناودیس لوجلی و تاقدیس‌های کوکلی و زاب را بریده است. میزان جدایش افقی آن حدود ۵۰۰ متر است. در پهنه گسلی با سبزی ۱۰ تا ۱۵ متر، واحدهای سنگی به شدت خردشدگی نشان می‌دهند (شکل ۵). گسل ناوه در بخش شمالی به شکل افشان به شاخه‌های فرعی از گسل‌های راستالغز راست‌بر ختم می‌شود. این گسل در رسوبات سازند آیتامیر در جنوب روستای امیرآباد خاتمه می‌یابد. بخش جنوبی آن در یال شمالی ناودیس شیخ و در مجاورت روستای چهار برج، در رسوبات سازند سنگانه به انتها می‌رسد. بخش میانی آن، توسط گسل یک‌شاخ بریده و جابه‌جا می‌شود. در زمین‌لرزه سال ۱۳۷۵ بجنورد این گسل

کوکلی ایجاد شده و سازند تیرگان را بر روی سازند سرچشمه می‌راند (شکل ۱۴). این راندگی در تمامی یال جنوبی تاقدیس کوکلی دیده نمی‌شود و در برخی نقاط ارتباط این دو واحد سنگی، عادی است. برگشتگی لایه‌ها در امتداد سطح راندگی، شاهی بر جهت راندگی از شمال به سوی جنوب است.

• **راندگی سرچشمه:** این راندگی با مختصات $W,NW-E,NE,40N$ در یال جنوبی تاقدیس سرچشمه ایجاد شده است. گسل در خاور، درون آهک تیرگان شروع شده و در باختر، در بین سازندهای تیرگان و سرچشمه قرار می‌گیرد. گسل سرچشمه در انتها بین واحدهای تیرگان و نوژن جای می‌گیرد. جهت راندگی به سمت جنوب باختر است و سبب برگشتی لایه‌ها و چین‌خوردگی در آنها شده است. راستای این راندگی توسط تعدادی گسل راستالغز جوان‌تر بریده می‌شود.

• **راندگی سیساب:** مختصات آن $N90E-35N$ است. فرا دیواره این گسل را بیشتر رسوبات پلیو کوآترنری و نوژن و فرودیواره آن را سازند سرچشمه تشکیل داده است. گسل سیساب در پاره‌ای نقاط از مرز سازند تیرگان و سرچشمه عبور می‌کند. این راندگی در سمت خاور به گسل توپکانلو و در سمت باختر به گسل قاضی، محدود می‌شود. برگشتگی لایه‌ها نشان دهنده جهت راندگی به سوی جنوب است.

• **راندگی قره‌سر:** مختصات گسل $N75E,40NW$ است و راندگی به سوی جنوب خاوری است. حرکت این راندگی کناره باختری ناودیس شیخ را بریده است.

• **راندگی قره:** مختصات آن $NE-SW,30NW$ و سوی راندگی به سمت جنوب خاور است. به سبب حرکت گسل، در روستای قولانو (هسته تاقدیس زاب)، چین‌خوردگی مکرر ایجاد شده است (شکل ۱۵).

• **راندگی شمال توپکانلو:** امتداد آن $E-W$ و طول آن حدود ۸ کیلومتر است. این راندگی که در بخشی از یال شمالی ناودیس شیخ قرار دارد، از سمت باختر به گسل راستالغز بابامان و از سمت خاور به گسل راستالغز کوچکی، ختم می‌شود. بر اساس شواهد، سوی راندگی از شمال به سمت جنوب بوده که سازند کلات را بر روی سازند آبدراز و دوباره سازند آبدراز را بر روی سازند پسته‌لیق رانده است (عکس ۱۶).

– گسل‌های معکوس

رده دوم شامل گسل‌های معکوس است که همزمان با تشکیل گسل‌های راستالغز ایجاد شده‌اند. این شکستگی‌ها شاخه‌های فرعی گسل‌های راستالغز هستند که به دلیل تغییر در امتداد گسل‌های راستالغز، مؤلفه حرکت در طول آنها، از امتدادلغز به شیب‌لغز از نوع معکوس تغییر یافته است. مهم‌ترین آنها عبارتند از:

• **گسل شمال بیگان:** این گسل با طول ۸ کیلومتر و مختصات $N48E,58SW$ جدایش شیبی معادل ۲۵ متر را در سطح خود ایجاد کرده است (شکل ۱۷). گسلش آن در واحدهای سنگی سازندهای تیرگان و سرچشمه و رسوبات کوآترنری دیده می‌شود.

• **گسل زیارت:** طول گسل ۹ کیلومتر و مختصات آن $N90E,60N$ است که جدایش شیبی در حدود ۲۹ متر را ایجاد کرده است. انتهای خاوری گسل توسط رسوبات کوآترنری پوشیده می‌شود و باختر آن نیز به گسل‌های راستالغز متصل می‌شود.

۴– دینامیک گسل‌ها

محدوده مورد مطالعه در حوضه رسوبی کپه‌داغ، تحت تنش فشارشی در جهت $N,NE-S,SW$ قرار گرفته است. حاصل این تنش در ابتدا کوتاه‌شدگی و چین‌خوردگی است و سپس در برخی نقاط، گسل‌های راندگی، مانند گسل توکور، را ایجاد کرده است. همان گونه که در نقشه زمین‌شناسی نیز دیده می‌شود، امتداد گسل‌های راندگی به موازات سطوح محوری چین‌هاست و این گسل‌ها همواره در یال برگشته چین‌ها قرار دارند. بنابراین چین‌های برگشته‌ای که در ارتباط با گسل‌های راندگی ایجاد شده‌اند را می‌توان چین انتشار گسل (Fault propagation fold) دانست. به منظور تعیین موقعیت تنش‌های ایجاد کننده

نیز به صورت گسل همراه، فعال شد و روستای ناوه را ویران کرد. بر اساس شواهد زمین‌شناسی، گسل ناوه را می‌توان گسلی جوان و فعال در نظر گرفت.

