

چکیده

گسله اصلی جوان زاگرس یک سامانه گسله بزرگ است که در مرز شمالی زاگرس و مرز جنوبی ایران مرکزی قرار گرفته است. هدف اصلی این بررسی توصیف هندسه و کینماتیک امروزی ادامه ناشناخته گسله اصلی جوان زاگرس در شمال باختری ایران و جنوب شرق آناتولی است. ما سازوکار امروزی گسله‌ها را از بررسی تصویرهای ماهواره‌ای و تلفیق آنها با برداشت‌های ساختاری میدانی، داده‌های ریخت‌زمین‌ساختی و نیز نتایج حاصل از وارون‌سازی داده‌های سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها تعیین کرده‌ایم. سامانه گسله اصلی جوان زاگرس از پیرانشهر به سوی شمال و در راستای شاخه‌ای از زمین‌درز نئوتیس، در مرز ایران-آناتولی خاوری، ادامه می‌یابد و در شمال باختر با سامانه‌ی گسله‌های NE-SW چپ‌بر خوی-بسکل (در جنوب باختر آناتولی) پایان می‌پذیرد. سامانه گسله شناسایی شده، یک سامانه‌ی تراکششی راست‌بر است که در دل خود رژیم‌های تنش محلی راست‌الغز و کششی محض ایجاد کرده است. دسته‌ای از حوضه‌های کششی، در خمش‌های گسلی یا در پهنه‌های میان تکه گسله‌های هم‌پوش راست‌پله راست‌بر ایجاد شده‌اند. با ورود به پهنه برخورد سامانه راست‌بر گسله با سامانه‌ی چپ‌بر خوی-بسکل، برش راست‌بر میان ورقه‌ی عربی و ایران مرکزی با گسله‌های چپ‌بر سد می‌شود و حرکت رو به ESE ایران نسبت به آناتولی، سبب ایجاد حوضه‌های کششی شمالی-جنوبی می‌شود که با گسله‌های نرمال شمالی-جنوبی محدود می‌شوند. این کشش، مشکل فضا در حرکت میان شمال باختر ایران و جنوب خاور آناتولی را حل کرده است. این بررسی، اهمیت گسله‌های راست‌الغز را در ایجاد رژیم‌های تنش محلی و زمین‌ساخت ناحیه‌ای کششی در جایگاه‌های برخورداردی با رژیم تنش چیره ترافشارش نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: گسله اصلی جوان زاگرس، ویژگی جنبشی گسله‌ها، گسله راست‌الغز، شمال باختر ایران، جنوب شرق آناتولی، حوضه‌های کششی.

الگوی زایش و فرگشت حوضه‌های کششی مرتبط با ادامه گسله اصلی جوان زاگرس در شمال باختر ایران

مهرداد نیاسری فرد (نویسنده مسئول)

دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران،
 mehrdadniasari@gmail.com

اسماعیل شبانیان بروجنی

دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه،
 زنجان، ایران

شهریار سلیمانی آزاد

پژوهشگر، گروه لرزه‌زمین‌ساخت و زلزله‌شناسی، سازمان زمین‌شناسی
 کشور، تهران، ایران

سعید معدنی پور

استادیار، بخش زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۱- مقدمه

رئولوژی پوسته در گذر دگرشکلی پیش‌رونده بسیار مهم است [۳-۵]. برای نمونه، جهت‌یابی و پهنای این‌گونه از حوضه‌های کششی وابستگی مستقیمی به فاصله میان شاخه‌های گسلی هم‌پوش دارد که این فاصله نیز در راستای گسله‌های میان‌ورقه‌ای، در پیوند تنگاتنگ با نسبت ضخامت پوسته بالایی به زیرین و در واقع رئولوژی پوسته است [۵]. بنابراین، انجام بررسی‌هایی از این دست به شناسایی فرآیندهای ژئودینامیکی جنبه و لرزه‌زمین‌ساختی می‌تواند منجر شود. جالب اینکه فعالیت

بروز پیچیدگی‌های ساختاری-هندسی و در پی آن، پیچیدگی در سازوکار گسلش در نواحی بروز این پیچیدگی‌ها، از ویژگی‌های سامانه‌های راست‌الغز است (برای نمونه [۱-۲]). چنین پیچیدگی‌هایی تغییرات تنش محلی، تغییر در الگوی دگرشکلی و در مقیاسی گسترده‌تر، تغییرات زمین‌ساختی-ماگمایی را به همراه خواهد داشت. در این میان، بررسی ریخت‌شناسی، هندسه و روند فرگشت حوضه‌های کششی مرتبط با گسله‌های راست‌الغز^۱ در پیوند با ویژگی‌های ساختاری و

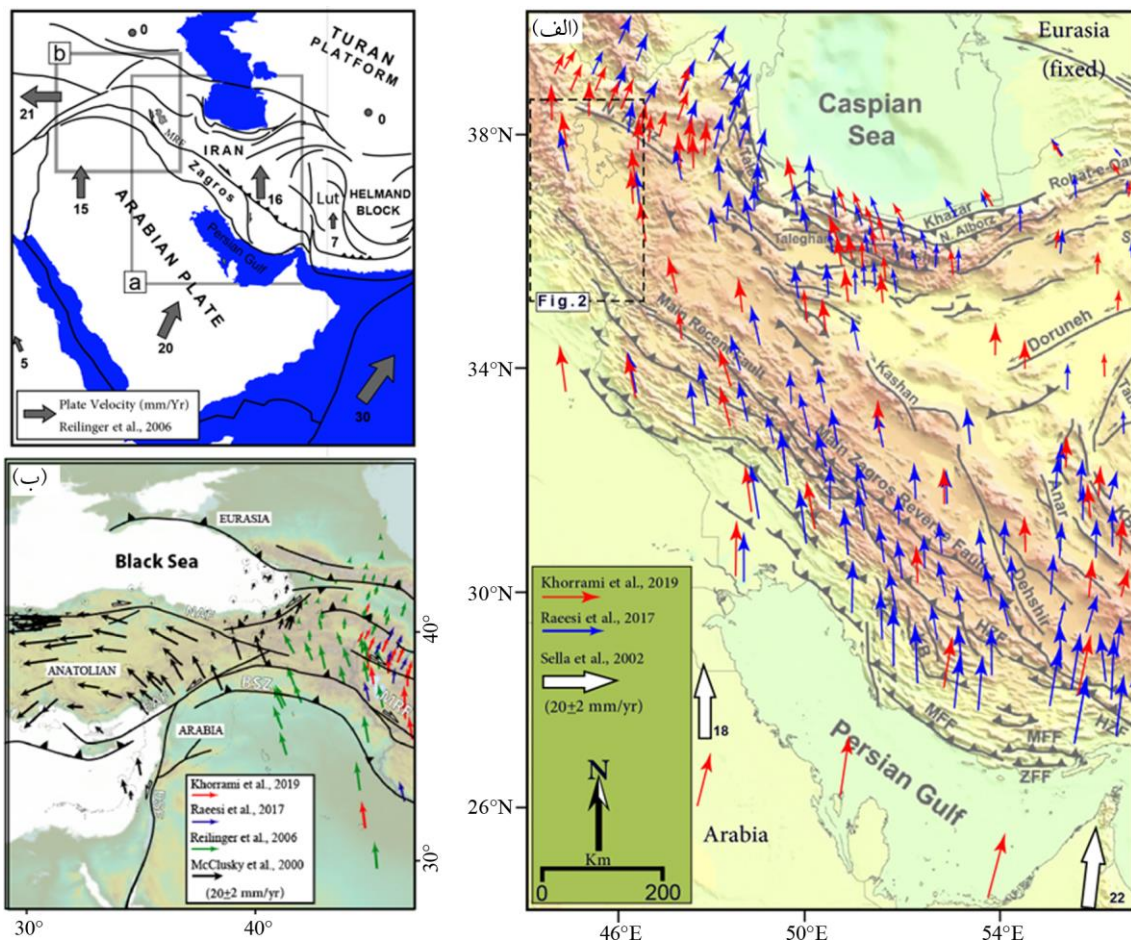
سازوکارهای متفاوت است [۹]. زاویه‌ی حاده بردار همگرایی عربی-اوراسیا با راستای گسله در زاگرس شمالی (کمان لرستان) و شرایط ویژه رئولوژیک پی سنگ زاگرس در این بخش [۱۱]، سبب بروز سهم‌بندی واتنش^۴ در عرض زاگرس شده است (شکل ۱-ب)؛ طوری که بخشی از همگرایی صرف حرکت راستالغز راست‌بر در راستای گسله جوان زاگرس و بخش دیگر صرف کوتاه‌شدگی بر روی گسله‌های فشاری موازی با آن شده است [۱۱-۱۲]. در کنار این سازوکار چیره راستالغز، فراوانی نسبی سازوکارهای زمین‌لرزه‌ای و سیمای^۵ ریخت‌زمین‌ساختی^۶ کششی، از مریوان تا پیرانشهر (بخش شمال باختری گسله) و سپس از اشنویه تا سرو و سلماس (کیلومترها دورتر از آنچه تاکنون به‌عنوان گسترش شمال باختری گسله جوان زاگرس در نظر گرفته شده است)، پیچیدگی و تنوع سازوکاری قابل توجهی را از دو دیدگاه دگرشکلی‌های ژرفی و سطحی به‌منطقه بخشیده است.

