

معرفی و تحلیلی بر ساختارهای کمربند چین‌خورده و رانده بزقوش (شمال غرب ایران)

بهزاد زمانی^{۱*} و یحیی کریمی^۲

۱- دانشیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- محقق مدعو، دانشگاه استراسبورگ، فرانسه

۳- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

نویسنده مسئول: b.zamani@tabrizu.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۶

دریافت: ۱۴۰۳/۲/۲۴

چکیده

رشته‌کوه بزقوش در شمال غرب ایران و بین استان‌های آذربایجان شرقی و اردبیل قرار دارد. ارتفاعات بزقوش شامل تناوبی از سنگ‌های آئوسن است، که توسط دایک‌های میکرودیوریتی تا مونزونیتی قطع شده‌اند. این ارتفاعات بین دو گسل شمالی و جنوبی بزقوش مسدود شده و این دو گسل باعث راندگی این ارتفاعات به سمت دشت‌های سراب و میانه شده‌اند و در مجموع یک ساختار بالارنده را نشان می‌دهند. در این پژوهش ساختارهای مهم رشته‌کوه‌های بزقوش با تحلیل و برآورد وضعیت تنش‌های امروزی تحلیل شده است. بررسی داده‌های دورسنجی و شناسایی ساختارها با کمک نقشه‌های زمین‌شناسی موجود در این پهنه، ساختارهای متعددی از جمله گسل‌ها (با مکانیسم‌های راندگی، نرمال و امتدادلغز)، چین‌ها (تاق‌دیس و ناودیس) و حوضه‌ها و روراندگی‌ها را در این محدوده نشان می‌دهد. در این پژوهش مشخص شده است که گروه گسل‌های با سازوکار راندگی دارای امتداد میانگین NE-SW تا E-W و شیب ۶۰ تا ۸۰ درجه می‌باشند. گسل‌های با سازوکار نرمال عمدتاً دارای امتداد میانگین NW-SE و دارای شیب ۶۰ تا ۷۰ درجه هستند. همچنین گروه گسل‌های راستالغز راست‌بر با امتداد NNW-SSE دارای شیب نزدیک به قائم می‌باشند. همچنین جهت رژیم تنش غالب فشاری بصورت NNE-SSW در این رشته‌کوه است. در تمامی نواحی بررسی شده، مشاهده می‌شود که روند چین‌خوردگی‌ها با روند گسل‌های موجود در منطقه مطابقت داشته و این چین‌خوردگی‌ها متأثر از گسل‌ها ایجاد شده‌اند. بررسی و مقایسه نتایج حاصل از تحلیل ساختارها و برآورد تنش شکل‌گیری رشته‌کوه‌های بزقوش را قابل مقایسه با مدل تکتونیکی ترافشارش نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: کمربند رانده چین‌خورده، بزقوش، تنش، تحلیل ساختار

۱- پیشگفتار

چین‌خوردگی و گسلش راندگی، الگوی پراهمیتی است که نشان می‌دهد قسمت بالای پوسته قاره‌ای در محیط‌های برخوردی در نتیجه کوتاه‌شدگی افقی در طول فرایند کوهزایی شکل گرفته‌اند. بررسی ساختارهای یاد شده می‌تواند چگونگی شکل‌گیری و تکامل پوسته قاره‌ای و کمربندهای کوهستان را بهتر نمود سازد. با مطالعه ساختارهای فرعی در نوار چین‌خورده و رانده و بررسی ارتباط ژنتیکی آن‌ها با یکدیگر و ساختارهای اصلی، تکامل ساختاری نوار چین‌خورده و رانده و وقوع فرایندهای کوتاه‌شدگی به موازات لایه‌بندی، چین‌خوردگی و تشکیل راندگی، را می‌توان شناسایی نمود. مراحل سه‌گانه فوق، فرایندهای مهم در مناطق با تغییر شکل‌های فشارشی و در

تکامل کمربندهای چین‌خورده و رانده هستند. کوه‌های بزقوش در داخل یک کمربند چین‌خورده و رانده قرار دارد و کم و بیش تحت تاثیر تکتونیک چین‌سامانه‌هایی است. در کمربندهای چین‌خورده و رانده نازک پوسته با چین‌خوردگی و رانده‌شدن سنگ‌ها در طول حاشیه کمربند کوه‌ها، دگرشکلی‌های مهم در سطح زمین بوجود می‌آیند. سازوکار کمربندهای رانده و چین‌خورده و گوه‌های برافزایشی^۱ به صورت گسترده‌ای در طی دو قرن اخیر توسط پژوهشگران مختلف مطالعه شده است. از جمله این کارها می‌توان به مطالعات چونهامیرستن و همکاران (۲۰۲۰) اشاره کرد. از جمله کارهای دیگر صورت گرفته در مورد تکتونیک و بررسی‌های ساختاری کمربندهای چین‌خورده و رانده می‌توان به کارهای انجام یافته توسط

^۱ Accretionary wedges

توده کوهستانی بزقوش با توپوگرافی خشن در بخش جنوبی در همراهی با دشت وسیع و کم‌شیب سراب در بخش شمال آن، توپوگرافی ناهمگنی را در منطقه به وجود آورده‌اند. این کوهستان، دارای روند شرقی- غربی بوده و در پایانه شرقی خود، به شمال شرق متمایل شده است (شکل ۱). این واحد، خط سیر ممتد و یکنواختی را دنبال نمی‌کند و سطح آن به وسیله رودهای متعددی بریده شده و بنابراین دارای دماغه‌هایی است که با توپوگرافی ژرف محدود شده است. فاز کوهزایی لارامید (ابتدای تشریری) تنها فاز تکتونیکی مشخص در منطقه است (بهریزی و امینی آذر، ۱۳۷۱). نیروی به وجود آورنده این رخداد زمین‌ساختی از نوع فشاری بوده و باعث چین‌خوردگی واحدهای قدیمی‌تر شده است. به دنبال آن، فاز کششی شروع می‌شود، که پیامد آن پیدایش شکاف‌هایی در پوسته زمین و بیرون آمدن گدازه بوده است. سنگ‌های آذرین و آذرآواری این فاز، بیشتر در محیط دریایی تشکیل شده‌اند و شامل گدازه‌هایی با ترکیب آندزیت، آندزی بازالت، تراکی آندزیت و سنگ‌های آذرآواری مانند توف‌های اسیدی، ایگنمبریت و ریولیت است. فعالیت آتشفشانی در این فاز تا پایان الیگوسن و حتی بخشی از میوسن ادامه داشته است. در فاز زمین‌ساختی پیرنه (در فاصله ائو-الیگوسن)، فعالیت ماگمایی بزرگی این فاز را همراهی کرده است (درویش‌زاده، ۱۳۷۲) که نتیجه آن در روستای الله‌حق و برکاب به صورت توده‌های نفوذی سینیتی و گرانیته دیده می‌شوند. پس از این جنبش‌ها، بیشتر رسوبگذاری در محیط‌های خشکی صورت گرفته و پیوند حوضه‌های رسوبی با دریاهای آزاد محدودتر بوده است. در رسوبات این رشته کوه نیز حوضه رسوبگذاری الیگو-میوسن با رسوب‌هایی چون کنگلومرا، مارن، شیل، ماسه‌سنگ و آهک با سبترهای متفاوت در حوضه‌های جدا از هم انباشته شده است و این رسوب‌ها با دگرشیمی بر روی سنگ‌های ائوسن و الیگوسن قرار می‌گیرند. فراخواست رشته‌کوه بزقوش با روند تقریبی شرقی - غربی، به احتمال زیاد وابسته به فاز زمین‌ساختی میوسن-پلیوسن است. در نتیجه این حرکات، دشت فرونشسته سراب تشکیل شده است. این گودی، اغلب از رسوب‌های میوسن، پلیوسن و کواترن پوشیده شده است. در فاصله زمانی پلیو-پلیستوسن، رخداد زمین‌ساختی پاسادنین سبب می‌شود که رسوبات نرم و آواری میوسن در این بخش کاملاً چین‌خورده و ساختار تاقدیسی و ناودیسی

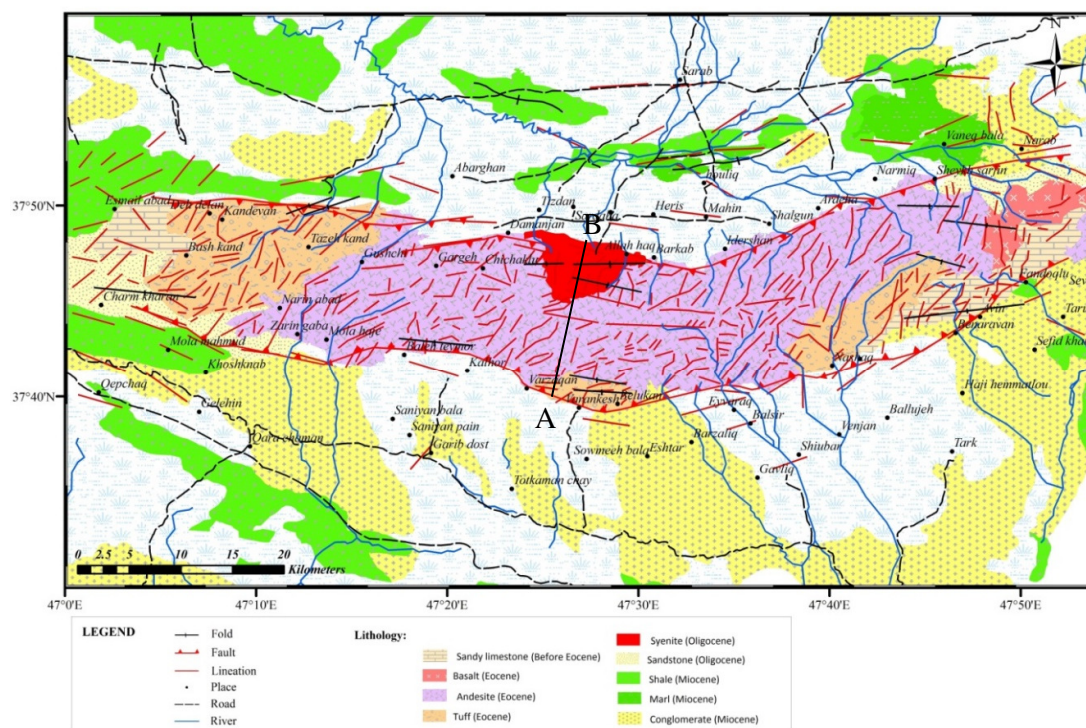
بورچفیل (۱۹۸۰) اشاره کرد. ایشان در این راستا خصوصیات اصلی کمربندهای چین‌خورده و رانده را چهار مشخصه زیر معرفی می‌کنند، که عبارتند از: ۱. کمربندهای چین‌خورده و رانده، کمربندهای نازک پوسته‌ای هستند، که معمولاً ولی نه همیشه، به صورت افقی توسعه می‌یابند، که این حالت بیشتر به پی‌سنگ کریستالین بستگی دارد، ۲. در کمربندهای چین‌خورده و رانده، لایه دکولمان از سنگ ضعیف تشکیل شده، و اغلب با جنس شیل یا تبخیری، به طرف هینترلند عمیق شونده هستند، ۳. این کمربندها، منطقه گوه‌ای شکل از دگرشکلی هستند، که در محل تشکیل راندگی ضخیم می‌شوند، ۴. در چنین مناطقی، مقادیر زیادی از کوتاه‌شدگی در پشت گوه ایجاد می‌شود. برای پی‌بردن به سازوکار و چگونگی تشکیل رشته‌کوه‌های بزقوش، نیاز به تحلیل عناصر ساختاری موجود در یک منطقه است. هدف از این پژوهش شناسایی ساختارهای مذکور و تشخیص ارتباط تکتونیکی آن‌ها با یکدیگر در محدوده مطالعاتی می‌باشد. برخی از چین‌ها با روند محوری مشابه با محور این رشته‌کوه‌ها در نقشه‌های زمین‌شناسی ترسیم شده‌اند، که با روند بسیاری از غسل‌های عمده این کمر بند چین‌خورده و رانده هم‌سو است. بررسی این غسل‌ها و چین‌ها بصورت جزئی‌تر می‌تواند در شناسایی ساختارهای با مقیاس بزرگ‌تر و در نهایت شناخت بهتر ساختاری این رشته‌کوه‌ها کمک شایانی نماید. همچنین بررسی این ناحیه از نظر تکتونیکی، چگونگی تشکیل، توسعه و ارتباط ساختارهای موجود در منطقه با یکدیگر را مشخص خواهد کرد. در این راستا تحلیل کمی و کیفی ساختارهای زمین‌شناسی ابزار مناسبی می‌باشند.