– **گسل یکه‌شاخ:** این گسل امتدادی به تقریب $E-W$ و طولی حدود ۳۰ کیلومتر است. زمین‌لرزه به نسبت بزرگ بجنورد با بزرگی $MS=5/9$ در ۱۶ بهمن‌ماه سال ۱۳۷۵ بر روی همین گسل اتفاق افتاد. طول گسلش سطحی آن حدود ۲۰ کیلومتر است (قبطانچی و همکاران، ۱۳۷۷; Tatar et al., 1997). بر اثر این زمین‌لرزه در سال ۱۳۷۵، روستاهای قزلقان، ناوه، شیخ، سرخه‌زو و تعدادی روستای دیگر به طور کامل تخریب شدند و روستاهای زیادی نیز آسیب دیدند. بخش باختری این ناحیه در سال ۱۳۰۲ (۱۷ سپتامبر ۱۹۲۳) زمین‌لرزه شدیدی دیگری را تجربه کرده بود و پهنه کلان لرزه‌ای این دو واقعه تا حدی بر همدیگر همپوشانی دارند (Ambraseys & Melville, 1982). سازوکار ثبت شده زمین‌لرزه بجنورد چپ‌بر است. شواهد شکستگی قدیمی‌تر در رسوبات کوآترنری در محل روستای قزلقان دیده می‌شود. زمین‌لرزه سال ۱۳۷۵ باعث افتادگی در سمت شمالی گسل، در فاصله روستاهای قزلقان تا یکه‌شاخ شده است (شکل ۸). امتداد گسل یکه‌شاخ به موازات محور ناودیس لوجلی است و در راستای خود، گسل‌های ناوه و قزلقان و تعدادی گسل فرعی را بریده است. این گسل در خاور از سازند آیتامیر در مجاورت روستای یکه‌شاخ شروع و در سازند تیرگان واقع در مجاورت روستای گلیان خاتمه می‌یابد. تعدادی گسل‌های مجاور و نزدیک به گسل یکه‌شاخ همزمان با زمین‌لرزه سال ۱۳۷۵ به صورت همراه (Sympathetic faults) فعال شده‌اند به گونه‌ای که آثار حرکت را می‌توان در آنها دید. در ادامه به مهم‌ترین آنها اشاره می‌شود:

– **گسل لوجلی:** زمین‌لرزه سال ۱۳۷۵ بجنورد، سبب ایجاد لغزش و برش در رسوبات عهد حاضر بر روی این گسل شده است (شکل ۳). گسل لوجلی را می‌توان به عنوان گسلی فعال و خطرزا در نظر گرفت.

– **گسل قزلقان (گسل شیخ):** در پهنه گسلی (شکل ۱۰)، سنگ‌های آهکی تیرگان، به شدت خرد شده و به وسیله کلسیت به هم متصل شده‌اند. انتهای جنوبی این گسل توسط گسل قره‌سر و بخش شمالی آن توسط گسل یکه‌شاخ بریده می‌شود. همزمان با زمین‌لرزه سال ۱۳۷۵ بجنورد، بر روی این گسل نیز جابه‌جایی اندکی رخ داد که سبب ریزش‌های سنگی بر روی خط گسل شد. با توجه به شواهد ارائه شده، این گسل بسیار فعال و خطرزا به نظر می‌آید.

– **گسل قارلق:** بر روی گسل در طی زمین‌لرزه سال ۱۳۷۵ بجنورد، آثار حرکت به ویژه در اطراف روستای شیخ دیده می‌شود که سبب ایجاد زمین‌لغزش‌های بزرگی شده است (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). این گسل، فعال و از رده گسل‌های کوآترنری است. وجود شکستگی‌های فراوان در دامنه تپه‌های جنوبی روستای شیخ نشان‌دهنده آماده‌شدن این محل برای یک زمین‌لغزش در آینده‌ای نزدیک است.

– **گسل ناوه:** در زمین‌لرزه سال ۱۳۷۵ بجنورد این گسل نیز به صورت گسل همراه، فعال شد و روستای ناوه را ویران کرد. بر اساس شواهد زمین‌شناسی، گسل ناوه را می‌توان گسلی جوان و فعال در نظر گرفت.

– **گسل جنگاه:** بر اثر زمین‌لرزه سال ۱۳۷۵ بجنورد، در مسیر گسل جنگاه، زمین‌لغزش در رسوبات کوآترنری ایجاد شده که نشان‌دهنده فعالیت جدید آن است (شکل ۱۳).

۳–۲. گسل‌های شیب‌لغز

این گسل‌ها در دو رده اصلی قرار می‌گیرند:

– **گسل‌های راندگی قدیمی:** رده اول گسل‌های راندگی قدیمی هستند که همزمان با چین‌خوردگی در منطقه ایجاد شده‌اند و از گسل‌های راستالغز، قدیمی‌تر هستند. امتداد این راندگی‌ها توسط گسل‌های راستالغز بریده و جابه‌جا می‌شود. به طور معمول، هر گسل راندگی از دو سمت به گسل‌های راستالغز ختم می‌شود. گسل‌های راندگی قدیمی بزرگ در منطقه عبارتند از:

• **راندگی کوکلی:** مختصات آن $N90E,30N$ است. این گسل در یال جنوبی تاقدیس

چین‌های محدوده مورد مطالعه (شکل ۲۲)، درزه‌های a کششی و عمود بر محور چین‌خوردگی هستند و به عنوان درزه‌های عرضی (Transverse joints) در نظر گرفته می‌شوند. امتداد این درزه‌ها تقریباً به موازات تنش بیشینه اعمال شده بر ناحیه است و از نظر آماری بیشترین تراکم و گسترش را در سطح منطقه دارند. درزه‌های d نیز کششی هستند و چون به موازات محور چین‌خوردگی قرار گرفته‌اند، به عنوان درزه‌های طولی (Longitudinal joints) معرفی می‌شوند. این درزه‌ها کمترین گسترش را در منطقه دارند. زاویه بین این دو دسته شکستگی کششی که تحت تأثیر مؤلفه نرمال تنش ایجاد می‌شوند، همان گونه که در استریوگرام شکل ۲۳ نیز نشان داده شده، نزدیک به عمود است.

درزه‌های b و c برشی مزدوج بوده و با یکدیگر زاویه‌ای حدود 80° می‌سازند. با استفاده از درزه‌های برشی مختصات تنش‌های اصلی ایجادکننده تغییرات ساختمانی در ناحیه مشخص شد (شکل ۲۳) که عبارت است از:

$$\delta_1 = N9^\circ E, 5^\circ \quad \delta_2 = S1^\circ W, 86^\circ \quad \delta_3 = N81^\circ W, 1^\circ$$

۶- تأثیر گسل‌های همراه در تخریب زمین‌لرزه

مجموعه گسل‌های راستالغز جوان در این منطقه می‌توانند بر روی یکدیگر تأثیرگذار باشند و به صورت گسل‌های همراه عمل کنند. در گسل‌های همراه، تغییر تنش برشی از تنش پایه که به دلیل رخداد زمین‌لرزه و فعال شدن یک گسل ایجاد می‌شود، سبب ایجاد حرکات کوچکی خواهد شد. این مورد به خوبی در زمین‌لرزه ۱۳۷۵ بجنورد ایجاد شده است. همزمان با این لرزش در بسیاری از گسل‌های جوان موجود در منطقه شکستگی و حرکات‌های کوچکی دیده می‌شود که در زیر به نمونه‌هایی اشاره می‌شود.