تاکنون، اصلی‌ترین مدل تکنونیک‌ای که برای توضیح پیچیدگی‌های زمین‌ساختی شمال باختر ایران ارائه شده است، پیشنهاد چرخش پادساعت‌گرد گسله‌های راستالغز راست‌بر با راستای شمال باختر-جنوب خاور در ناحیه شمال باختر ایران و جنوب خاور آناتولی است [۱۳]؛ این مدل، بیشتر این سیمای کششی را به پیچیدگی‌های ساختاری در راستای گسله‌های راستالغز نسبت می‌دهد. اما، تأیید یا رد چنین احتمال یا مدل‌هایی نیازمند داده‌های مناسب و کافی از الگو و سازوکار فعال گسله‌های اصلی و برهمکنش آنها در گستره‌ی شمال باختر ایران است.

آگاهی ما از الگوی گسلش فعال، هندسه و سازوکار گسله جوان زاگرس در بخش‌های مرکزی [۱۴] و جنوب شرقی آن [۱۵] به نسبت کامل است. درحالی‌که شناخت ما درباره هندسه، الگوی ساختاری و سازوکار ادامه شمال باختری سامانه گسله به‌سوی شمال باختر، از تکه گسله پیرانشهر [۹، ۱۶-۱۸] به بعد، کافی نیست. نبود چنین داده‌هایی، نتیجه‌گیری قاطع درباره چگونگی گسترش یا پایان^۷ گسله جوان زاگرس و نقش ساختاری، ژئودینامیکی و لرزه‌زمین‌ساختی آن را در جای‌دهی دگرریختی فعال در شمال باختر ایران و جنوب شرقی آناتولی دشوار کرده است.

این حوضه‌ها، در درجه نخست، به ادامه فعالیت گسله‌های مرزی سازنده آنها (با همان سازوکار زمان تشکیل حوضه) بستگی دارد. گاهی در گذر زمان، به دلیل تکامل ساختاری یک پهنه، گسله‌های مرزی از فعالیت باز می‌ایستند یا تغییر سازوکار می‌دهند. در این حالت، حتی با وجود فعالیت گسله‌های مرزی، کشش در حوضه از کار می‌افتد و حوضه از دید ساختاری پویایی خود را از دست داده، به جایگاهی برای بروز دگرشکلی‌های ترفشاری تا فشاری تبدیل می‌شود [۶-۷]. این چنین سیمای زمین‌ریختی با زایش کششی نخستین، تحلیل‌های متفاوتی در کاربردهای لرزه‌زمین‌ساختی، ساختاری و فرسایش-رسوب (در زمینه‌های تحلیل حوضه، مهندسی، آبخیزداری و کشاورزی) نسبت به حوضه‌های کششی فعال می‌طلبد. از این‌رو، توجه به قرارگیری هر یک از این حوضه‌ها در هر یک از مراحل جوانی، بلوغ و پیری در بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی بسیار پر اهمیت است.

گسله اصلی جوان^۲ زاگرس (از این پس، گسله جوان زاگرس)، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گسله‌های راستالغز ایران با راستای عمومی شمال باختر-جنوب خاوری و از مرزهای ژئودینامیکی پهنه‌ی برخورد عربی-اوراسیا (شکل ۱-الف)، نقش بسیار مهمی در جای‌گیری^۳ دگرشکلی جنبای حاصل از همگرایی زمین‌ساختی و نیز فعالیت‌های لرزه‌زمین‌ساختی در لبه باختری فلات ایران دارد (شکل ۱-ب). این گسله را نخستین بار برآورد و ریکو [۸] در مقیاس بزرگ شناسایی و معرفی کردند. آنها گسترش این سامانه گسلی را از مرز ترکیه در شمال باختر ایران تا شمال پهنه گسلی میناب-زندان (میان پهنه برخورد زاگرس و فرورانش مکران) دانسته و آن را یک ساختار بزرگ پس از پلیوسن معرفی کرده‌اند که در بخش‌هایی از طول خود، بر روی اثر سطحی زمین‌درز زاگرس (گسله راندگی اصلی زاگرس) رونوشت شده است. پژوهشگران بعدی مانند چالنگو و برآود [۹] و طالبیان و جکسون [۱۰] بر روی لرزه‌خیزترین بخش آن در کمان لرستان متمرکز شده‌اند. در این بخش، گسله جوان زاگرس سامانه‌ای ساخته شده از پهنه‌های گسلی مختلف با راستا و گاهی



شکل (۱): نقشه گسله‌های فعال ایران بر اساس [۱۹] به همراه بردارهای سرعت GPS (بردارهای سفید، قرمز و آبی) که بر روی تصویر فرازنمای رقومی 30 m GTOPO به همراه زیربخش‌های اصلی تکتونیکی و گسله‌های فعال در ایران نشان داده شده است. اختصارات عبارتند از: KBF: گسله کوهدن؛ HZF: گسله زاگرس بلند؛ ZFF: گسله فروبار زاگرس؛ MFF: گسله پیشانی کوهستان؛ KB: گسله کره‌بس و KZ: گسله کازرون و (ب) بردارهای سرعت GPS در منطقه مدیترانه شرقی نسبت به اوراسیا. تصویر در سمت چپ بالا [۲۰] موقعیت مکانی برخورد ورقه‌های عربی و اوراسیا را نشان می‌دهد. پیکان‌های خاکستری و شماره‌های همراه نشان‌دهنده سرعت ورقه عربستان نسبت به اوراسیا ثابت است.

گسله جوان زاگرس خواهیم پرداخت. سپس، با معرفی سیمای ریخت‌زمین ساختی کششی و بررسی چگونگی شکل‌گیری و فرگشت آنها در راستای گسله جوان زاگرس و دنباله شمال باختری آن، این زمین‌ریخت‌ها را از نظر زایش^۱ و در پیوند با فعالیت گسله دسته‌بندی خواهیم کرد. این نوشتار، برای نخستین بار به بحث پیرامون ادامه ساختاری گسله جوان زاگرس در شمال باختر ایران، فراتر از آنچه تاکنون معرفی شده بود، می‌پردازد. یافته‌های این پژوهش به تحلیل تنوع سازوکاری فعال در گستره شمال باختر ایران - جنوب خاور آناتولی و درک چگونگی جای‌دهی همگرایی عربی - اوراسیا در این گستره کمک خواهد کرد.

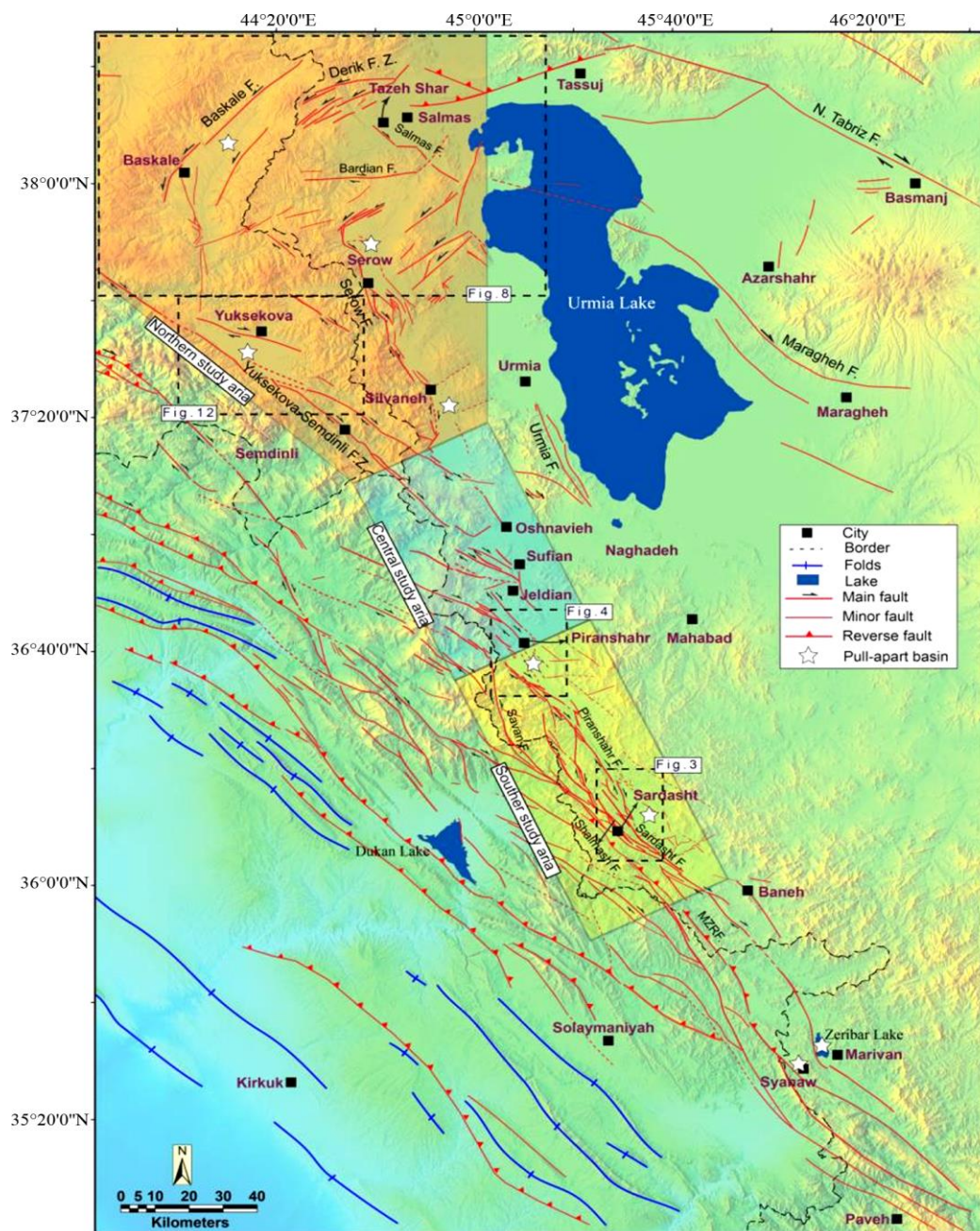
همچنین وابستگی‌های احتمالی این سامانه گسله پسته‌ای [۱۱، ۲۱] با گسله‌های اصلی دیگر و تغییر شکل مربوط به آنها در گستره نامشخص است. در نوشتار کنونی تلاش داریم تا با بهره‌گیری از داده‌های ساختاری، سازوکارهای زمین‌لرزه‌ای موجود و مشاهدات دورسنجی و میدانی زمین‌ریختی^۲ به برخی از این ابهامات نظیر اینکه ادامه شمال باختری گسله جوان زاگرس با چه الگو و سازوکاری ادامه پیدا می‌کند و نحوه جای‌دهی آن در شمال باختر ایران به چه ترتیبی است، و آیا این کشش موجود در شمال باختر ایران به صورت محلی بوده و یا منطقه‌ای است، پاسخ دهیم. نخست، ما با استناد به الگو و سازوکار جابه‌جایی‌های کوتاه‌تری به توصیف هندسه و سازوکار ادامه شمال باختری