۲- موقعیت زمین‌شناسی و تکتونیکی

رشته‌کوه بزقوش در شمال‌غرب ایران و بین استان آذربایجان شرقی و اردبیل و در موقعیت جغرافیایی $37^{\circ} 34'$ و $37^{\circ} 52'$ عرض شمالی و $47^{\circ} 5'$ و $47^{\circ} 53'$ طول شرقی قرار دارد. این رشته‌کوه در بخش جنوبی فلات آذربایجان (شرقی) قرار گرفته است، که به صورت طولی با روند شرقی- غربی در جنوب شهرستان سراب کشیده شده است و شامل بخش‌هایی از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ سراب و قره‌چمن و نیز نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰،۰۰۰ میانه می‌باشد.

ارتفاعات یاد شده را به سمت دشت سراب در شمال و دشت میانه در جنوب رانده است و به این ترتیب یک ساختار بالارانده را بوجود آورده‌اند. کاوش در داده‌های دورسنجی و تمیز دادن ساختارها با کمک نقشه‌های زمین‌شناسی منجر به تشخیص ساختارهای متعددی از جمله گسل‌ها، چین‌ها و حوضه‌ها و فرارانش‌ها در این پهنه شده است.

با جهات محوری مختلف را به وجود آورند. این منطقه در کوتاه‌ترین نیز بر اثر حرکات زمین‌ساختی فعال بوده و هست (درویش‌زاده، ۱۳۷۲). ارتفاعات بزقوش شامل تناوبی از سنگ‌های آذرین و آذرآواری ائوسن است که توسط دایک‌های میکرودیوریتی تا مونزونیتی قطع شده‌اند. ارتفاعات کوههای بزقوش بین دو گسل شمالی و جنوبی بزقوش قرار گرفته‌اند و این دو گسل با عملکرد رانده‌گی



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی ساختاری کمربند چین‌خورده و رانده بزقوش. موقعیت برش زمین‌شناسی AB در روی نقشه با خط سیاه‌رنگ نشان داده شده است.

Fig. 1. Structural geological map of the Bozqush fault-thrust belt. The location of the geological section is shown by black line.

ارتفاعات بزقوش به واسطه عملکرد فشاری و معکوس دو گسل شمالی و جنوبی بر روی دشت‌های فشاری سراب در شمال و میانه در جنوب رانده شده‌اند. این رانده‌گی‌ها به احتمال زیاد در پیوند با فازهای استرین (میو-پلیوسن) و پاسادین بوده و دگرشکلی در این ارتباط در نهشته‌های افقی و بدون چین‌خوردگی پلیو-کواترنر در جنوب این ارتفاعات به وجود آمده است. این دگرشکلی شامل تشکیل چین‌های کشان گسلی^۱ و تشکیل ناودیس‌های نامتقارن در فرودپواره گسل جنوبی بزقوش و خردشدگی و دگرسانی شدید در سنگ‌های ولکانیک و ولکانوکلاستیک ائوسن

گسل جنوب بزقوش با روند تقریبی شرقی - غربی و با سازوکار فشاری راستالغز باعث رانده‌گی واحدهای ولکانیک و ولکانوکلاستیک ائوسن بر روی نهشته‌های پلیو-کواترنری در منطقه شده است. شیب صفحه گسلی جنوب بزقوش زیاد و به سمت شمال بوده و به عقیده بربریان (۱۹۹۴) رویداد زمین‌لرزه ۲۲ مارس ۱۸۷۹ میلادی بزقوش با بزرگای Ms برابر با ۶/۷ در پیوند با این گسل رخ داده است. بررسی رو مرکز زلزله ۱۷ آبان ماه ۱۳۹۸ با بزرگای ۵/۹ ریشتر نیز به نظر تاتار (۲۰۱۸) با سازوکار امتدادلغزی و در ارتباط با گسل شمال بزقوش بوده است. چنانکه ذکر شد

^۱ drag folds

به سوی غرب واحدهای سنگی الیگوسن بر روی واحد مارنی گچدار نئوژن و همچنین سبب دگرریختی در بلوک‌های فرادیواره و فرودیواره گسل شده است. آثار گسلش راندگی در شمال شرق روستای امیر آباد نیز دیده می‌شود، با این تفاوت که در این ناحیه سنگ‌های آتشفشانی نئوژن در ارتباط با عملکرد این گسل دگرریخت می‌شوند.

۳- نتایج

۳-۱- شواهد صحرایی

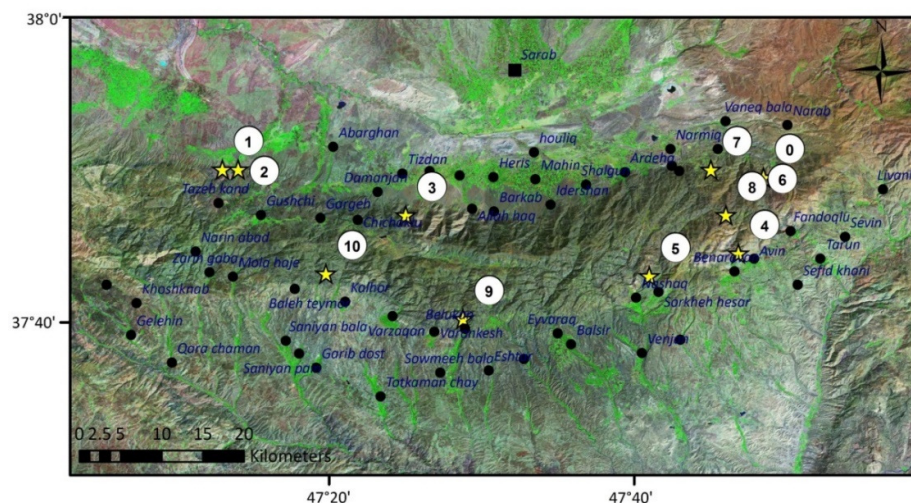
در این پژوهش به منظور مطالعه و شناسایی ساختارهای رشته‌کوه بزقوش، بررسی‌های صحرایی در این منطقه صورت پذیرفته است. در این بررسی‌ها، سطوح گسلی واجد خش‌خط، همچنین نوع لغزش و سوی آن و زاویه ریک لغزش گسل اندازه‌گیری شده‌اند. بررسی‌های مذکور در مسیرهای شمالی و جنوبی رشته‌کوه بزقوش صورت پذیرفته است. در شکل ۲ محل ایستگاه‌های بازدید صحرایی برای اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها نشان داده شده‌اند.

در جنوب روستای دانباران در قسمت شمال غربی کمر بند چین‌خورده و رانده بزقوش، بر روی واحدهای خاکستری رنگ توف و ماسه‌های توفی با گدازه‌های آندزی- بازالت مربوط به ائوسن میانی راندگی دیده می‌شود.

در اثر عملکرد این راندگی، سازند زیارت به صورت توف‌های اسیدی خاکستری و ماسه‌های توفی، بر روی سازند قرمز بالایی با تناوب شیل، ماسه‌سنگ و مارن به همراه کنگلومرا، رانده شده است (شکل ۳). همچنین در نزدیکی روستای جهازدان در سمت شمالی رشته‌کوه‌های بزقوش واحدهای آندزیت و تراکی‌آندزیتی مربوط به ائوسن بالایی با راندگی بر روی و در مجاورت واحدهای نفیلین سینیتی متعلق به الیگوسن واقع شده است (شکل ۴). با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی موجود از منطقه، برش عرضی زمین‌شناسی از ساختارهای منطقه، اطلاعات حاصل از دورسنجی، ساختارهایی از منطقه را در محل این ایستگاه می‌توان تشخیص داد، به خصوص این که برش‌های زمین‌شناسی تاییدی بر این مطلب است که گسل شمال بزقوش حامل راندگی به طرف جنوب است و باعث راندگی ساختارهای قسمت جنوبی خود به طرف واحدهای شمالی خود می‌شود.

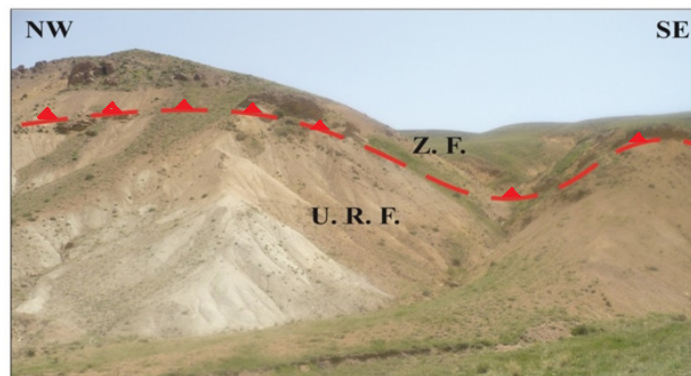
می‌باشد. علاوه بر گسل‌های جنوبی و شمالی بزقوش، گسل‌های کوچک و متعددی با راستای تقریبی شرقی- غربی تا شرقی - جنوب شرقی و غربی- شمال غربی در این ارتفاعات وجود دارند که بررسی‌های صحرایی در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که این گسل‌ها نیز سازوکار معکوس و فشاری داشته و شبیه به سمت شمال دارند. در مقابل، در دامنه شمالی ارتفاعات بزقوش نظیر این گسل‌ها دارای شبیه به سمت جنوب بوده و راندگی‌هایی را از جنوب به سمت شمال به وجود آورده‌اند. در مجموع عملکرد این دو دسته از گسل‌ها باعث ایجاد ساختار فراخاسته در این ارتفاعات شده و قدیمی‌ترین واحدها (واحدهای رسوبی پالئوزوئیک زیرین) در بلندترین ارتفاعات این رشته قرار داشته (قله بزقوش) و به سمت اطراف سن واحدهای چینه‌ای جوان‌تر می‌شود.