- ۱- ریزش‌های سنگی در طول گسل قزلقان (شیخ) همزمان با زمین‌لرزه (شکل ۱۰).
- ۲- آثار حرکت و جابه‌جایی روی گسل قارلق در طی زمین‌لرزه به‌ویژه در اطراف روستای شیخ که حتی سبب ایجاد زمین‌لغزش‌های بزرگی شده است (شکل ۱۲).
- ۳- رخداد جابه‌جایی‌های کوچک در امتداد گسل بابا امان که در فاصله حدود ۱۵ کیلومتری جنوب خاوری مرکز زمین‌لرزه سال ۱۳۷۵ بجنورد قرار دارد. آثار برش و شکستگی جوان در دره مجاور مجتمع پتروشیمی بجنورد دیده می‌شود. حتی در دو محل که این گسل از جاده بجنورد به شیروان عبور می‌کند، آسفالت بریده شده است (شکل ۷). در کنار مجتمع پتروشیمی، بند خاکی احداث شده که در اثر فعال‌بودن این گسل ترک‌های ژرفی در مخزن و محور بند خاکی ایجاد شده است. این مسئله منجر به غیر قابل استفاده شدن کامل بند خاکی شده است. همچنین تعدادی از واحدهای مسکونی روستای قره‌خان‌بندی که بر روی خط گسل واقع شده، در زمان رخداد زمین‌لرزه به طور کامل تخریب شده‌اند، اما ساختارهایی که در فاصله دورتری از این گسل و حتی در فاصله نزدیک‌تر به کانون زمین‌لرزه قرار دارند، آسیب چندانی را متحمل نشده‌اند. تمامی این شواهد نشان‌دهنده فعال شدن این گسل در طی زمین‌لرزه سال ۱۳۷۵ شهر بجنورد است.

این شواهد نشان‌دهنده این مطلب است که رخداد زمین‌لرزه در یک گسل در گسل‌های اطراف آن، تأثیر گذاشته و سبب ایجاد جابه‌جایی‌های کوچک در آنها می‌شود. بنابراین می‌توان زون گسلی تمام گسل‌های جوان موجود در منطقه را به عنوان یک شبکه فعال در نظر گرفت. این بدان معنی است که در هر زمین‌لرزه‌ای که در این منطقه رخ دهد، خطوط این شبکه می‌تواند به عنوان مناطق با توان تخریب بالا معرفی شود.

۷- نتیجه‌گیری

- در این پژوهش به ویژگی‌های ساختمانی و فعالیت هر یک از گسل‌ها به صورت جداگانه پرداخته شده است. همچنین در این مطالعه به نشانه‌های همراهی گسل‌ها در زمین‌لرزه پرداخته شده است که اینها مواردی متفاوت از مطالعات پیشین است.

راندگی‌ها، ابتدا قطب سطوح راندگی منطقه بر روی استریونت منتقل و موقعیت سطح راندگی میانگین معین شد (شکل ۱۸). با در نظر گرفتن این اصل که جهت اعمال تنش بیشینه بر روی یک گسل راندگی، تقریباً عمود بر امتداد سطح گسل است، موقعیت تنش به صورت N03W تعیین شد.

با ادامه اعمال فشار در منطقه، شکستگی‌های مزدوج (Conjugate fractures) در سنگ‌ها شکل می‌گیرند. این شکستگی‌ها را می‌توان منشأ ایجاد گسل‌های راستالغز در نظر گرفت. نحوه حرکت و چگونگی کنار هم قرارگرفتن گسل‌های راستالغز، شکل‌های زمین‌ساختی متفاوتی را در منطقه ایجاد کرده است. در برخی نقاط حرکت دو گسل راستالغز در کنار یکدیگر، سبب ایجاد گسل‌های فرعی به شکل بادبزنی (Imbricate) یا افشان (دم اسبی) شده است (شکل ۱۹). برای مثال در گسل‌های توپک‌نلو و بابا امان چنین گسل‌هایی ایجاد شده‌اند. همان گونه که در شکل نیز دیده می‌شود، مجموع جابه‌جایی‌های کوچک بر روی گسل‌های فرعی با میزان جابه‌جایی اصلی که بین دو بلوک ایجاد شده، برابر است. در برخی نقاط حرکت بلوک‌های اطراف یک گسل راستالغز سبب تشکیل شکستگی‌هایی با زاویه حاده در کنار آنها شده است (شکل ۲۰). این گسل‌ها بسته به چپ‌بر یا راست‌بر بودن گسل اصلی، گسل‌های شیب‌لغز فرعی با مؤلفه معکوس و یا نرمال را ایجاد می‌کنند. بنابراین گسل‌های معکوس جوان موجود در ناحیه را می‌توان حاصل حرکت گسل‌های راستالغز دانست. در پاره‌ای نقاط نیز گسل‌های راستالغز حالت خمیده به خود گرفته‌اند که سبب تغییر در امتداد این گسل‌ها می‌شود (گسل توکور و ناوه). با در نظر گرفتن طول و امتداد هر یک از گسل‌های راستالغز اصلی و فرعی و همچنین جهت حرکت در آنها، نمودار گل‌سرخ برای آنها رسم شده است. بر اساس این نمودار گسل‌های راستالغز منطقه، دارای دو روند اصلی هستند. سری اول دارای روند N45E و حرکت چپ‌بر و سری دوم دارای روند N35E و حرکت راست‌بر هستند. این نمودار نشان‌دهنده سامانه برشی محض (Pure Shear) با تنش چیره در جهت NE-SE است (شکل ۲۱). در سامانه برشی محض، ابتدا یکی از دو سری گسل مزدوج فعالیت بیشتری از خود به نمایش می‌گذارد (Hoepfner, 1969). در منطقه مورد مطالعه فعالیت در امتداد شمال باختری- جنوب خاوری گسترش بیشتری دارد. بر اساس این سامانه، راستای بیشترین فشارش در منطقه N05E و کمترین فشارش S85E تعیین شده است. این جهت‌ها، با راستای به دست آمده از بررسی گسل‌های راندگی و ساختارهای چین‌خورده تقریباً همخوانی دارند و اختلاف اندک آنها، به احتمال در ارتباط با چرخش ساختارهای زمین‌شناسی است.

۵- درزه‌ها

اعمال تنش، افزون‌بر ساختارهای چین‌خورده و گسل‌خورده، درزه‌های فراوانی را نیز ایجاد کرده که مطالعه و بررسی آنها، به عنوان یک ساختار مهم، تاریخچه وقایع زمین‌ساختی را معین می‌سازد. در ناحیه مورد مطالعه، در مجموع مختصات ۵۲۰ درزه برداشت و بر روی استریونت پیاده شد. بدین وسیله، موقعیت چهار سطح درزه سیستماتیک a, b, c و d مشخص شد (شکل ۲۳). درزه‌های a فراوان‌ترین درزه‌های موجود در ناحیه هستند. درزه‌های b و c از نظر فراوانی در رتبه دوم قرار دارند و درزه‌های d فراوانی کمتری دارند. بر روی سری درزه‌های a و d ساختار پر مانند (Plumose structure) و ساختار حاشیه‌ای (Fringe structure) دیده می‌شود. افزون‌بر این بیشتر با بازشدگی همراه هستند و فضای داخلی آنها بیشتر با کلسیت پر شده است. بنابر این سری‌های a و d درزه‌های کششی (Tensile joints) هستند. سری‌های b و c که گاه آثار لغزش (Slicken sides) در سطح آنها دیده می‌شود، از نوع درزه‌های برشی (Shear joints) به شمار می‌روند.