۲- روش‌های به کار رفته در مطالعه

۲-۱- تهیه نقشه گسله‌های کواترنری دنباله شمال باختری گسله جوان زاگرس

کارهای بعدی بررسی شده است. این در حالی است که تاکنون، هیچ پژوهشی به ادامه تأثیر این گسله بزرگ میان ورقه‌ای در شمال باختر ایران توجهی نداشته و نقشه کاملی از گسلش کواترنری مرتبط با این ساختار بزرگ زمین‌شناسی تهیه نشده است. بنابراین، نخستین و اصلی‌ترین گام در پژوهش کنونی، تهیه نقشه دقیق از گسلش کواترنری در ناحیه شمال پیرانشهر تا منطقه خوی بوده است (شکل ۲).

همان‌طور که در مقدمه اشاره شد، برآود و ریکو [۸] گسله جوان زاگرس را از پیرانشهر در مرز ایران-ترکیه، تا گسله زندان-میناب در جنوب به نقشه درآورده‌اند و بخش شمالی آن به‌طور ویژه در



شکل (۲): نقشه برجسته برگرفته از داده‌های فرازمی رقومی استر با قدرت جداسازی ۳۰ متر که گسله‌های فعال ادامه شمال باختری MRF و گسله‌های وابسته به آن در شمال باختر ایران-شرق آناتولی نمایش داده شده است. گسله‌ها به‌طور اصلی بر اساس این پژوهش و منابع [۲۲-۲۵] تلفیق شده است. ستاره‌های سفید رنگ موقعیت فرآزگیری حوضه‌های کشتی در بخش‌های مختلف سامانه گسله جوان زاگرس نشان می‌دهد. MZRF گسله اصلی معکوس زاگرس است.

کششی مرتبط با گسله‌های راستالغز را از نظر تکامل دسته‌بندی کنیم. به زبانی ساده‌تر، حوضه‌های کششی پویا که در میان گسله‌های کششی جوان در حال فرونشست هستند، تراز پایه محلی^{۱۹} را برای آبراهه‌های پیرامون تعریف می‌کنند و آبراهه‌ها بار رسوبی خود را در این حوضه‌های کششی ته‌نشست می‌کنند و تا زمانی که این فرونشست ادامه داشته باشد، یا فرآیند رودگیری^{۲۰} از بیرون حوضه رخ ندهد، این روال ادامه خواهد داشت. با گذر از این مرحله و رویداد وارونگی زمین‌ساختی در حوضه، بار رسوبی حوضه را پر خواهد کرد و برهم خوردن تعادل فرسایش-رسوب در حوضه، سبب رخنه کردن سامانه‌های فرسایشی پیرامون (رودها، آبراهه‌های وابسته و حوضه زهکشی آنها) در اثر فرسایش پس‌گرا^{۲۱} به درون حوضه کششی از کار افتاده خواهد شد. به‌طورمعمول، این تغییر در رژیم‌های راستالغز در پی تکامل ساختاری حوضه و ایجاد گسله‌های میان‌بر^{۲۲} رخ می‌دهد (برای نمونه، [۴، ۶]). در بررسی کنونی، این‌گونه شواهد ریخت‌زمین‌ساختی به همراه داده‌ها و مشاهده‌های ساختاری برای معرفی، توصیف و دسته‌بندی حوضه‌های کششی ایجاد شده در راستای بخش شمال باختری گسله جوان زاگرس و نواحی باختر دریاچه ارومیه استفاده شده است.

۲-۲-۱- وارون‌سازی داده‌های لغزش گسله حاصل از سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها

داده‌های لغزش گسله حاصل از سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های روی داده در گستره برای تعیین وضعیت تنش امروزی و توصیف سازوکار دگرشکلی‌های جنب در گستره، به‌ویژه سازوکار گسله‌های مرتبط با حوضه‌های کششی استفاده شده است. این داده‌ها که مجموعه زمین‌لرزه‌های شمال باختر ایران و خاور ترکیه (در محدوده ۳۴° تا ۳۹° عرض شمالی و ۴۳° تا ۴۷° طول خاوری) را با بزرگای بیش از ۴/۵ شامل می‌شود (جدول ۱)، با استفاده از روش پیشنهادی کاری گیلهاردیس و مرسیه [۲۹] وارون‌سازی شده و تانسورهای تنش کاهش‌یافته برای دسته داده‌های همگن مختلف تعیین شده است. داده‌های ورودی این

برای این کار، مجموعه‌ای از تصویرهای ماهواره‌ای با قدرت جداسازی بسیار بالا^{۱۱} (اندازه پیکسل نمونه‌گیری شده ۶۰ سانتی‌متر، به‌طور اصلی برگرفته از گوگل ارث و ساس پلنت)، داده‌های فرازنامی رقومی (DEM) با قدرت جداسازی ۳۰ و ۹۰ متر (Aster V3 و SRTM)، عکس‌های هوایی در مقیاس‌های مختلف و مشاهدات و کنترل‌های میدانی به کار گرفته شده است تا نقشه گسله‌های کواترنری گستره با استناد به شواهد ساختاری و ریخت‌زمین‌ساختی تهیه شود.