گسل جنوب بزقوش در ادامه به سمت شرق، به گسل معکوس و فشاری بناروان متصل شده (همتی و همکاران، الف- ۱۳۹۶) و در منتهی‌الیه ارتفاعات بزقوش، با گسل راستالغز فشاری چپگرد گرمی‌رود (شکرزاد، ۱۳۹۰) و یا گسل میانه- اردبیل (زمانی و میسون، ۲۰۱۴) تلاقی می‌کند. گسل میانه- اردبیل با راستای تقریبی شمالی- جنوبی تا شمال- شمال شرقی و جنوب- جنوب غربی باعث راندگی دگرگونی‌های پرکامبرین بر روی واحدهای آذرین و آذرآواری میوسن شده است (ریاضی خیابانی، ۱۳۸۴). در نقشه زمین‌شناسی سراب، گسل جنوب بزقوش به صورت یک گسل احتمالی رسم شده است، ولی پیمایش‌های عمود بر راستای این گسل در چندین مسیر شمالی- جنوبی به مشخص شدن دقیق محل گسل، سازوکار راندگی آن و مهمتر از همه شناسایی عملکرد مولفه راستالغز چپگرد آن منجر شد. اغلب آبراهه‌های شمالی- جنوبی دامنه جنوبی بزقوش بعد از قطع گسل مذکور به سمت شرق منحرف شده و دوباره در راستای شمالی- جنوبی جریان می‌یابند. گسل گرمی رود یک عنصر ساختاری مهم در فلات آذربایجان است که امروزه به طور فعال جبران‌کننده دگرریختی قاره‌ای از نوع امتدادلغز همگرا، بین البرز غربی و رشته‌کوه بزقوش است. سازوکار این سیستم گسلی چپگرد- معکوس است و همانند سامانه‌های گسلی بزرگ، دگرریختی در پهنه نسبتاً وسیعی بر روی سطوح برشی متعدد آن توزیع و تقسیم شده است (فریدی، ۱۳۸۸). این گسل در شرق روستای چتاب و چیرکینلی سبب راندگی



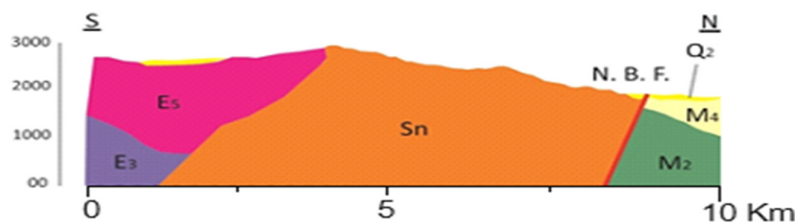
شکل ۲. نمایش موقعیت ایستگاه‌های مطالعه شده در منطقه. در این تصویر محل ایستگاه‌ها با ستاره‌هایی که داخل دایره سفید شماره‌گذاری شده مشخص شده‌اند. نام روستاها با دایره سیاه توپر نشان داده شده است.

Fig. 2. Studied stations in study area. Stations shown by numbered white circles and Villages shown by black circles.



شکل ۳. در مجاور روستای دانباران. گسلش راندگی قابل تشخیص (خط چین قرمز)، سازند زیارت (Z.F.) را روی سازند قرمز بالایی روراند است.

Fig. 3. Geomorphology and Structures of the station no. 1 near the village Danbaran in NW. Thrust fault upthrusts the (U.R.F.) over the Ziyarat Fm.



شکل ۴. برش عرضی با جهت‌گیری شمالی - جنوبی، به طول ۱۰ کیلومتر از سنگ‌شناسی و ساختارهای زمین‌شناسی در محل ایستگاه ۳ از منطقه مورد مطالعه، موقعیت برش در شکل ۱ نمایش داده شده است.

Fig. 4. Cross section in N-S direction and 10 Km on station 3

جابجایی امتدادلغز راستگردی عمل کرده است که به ویژه در مورد جابجایی‌های راستگرد در امتداد توف و ماسه‌های توفی اثوسن میانی قابل مشاهده است (شکل ۵). در این ایستگاه چین‌خوردگی‌هایی نیز قابل مشاهده هستند که محور این چین‌ها در راستایی نزدیک به شمالی -

در نزدیکی روستای رج در قسمت شمال شرق رشته‌کوه بزقوش با توجه به جابجایی واحدهای زمین‌شناسی در امتداد گسل اصلی این منطقه که به صورت شمال‌غربی - جنوب‌شرقی در حد بین واحدهای اثوسن و الیگوسن کشیده شده است، می‌توان گفت که این گسل به صورت

چین‌خوردگی موجود در این محل با روند محوری نزدیک به شمالی- جنوبی قابل مشاهده‌اند. در نزدیکی روستای کلهر در قسمت جنوب‌غربی کمر بند رانده - چین‌خورده بزقوش واحدهای آندزیتی ائوسن زیرین بر روی پادگانه‌های جوان و مخروط‌افکنه‌های کواترنری رانده شده‌اند (شکل ۱۰). واحدهای توف و ماسه‌سنگی موجود در منطقه مربوط به ائوسن و احتمالاً متعلق به سازند زیارت می‌باشند. شاخص‌ترین ساختار زمین‌شناسی قابل تشخیص در محل این ایستگاه گسل راندگی با امتداد شمال‌غربی- جنوب شرقی است که باعث راندگی واحدهای ائوسن بر روی واحدهای جوان‌تر کواترنری شده است. به احتمال زیاد این راندگی مربوط به گسل اصلی جنوب بزقوش می‌باشد که در قسمت جنوب‌غربی کمر بند رانده- چین‌خورده بزقوش در محل این ایستگاه قابل ردیابی می‌باشد. علاوه بر آن ساختارهای زمین‌شناسی موجود در منطقه بیشتر از نوع گسل‌های با امتداد نزدیک به شمالی- جنوبی هستند که واحدهای زمین‌شناسی منطقه را جابجا کرده‌اند.

جنوبی جهت‌گیری کرده‌اند. یک نمونه از این چین‌ها (قابل مشاهده در شکل ۶) چینی پلانچ‌دار (شکل ۱۴) است که پلانچ آن رو به شمال غرب است. در شمال، روستای بلوکان در قسمت جنوبی کمر بند رانده چین‌خورده بزقوش بر روی واحدهای توف و آندزیتی ائوسن پایانی قرار دارد. شکستگی‌های موجود در این منطقه عمدتاً در دگرشکلی‌های با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی و شمال شرقی- جنوب‌غربی بر واحدهای منطقه تاثیرگذار بوده‌اند. گسل اصلی موجود در محل (راندگی جنوب بزقوش) در این قسمت از منطقه مطالعاتی تغییر روند داده و از راستای شمال‌غربی- جنوب‌شرقی در غرب به راستای شمال شرقی- جنوب‌غربی در غرب متمایل شده است (شکل‌های ۷، ۸ و ۹). در این منطقه گسل اصلی جنوب بزقوش با عملکرد راندگی باعث حرکت واحدهای توف و آندزیتی ائوسن پایانی بر روی واحدهای جوان‌تر کواترنری شده است. واحدهای جوان‌تر موجود در این محل بیشتر کنگلومرای و ماسه‌سنگی هستند. ساختارهای



شکل ۵. راندگی واحد سنگی سازند زیارت بر روی واحد قرمز بالایی در محل ایستگاه ۶ در روستای رج.
Fig. 5. Thrusting of the Ziyarat Fm. Over the U.R.F. on Station 6 in Raj village.



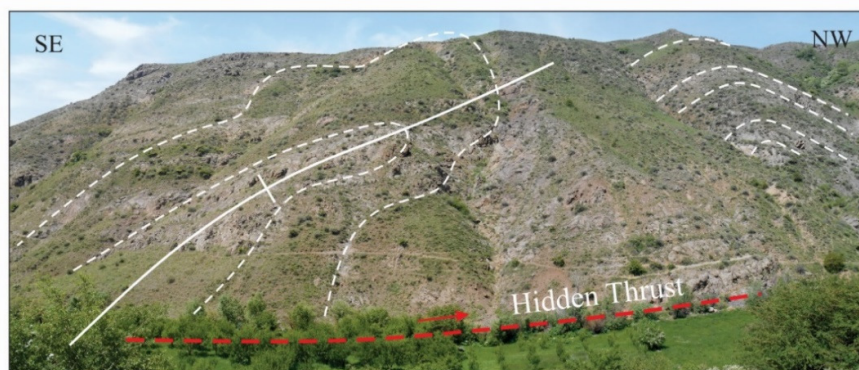
شکل ۶. چین‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه ۶ امتداد یال غربی در این چین N052W و امتداد یال شرقی شمالی- جنوبی است. این چین‌خوردگی در میان واحدهای توفی مربوط به ائوسن میانی گسترده شده است.

Fig. 6. Measured folds in station 6, the strike of the western limb is N052W and the Strike of the eastern limb is N-S. These folds are included in the tuff members of Middle Eocene.



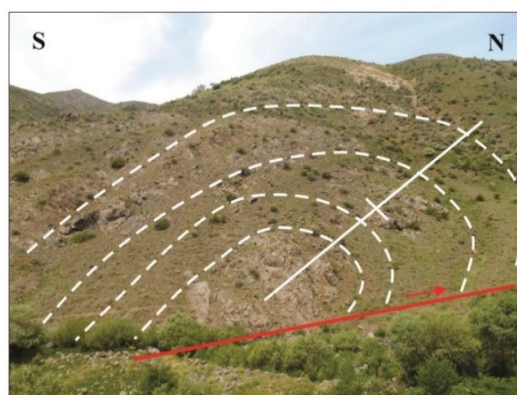
شکل ۷. ساختار راندگی در محل ایستگاه ۹ از منطقه مورد مطالعه

Fig. 7. Thrusted structure in station 9



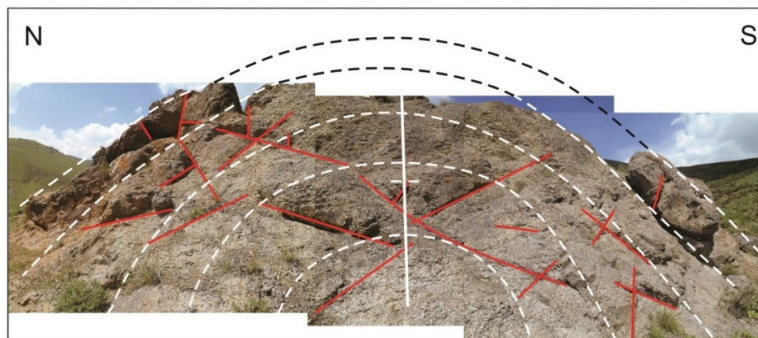
شکل ۸. چین‌خوردگی اندازه‌گیری شده در محل ایستگاه ۹ در میان واحدهای توف و آندزیتی ائوسن میانی. در این چین‌خوردگی امتداد یال شرقی N045E و شیب آن ۷۸ درجه بوده و یال غربی آن با امتداد N010E دارای شیب ۴۵ درجه می‌باشد. این چین‌پلانچ‌دار که به سمت شمال غرب پلانچ دارد در اثر گسل خوردگی از نوع راندگی که فقط آثار آن (یعنی اثر بریدگی چین در کف دره) در این محل قابل تشخیص است (گسل پنهان)، دگرشکلی یافته است. این گسل راندگی، به احتمال زیاد راندگی اصلی جنوب بزقوش است که عمود بر راستای محوری چین‌خوردگی در این محل تأثیر گذار بوده است.

Fig. 8. Measured folds in station 9, that is included in the tuff and Andezithe members of Middle Eocene. The strike of the western limb is N010E (dip 45) and the Strike of the eastern limb is N045E (dip 78). This fold is plunging to the NW and is fault related fold that is thrusts by blind fault. This fault probably consistent by the SBF and is diagonal on the fold axis.



شکل ۹. چین‌خوردگی در محل ایستگاه ۹ در میان واحدهای آندزیتی - بازالتی ائوسن. امتداد یال شرقی در این چین‌خوردگی N060E و شیب آن ۷۸ درجه است، همچنین یال غربی این چین‌خوردگی با امتداد N025E دارای شیب ۴۲ درجه می‌باشد. این چین‌پلانچ‌دار که به سمت شمال پلانچ دارد به احتمال زیاد در اثر راندگی اصلی جنوب بزقوش دگرشکلی یافته است.

Fig. 9. Measured fold in station 9, that is included in the tuff and Andezithe members of Middle Eocene. The strike of the western limb is N025E (dip 42) and the Strike of the eastern limb is N060E (dip 78). This fold is plunging to the North and probably thrusts by the SBF.