به خوبی می‌توان ارتباط درزه‌ها را با ساختارهای چین‌خورده و گسلیده معین کرد. بر اساس اندازه‌گیری مختصات لایه‌های چین‌خورده و تعیین محور میانگین

- میزان تخریب سازه‌ها در یک زمین‌لرزه تنها به فاصله تا کانون بستگی ندارد، بلکه نزدیکی سازه به هر یک از گسل‌های جوان منطقه می‌تواند سبب افزایش میزان خرابی شود. به همین دلیل گاه در سازه‌هایی که در فاصله دورتری از کانون قرار دارند، تخریب بیشتری صورت می‌گیرد. زیرا مرتبط بودن شبکه شکستگی‌های جوان در تمام منطقه باعث خواهد شد که رخداد شکستگی در یک گسل سبب تحریک و جابه‌جایی‌های کوچک در تعداد زیادی از گسل‌های اطراف آن شود. بنابراین محدوده گسل‌های فعال در منطقه را می‌توان به عنوان شبکه‌ای با توان تخریب بالا در هر زمین‌لرزه دانست.

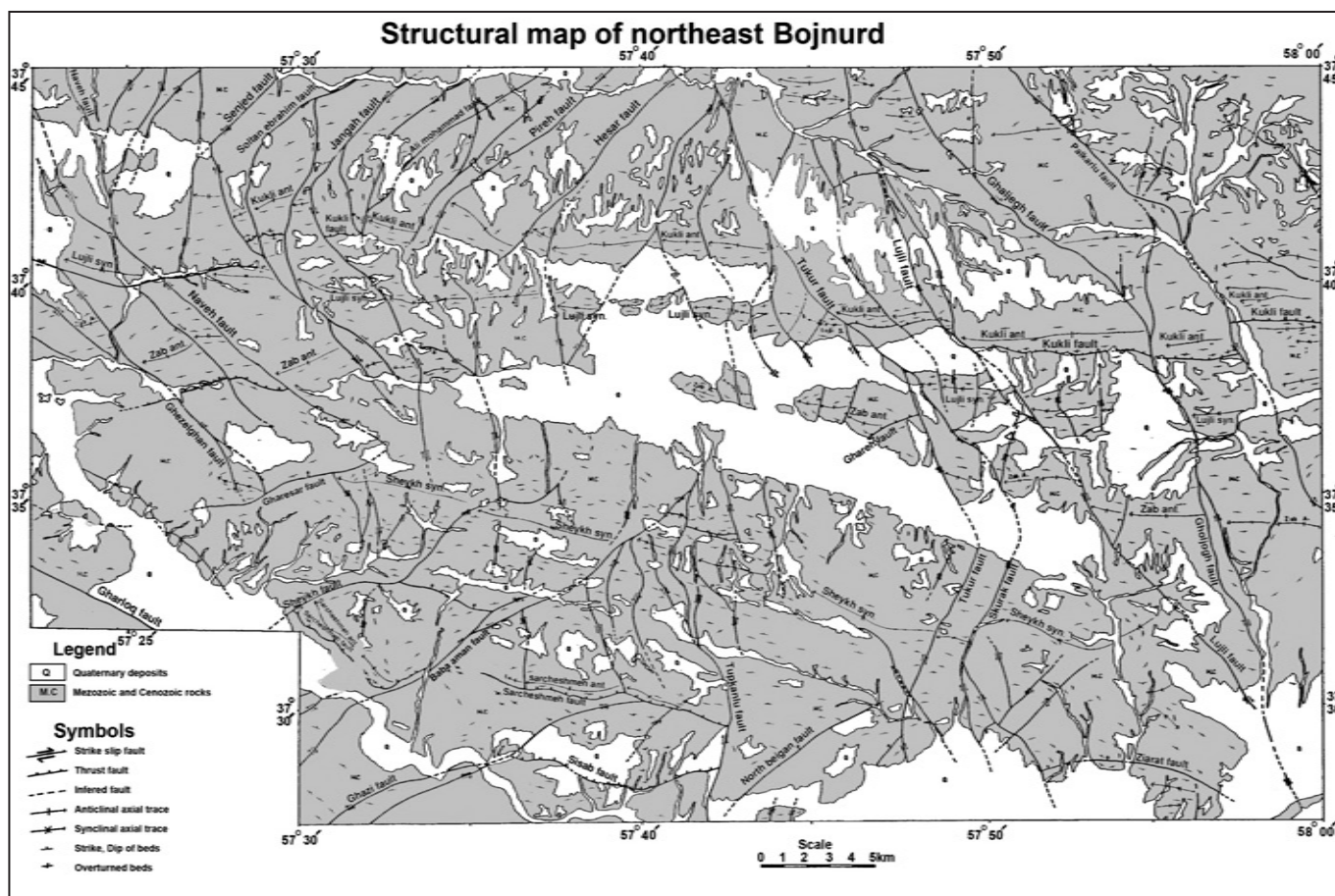
سپاسگزاری

این پروژه با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره (۱۳۸۶/پ) مورخ ۸۷/۱۱/۶ انجام شده است.

- گسل‌ها در این ناحیه در سه رده تشکیل شده‌اند. اولین رده گسل‌های راندگی است که همزمان با دیگر بخش‌های البرز و بینالود بوجود آمده‌اند. در ادامه به دلیل چرخشی که در امتداد البرز خاوری ایجاد شده است، دومین رده شامل گسل‌های راستالغز تشکیل شده‌اند. این مجموعه در دو دسته مزدوج ایجاد شده‌اند. این دو رده دارای مؤلفه‌های حرکت چپ‌بر و راست‌بر هستند. تغییراتی که در امتداد برخی از این گسل‌ها به‌ویژه در انتهای آنها ایجاد می‌شود، سبب تبدیل آنها به گسل‌های معکوس جوان می‌شود که سومین رده گسل‌ها را به وجود می‌آورد.

- بخش عمده گسل‌های راستالغز و معکوس جوان، فعال بوده و نشانه‌های فعالیت بر روی آنها دیده می‌شود.