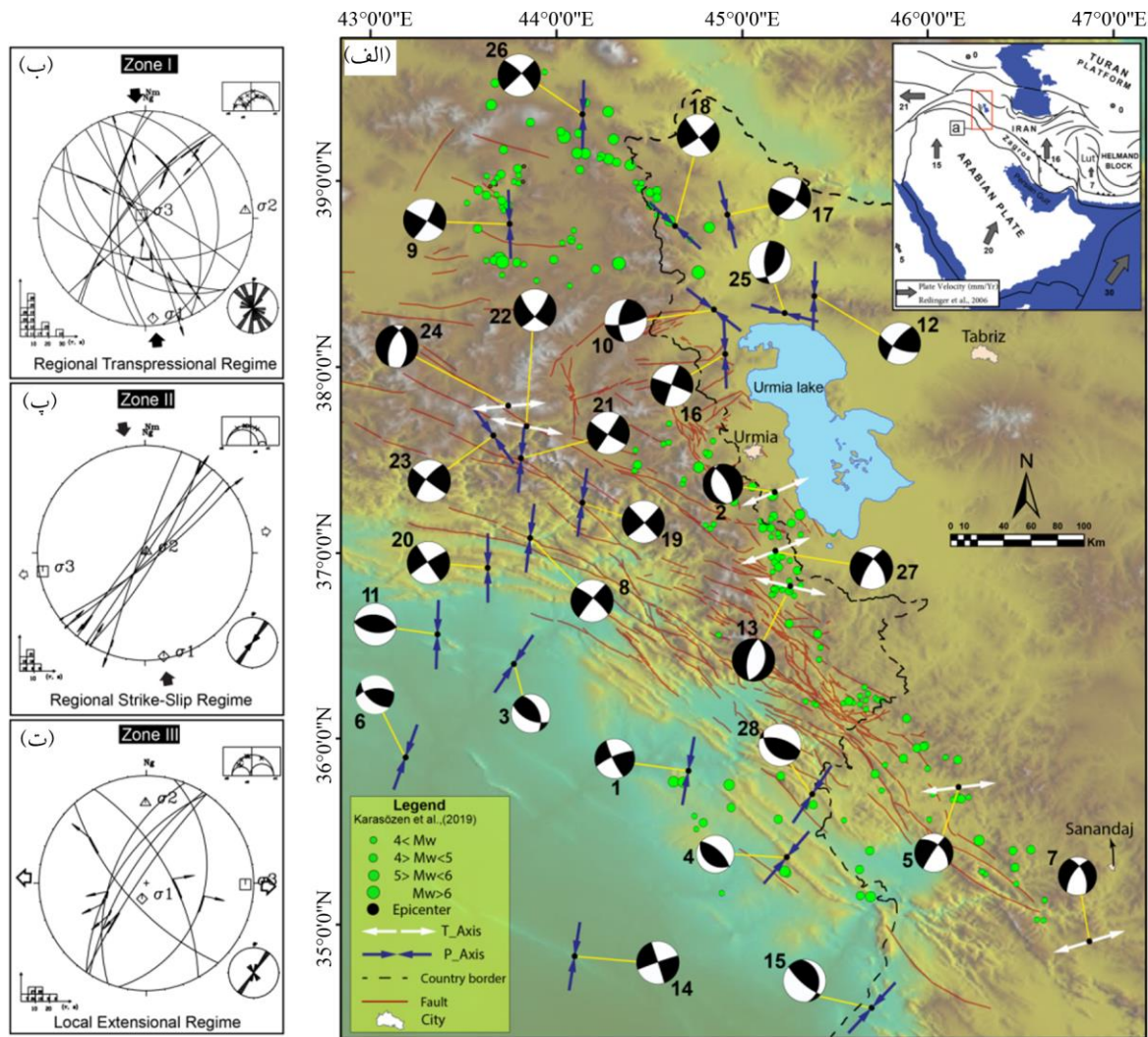
۲-۲-۲- روش‌های ریخت‌زمین‌ساختی

روندهای گسلی جوان در این بررسی با استفاده از مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی و بررسی زمین‌ریخت‌ها^{۱۲} همچون جابه‌جایی‌های ایجاد شده در مخروط‌افکنه‌ها و در عرض رودخانه‌ها، آرایش پشته‌های کرکره‌ای^{۱۳}، پرتگاه‌های گسلی، سطوح مثلثی شکل^{۱۴}، آبراهه‌های بی‌سر^{۱۵}، حوضه‌های رسوبی رهاشده^{۱۶} و غیره، شناسایی شده است. در این راستا، برای شناسایی روندهای گسلی اصلی (شکل ۲) و تعیین اینکه کدام ساختار نقش مهم‌تری در جای‌دهی دگرشکلی امروزی دارد، از مقایسه جابه‌جایی‌های کواترنری بهره برده‌ایم؛ به طوری که هرچه جابه‌جایی‌های کواترنری با سن نسبی همانند بزرگ‌تر باشد، آن گسله اصلی‌تر است و نقش مهم‌تری در جای‌دهی دگرشکلی دارد (برای نمونه به [۲۶] مراجعه شود). از سوی دیگر، پیچیدگی‌های ساختاری مانند خم‌ها، پله‌ها و جدایش‌ها در رابطه با سازوکار امروزی گسله‌های مربوط و سیماهای زمین‌ریختی [۲] و حتی فرآیندهای ماگمایی وابسته [۶، ۲۷-۲۸] تحلیل شده است و به‌عنوان کلیدی برای درک فرآیندهای سطحی در حال رویداد در حوضه‌های کششی گستره به کار رفته است. برای نمونه، تغییر از شرایط رسوب‌گذاری درون حوضه‌ای به مرحله فرو‌کاوی^{۱۷} و حفر بستر آبراهه‌ها و رودها در سازندهای آبرفتی پرکننده این حوضه‌ها، می‌تواند گویای تغییر شرایط زمین‌ساختی کشش-تراکشی به ترافشارشی-فشارشی باشد که سبب فرازش^{۱۸} زمین‌ساختی و فرو‌کاوی شده است. این تفاوت در فرآیندهای سطحی به ما اجازه می‌دهد که حوضه‌های

- روش دربرگیرنده صفحه‌های گسله زمین‌لرزه‌ای به همراه
 ۱. گسیختگی‌های سطحی هم‌زمان با زمین‌لرزه،
 ۲. اطلاعات زلزله‌شناسی مستقیم (خردلرزه‌خیزی و ابر
 زمین‌لرزه‌ای) یا غیر مستقیم (مدل‌های تحلیل گسیختگی)، یا
 ۳. معیارهای محاسباتی در فرآیند وارون‌سازی داده‌ها.
 حش لغزش و سوی برش روی آن است. گزینش صفحه گسله
 زمین‌لرزه‌ای از میان هر جفت صفحه گره، بسته به شرایط، با استناد
 به معیارهای مختلف انجام پذیر است:

جدول (۱): پارامترهای زمین‌لرزه‌های استفاده شده در فرآیند وارون‌سازی داده‌های لغزش گسله به دست آمده از سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها. همه زاویه‌ها بر اساس درجه و تاریخ زمین‌لرزه‌ها بر اساس روز، ماه و سال است. (N) شماره زمین‌لرزه‌ها است که در شکل (۳) نشان داده شده است. ستون پایانی، منبع گزارش زمین‌لرزه‌ها است: (H): [۳۰]، (ISC): [۳۱] و (JM): [۳۲].

منبع گزارش زمین‌لرزه	عمق (کیلومتر)	صفحه ۲			صفحه ۱			Mw	طول جغرافیایی (E°)	عرض جغرافیایی (N°)	تاریخ زمین‌لرزه (روز/ماه/سال)	شماره زمین‌لرزه (N)
		بردار لغزش	شیب	آزیموت	بردار لغزش	شیب	آزیموت					
H	۳۳	۱۶۳	۷۹	۱۵۴	۱۲	۷۴	۲۴۷	۶/۱	۴۴/۷۱	۳۵/۸۳	۱۹۸۰/۱۲/۱۸	۱
H	۳/۳	-۹۹	۶۴	۳۳۱	-۷۳	۲۸	۱۷۰	۵/۸	۴۵/۱۸	۳۷/۳۳	۱۹۸۱/۰۷/۲۳	۲
H	۱۵	۶۴	۵۳	۱۱۶	۱۲۱	۴۴	۳۳۵	۵/۵	۴۳/۷۷	۳۶/۴۰	۱۹۹۱/۰۷/۲۴	۳
H	۳۳	۹۲	۶۱	۳۱۲	۸۶	۲۹	۱۲۸	۵/۱	۴۵/۲۴	۳۵/۳۶	۱۹۹۹/۰۶/۱۵	۴
H	۲۵	-۴۹	۸۲	۲۱۴	-۱۶۸	۴۱	۳۱۳	۴/۸	۴۶/۱۶	۳۵/۷۴	۲۰۰۶/۰۶/۰۶	۵
H	۱۲	۵۳	۵۳	۲۶۲	۱۲۸	۵۰	۱۳۲	۵/۱	۴۳/۱۹	۳۵/۹۰	۲۰۰۹/۰۷/۱۸	۶
H	۲۱	-۴۹	۵۹	۲۱۴	-۱۳۷	۴۹	۳۳۵	۴/۸	۴۶/۸۷	۳۴/۹۱	۲۰۰۹/۱۰/۱۳	۷
H	۲۰	-۱۵	۸۴	۲۱۹	-۱۷۴	۷۵	۳۱۰	۵/۱	۴۳/۸۶	۳۷/۰۸	۲۰۱۱/۱۰/۲۷	۸
H	۱۲	۱۶۷	۸۸	۳۰۰	۲	۷۷	۳۱	۴/۶	۴۳/۷۵	۳۸/۷۷	۲۰۰۵/۰۶/۲۵	۹
H	۲۸	۱۴۱	۷۱	۷۹	۲۴	۵۴	۱۸۴	۵/۱	۴۴/۸۵	۳۸/۳۱	۲۰۱۲/۱۲/۲۳	۱۰
H	۱۲	۹۰	۴۹	۹۷	۹۰	۴۱	۲۷۷	۵/۲	۴۳/۳۶	۳۶/۵۶	۲۰۱۳/۰۳/۱۱	۱۱
H	۲۰	۳۲	۶۸	۲۱۷	۱۵۵	۶۱	۱۱۴	۴/۹	۴۵/۳۹	۳۸/۳۸	۲۰۱۳/۰۴/۱۸	۱۲
ISC	۲۷	-۹۱	۵۷	۱۹۲	-۸۸	۳۳	۱۵	۴/۷	۴۵/۲۶	۳۶/۸۲	۲۰۰۲/۱۲/۰۹	۱۳
ISC	۲۴	-۱۷۷	۸۹	۳۴۲	-۱	۸۷	۲۵۱	۴/۷	۴۴/۱۰	۳۴/۸۳	۲۰۰۳/۰۶/۱۲	۱۴
ISC	۱۰	۱۲۸	۲۲	۳۵۱	۷۶	۷۳	۱۳۱	۵/۸	۴۵/۷۰	۳۴/۵۵	۲۰۱۳/۱۱/۲۲	۱۵
ISC	۱۲	-۱۷۶	۸۶	۲۹۱	-۴	۸۶	۲۰۰	۴/۵	۴۴/۹۱	۳۸/۰۷	۲۰۰۴/۰۶/۲۴	۱۶
ISC	۲۴	۱۵۱	۸۰	۲۹۹	۱۱	۶۲	۳۴	۵	۴۴/۹۲	۳۸/۸۲	۲۰۰۳/۰۸/۱۱	۱۷
ISC	۲۱	-۱۶۹	۸۷	۱۴۳	-۳	۷۹	۵۲	۵/۱	۴۴/۶۴	۳۸/۷۶	۲۰۰۳/۱۰/۲۰	۱۸
ISC	۱۸	۱۷۲	۸۹	۳۱۷	۱	۸۲	۴۷	۵	۴۴/۱۴	۳۷/۲۷	۲۰۰۲/۱۱/۲۸	۱۹
ISC	۲۴	۲	۸۳	۲۳۷	۱۷۳	۸۸	۱۴۶	۴/۷	۴۳/۶۳	۳۶/۹۲	۲۰۰۲/۰۵/۰۳	۲۰
ISC	۲۴	-۱۷۸	۸۳	۱۲۳	-۷	۸۸	۳۳	۴/۱	۴۳/۸۱	۳۷/۵۱	۲۰۰۵/۰۶/۰۵	۲۱
ISC	۱۸	-۱۲۷	۶۷	۱۳۸	-۲۴	۶۹	۳۹	۴/۵	۴۳/۸۴	۳۷/۶۸	۲۰۰۵/۰۶/۲۵	۲۲
ISC	۴۱	۵	۷۰	۲۱۹	۱۶۰	۸۵	۱۲۷	۵/۸	۴۳/۶۶	۳۷/۶۳	۲۰۰۵/۰۶/۲۵	۲۳
ISC	۲۴	-۱۱۶	۴۱	۳۴۹	-۶۹	۵۴	۲۰۱	۴/۸	۴۳/۷۴	۳۷/۷۹	۲۰۰۵/۰۶/۲۵	۲۴
ISC	۱۵	۶۶	۶۱	۱۸۰	۱۲۶	۳۷	۴۲	۴/۷	۴۵/۲۳	۳۸/۲۹	۲۰۰۲/۰۴/۰۷	۲۵
ISC	۲۱	۱۷۹	۷۳	۳۱۵	۱۷	۸۹	۴۶	۴/۵	۴۴/۱۴	۳۹/۳۶	۲۰۰۲/۰۳/۱۴	۲۶
JM	۱۰	-۴۳	۷۰	۲۱۲	-۱۵۴	۵۰	۳۱۹	۵/۳	۴۵/۱۸	۳۷/۰۱	۱۹۷۰/۱۰/۲۵	۲۷
ISC	۱۵	۱۱۰	۳۳	۱۳۱	۷۸	۵۹	۲۸۷	۴/۴	۴۵/۳۸	۳۵/۷۰	۲۰۰۰/۰۹/۱۱	۲۸