شکل ۱۰. تصویر پانوراما از چین‌خوردگی رخنمون یافته در محل ایستگاه ۱۰ بر روی واحدهای آندزیتی ائوسن بالایی. یال با شیب جنوب شرقی در چین با امتداد N52E دارای شیب ۶۵ درجه و یال با شیب شمال غربی آن با امتداد N50W دارای شیب ۵۲ درجه می‌باشد (روستای کلهر).

Fig. 10. Measured fold and panorama in station 10, that is included in the tuff and Andezithe members of Upper Eocene. The strike of the South-eastern limb is N052E (dip 65) and the Strike of the North-western limb is N050E (dip 52).

شیب آن‌ها به سوی یکدیگرند. جهت این گسل‌های معکوس در یال شمالی کمرند، به سوی جنوب و در یال جنوبی کمرند، به سوی شمال می‌باشد و این مشابه وضعیت ساختارها در رشته کوه‌های البرز است (آلن و همکاران، ۲۰۰۳). گسل‌های با سازوکار امتدادلغزی و حتی نرمال در این منطقه در فاصله بین دو گسل راندگی اصلی موجود با امتدادهای متفاوت پراکنده شده‌اند (شکل ۱۱).

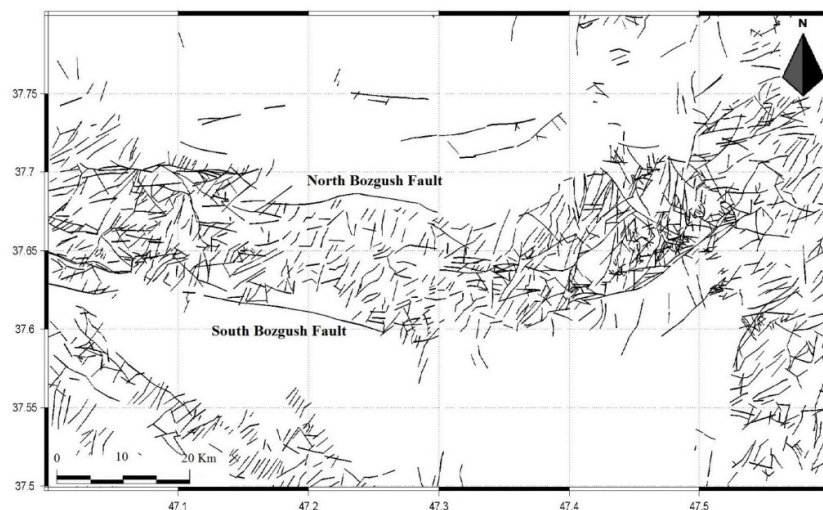
در این مطالعات ۷۶ صفحه گسلی از ۱۰ ایستگاه مطالعات صحرایی اندازه‌گیری شده است. از این ۷۶ صفحه گسلی اندازه‌گیری شده ۴۱ صفحه دارای سازوکار راندگی، ۱۳ صفحه دارای سازوکار نرمال و ۲۲ صفحه گسلی دارای سازوکار امتدادلغزی راستگرد می‌باشد. با در کنار هم قرار دادن داده‌های گسلی هم‌خانواده می‌توان جهت‌گیری هر گروه از داده‌های گسلی را برآورد کرد (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). گروه گسل‌های با سازوکار راندگی با امتداد میانگین NE-SW تا E-W دارای شیب ۶۰ تا ۸۰ درجه می‌باشند. این داده‌ها حاصل از گسل‌های اصلی راندگی شمالی و جنوبی بزقوش می‌باشند که در راستایی نزدیک به شرقی-غربی در منطقه گسترده شده‌اند. این گسل‌های راندگی با شیب زیاد در منطقه باعث راندگی واحدهای قدیمی‌تر بر روی واحدهای جوان‌تر و کواترنری شده‌اند. با توجه به شیب زیاد این گسل‌های رانده و وجود حرکات امتداد لغز در بیشتر بخش‌های بزقوش مولفه امتداد لغزی این گسل‌های رانده نیز حرکت مهم و انکارناپذیری است که نقش مهمی در تکوین ساختاری این رشته کوه ایفا می‌کنند. امتداد گسل‌های رانده بطور غالب عمود بر تنش غالب فشاری موثر بر آذربایجان با روند NE-SW است (زمانی و میسون، ۲۰۱۴).

علاوه بر ساختارهای گسلی موجود در منطقه می‌توان چین‌خوردگی‌هایی را که بر روی واحدهای آندزیتی در این محل تاثیر گذاشته‌اند، مشاهده کرد. در این محل بر روی چین‌خوردگی‌های تشکیل شده می‌توان آثاری از گسلش و شکستگی‌ها را مشاهده کرد، که به صورت شکستگی‌های مزدوج و گاهی منفرد باعث جابجایی لایه‌های چین‌خورده شده‌اند. گاه در طی دگرشکلی ممکن است چین‌خوردگی به شکستگی بیانجامد، که در این محدوده مشاهده شده است. در این ارتباط لایه‌های دربردارنده مواد قوی با میان‌لایه‌های ضعیف‌تر به صورت شکننده رفتار کرده و به راحتی در مقابل تنش‌های وارده بر منطقه شکسته می‌شوند. نمونه‌ای از این نوع چین‌ها در منطقه در ایستگاه ۱۰ و در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

۴- تحلیل ساختارها

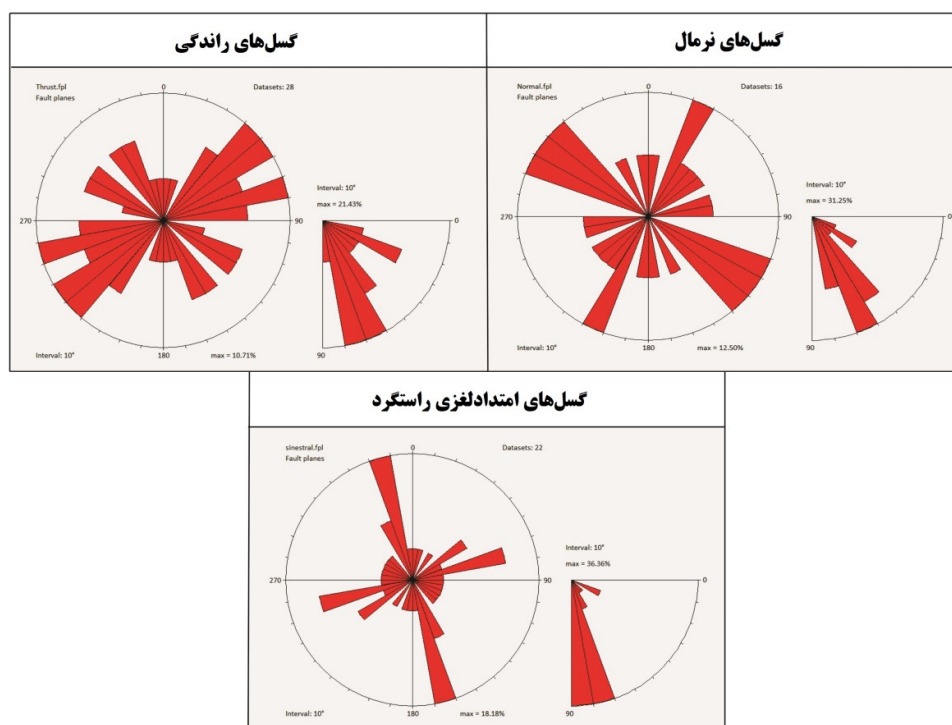
۴-۱- تحلیل ساختارهای گسلی

ریخت‌شناسی پهنه‌های گسلی فعال اغلب در برگیرنده اطلاعاتی درباره توسعه و تکامل گسلش است، اطلاعاتی که بر پایه مطالعات محض لرزه‌شناسی به دست نمی‌آیند. بسیاری از عوارض زمین‌ریخت‌شناسی در ارتباط با حرکات زمین‌ساختی عوارض جوان همچون آینه‌های گسلی، پادگانه‌های رودخانه‌ای، مخروط افکنه‌ها، سطوح مثلثی واقع بر روی آینه‌های گسلی، آبراهه‌های قطع شده، جابجایی نهشته‌های کواترنری توسط گسل‌ها و چین‌خوردگی یا خمیدگی نهشته‌های جوان اطلاعات جامعی را در ارتباط با حرکات پویا در یک منطقه فراهم می‌آورند. در رشته‌کوه‌های بزقوش گسل‌های معکوس در دو سوی کمرند رانده و چین‌خورده بزقوش متمرکز شده‌اند، که



شکل ۱۱. نقشه خطواره‌های منطقه مورد مطالعه، راندگی‌های اصلی منطقه شامل گسل‌های شمال و جنوب بزقوش و شکستگی‌های درون آن‌ها قابل تشخیص هستند.

Fig. 11. Lination map of the study area. The main thrusts of the region are North and South Bozghush faults and included fractures could be determined.



شکل ۱۲. نمودارهای گل سرخی از امتداد و شیب‌های انواع گروه‌های دستجات گسلی
Fig. 12. Rose diagrams and thestrike and dips of different movements of the faults

بزقوش در قسمت‌های مرکزی منطقه بزقوش وجود داشتند. با در نظر گرفتن یک سیستم ترافشارش^۱ بین دو گسل شمال و جنوب بزقوش (شکل‌های ۱۶ و ۱۷) وجود این گسل‌های نرمال قابل توضیح است. این گسل‌های

گروه گسل‌های با سازوکار نرمال با امتداد میانگین NW-SE و به طور جزئی‌تر NE-SW دارای شیب ۶۰ تا ۷۰ درجه هستند. گروه داده‌های گسلی نرمال اغلب در ایستگاه‌های اندازه‌گیری حاصل شده‌اند که مابین دو گسل راندگی اصلی

¹ transperssion

۴-۲- تحلیل تنش تکتونیکی

تعیین تنش در کمر بند چین‌خورده و رانده بزقوش که بخش مهمی از این پژوهش را در بر دارد بر اساس صفحات گسلی و اندازه‌گیری خطوط خش لغز آن‌ها انجام پذیرفته است. داده‌های حاصل از مطالعات صحرایی با استفاده از نرم‌افزار TectonicFP (ارتنر و همکاران، ۲۰۰۲) در محیط ویندوز مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. هر دسته از داده‌های صحرایی اندازه‌گیری شده شامل شیب و جهت شیب صفحه گسلی و میل و نوع حرکت راست‌گرد، چپ‌گرد، نرمال یا معکوس) برای هر خطواره قابل تشخیص می‌باشد. برای محاسبه محور تنش‌های اصلی (σ_1 ، σ_2 و σ_3)، از روش دو وجهی راست^۲ که توسط آنزلیه و میخله (۱۹۷۵) ابداع شده است، استفاده شده است. در این روش گرافیکی یک استریونت توزیع احتمالی از محور تنش‌های اصلی برای مجموعه گسل‌های یک منطقه ارائه می‌دهد (شکل ۱۳).