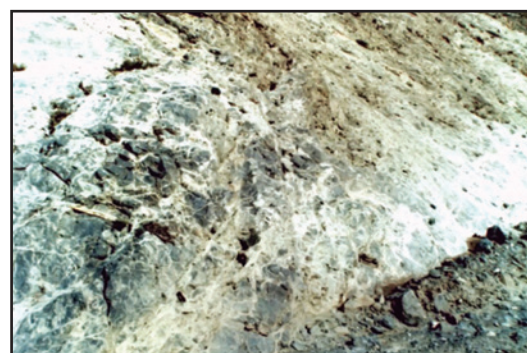
- مجموعه گسل‌های فعال منطقه می‌توانند به صورت گسل‌های همراه بر روی یکدیگر تأثیرگذار باشند و تغییر تنش برشی از تنش پایه به دلیل رخداد زمین‌لرزه و فعال شدن یک گسل سبب ایجاد حرکات کوچکی در گسل‌های همراه دیگر شود. نمونه آن را در زمین‌لرزه ۱۳۷۵ بجنورد می‌توان دید.



شکل ۱- نقشه گسل‌های منطقه مورد مطالعه (قائم و همکاران، ۱۳۷۸؛ قائم، ۱۳۸۳).



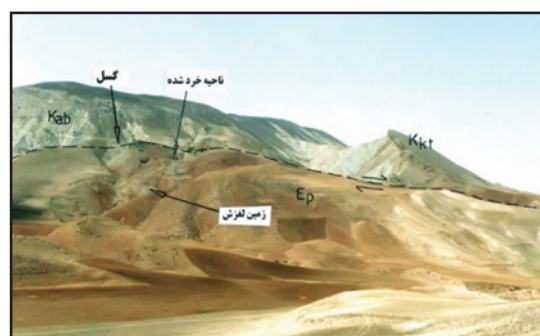
شکل ۳- بریدگی رسوبات عهد حاضر در زمین‌های کشاورزی در مسیر حرکت گسل لوجلی (شمال روستای لوجلی).



شکل ۲- پرشدگی کلسیت در زون خردشده گسل راستالغز زیدر (خاور روستای امیرانلو).



شکل ۵- نمایی نزدیک از گسل ناوه در بین سازند سرچشمه (Sr) و سازند تیرگان (Tr) (روستای ناوه، نگاه به سمت شمال باختر).



شکل ۴- گسل توپکانلو در جنوب روستای توپکانلو و یال جنوبی ناودیس شیخ در حد بین سازندهای پسته لیق و آبدراز (ab). حرکت‌های جوان گسل سبب ایجاد لغزش در رسوبات پسته‌لیق شده است (نگاه به سمت جنوب باختر).



شکل ۷- نمایی از گسل بابا امان که در مسیر خود رسوبات کواترنری و جاده آسفالت را بریده است (نگاه به سمت باختر).



شکل ۶- برشی از پهنه گسلی که حالت پلکانی را در رسوبات نئوژن ایجاد کرده است (نگاه به سمت خاور).



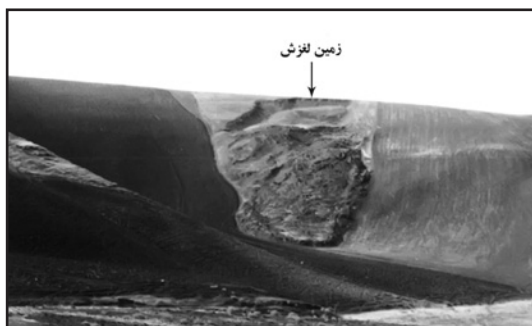
شکل ۸- گسل بکه شاخ در حد فاصل روستای قزلقان (سمت راست)، روستای بکه شاخ (مرکز عکس) و روستای ناوه (سمت چپ) که در مسیر خود گسل‌های دیگری همچون گسل ناوه را قطع می‌کند. (نگاه به سمت خاور).



شکل ۱۰ - پهنه گسلی قزلقان که سنگ آهک‌های سازند تیرگان را به شدت خرد کرده است (دره جنوب روستای قزلقان، نگاه به سمت باختر).



شکل ۹ - گسلش سطحی در رسوبات کواترنری به وسیله گسل یکه شاخ در اثر زمین لرزه سال ۱۳۷۵ بجنورد (مجاور روستای یکه شاخ، نگاه به سمت جنوب باختر).



شکل ۱۲ - زمین لغزش بر اثر حرکت جوان گسل قارلق در سازند سنگانه واقع در جنوب روستای شیخ (نگاه به سمت جنوب).



شکل ۱۱ - برش گسل با پرشدگی کلسیت در پهنه گسلی قارلق (شمال روستای شیخ) و خش لغزش‌های ایجاد شده بر روی سطح گسل.



شکل ۱۴ - راندگی کوکلی در دامنه جنوبی تاقدیس کوکلی سازند تیرگان (tr) را بر روی سازند سرچشمه (sr) رانده است (روستای بیک، نگاه به سمت شمال خاور).



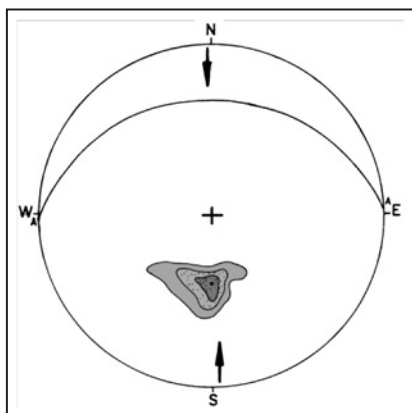
شکل ۱۳ - لغزش رسوبات عهد حاضر واقع بر روی گسل جنگاه بر اثر فعالیت جوان گسل حاصل از زمین لرزه ۱۳۷۵ (نگاه به سمت باختر).



شکل ۱۶ - نمایی از راندگی شمال توپکانلو در خاور روستای توپکانلو واقع در یال شمالی ناودیس شیخ. سازند کلات بر روی سازند آبدراز و سپس سازند آبدراز بر روی سازند پسته‌لیق رانده شده است (نگاه سمت شمال خاور).



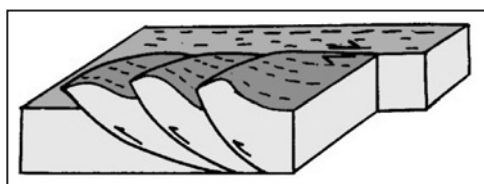
شکل ۱۵ - چین در سازند تیرگان در حاشیه راندگی قره و بخش مرکزی تاقدیس زاب (روستای قولانلو، نگاه به سمت جنوب باختر).



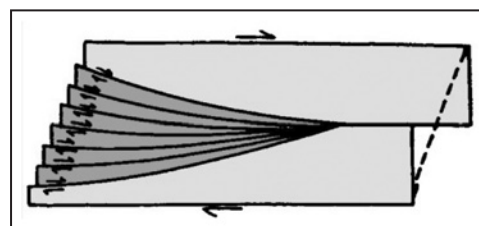
شکل ۱۸- منحنی تجمعی رسم شده، در حقیقت قطب سطح راندگی اصلی است. فلش موقعیت تنش چیره را در ناحیه نشان می‌دهد.