شکل (۳): تحلیل سازوکار کانونی زمین لرزه‌ها در شمال باختر ایران و جنوب شرق آناتولی. (الف) نمایش ۲۸ سازوکار کانونی زمین لرزه‌ای با بزرگای بیش از ۴/۵ که محورهای P یا T آنها مطابق با سازوکار زمین لرزه‌ها ترسیم شده است، (ب)، (پ) و (ت) نتایج حاصل از وارون‌سازی داده‌های سازوکار کانونی زمین لرزه‌ها و تانسورهای تنش به دست آمده از این پردازش‌ها (برای توضیح به متن نگاه کنید). هر بخش شامل استریوگرام سطوح گسله‌ها و خش لغزش آنها در نیمکره پایینی اشمیت، موقعیت محورهای اصلی تنش، نمودار توزیع زاویه ناهم‌خوانی میان بردار لغزش اندازه‌گیری شده و محاسبه شده است. تانسورها، به ترتیب، از بالا به پایین نشانگر رژیم‌های تنش تراشارشی منطقه‌ای، راستالغز منطقه‌ای و کششی محلی است. رومرکز دوباره مکان‌یابی شده زمین لرزه‌های بزرگ‌تر از ۴ (برگرفته از [۳۳]) با دایره‌های سبز نشان داده شده است.

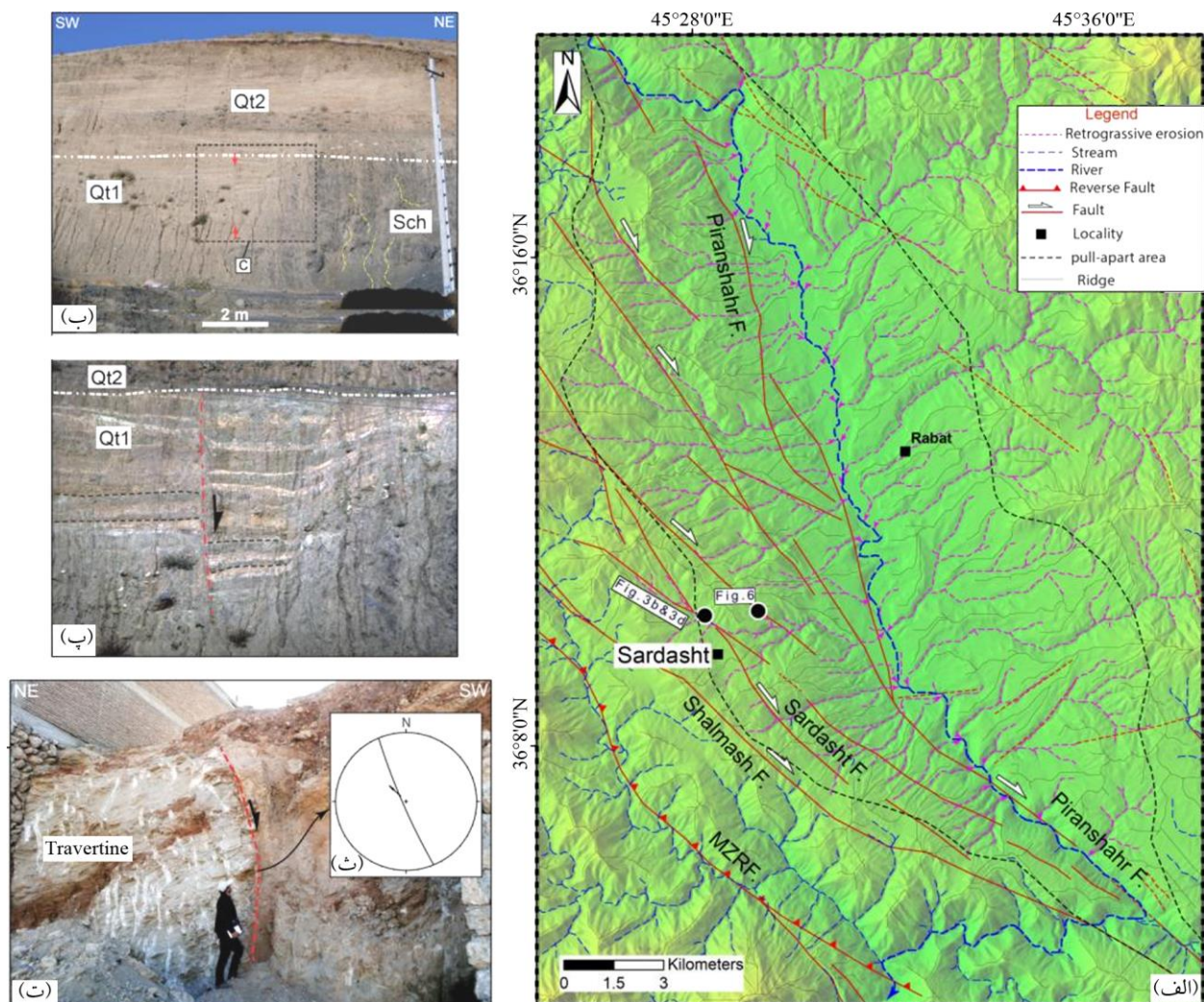
کار ارزیابی نتایج پردازش را با استناد به مجموعه معیارهای جنبشی، زمین‌شناختی و مکانیکی امکان‌پذیر می‌کند. برای آگاهی بیشتر به بخش روش شناختی شبانیان و همکاران [۲۰] و بنی آدم و همکاران [۷] نگاه کنید. پژوهش‌های گوناگون در مناطق مختلف نشان داده است که نتایج به دست آمده از وارون‌سازی داده‌های لغزش گسلی زمین لرزه‌ای با نتایج حاصل از وارون‌سازی داده‌های لغزش گسلی سطحی اندازه‌گیری شده در واحدهای پلیستوسن بالایی همخوان است [۳۶-۳۸].

در بررسی کانونی، پیش‌پردازش داده‌ها برای گزینش صفحه‌های اصلی از صفحه‌های گره، بر اساس روش دوجهی‌های عمود برهم^{۲۳} [۳۴-۳۵] انجام گرفته است. خروجی این روش تانسور کاهش یافته تنش است که موقعیت و بزرگای نسبی تنش‌های اصلی بیشینه، میانه و کمینه ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$) و نسبت تنش $R = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\sigma_3 - \sigma_1)$ را شامل می‌شود. ارائه پارامترهای دیگر مانند نمودار توزیع زاویه ناهم‌خوانی^{۲۴}، مقدار R برای هر صفحه گسله و موقعیت آن در دایره موهر سه محوره،