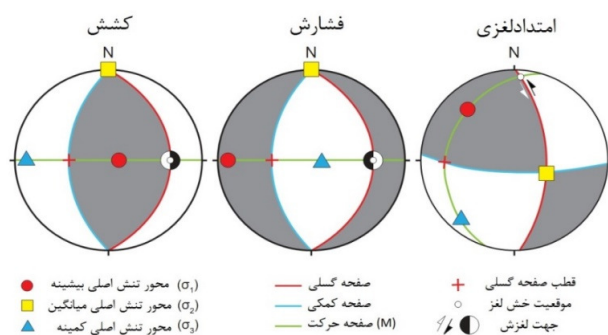
برای تحلیل در این روش، مجموع صفحات گسلی با خطواره‌های جهت‌دار آن‌ها لازم است. همانطور که در شکل ۱۳ دیده می‌شود و توسط رامزی و لایل (۲۰۰۰) تعریف شده است، صفحه کمکی عمود بر گسل اصلی و قطب گسل اصلی برای هر گسل تعیین می‌شود. صفحه حرکتی با استفاده از قطب صفحه گسلی و خطواره آن تعیین می‌شود. مجموعه بدست آمده شامل محورهای کشش و فشارش می‌باشد. دو صفحه گسلی نشان‌دهنده کشش و فشارش توسط محل خطواره تعیین می‌شود. روش دووجهی نوع فشارش و کشش را برای تحلیل گسل‌ها با توزیع احتمالی مشخص می‌کند و بهترین راه حل را برای محور سه تنش اصلی بدست می‌دهد. در عمل، هر نقطه شمارش در یک شبکه با مقدار ۱ برای دووجهی فشارشی و مقدار ۰ برای دووجهی کششی مشخص می‌شود. در پایان، به این ترتیب محدوده با بیشترین مقدار مرتبط با بیشینه فشارش تعیین و مشخص می‌شود. نتایج به دست آمده از روش دووجهی در شکل ۱۴ برای محدوده مطالعاتی نشان داده می‌شود. از ۱۰ ایستگاه اندازه‌گیری داده‌های صحرایی رژیم تنش مربوط به ۴ ایستگاه از نوع امتدادلغزی و رژیم مربوط به ۶ ایستگاه از نوع فشاری می‌باشد (شکل‌های ۱۴ و ۱۵). جهت رژیم‌های فشاری بطور غالب NNE-SSW می‌باشند. بر این اساس الگوی نهایی تنش در این رشته کوه در شکل ۱۶ نشان داده شده است.

نرمال مابین گسل‌های اصلی راندگی توزیع شده‌اند و از این رو بخشی از این سیستم ترافشارش محسوب می‌شوند. در مورد چنین گسل‌های نرمال می‌توان گفت که در محیط‌های فشاری که از دو طرف همگرایی وجود دارد بر اثر خمش‌های حاصل از ایجاد گسل‌های راندگی در قسمت‌های مرکزی سیستم گسل‌های نرمالی به وجود می‌آیند که در اثر کشش‌های فرعی ایجاد می‌شوند. شیب زیاد اندازه‌گیری شده از این گسل‌ها نیز تائیدی بر گفته‌هاست که در چنین سیستم‌هایی گسل‌های نرمال ایجاد شده معمولاً با شیب زیاد ایجاد می‌شوند.

گروه گسل‌های امتدادلغزی راست‌گرد با امتداد NNW-SSE دارای شیب نزدیک به قائم می‌باشند. این داده‌های راست‌گردی به طور گسترده‌ای از تمام ایستگاه‌های اندازه‌گیری حاصل شده‌اند. داده‌های این گروه نشان از وجود مولفه‌های راست‌گردی در گسل‌های راندگی اصلی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. گسل جنوب بزقوش با روند تقریبی شرقی - غربی و با سازوکار فشاری راستالغز باعث راندگی واحدهای ولکانیک و ولکانوکلاستیک ائوسن بر روی نهشته‌های پلیوکواترنری در منطقه شده است.

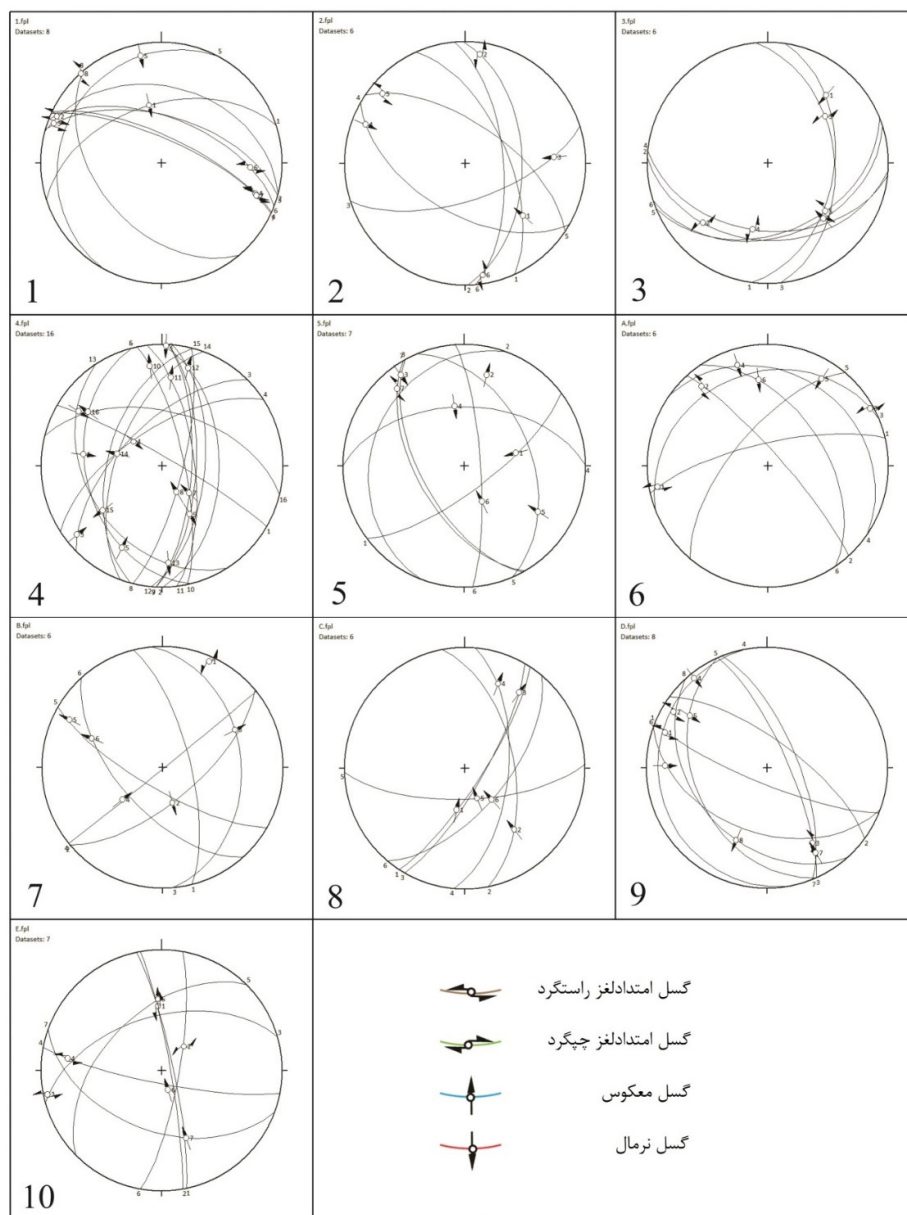
در امتداد رشته‌کوه بزقوش، گسل‌های زیادی به صورت گسل‌های نردبانی دیده می‌شوند. از جمله گسل اصلی شمال بزقوش که به صورت یک گسل معکوس با روند N80E از باختر تا روستای الله‌حق کشیده شده نیز از جنوب روستای صومعه تا نزدیکی روستای نرمیق، به شکل یک گسل نرمال با راستای N70E به سمت خاور بزقوش ادامه دارد. این گسل‌ها به علت قرارگیری در مرز کوه و دشت، در تحول ریخت‌شناسی پای کوه‌های شمالی اهمیت بسزایی دارند. بخش خاوری بزقوش نیز در اثر عملکرد و فعالیت گسل‌هایی که اغلب دارای راستای NNW-SSE هستند، تکتونیزه شده است، به گونه‌ای که هم‌اکنون دارای شکستگی و گسل‌های کوچک فراوانی است. از گسل‌های مهم و جوان دیگر که با راستای ENE-WSW در مرکز دشت سراب قرار دارند، می‌توان گسل قشلاق، هولیق و چرلو را نام برد. این گسل‌ها، از عوامل مهم ریخت‌زادی دشت سراب در کواترنر بوده و در اثر عملکرد آن‌ها، تاقدیس‌های متعددی در سطح دشت شکل گرفته‌اند. از جمله آن‌ها می‌توان به تاقدیس چرلو و قشلاق اشاره کرد، این چین‌ها نیز دارای روند N035E هستند.

² Right Dihedral



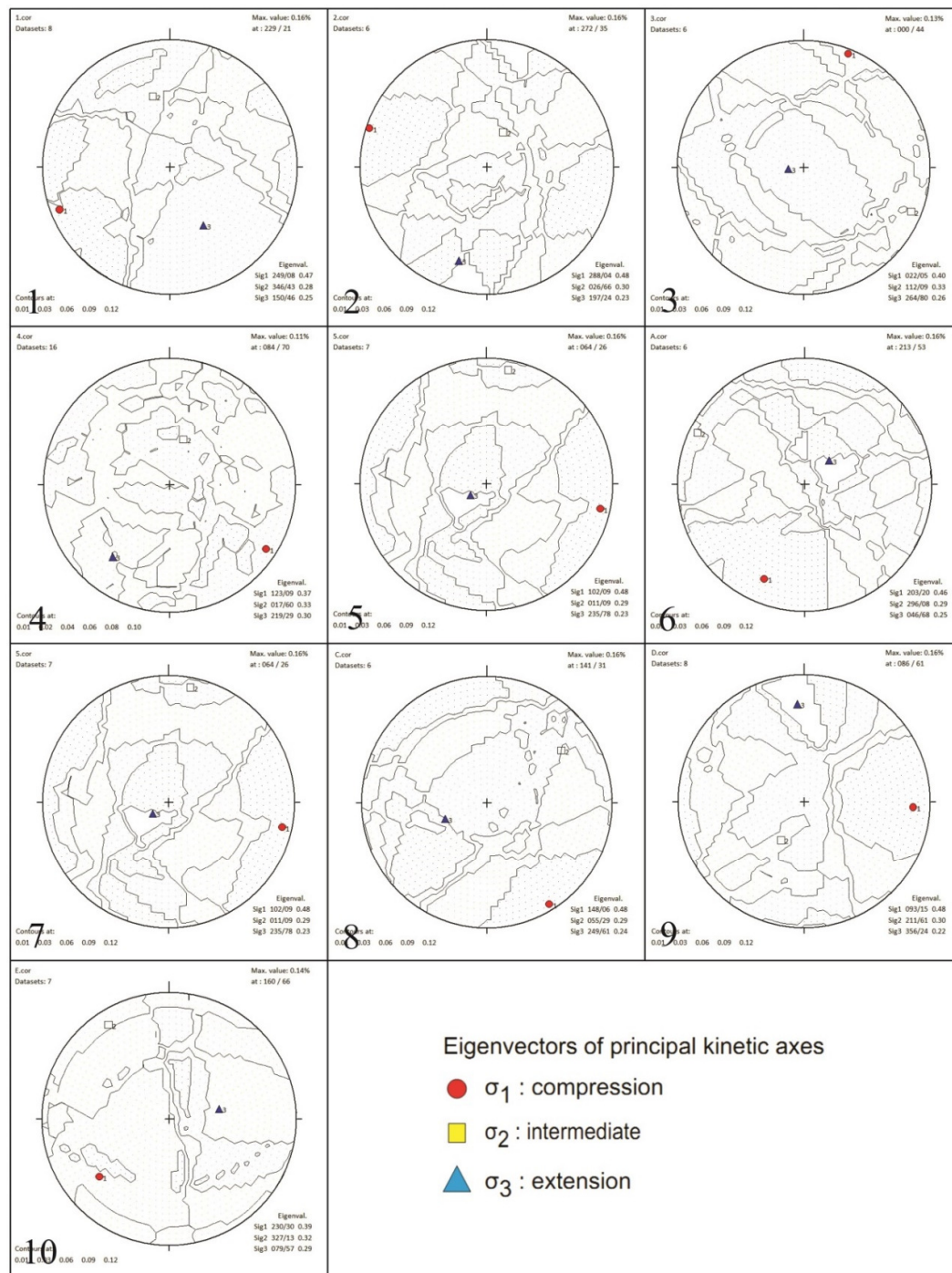
شکل ۱۳. رژیم‌های سه تنش اصلی با محور تنش‌های اصلی