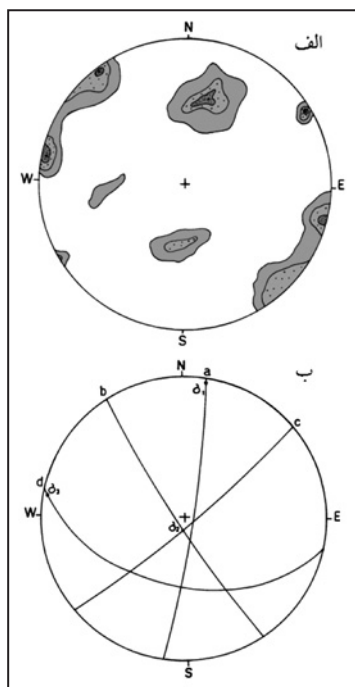
شکل ۱۷- دورنمایی از گسل معکوس بیگان که در واحدهای آهکی تیرگان قرار دارد. (نگاه به سمت شمال).



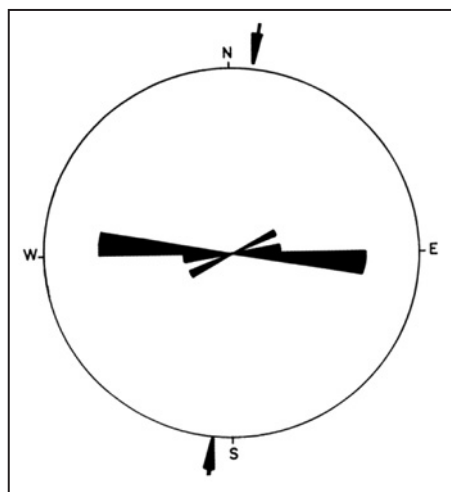
شکل ۲۰- گسل‌های شیب‌لغز حاصل حرکت راست‌بر یک گسل راستالغز (Twiss and Moores, 1992).



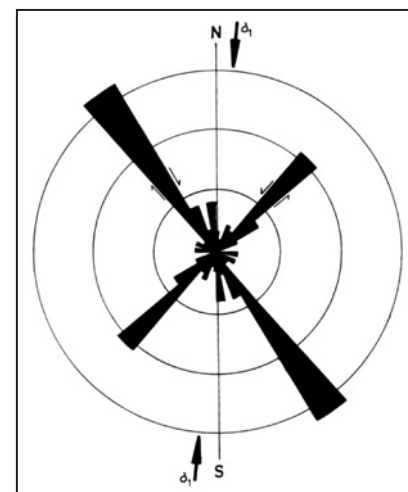
شکل ۱۹- هندسه گسل‌های فرعی افشان که در اثر حرکت راست‌بر دو بلوک در کنار هم ایجاد شده است. مجموع جابه‌جایی‌هایی که بر روی هر گسل فرعی صورت گرفته برابر با میزان جابه‌جایی است که بین دو بلوک اصلی ایجاد شده است (Twiss and Moores, 1992).



شکل ۲۳- الف) منحنی تجمعی درزه‌ها که چهار سطح درزه اصلی در آن دیده می‌شود. ب) سطوح مربوط به چهار تراکم اصلی موقعیت چهار سطح شکستگی چیره در منطقه را معین می‌کند که بر روی دو سطح مزدوج می‌توان جهت تنش‌های اصلی را تعیین کرد.



شکل ۲۲- نمودار گل سرخی سطوح محوری چین‌های منطقه. راستای تنش فشارشی چیره که سبب چین‌خوردگی در منطقه شده به صورت خطی عمود (فلش) بر امتداد سطح محوری چیره رسم شده است.



شکل ۲۱- نمودار گل سرخی از گسل‌های راستالغز منطقه، جهت اعمال تنش چیره با فلش مشخص شده است.

جدول ۱- مشخصات گسل‌های راست‌لغز در محدوده مورد مطالعه

نام گسل	مختصات	طول گسل	سازوکار	مقدار تقریبی جدایش افقی	پهنه تقریبی گسلی	نشانه فعالیت	توضیحات
گسل زیدر	N35°W, 75°NE	۷۷ کیلومتر	چپ‌بر با مؤلفه شیبی نرمال	۱۵۰۰ متر	۲۰ متر با پُرشدگی کلیت و به شدت خردشده شکل (۲)	قطع شدن رسوبات کواترنری	گسل فعال و دارای توان لرزه‌ای. بریدگی محور تاقدیس کوکلی و ناودیس لوجلی
گسل قل‌جق	NW-SE	۴۳ کیلومتر	راست‌لغز چپ‌بر	۷۰۰ متر. در بخش‌های انتهایی گسل ۵ تا ۱۰ متر	۱۵ متر با پُرشدگی کلیت	لغزش و برش در رسوبات عهد حاضر	محور تاقدیس‌های زاب، کوکلی و ناودیس لوجلی و راندگی کوکلی را بریده و به گسل زیدر متصل شده. در سمت خاور، گسل‌های شاخه‌ای با زاویه حدود ۳۰° از آن جدا شده که مؤلفه شیب‌لغز معکوس دارند
گسل لوجلی	NW-SE که در شمال با یک پیچش E-W می‌شود	۷۵ کیلومتر	راست‌لغز راست‌بر	۱۶۰۰ متر	۳۰ متر با پُرشدگی کلیت	لغزش و برش در رسوبات عهد حاضر (شکل ۳)	باعث جابه‌جایی محور تاقدیس‌های زاب و کوکلی و ناودیس‌های شیب و لوجلی و گسل راندگی کوکلی شده است. دو نوع گسل‌های شاخه‌ای از آن جدا شده‌اند. یک سری راست‌لغز راست‌بر بوده و سری دیگر گسل‌های معکوس هستند
گسل توکود	امتداد بخش شمالی N35°W و بخش جنوبی N25°E	۳۵/۵ کیلومتر	راست‌لغز راست‌بر	در بخش شمالی ۱۵۰۰ متر و در بخش جنوبی ۱۵۰ متر	در بخش شمالی ۳۰ متر و در بخش جنوبی ۱۰ متر	آثار بریدگی و حرکت توده‌های خاک در رسوبات عهد حاضر و زمین‌های کشاورزی	سبب جابه‌جایی محور تاقدیس‌های کوکلی و زاب و ناودیس‌های لوجلی و شیب شده است. در بخش شمالی تعدادی گسل شاخه‌ای راست‌لغز راست‌بر به شکل افشان (دم اسبی) از آن جدا شده‌اند
گسل شورک	بخش شمالی امتداد N35°W و بخش جنوبی N25°E	بخش شمالی ۱۰ کیلومتر و جنوبی ۱۰/۵ کیلومتر	راست‌لغز راست‌بر	در بخش شمالی ۲۰۰ متر و بخش جنوبی ۵۰ متر	بین ۲۰ تا ۵ متر	کچ‌شدگی در رسوبات پلوی کواترنری و انحراف در مسیر آبراهه‌ها	پس از بریدن محور ناودیس‌های شیب و لوجلی و تاقدیس زاب به گسل توکود در شمال متصل می‌شود
گسل توپکانلو (گسل سیساب)	امتداد بخش شمالی N, NW-S, SE و بخش جنوبی N34°E	بخش شمالی ۱۸/۵ کیلومتر و بخش جنوبی ۱۸ کیلومتر	مورب‌لغز با مؤلفه امتدادی راست‌بر و مؤلفه شیبی نرمال	۶۰۰ متر	۱۵ متر با پُرشدگی کلیت	لغزش توده‌های خاکی و سنگی و بریدگی در رسوبات عهد حاضر (شکل ۴)	محور ناودیس شیب و تاقدیس سرچشمه و گسل راندگی سرچشمه و سیساب را بریده و در مجاورت روستای کلانه به گسل باباامان متصل می‌شود
گسل قاضی	امتداد N56°E	۱۹ کیلومتر	مورب‌لغز با مؤلفه امتدادی چپ‌بر و مؤلفه شیبی نرمال	۲۵۰ متر	۵ تا ۱۵ متر	در رسوبات کواترنری باعث انحراف در مسیر رودخانه اثرک شده است	در شمال گسل راندگی سرچشمه را می‌برد. در انتهای آن گسلی شاخه‌ای از نوع راست‌لغز چپ‌بر، از کناره خاوری گسل اصلی منشعب می‌شود.
گسل باباامان	NE-SW	۳۱/۵ کیلومتر	راست‌لغز چپ‌بر با مقدار کمی لغزش شیبی	۴۰۰ متر	۱۰ تا ۵۰ متر	جابه‌جایی پلکانی در رسوبات کواترنری، آثار شکستگی جدید، لغزش زمین و برش جاده آسفالتی در زمین لرزه سال ۱۳۷۵ بجنورد	محور تاقدیس سرچشمه و ناودیس شیب و گسل راندگی سرچشمه را بریده است. در فضای بین گسل‌های توپکانلو و باباامان تعداد زیادی گسل‌های فرعی راست‌لغز چپ‌بر دیده می‌شوند که حاصل حرکت این دو گسل است.