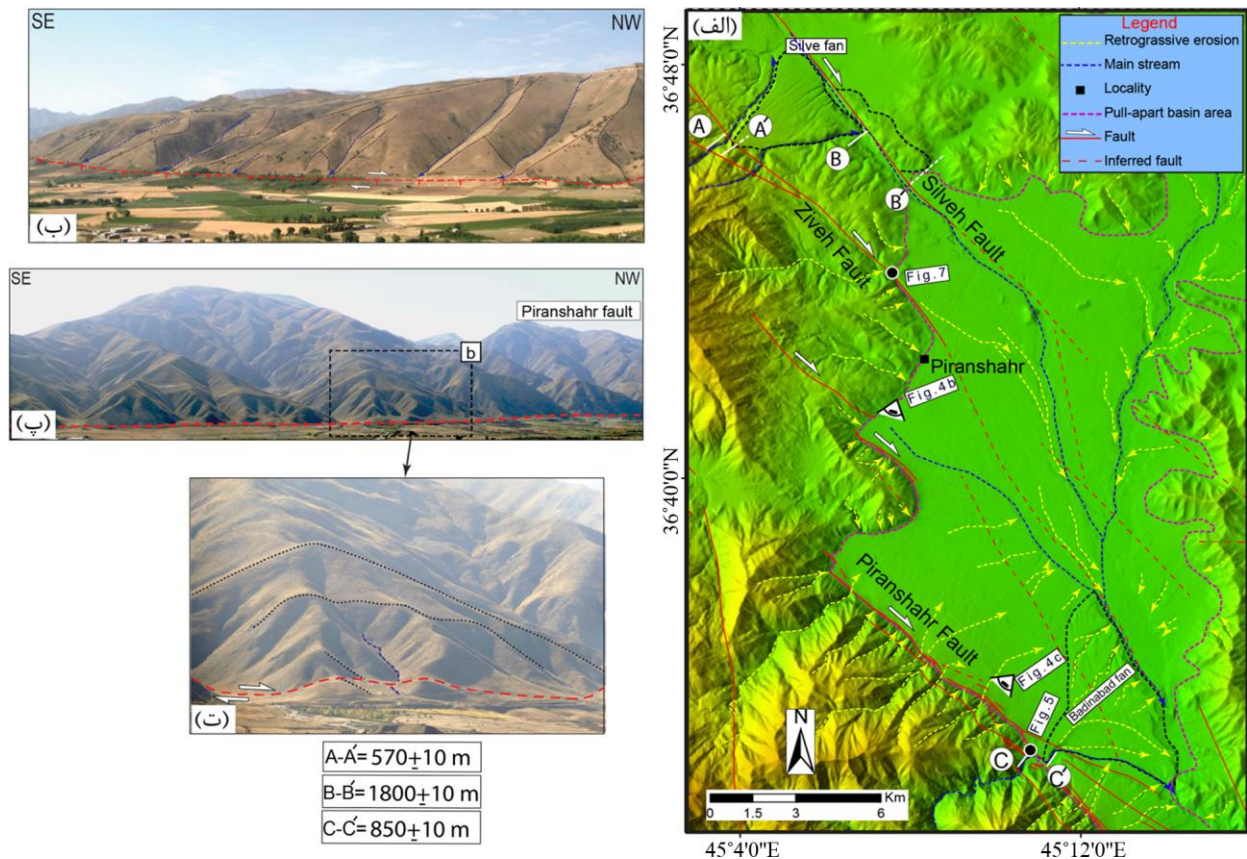
۳- داده‌ها و مشاهدات ساختاری - ریخت زمین ساختی ۳-۱- الگوی ساختاری و سازوکار امروزی گسلش در منطقه

گستره بررسی (شکل ۲)، بر پایه‌ی تنوع هندسه، الگو و سازوکار ساختارها به سه بخش جنوبی، میانی و شمالی جدا شده است که هر کدام یک قلمرو ساختاری مشخص با ویژگی‌های متفاوت از دیگری به شمار می‌رود.

۳-۱-۱- بخش جنوبی: راستای اصلی شمال باختر- جنوب خاور این بخش از گستره شامل بخش‌های جنوبی گسله‌های سردشت و پیرانشهر تا پایانه شمالی گسله پیرانشهر است و بخش متمرکز سامانه راستالغز راست بر گسله جوان زاگرس است (شکل ۲). گسله پیرانشهر با راستای شمال باختر- جنوب خاور و سازوکار تراکششی، شمال باختری‌ترین بخش شناخته شده این سامانه است (شکل‌های ۲، ۴-الف و ۵-الف). این گسله در خاور



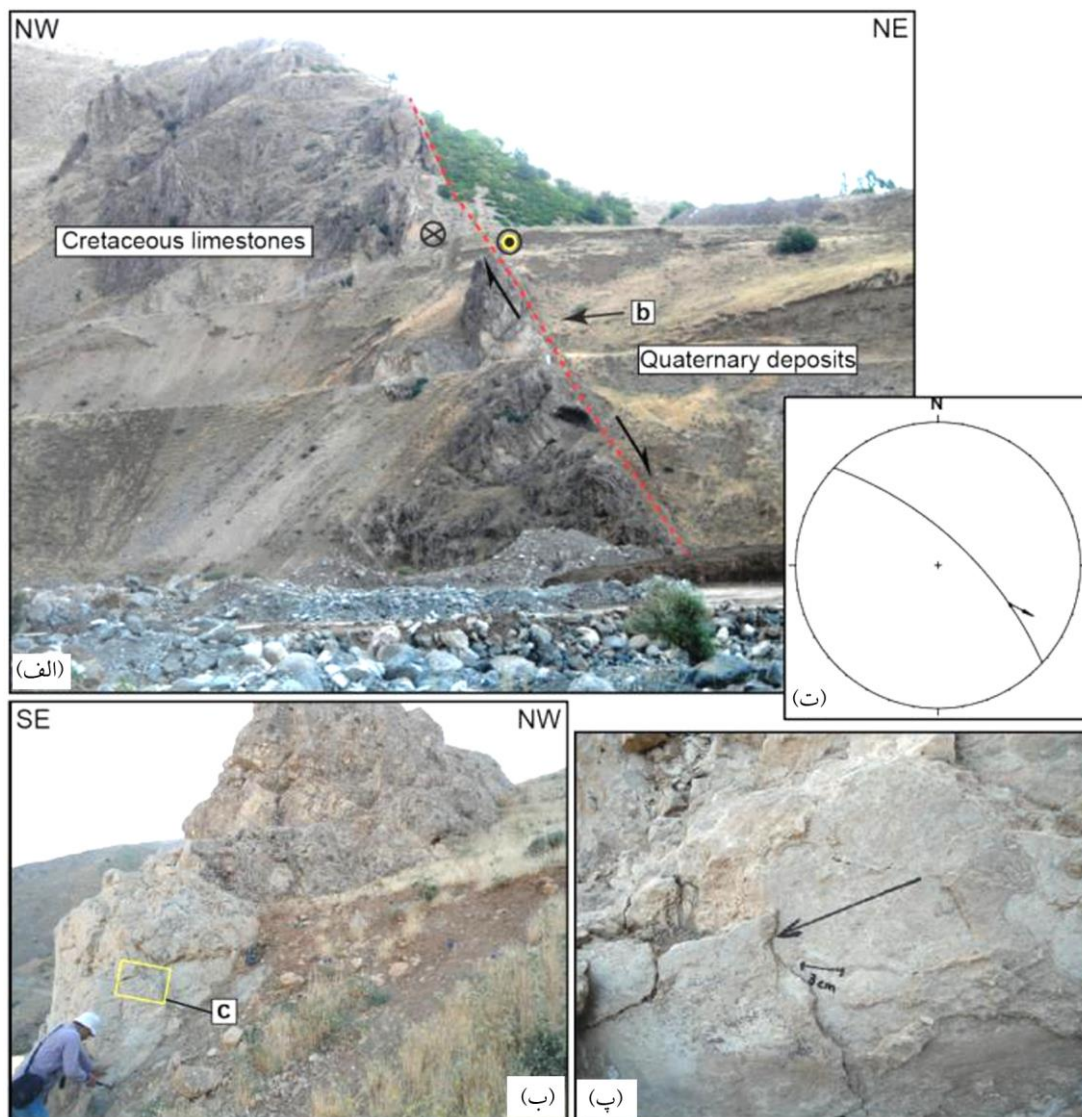
شکل (۴): نقشه ریخت زمین ساخت بخش‌های جنوب خاوری گسله پیرانشهر واقع در بخش جنوبی گستره (حوضه کششی سردشت) که بر روی مدل فرازنامی رقومی (DEM) (داده‌های Aster 30m) نشان داده شده است. مشاهدات ساختاری و ریخت زمین ساختی و الگوی نهشتگی- فروکاوای در این حوضه نشانگر از کار افتاده آن در پی تکامل ساختاری و ایجاد گسله میان‌بر در میان گسله‌های مرزی است. این فرآیند، حوضه را به مرحله فرآیش و فرسایش وارد کرده است، (ب)، (پ) اندازه‌گیری بر روی پهنه گسلی سردشت در ترانشه‌های موجود در شمال سردشت و در ابتدای مسیر سردشت به ساوان. نمونه‌ای از لغزش لایه‌های ناشی از عملکرد نرمال گسله سردشت بر روی واحدهای کواترنری Qt1 که با واحدهای جوان تر Qt2 پوشیده شده است. شیب‌سوزینی موجود در لایه‌های مزوزوییک (Sch) با خط چین زرد رنگ نشان داده شده است، (ت) گسلش راستالغز با مؤلفه نرمال گسله سردشت با شیب نزدیک به شاقولی بر روی واحدهای تراورتن پلیو- کواترنری طرف مقابل ترانشه نمایش داده شده در تصویر (ب) و (ث) تصویر استریوگرافیک صفحه گسله نمایش داده شده در تصویر (ت).



شکل (۵): (الف) نقشه ریخت‌زمین ساخت بخش‌های جنوبی (تا بخش انتهایی گسله پیرانشهر) و مرکزی (شامل چیدمان راست پله بخش شمالی گسله پیرانشهر) گستره بر روی مدل فرازنامی رقومی (Aster 30 m) شامل گسله‌های فعال (به رنگ قرمز) که به صورت راست پله با سازوکار راست‌تغز راست‌بر باعث ایجاد حوضه کششی پیرانشهر در بخش‌های شمالی گسله پیرانشهر شده است. میزان جدایش گسله زیوه بر پایه جابه‌جایی ایجاد شده در سر مخروط افکنه و میزان جدایش گسله سیلوه بر پایه جابه‌جایی رسوبات پنجه مخروط افکنه سیلوه در تصویر مشخص است. همچنین میزان جدایش گسله پیرانشهر بر پایه جابه‌جایی ایجاد شده در آبراهه بادین‌آباد مشخص شده است، (ب) نمایی از دامنه‌های مثلثی شکل ناشی از مؤلفه شاقولی گسله پیرانشهر که یک پرتگاه خطی بلند میان کوه و دشت ایجاد کرده است. این سیمای زمین‌ریختی نشان‌دهنده‌ی آهنگ فرآیند بیشتر از آهنگ فرسایش است. خط‌های آبی، آبراهه‌های بی‌سر یا جابه‌جا شده و خط‌های سیاه، ستیخ پشته‌ها را نشان می‌دهد، (پ) و (ت) پشته‌های کرکره‌ای جابه‌جا شده با گسله راست‌تغز راست‌بر پیرانشهر واقع در محدوده شمال غرب روستای بادین‌آباد.