Fig. 13. The 3 regimes of the main stress and axis of the main stress



شکل ۱۴. استریونیت داده‌های ساختاری از محل ۱۰ ایستگاه اندازه‌گیری صحرایی کمربند چین‌خورده و رانده بزقوش

Fig. 14. The stereonet of the structural data of 10 measured field stations of the Bozgush fold and thrust belt



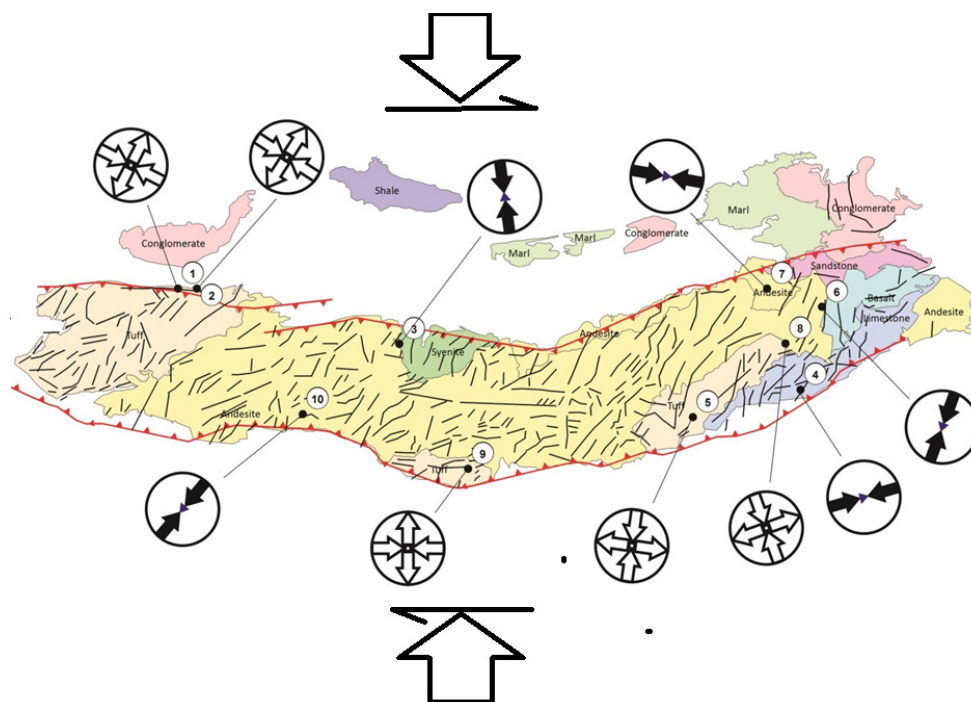
شکل ۱۵. نتایج تحلیل تنش‌های حاصل از ۱۰ ایستگاه اندازه‌گیری صحرایی در کمربند چین‌خورده و رانده بزقوش
 Fig. 15. The results of the stress analysis data of 10 measured field stations of the Bozgush fold and thrust belt

است بیانگر تنش‌های مرتبه دوم می‌باشند. چنان‌که در شکل ۱۶ مشخص است روند تنش‌ها در بخش‌های شرقی رشته کوه بطور عمده فشارش و امتداد لغز و بموازات رشته کوه است و در بخش‌های میانی و غربی بطور غالب فازهای امتداد لغز عمود بر رشته کوه است و دارای تغییر روند

در این مطالعه وجود چند فاز تنش تکتونیکی در مرتبه‌های متفاوت تنش حاصل گردیده است که بنابر نظر ژانگ و استفانسن (۲۰۱۰) مرتبه دوم تنش در مقیاس رشته کوه‌ها تحلیل می‌شود. بنابر تنش‌های بدست آمده در این پژوهش که از ساختارهای گسلی رشته کوه‌های بزقوش تحلیل شده

و در مرتبه اول تنش (بنابر تقسیم‌بندی تنش‌ها توسط ژانگ و استفانسن (۲۰۱۰) قرار می‌گیرند) که فلات آذربایجان را بین خود ساندویچ می‌کنند. فازهای فرعی‌تر بدست آمده در نتایج زمانی و میسون (۲۰۱۴) با روند تقریبی NNW-SSE نیز با جهات تنش فرعی‌تر حاصله در پژوهش اخیر همسو بوده و در مرتبه دوم تنش بنابر تقسیم‌بندی تنش‌ها توسط ژانگ و استفانسن (۲۰۱۰) قرار می‌گیرند و مربوط به تنش‌های محلی در رشته کوه است.

نسبت به بخش‌های شرقی است. مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل تنش‌ها برای فلات آذربایجان توسط زمانی و میسون (۲۰۱۴) با نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که روند تنش فشارش شمال- جنوب بدست آمده در پژوهش اخیر با روند تنش فشاری بعنوان فاز غالب تنش (توسط زمانی و میسون (۲۰۱۴)) همسو و منطبق است. این نتیجه دلالت بر این دارد که تنش‌های فشاری عمود بر رشته کوه متاثر از روند غالب تنش اصلی فشاری بین اوراسیا و ایران مرکزی



شکل ۱۶. نتایج تنش‌های تحلیل شده مربوط به ایستگاه‌های اندازه‌گیری داده‌های صحرائی کمربند رانده و چین‌خورده بزقوش و نمایش مدل استقامتی ترافشارش

Fig. 16. The results of the stress analysis of the field stations of the Bozghush fold and thrust belt

۵- بحث

رانده - چین‌خورده بزقوش دارای محور خمیده‌اند که نشان می‌دهد که این چین‌ها دچار چین‌خوردگی دوباره شده‌اند. در کمربند رانده- چین‌خورده بزقوش ساختارهای تاقدیس و ناودیس به طور گسترده‌ای و به‌ویژه در محدوده بین دو گسل اصلی شمالی و جنوبی پراکنده شده‌اند. چنین ساختارهایی به نظر می‌رسد در اثر عملکرد نیروهای همزمان در دو جهت متقاطع شکل گرفته‌اند که به چنین سیستم تنش زمانی و میسون (۲۰۱۴) اشاره کرده‌اند و ایشان با تحلیل تنش در فلات آذربایجان نشان داده‌اند یک روند تنش نزدیک به شمال- جنوب در پوسته بالایی و یک روند تقریباً عمود بر آن در عمق پوسته عمل می‌کند و

در رشته‌کوه‌های بزقوش ساختارهای چین‌خورده‌ای وجود دارند که در نقشه‌های زمین‌شناسی برخی از آن‌ها نمایش داده شده‌اند. به طور کلی با بررسی پاره‌ای از شواهد، می‌توان گفت که چین‌خوردگی‌های موجود در منطقه بزقوش دارای روندی شمال‌غربی- جنوب‌شرقی هستند. در واقع محور چین‌های موجود در این محدوده از راستای گسل‌های موجود پیروی کرده و روندی مشابه با روند گسل‌های منطقه دارند و از این رو می‌توان گفت که عمده چین‌های این منطقه چین‌های مرتبط با گسلش هستند. بسیاری از چین‌خوردگی‌های موجود در محدوده کمربند

موجب ایجاد این ساختارها در منطقه بزقوش در دو جهت متفاوت می‌شوند. با توجه به تصاویر ماهواره‌ای و مقایسه آن‌ها با نقشه‌های زمین‌شناسی آشکار می‌شود که اغلب چین‌ها در جهت تنش‌های با روند NE-SW کوتاه‌شدگی بیشتری را متحمل شده‌اند و اثر محوری آن‌ها نزدیک به موازات گسل‌های اصلی بزقوش است. اما چین‌هایی که در محدوده بین دو گسل اصلی پراکنده شده‌اند روند محوری نزدیک به شرق-غرب دارند. در تحلیل چنین ساختارهای چین‌خوردگی می‌توان گفت که این چین‌ها در ارتباط با گسل‌های راندگی اصلی بزقوش به وجود آمده‌اند و شکل‌گیری ساختارهای شکل‌پذیر تشکیل شده در اثر حرکت مواد در اثر راندگی واحدها می‌باشد. از تحلیل چین‌ها بر می‌آید که تنش‌های عمل‌کرده بر روی چنین ساختارهایی به صورت همزمان یا در زمان‌های نزدیک به هم عمل کرده‌اند و نیز چرخش ساختارها موجب ایجاد چنین ساختارهایی شده‌اند. به نظر زمانی و میسون (۲۰۱۴)، در حال حاضر در آذربایجان دو رژیم تنش عمل می‌کند، که عامل گسترش دو سری ساختار عمده در این منطقه است. یک سری تنش فشاری در جهت تقریباً شمالی-جنوبی عمل کرده و موجب تشکیل ساختارهای چین‌خورده با محورهای تقریباً شرقی-غربی و شمال-شرقی-جنوب‌غربی می‌شود و تنش‌های دیگر به صورت تقریباً شرقی-غربی است که موجب گسترش و توسعه چین‌ها و گسل‌های با محور شمالی جنوبی می‌گردد. به همین دلیل ایشان مدل تکتونیک نازک پوسته را برای فلات آذربایجان شرقی پیشنهاد داده‌اند. تعداد ساختارهای تاکدیمی موجود در محدوده کمربند رانده - چین‌خورده بزقوش، بیشتر از ساختارهای ناودیمی تشکیل شده در این منطقه می‌باشد، که مطابق نظریه توییس و مور (۱۹۹۵) احتمال داده می‌شود که علت این مساله در این محدوده، چین‌شناسی متفاوت طبقات مختلف رسوبات موجود در این ناحیه باشد، به‌طوری‌که لایه‌های سطحی، ترکیب شکننده (به خصوص سنگ‌شناسی آذرین مثل آندزیت و بازالت در این ناحیه) و در قاعده لایه‌های شکل‌پذیر (مثل لایه‌های توف و شیلی موجود در این ناحیه) وجود دارند. بنابراین یک حالت جداکننده^۱ برای گسل‌ها ایجاد می‌شود. با توجه به جهت شیب مخالف گسل‌های راندگی به طرف هم ساختارهای ناودیمی در اثر گسل‌های راندگی از بین

رفته و تنها ساختارهای تاکدیمی نمود پیدا می‌کنند. هرچند که در این ساختارهای قابل مشاهده، جریان ایجاد شده نقش اصلی را ایفا کرده و کوتاه‌شدگی‌هایی در تاکدیس‌ها بوجود می‌آورند. البته بنظر شریفی و زمانی (۱۳۸۹) (همتی و همکاران - ب، ۱۳۹۶) علت این امر می‌تواند شکل‌گیری ساختارهای مثلثی شکل نیز باشد. این نوع چین‌خوردگی و وجود یک سیستم گسل جدایشی مدل تکتونیک نازک پوسته را برای فلات آذربایجان شرقی متصور می‌گردد. با توجه به ساختارهای چین‌خوردگی تحلیل شده برای کمربند رانده - چین‌خورده بزقوش یک مولفه تنش فشاری در جهت نزدیک به شمال - جنوب عمل کرده و مولفه تنش فشاری دیگری به صورت جزئی‌تر از سمت شمال‌غرب - جنوب‌شرق بر محدوده مورد مطالعه وارد شده است. در این سیستم پارامتر کشیدگی واتنش S1 عمود بر سطح زمین است. چون S1 بلندترین محور بیضی واتنش را تشکیل می‌دهد، معادل آن در بیضوی تنش، محور تنش σ_3 است. نتایج تحلیل تنش در این مطالعات نشان داده است که تنش σ_3 در این ناحیه بر سطح زمین عمود می‌باشد و طبق تئوری آندرسون (۱۹۴۶) رژیم تنش فشاری غالب است و تایید کننده مطلب یاد شده است. تعیین جهت‌گیری تنش‌های بیشینه و کمینه در منطقه از روی چین‌خوردگی‌ها تاییدی بر جهت‌گیری تنش‌های بدست آمده از ساختارهای گسلی مطالعه شده در کمربند رانده - چین‌خورده بزقوش می‌باشد. در منطقه‌ای که گسل‌های راندگی تشکیل می‌شوند، σ_1 افقی و σ_3 قائم عمل می‌کند (طبق تئوری آندرسون (۱۹۴۶)). در نتیجه دو گروه گسل رانده در طول محور افقی σ_2 همدیگر را قطع و کمتر از ۴۵ درجه شیب خواهند داشت (سامانی، ۱۳۷۵). گروه راندگی‌ها شیدها و با یک جهت غالب نامتقارن هستند. از آنجا که تنش کمینه باید قائم باشد، راندگی‌ها در سطوح نسبتاً بالای پوسته، جایی که فشار لیتوستاتیک کم است، آسان‌تر شکل می‌گیرند. تأکید می‌شود که در این بخش از مطالعات ارتباط تنش‌های تحلیل شده با چین‌خوردگی‌ها مطالعه شده و مقایسه این ساختارهای شکل‌پذیر با ساختارهای شکننده گسلی از دیدگاه تنش‌های وارده و جهت اعمال آن‌ها، از دیدگاه نئوتکتونیک و بررسی‌های فتوزئولوژیکی بوده است.