نام گسل	مختصات	طول گسل	سازوکار	مقدار تقریبی جدایش افقی	پهنه تقریبی گسلی	نشانه فعالیت	توضیحات
گسل فارلق	N58°E, 80°E	۶۲ کیلومتر	راستالغز چپ بر با مؤلفه شیبی معکوس	۵۰ تا ۲۰۰ متر	۸ تا ۲۰ متر با پرشدگی کلیت	زمین لرزه سال ۱۳۷۵ بویژه در روستای شیخ سبب حرکت و زمین لغزش های بزرگی شد	محور تاقدیس سرچشمه و ناودیس شیخ و گسل راندگی سرچشمه را بریده است
گسل قزلقان (گسل شیخ)	امتداد NW-SE	۱۷/۵ کیلومتر	راستالغز راست بر	۱۵۰۰ متر	۲۰ متر به شدت خرد و کلیتی شده	جابه جایی اندک و ریزش های سنگی بر روی خط گسل در زمین لرزه سال ۱۳۷۵ بجنورد	انتهای جنوبی آن توسط گسل قره سر و بخش شمالی توسط گسل یکه شاخ بریده می شود. محور تاقدیس زاب و پال جنوبی ناودیس لوجلی را قطع می کند.
گسل ناوه (شکل ۵)	N52°W, 81°W بخش جنوبی و امتداد بخش شمالی N10°W	۳۲/۵ کیلومتر	راستالغز راست بر	۵۰۰ متر	۱۰ تا ۱۵ متر و به شدت خرد شده	این گسل در زمین لرزه سال ۱۳۷۵ بجنورد به صورت گسل همراه فعال و روستای ناوه را ویران کرد	ناودیس لوجلی و تاقدیس های کوکلی و زاب را بریده و در بخش شمالی به شکل افشان به شاخه های فرعی از گسل های راستالغز راست بر ختم می شود. بخش میانی آن، توسط گسل یکه شاخ بریده شده
گسل سنجید	بخش اول امتداد N-S و بخش دوم امتداد NE-SW	بخش اول به طول ۵ و بخش دوم به طول ۱۰/۵ کیلومتر است	راستالغز چپ بر	۲۰۰ متر	-----	شواهد مشخصی از حرکت های جدید ندارد	پس از بریدن راندگی کوکلی و محور تاقدیس کوکلی در جنوب، توسط گسل یکه شاخ قطع می شود
گسل یکه شاخ	امتداد E-W	۳۰ کیلومتر	راستالغز چپ بر	-----	-----	زمین لرزه بجنورد با بزرگی $M=5.9$ در ۱۶ بهمن ماه ۱۳۷۵ با گسلش سطحی حدود ۲۰ کیلومتر بر روی همین گسل اتفاق افتاده است.	امتداد گسل یکه شاخ به موازات محور ناودیس لوجلی بوده که در راستای خود، گسل های ناوه و قزلقان و تعدادی گسل فرعی را بریده است
گسل سلطان ابراهیم	بخش شمالی N55°E, 79°E و بخش جنوبی N40°W, 80°E	طول بخش شمالی ۱۳/۵ و بخش جنوبی ۱۲/۵ کیلومتر	راستالغز راست بر	۴۰۰ متر	۸ تا ۱۵ متر	فعالیت خاصی از خود به نمایش نگذاشته است	سبب جابه جایی در محور تاقدیس های کوکلی و زاب، ناودیس لوجلی و راندگی کوکلی شده است. انتهای شمالی گسل، به گسل های شاخه ای از نوع راستالغز راست بر متصل می شود
گسل جنگاه	بخش شمالی امتداد N40°E و بخش جنوبی امتداد N28°W دارد	بخش شمالی ۷ کیلومتر و بخش جنوبی ۱۶ کیلومتر طول دارد	راستالغز راست بر	۱۵۰ متر	-----	بر اثر زمین لرزه سال ۱۳۷۵ در مسیر گسل فعالیت جدید و زمین لغزش در رسوبات کواترنری ایجاد شده است	محور تاقدیس های کوکلی و زاب و ناودیس های لوجلی و پال شمالی ناودیس شیخ را بریده است
گسل علی محمد	امتداد N56°E	۱۲ کیلومتر	راستالغز چپ بر	۵۰ تا ۲۰۰ متر	-----	اثری از فعالیت های جدید گسل، دیده نشد	از دو گسل موازی با سازوکار چپ بر تشکیل شده که در جنوب به هم متصل شده و تشکیل گسل واحدی را می دهند. این گسل ها محور تاقدیس کوکلی را قطع می کنند
گسل پیوه	امتداد NE-SW	۲۰ کیلومتر	راستالغز چپ بر	۲۵۰ متر	۱۰ متر	سبب کج شدگی در مسیر تعدادی از آبراهه ها شده است	محور تاقدیس زاب را بریده است
گسل حصار	امتداد NE-SW	۱۷ کیلومتر	راستالغز چپ بر	۱۰۰۰ متر	۱۲ متر	بریدگی های اندکی در رسوبات کواترنری ایجاد کرده است	باعث بریدگی محور تاقدیس کوکلی شده است