خاوری به صورت متمرکز بوده و در ادامه به سمت شمال باختر شاخه-شاخه می‌شود (شکل‌های ۲ و ۴-الف). در یک نگاه منطقه‌ای، این گسله در جنوب خاور سردشت از پهنه اصلی گسله جوان زاگرس جدا شده، به سوی شمال پیش می‌رود. در همان محل، شاخه‌های گسلی سردشت (شکل‌های ۴ و ۷) و شلماش (با راستای شمال، شمال باختری) دو شاخه دیگر هستند که در باختر گسله پیرانشهر به سمت مرز عراق منشعب می‌شوند (شکل ۴-الف). شاخه گسلی شلماش با سازوکار راست‌تغز راست‌بر، در مرز عراق با تغییر راستا به پهنه راندگی بیتلیس (شکل ۲) می‌پیوندد.

راندگی اصلی زاگرس قرار دارد و مرز آشکاری میان کوه و دشت ایجاد کرده است. حرکات کششی راست‌بر گسله پیرانشهر (شکل ۶) در قالب جابه‌جایی‌های زمین‌ریختی در آبراهه‌های کم‌و بیش عمود بر راستای گسله، مخروط افکنه‌های جوان مانند مخروط افکنه‌ی بادین‌آباد (شکل ۵-الف) و پشته‌ها نمایان است. پشته‌های کرکره‌ای راست‌بر (شکل ۵-پ) و دره‌های جام‌شکل^{۲۵} با خروجی‌های باریک (شکل ۵-الف) و سطوح مثلثی شکل (شکل ۵-ب) میان آنها از بارزترین زمین‌ریخت‌های جوان در راستای این گسله هستند. گسله پیرانشهر (شکل‌های ۲ و ۴-الف و ۵-الف) در بخش جنوب

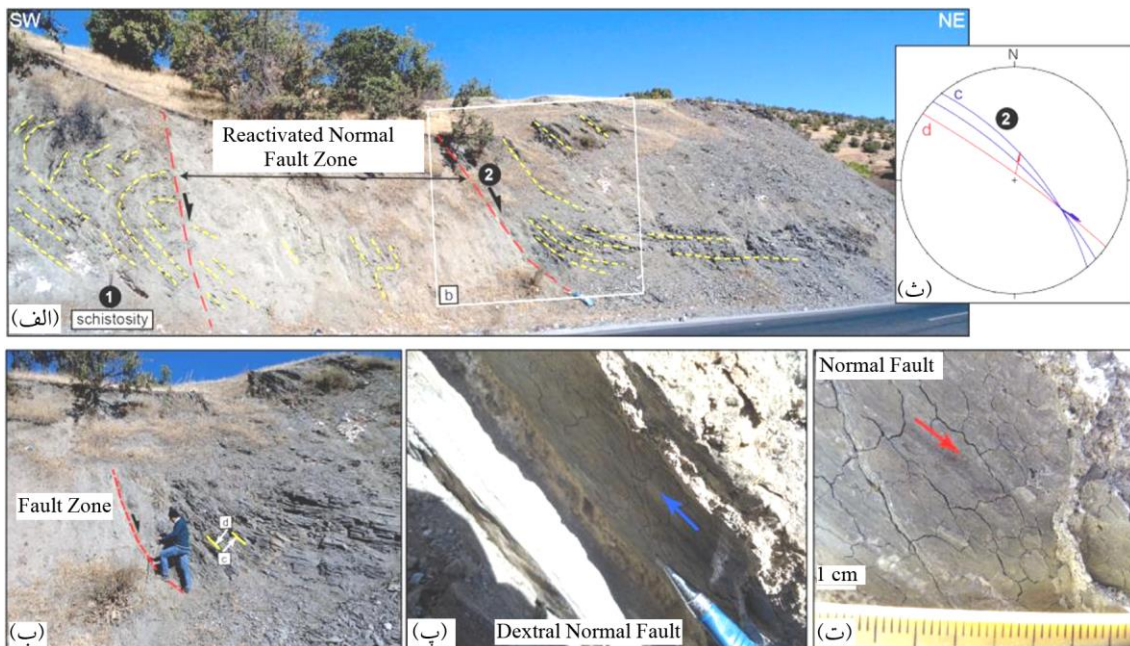


شکل (۶): (الف) نمایی از پر تگاه گسله پیرانشهر رخنمون یافته در بخش شمالی دره رودخانه بادین آباد واقع در باختر روستای بادین آباد که عملکرد جوان گسله پیرانشهر باعث اختلاف توپوگرافی واضحی میان نهشته‌های کواترنری جوان در شرق و واحد آهکی مزوزویک در غرب شده است، (ب) نمایی نزدیک از صفحه گسله پیرانشهر، (پ) نمونه‌ای از خش لغزش اندازه‌گیری شده بر روی صفحه گسله پیرانشهر؛ خط مقیاس زیر پیکان سیاه با افق هم‌خوان است و (ت) تصویر استریوگرافیک صفحه گسله پیرانشهر و خش لغزش اندازه‌گیری شده بر روی آن که دارای سازوکار راستالغز راست‌بر با مؤلفه نرمال است.

آبرفتی سیلوه، سبب جابه‌جایی پلکانی راستالغز راست‌بر آن (شکل ۵-الف) شده است. در پژوهش کنونی، برشی از گسله زیوه در روستای بن‌دره (شمال پیرانشهر) در یک آبراهه عرضی بررسی شده است. در آن محل، گسله با یک پر تگاه گسلی نرمال خطی در سطح زمین ریختی کواترنری نمایان است. اندازه‌گیری درون این پهنه گسلی کواترنری در برش آبراهه (صفحه گسله و خش لغزش‌های مکانیکی نرمال راست‌بر روی آن) سازوکار نرمال راست‌بر این گسله را نشان می‌دهد (شکل ۸).

۳-۱-۲- بخش میانی: گسلش راستالغز با آرایش پلکانی راست‌دست

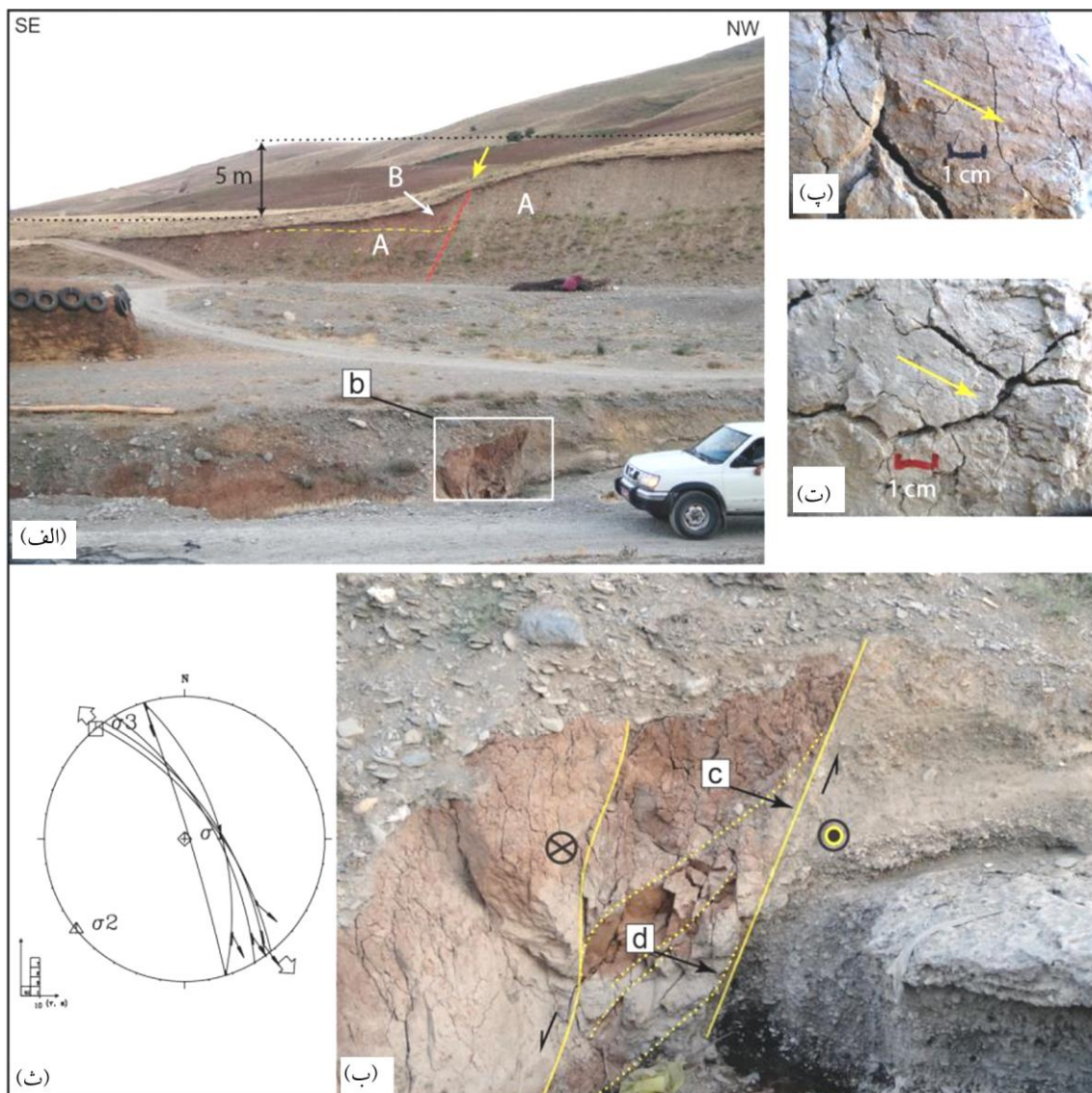
این بخش از گستره شامل ادامه شمال باختری گسله جوان زاگرس از پیرانشهر به سمت اشنویه است (شکل ۲) که در قالب تکه‌های گسلی هم‌راستا و ناهم‌ردیف همچون گسله‌های زیوه و سیلوه، با چیدمان پلکانی راست‌دست به سوی شمال باختر ادامه پیدا می‌کند (شکل ۵-الف). گسله‌های سیلوه و زیوه، به ترتیب، با بریدن نهشته‌های کواترنری در پنجه^{۲۶} و سر^{۲۷} مخروط‌افکنه