^۱ Decolment

۵-۱- الگوی تکامل ساختاری کمربند چین‌خورده و

رانده بزقوش

تحلیل ساختاری کمربند رانده و چین‌خورده بزقوش نشان می‌دهد که دگرشکلی در این محدوده توسط گسل‌های راندگی اصلی و با مولفه کوچک‌تر راستالغزی کنترل می‌شود. بر مبنای دگرشکلی حاصل از اثر این ساختارها بر نهشته‌های ائوسن و توده‌های آذرین الیگومیوسن، به نظر می‌رسد که این ساختارها به ویژه گسل‌های اصلی شمال و جنوب بزقوش، به عنوان گسل‌های اصلی مرز ساختاری در کمربند رانده و چین‌خورده بزقوش دست کم از زمان میوسن عملکرد راندگی داشته‌اند. با توجه به راستای تنش اصلی میان آزمون‌های ۰۲۰ تا ۰۴۰ اعمال شده بر فلات ایران از زمان ترشیری پسین (جکسون و همکاران، ۲۰۰۲) و بر مبنای سازوکار تحلیلی از گسل‌های راندگی اصلی، به نظر می‌رسد که این گسل‌ها نیز در اثر اعمال چنین راستایی از تنش به وجود آمده باشند (شکل ۱۷). هندسه این گسل‌ها که در بخش‌های مرکزی آن‌ها واحدهای قدیمی‌تر به سطح رسیده‌اند، شبیه به هندسه ساختارهای بالارانده (مک‌کلی، ۱۹۹۲) می‌باشد.

توده بزقوش و دو گسل عمده شمال و جنوب بزقوش با روند شرق- غرب امروزی بصورت مورب با گسل عمده و قدیمی تبریز با روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق از یکسو و گسل آستارا در شرق فلات آذربایجان با همین روند از سوی دیگر قرار گرفته است که سیستم بزقوش بین این دو زون گسل تکامل یافته است (زمانی، ۱۳۹۲). سیستم تنش غالب حاکم بر گسل تبریز و آستارا پس از فاز لارامین تقریباً روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب داشته است. شکل‌گیری و نفوذ توده بزقوش در ائوسن در سیستم تنشی می‌توانسته صورت گیرد که تنش متوسط در آن زمان عمودی بوده باشد و بنابراین در فاز پیرنه در این ناحیه تنش‌های متوسط عمودی و تنش غالب افقی بوده است که با خشکی‌زا بودن این فاز نیز هم خوان است. در چنین حالتی گسل‌های بزقوش بصورت امتداد لغز توسعه یافته‌اند و گسل تبریز و گسل آستارا نیز در دو سوی فلات آذربایجان با همین مکانیسم یعنی امتدادلغزی عمل می‌کرده‌اند. به احتمال زیاد پس از فاز استرین تا آتیکان یعنی میوسن میانی تا پایانی که جوش‌خوردگی نهایی عربی و اوراسیا اتفاق می‌افتد نتایج عملکرد برخورد قاره‌ای به درون قاره‌ها

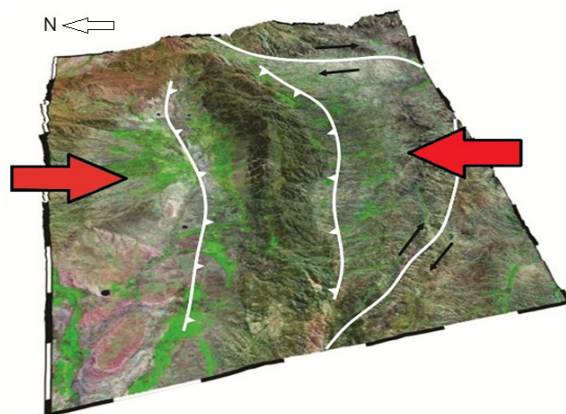
منعکس می‌شود و به سیستم امتدادلغزی پس از فاز پیرنه به تدریج فشارشی نیز اضافه می‌شود (یعنی تنش غالب قائم می‌شود) و ساختارهای چین‌خورده و رانده توسعه یافته و بتدریج سیستم بزقوش به یک فراخاست^۱ تبدیل شده و دو گسل شمال و جنوب بزقوش عملکرد و مولفه رانده یافته‌اند. در مراحل بعدی و با تداوم دگرشکلی، گسل‌های راندگی با روندهای دیگر و با مؤلفه‌های راستالغزی به صورت گسل- های عرضی- برشی و در حدفاصل گسل‌های اصلی بزقوش تشکیل شده‌اند. به نظر می‌رسد که توسعه این گسل‌های عرضی- برشی در کمربند رانده و چین‌خورده بزقوش با توجه به روندهای متفاوت آن‌ها نسبت به گسل‌های اصلی راندگی، حاصل برهم‌کنش دگرشکلی منطقه آذربایجان ناشی از حرکات امتدادلغزی راستگرد گسل‌های شمال تبریز و اردبیل- میانه، در حال کشیدگی در راستای شرقی- غربی و فراخاست در راستای گسل‌های اصلی راندگی، باشد. در نتیجه تشکیل یک زون برشی بین گسل شمال و جنوب بزقوش چنین کوتاه‌شدگی و کشیدگی، گسل‌های عرضی- برشی با روندهای متفاوت از گسل‌های اصلی راندگی بزقوش را توسعه داده است. با توجه به این که این گسل‌های عرضی- برشی در برخی مناطق از کمربند رانده و چین‌خورده بزقوش باعث جدایش گسل‌های راندگی اصلی شده‌اند، می‌توان گفت که این گسل‌های فرعی تأخیری بوده و در مراحل نهایی تکامل ساختاری بزقوش در زمان‌های بعد از ائوسن به وجود آمده‌اند. چنین مدل زون برشی با تصور سیستم ترا فشارش در این کوهزاد هم- خوانی دارد. در تمامی نواحی بررسی شده، مشاهده می‌شود که روند چین‌خوردگی‌ها با روند گسل‌های موجود در منطقه مطابقت داشته و این چین‌خوردگی‌ها تحت تأثیر گسل‌ها ایجاد شده‌اند. در واقع بسیاری از این چین- خوردگی‌ها در ارتباط با گسل‌ها می‌باشند. مطابقت روند اثر گسل‌ها با روند محور چین‌خوردگی‌ها به این دلیل است که این ساختارهای چین‌خوردگی در داخل یک سیستم راندگی که کمربند رانده و چین‌خورده را تشکیل می‌دهند، انباشته شده‌اند (شکل ۱۸). در واقع سیستم تنش‌ها در کمربند رانده و چین‌خورده بزقوش به گونه‌ای است که تنش بیشینه و متوسط به صورت افقی عمل کرده و تنش کمینه به طور قائم عمل می‌کند. در واقع سازندهای

^۱ pop up

گرفته است. از این رو چین‌خوردگی‌ها و گسل‌های قدیمی که در عصر حاضر فعالیت تکتونیکی داشته‌اند، در این پژوهش آخرین فعالیت آن‌ها مورد ارزیابی و مدنظر قرار گرفته است.

بررسی و مقایسه نتایج حاصل از تحلیل ساختارها و برآورد تنش در رشته کوه‌های بزقوش آن را قابل مقایسه با ساختارهای مدل ترافشارش نشان می‌دهد. در واقع رشته کوه بزقوش با عملکرد دو گسل عمده و تاثیرگذار یعنی گسل تبریز و گسل میانه- اردبیل در قالب دو سامانه ترافشارش توسعه یافته است.

قرمز فوقانی با رئولوژی سنگ‌های خمیرسان در بین سنگ‌های آذرین آندزیتی و بازالتی با رئولوژی شکننا ساختار کمر بند رانده- چین‌خورده بزقوش را تشکیل داده و تکامل می‌بخشد. در مورد ارتباط چین‌خوردگی‌ها و رژیم تنش امروزی مطالعه شده در این پژوهش به عنوان عامل ایجاد و توسعه چین‌های جوان، باید به این نکته اشاره کرد که تحلیل تنش‌های انجام شده در این مطالعه، رژیم تنش امروزی (تنش نوزمین‌ساخت) را برآورد کرده است و ارتباط تنش‌های یاد شده با نئوتکتونیک این منطقه (سیستم‌های چین‌خوردگی امروزی) مورد پژوهش قرار



شکل ۱۷. جهت تنش وارده بر منطقه برای تشکیل گسل‌های اصلی راندگی شمال و جنوب بزقوش برگرفته از زمانی (۲۰۱۶ و ۲۰۱۷)
Fig. 17. The direction of the stress to the study area for formation of the North and South main faults of the Bozgush fold and thrust belt., after Zamani (2016, 2107)



شکل ۱۸. تصویر رو به جنوب از راندگی‌های شمال بزقوش که این رشته‌کوه را به صورت گوه‌های پیش‌رونده به جلو نمایش می‌دهد.
Fig. 18. The picture of the North thrust faults of the Bozgush fold and thrust belt in South direction, that show this thrust sheets are progressive wedges to the front.