کتابنگاری

- افشار حرب، ع.، ۱۳۷۳- چینه شناسی کپه داغ، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- افشار حرب، ع.، ۱۳۶۴- نقشه زمین‌شناسی بجنورد، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قائم، ف.، غفوری، م.، حافظی مقدس، ن.، ۱۳۷۸- پروژه ارزیابی پتانسیل لرزه‌خیزی اطراف و محل پتروشیمی بجنورد، شرکت سهامی پتروشیمی خراسان.
- غفوری، م.، قائم، ف.، حافظی مقدس، ن.، ۱۳۷۸- گسله کواترنر بابا امان در منطقه بجنورد، شمال غرب خراسان، فشرده مقالات سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- قائم، ف.، ۱۳۸۳- نقشه زمین‌شناسی کاکلی، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قیطانچی، م. ر.، فاتحی، ع.، سدید خوی، ا.، ۱۳۷۷- بررسی زمین‌لرزه‌های ۱۶ بهمن ۱۳۷۵ بجنورد در شمال خاور ایران، نشریه فیزیک زمین و فضا، جلد ۲۴، شماره‌های ۱ و ۲.

References

- Afshar-Harb, A., 1979-The stratigraphy and petroleum geology of Kopeh Dag region, northern Iran: London, Petroleum Geology Section. Royal School of Mines, Imperial College, pp: 316.
- Ambraseys, N. and Melville, C., 1982- A history of Persian earthquakes: Cambridge, Cambridge University Press, 219 p.
- Griesbach, C. L., 1881- Report on the Geology of the Section between the Bolan Pass in Biluchistan and Girishk in Southern Afghanistan: By C. L. Griesbach. [Kopftitel.] (Published by Order of his Excellency the Governor General of India in Council). (Calcutta): Government of India.
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Alarcón, J. E., Bommer, J. J. and Bolourchi, M., 2007- The 4th February 1997 Bojnurd (Garmkhan) Earthquake in NE Iran: Field, Teleseismic, and Strong-Motion Evidence for Rupture Directivity Effects on a Strike-Slip Fault, Journal of Earthquake Engineering, 11:193-214,
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R. & Nazari, H., 2008- Extrusion tectonics and subduction in the eastern South Caspian region since 10 Ma GEOLOGY, v. 36; no. 10; p. 763-766.
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Gheitanchi, M. and Bolourchi, M., 2006- "Strike-slip Faulting, rotation, and along-strike elongation in the Kopeh Dag mountains, NE Iran," Geophysical Journal International, 166, 1161-1177.
- Hoepfner, R., Kalthoff, E. & Schrader, P., 1969- Zur physikalischen Tektonik; Bruchbildung bei verschiedenen affinen Deformationen im Experiment: Geologische Rundschau, v. 59, p. 179- 193.
- Tatar, M., Yamini-Fard, F. and Hessami, K., 1997- "Bojnord earthquake of February 4, 1997," Proceeding of International Conference on Civil Engineering, Sharif University, Tehran, Iran.
- Twiss, R. J. and Moores, E. M., 1992- Structural geology, Freeman and company - New York.

hollandite, as well as calcite and quartz. Intergrowths of manganese oxides and quartz (or calcite) associated with various open space filling textures support the epithermal origin of the ore forming fluids in this area. Geochemistry of major and trace elements in Robat Karim manganese ores, similarity of their chondrite normalized REE pattern with volcanic host rocks and other hydrothermal manganese deposits of the world, as well as negative Ce anomaly indicate a probable epithermal origin of the deposit. Ore forming fluids could be originated from meteoric and/or magmatic waters circulating through Eocene volcanic rocks, dissolve manganese and other metals and deposit them in fault planes and major fractures. High pressure of the ore forming fluid has caused the formation of brecciated trachyte.

Keywords: Mineralogy, Geochemistry, Rare earth elements, Manganese, Robat Karim.

For Persian Version see pages 67 to 76

*Corresponding author: S. J. Moghaddasi; E-mail: sjmoghad@pnu.ac.ir

Fracture System of Kopet-Dagh Fold Belt, NE Bojnurd

F. Ghaemi^{1*} and F. Ghaemi²

¹ Geology Department, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

² Geology Department, Faculty of Science, Islamic Azad University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Received: 2009 December 16

Accepted: 2010 October 03

Abstract

The Northern Khorasan is one of important active tectonics area. The main faults are strike slip (dextral and sinistral) and minor faults are thrust faults. Many of thrust faults are older than strike-slip faults and some of them are younger and are active now. It is because of bending of strike-slip faults that converts, them into thrust faults. We recognized active faults based on their characteristics. In this area we have two series of tensile joints and two series of shear joints. Principal stresses have the following attitudes: ($\delta_1 = N9^\circ E, 5^\circ$)-($\delta_2 = S1^\circ W, 86^\circ$)-($\delta_3 = N81^\circ W, 1^\circ$) Strikslip faults can be sympathetic. For example the 1997 Bojnurd earthquake on the Yekke-shakh fault affects Baba-aman and Gharlegh faults.

Keywords: Strike-Slip Fault, Thrust Fault, Bojnurd, Sympathetic Faults, Active Fault, Joint, Fault Zone.

For Persian Version see pages 77 to 86

*Corresponding author: F. Ghaemi; E-mail: farzinmail@yahoo.com

Structural Mechanisms of the Quaternary Basalts in Bijar Area, West of Iran

G. Maleki^{1*}, A. Saeedi¹, M.H. Emami¹, M. Kheirkhah¹

¹ Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2010 May 29

Accepted: 2010 October 09

Abstract

In Sanandaj-Sirjan zone a vast outcrops of volcanic rocks, which founded as high terraces, are covered the Pre-Quaternary rocks. The volcanic rocks are appeared in different shapes and morphological features. Based on the Zagros geodynamical evolution, mentioned rocks assumed to be Post-Collisional, that are formed in an extensional system with a NW-SE trend. Three studied complexes in this paper are Ahmadabad, Tahmures and Nadri. The structural investigation of three the sites are complementary data to the geochemical analysis. In this regards, structural investigation done in those 3 mentioned sites. Studied faults shows different trends and age. Mechanism of faults are normal, and their age are either Post-basalt or syn-basalt, that is, Contemporaneous with the last deposition of late-Miocene marls. The age of the oldest faults is late-Miocene, before basalt intrusion.

Keywords: Contamination, Assimilation, Gneiss, Alkali Basalt, Volcanic, Quaternary

For Persian Version see pages 87 to 96

*Corresponding author: G. Maleki; E-mail: Maleki.geologist@yahoo.com