۶- نتیجه‌گیری

می‌دهند. بررسی داده‌های دورسنجی و شناسایی ساختارها با کمک نقشه‌های زمین‌شناسی، ساختارهای متعددی از جمله گسل‌ها (با مکانیسم‌های تراستی، نرمال و امتدادلغز)، چین‌ها (تاقدیسی و ناودیدی) و حوضه‌ها و فرارانش‌ها را در این محدوده نشان می‌دهد. در این پژوهش مشخص شده است که گروه گسل‌های با سازوکار راندگی دارای امتداد میانگین NE-SW تا E-W و دارای شیب ۶۰ تا ۸۰

در این پژوهش با تحلیل ساختارهای مهم رشته کوه‌های بزقوش و برآورد وضعیت تنش‌های امروزی آن وضعیت تکتونیکی این کوه‌ها بررسی گردید. این ارتفاعات بین دو گسل شمالی و جنوبی بزقوش مسدود شده و این دو گسل باعث راندگی این ارتفاعات به سمت دشت‌های سراب و میانه شده‌اند و در مجموع یک ساختار بالارانده را نشان

References

- Allen, M. B., Ghassemi, M. R., Shahrabi, M., and Qorashib, M (2003) Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran, *Journal of Structural Geology*, 25: 659-672.
- Angelier, J. & Mechler, P (1977) sur un method graphique de recherche des contraintes, *Bull, Soci. Geol. France*, 7, XIX, 6: 1309-1318.
- Behrouzi, A., and Amini Azar, M (1371) Geological Quadrangle. 1:100000. Survey of Geology and Explorations of the Iran.
- Berberian, M (1994) Natural hazards and the first earthquake catalogue of Iran. Volume 1: Historical hazards in Iran prior to 1900, IIEES, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, 669 p.
- Burchfiel, B. C (1980) Foreland Fold and Thrust Belts—Review. *AAPG Bulletin*, 64 (5): 684.
- Darvish-zadeh, A (1994) Geology in Iran. Danesh Imoraz Publishing, 825 p. (in Persian).
- Faridi, M (2018) Geological report of the Germi Chai region (North of the East Azerbaijan), with an emphasis on the structural geology of the Germi Chai Dam. 125 p. (in Persian).
- Hemati, F., Zamani, G. B., Rostai, Sh. and Mokhtari, D (2016-a) evaluation of neotectonic activities of Benaravan fault range based on morphometric indicators, geography and environmental hazards, 6: 87-107 (in Persian).
- Hmirestin, J., Raffaele di Cuica, M., A. Cottam, Gonzalo, Z. and Robert, W. H (2020) Fold and thrust belts, structural style, evolution and exploration- an introduction. Geological society, London, special pub., Doi: 10.1144/SP490-2020-81
- Hemati, F., Zamani, G. B., Rostai, and Sh. Mokhtari, D (2016-b) investigation of seismic potential of Benaravan fault by deterministic and probabilistic methods, *Journal of Geographical Researchs*, Number, 4 (32): 69-85 (in Persian).
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, and M., Berberian, M (2002) Active tectonics of the South Caspian Basin. *Geophys. J. Int*, 148: 214-245.
- McClay, K. R (1992) (Ed.) Thrust tectonics. Chapman and Hall London. 447 p.
- Noorazer Shekarzadeh, Derikvand, B., and Yasaghi, A (2013) analysis of folding style of Nadir anticline in Eastern-Tape-Dagh subzone, 15th conference of Geological Society of Iran.
- Ortner, H., Reiter, F. and Acs, P (2002) Easy handling of tectonic data: the programs TectonicVB for Mac and TectonicFP for Windows. *Computer s and Geosciences*, 28: 1193 - 1200.
- Ramsay, M. & Lisle, A (2000) Modern structural geology, Vol. 3, Academic press, 799 p.

درجه می‌باشند. گسل‌های با سازوکار نرمال عمدتاً دارای امتداد میانگین NW-SE و به طور جزئی‌تر NE-SW و دارای شیب ۶۰ تا ۷۰ درجه هستند. همچنین گروه گسل‌های امتدادلغزی راستگرد با امتداد NNW-SSE دارای شیب نزدیک به قائم می‌باشند. علاوه بر این با اندازه‌گیری داده‌های صحرایی در ۱۰ ایستگاه، رژیم تنش مربوط به ۴ ایستگاه از نوع امتدادلغزی و رژیم مربوط به ۶ ایستگاه از نوع فشاری نتیجه شده است و جهت رژیم‌های فشاری بطور غالب NNE-SSW بدست آمده است. بررسی و مقایسه نتایج حاصل از تحلیل ساختارها و برآورد تنش در رشته کوه‌های بزقوش آن را قابل مقایسه با ساختارهای مدل ترافشارش نشان می‌دهد. در واقع رشته کوه بزقوش با عملکرد دو گسل عمده و تاثیرگذار یعنی گسل تبریز و گسل میانه-اردبیل در قالب دو سامانه ترافشارش و بصورت کمّانی شکل توسعه یافته است. در این میان با تداوم دگرشکلی، گسل‌های راندگی با روندهای متفاوت از دو راندگی اصلی شمالی و جنوبی و با مولفه‌های راستالغزی به صورت گسل‌های عرضی-برشی و در حفاصل گسل‌های اصلی بزقوش تشکیل شده‌اند. به نظر می‌رسد که توسعه این گسل‌های عرضی-برشی در کمربند رانده و چین‌خورده بزقوش با توجه به روندهای متفاوت آن‌ها نسبت به گسل‌های اصلی راندگی، حاصل وجود یک زون برشی بین گسل شمال و جنوب بزقوش و برهم‌کنش دگرشکلی منطقه آذربایجان ناشی از حرکات امتدادلغزی راستگرد گسل‌های شمال تبریز و اردبیل-میانه و در قالب یک سامانه ترافشارش باشد. روند چین‌خوردگی‌ها در محدوده مورد بررسی، با روند گسل‌های موجود در منطقه مطابقت دارند و چین‌خوردگی‌ها تحت تأثیر گسل‌ها ایجاد و توسعه یافته‌اند و اغلب این چین‌خوردگی‌ها در ارتباط با گسل‌ها می‌باشند. در واقع انطباق یافتن روند اثر گسل‌ها با روند محور چین‌خوردگی‌ها در محدوده مورد بررسی به این دلیل است که این ساختارهای چین‌خوردگی در داخل یک سیستم راندگی که کمربند رانده و چین‌خورده را تشکیل می‌دهند، انباشته شده‌اند.

۷- سپاسگزاری

این مقاله با حمایت دانشگاه تبریز نگاشته شده است. که نویسندگان مقاله کمال تشکر و قدردانی را دارند.

- Samani, N (1375) Basics of Structural Geology, Shiraz University Press, first edition (in Persian) 248 p.
- Sharifi, R., and Zamani, G., B (2009) Introduction of south Ahar thrust. Conference of Geological Society of Iran.
- Stephansen, S. and Zang, W (2010) Stress Field of the Earth's Crust, Springer publishing, 425p.
- Tatar, M (2018) the preliminary report of the earthquake of November 17, 2018, Turkmenchai (Sarab) with Momentum magnitude 5.9, Research Institute of Seismology and Earthquake Engineering (in Persian).
- Tuorcut, J., and Shobert, W (2003) Geodynamics, 425 p.
- Zamani, B., and Masson, F (2014) Recent Tectonics of East (Iranian) Azerbaijan from stress state reconstructions, Tectonophysics, 611: 61-82.
- Zamani, G. B (2016) Tectonics of E-Azerbaijan plateau as indicted by stress analysis modelling in plate tectonics, Lambert academic publishing, 130 p.
- Zamani, G. B (2017) Experimental tectonic modeling of East (Iranian) Azerbaijan, inferred from stress pattern. Model. Earth Syst. Environ. 3: 605–613, DOI 10.1007/s40808-017-0321-0.
- Zamani, G., B. and Masson, F (2014) recent tectonics of East (Iranian) Azerbaijan from stress state reconstructions, journal of tectonophysics, 611: 61-82.
- Zamani, G., B (2013) Azerbaijan tectonic model, Journal of Earth Sciences, Survey of Geology and Mineral Exploration of Iran, 87: 41-50. (in Persian).
- Zamani, G., B (2013) Recent tectonic model of Azerbaijan (North of Tabriz fault and south of Aras), Journal of Earth Sciences, Survey of Geology and Mineral Exploration of Iran, 10: 415-435 (in Persian).

Structural and tectonical study and nomination of Bozgush fold and thrust belt (NW Iran)

B. Zamani^{1,2} and Y. Karimi³

1- Assoc. Prof., Dept., of Earth Sciences, Natural Sciences Colleague, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2- Invited researcher on University of Strasbourg, CNRS UMR7063 – ITES, 5 Rue Ren e Descartes, F-67084, Strasbourg Cedex, France

3- M. Sc. (graduated), Dept., of Earth Sciences, Natural Sciences Colleague, University of Tabriz, Tabriz, Iran

* b.zamani@tabrizu.ac.ir

Recieved: 2024.5.13 Accepted: 2024.10.27

Abstract

Bozgoush Mountains located in northwestern Iran, between the provinces of East Azerbaijan and Ardabil. Bozgoush ranges include of elevation of the Eocene volcanic and volcanoclastic rocks has been cut by monzonite and microdioritic dikes. The topographic elevations are between the northern and southern Bozgoush faults and the faults will drift Bozgoush to the Sarab and Mianeh plains, in general show a Pop up structure. In this study, structural analysis and Neostress states of Bozgoush Mountains is used to tectonic study of the mountains. Evaluation of remote sensing data and structural identification using geological maps show various structures in the area such as faults (with a mechanism of thrust, normal and strike-slip), folds (anticline and syncline) and the basins and uplifts. Results of the stress inversion analysis and study of fault geometries and structures within Bozgoush, was used to determine of changes in the structural components during faulting and folding. In this research we find that the thrust faults have mainly NE-SW and E-W strike and 60 to 80-degree dip. Normal faults mainly have NW-SE direction and 60 to 70 degree dip. Also strike-slip faults have NNW-SSE direction and dip is near to vertical. Stress analysis result shown, the direction of compressional stress regime is NNE-SSW. In all studied area fold axis are parallel to the fault directions. Structural analysis and stress analysis results shown formation of this mountain chain compatible with the transpression tectonic model.

Keywords: Fold and thrust belt, Bozgoush, Stress, Structural analysis

Introductions

Bozgoush Mountains located in northwestern Iran, between the East Azerbaijan and Ardabil provinces. Bozgoush mountain ranges include of the Eocene volcanic and volcanoclastic rocks has been cut by monzonite and microdioritic dikes. The topographic elevations between the northern and southern Bozgoush faults (and the faults drift Bozgoush to the Sarab and Mianeh plains) shows a Pop up structure. In this study, structural analysis and Neostress states of Bozgoush Mountains is used to made tectonic (objective) model for the mountains. Evaluation of remote sensing data imaging and structural identification using geological maps show various structures in the area such as faults (with a mechanism of thrust, normal and strike-slip), folds (anticline and syncline) and the basins and uplifts.

Materials and methods

Collecting different data such as remote sensing images, Geological maps, and topographical and field structural data of faults and folds and make layers in GIS systems help to made structural maps. Investigation of the structural maps in relation by the remote sensing images and structural identification using geological maps show various structures in the area such as faults (with a mechanism of thrust, normal and strike-slip), folds (anticline and syncline) and the basins and uplifts.

Discussion and Results

Collecing field data in more than 17 stations, processing and drawing different diagrams, such as rose, stereo and stress plots help analyzing the results and describe them. Results of the stress inversion analysis and study of the fault geometries and structures

within the Bozgush are used to determine of changes in the structural components during faulting and folding. In this research, it is find that the thrust faults have mainly NE-SW and E-W direction and 60 to 80-degree dip. Normal faults mainly have NW-SE direction and 60 to 70 degree dip. In addition, strike-slip faults have NNW-SSE direction and their dips are near to vertical. Stress analysis result shown, the direction of compressional stress Regime is NNE-SSW. In all studied area, fold axis are parallel to the fault directions. Structural analysis and stress analysis results are shown formation of this mountain chain is compatible with the transpression tectonic model.

Conclusion

In Bozgush Mountains the main compression stress is in NNE-SSW direction and in the all of the range the trend of the faults and folds are consistable and the same. These folds are fault related folds. Investigate of the structure analysis and stress analysis results have shown

that the formation of the Bozgush Mountains is related by the transpressional tectonic model. In fact, Bozgush Mountain ranges developed by two main and constructive faults, NTF and Miyaneh-Ardabil faults, in two transperssion systems.

In the meantime, with the continuation of deformation, thrust faults with different trends from the two main North and South thrusts and with right-striking components have formed as transverse-shear faults and in between the main Bozgosh faults. It seems that the development of these transversal-shear faults in the thrust and folded belt of Bozgosh due to their different trends compared to the main thrust faults is the result of the existence of a shear zone between the north and south of Bezgohos fault and interaction. Deformation of the Azerbaijan region caused by dextral strike-slip movements of the North Tabriz and Miyane-Ardabil faults and in the form of a transpressional system.