شکل (۲): (الف) اندازه‌گیری بر روی صفحه‌های گسله همراه با کشیدگی نرمال لایه‌ها (۲) در پهنه گسلی سردشت رخنمون یافته در جاده‌ی سردشت به پیرانشهر (خروجی سردشت). تورق کهن با گسله در پهنه برشی متأثر شده و تغییر هندسه داده است و با فابریک راست‌بر رونوشت شده است، (ب) نمایی نزدیک از سطح گسله سردشت به همراه خش‌لغزش‌های ایجاد شده بر روی آن، (پ)، (ت) اندازه‌گیری صفحه‌های جوان با خش‌لغزش جوان بر روی رس حاصل از هوازدگی؛ خش‌لغزش نرمال با مؤلفه راست‌بر بدون هوازدگی و کاملاً تازه و سالم صفحه‌های قدیمی و فابریک شیل‌های مزوزوئیک (۱) را بریده است. پیکان قرمز موازی با راستای خش‌لغزش‌های مکانیکی است و (ث) تصویر استریوگرافیک صفحه‌های گسله نمایش داده شده در c (با رنگ آبی) و d (با رنگ قرمز).

بخش‌های مهم گسله سیلوه و برش‌های طبیعی در عرض آن، امروزه در زیر دریاچه سد سیلوه جای گرفته‌اند طوری که در بازدیدهای میدانی، رخنمونی از گسله پیدا نشد و این گسله تنها به روش دورسنجی قابل بررسی بوده است. رو به شمال، این آرایش پلکانی راست‌دست ادامه داشته، در نواحی جلدیان و صوفیان، تکه‌های گسلی موازی و ناهم‌ردیف دیگر با سازوکار چیره راست‌بر سبب ایجاد جابه‌جایی‌های سامان‌مند در آبراه‌ها شده است و برش راست‌بر متمرکز بر تکه‌های جنوبی را به سوی شمال و در قالب تکه‌های ناهم‌ردیف کوچک‌تر، منتقل می‌کند (شکل ۲). در باختر شهر اشنویه، یک تکه گسلی بزرگ با درازای بیش از ۶۰ کیلومتر و هم‌راستا با پهنه اصلی گسله جوان زاگرس، این مجموعه گسلی ناهم‌ردیف (زیوه، سیلوه و صوفیان) را به گسله یوکسیکووا-سیمدینلی^{۲۸} (در جنوب آناطولی) منتقل می‌کند (شکل ۲). این گسله نیز که از جنوب خاوری دریاچه وان ترکیه می‌گذرد، سازوکار اصلی

راست‌الغز راست‌بر دارد. پهنه گسلی باختر اشنویه در بازدیدهای میدانی در قالب پهنه‌ای متمرکز از دگرریختی‌های سترگ به چشم می‌آید و سبب ایجاد دره‌های گسلی خطی در میان کوهستان برافراشته گسترده شده است. با این حال، ما در بازدیدهای میدانی به دلیل قرارگیری بخش ایرانی این گسله در ناحیه مرزی حساس موفق به بررسی مستقیم آن نشدیم. شمالی‌ترین تکه گسلی موازی با راستای اصلی گسله جوان زاگرس، از چند کیلومتری شمال شهر اشنویه آغاز شده و با زاویه اندکی نسبت به گسله باختر اشنویه، در جنوب دریاچه وان به گسله یوکسیکووا-سیمدینلی می‌پیوندد (شکل ۲). این گسله راست‌بر انتهایی‌ترین تکه از سامانه گسلی اصلی است که برش راست‌بر میان ایران و عربستان را به بیرون از مرز ایران و به جنوب فلات آناطولی منتقل می‌کند. از این پس و رو به شمال، وارد مجموعه ساختاری متفاوتی می‌شویم که بخش شمالی گستره بررسی را می‌سازد.



شکل (۸): (الف) نمایی از پرتگاه گسله زیوه در روستای بن دره در شمال پیرانشهر که نشان دهنده‌ی پایین افتادگی بیش از ۵ متر در اثر مؤلفه شمال گسله شده است. نهشته‌های آبرفتی A با واحد واریزه‌ای B پوشیده می‌شود، (ب) صفحه گسلی زیوه و لزه‌های گسلی مرتبط با CS فابریک رخنمون یافته در دیواره چپ کانال آبراهه در نهشته‌های آبرفتی کواترنری جوان که با شن و ماسه دستی پوشیده شده است، (پ)، (ت) اندازه‌گیری خش لغزش‌های جوان گسله نکاشته شده بر روی واحد رسی. جهت پیکان موازی خش لغزش‌های مکانیکی است و (ث) تصویر استریوگرافیک صفحه‌های گسلی نمایش داده شده در b (با رنگ زرد).

درباره زمین ساخت شمال باختر ایران انجام داده‌اند، اشاره کوتاهی به این گسله شده است. این گسله در پژوهش کنونی به طور کامل به نقشه درآمده و نقاط مختلفی در راستای آن بازدید و اندازه‌گیری شده است. این گسله در تصور معمول یک تکه گسلی پیوسته شمال با راستای عمومی نزدیک به شمالی-جنوبی در نظر گرفته می‌شود. اما بررسی‌های دفتری و میدانی ما نشان می‌دهد که پهنه گسلی سرو یک مجموعه ساختاری پیچیده و

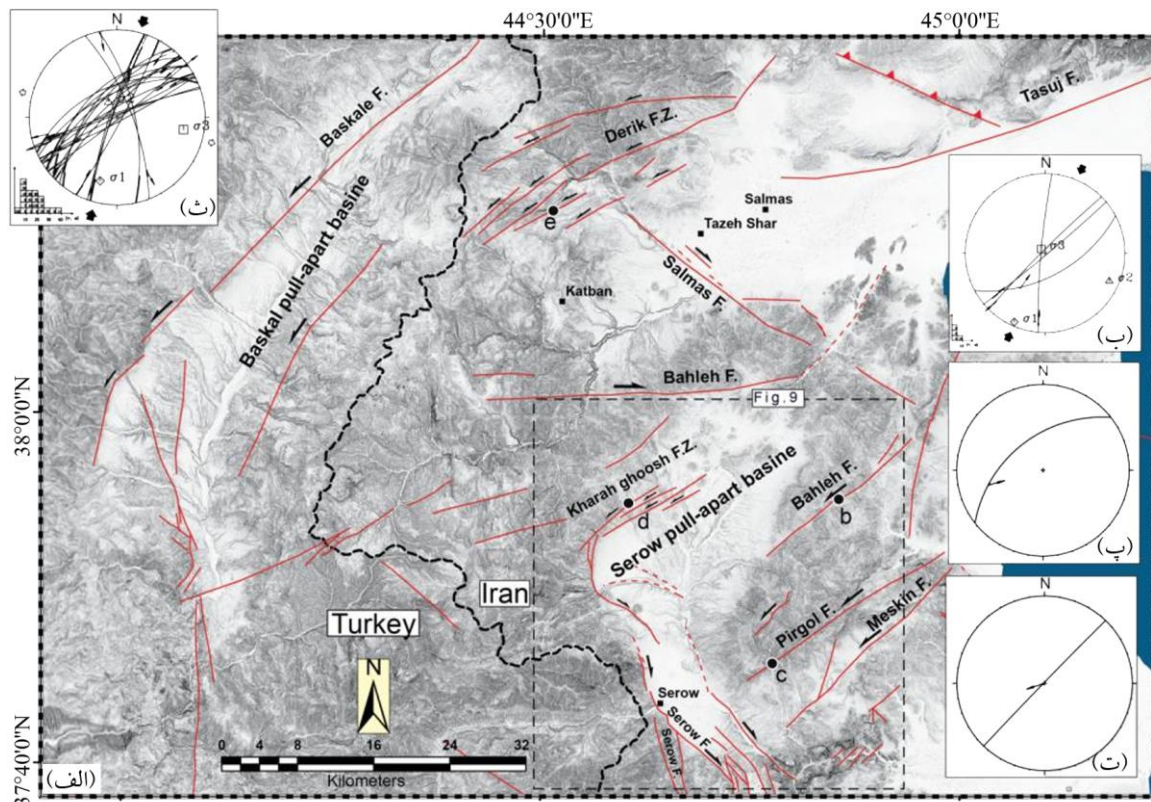
۳-۱-۳- بخش شمالی: الگوی متقاطع گسله‌های راست‌بر، کششی و چپ‌بر

این بخش از نواحی جنوبی سیلوانا آغاز شده و تا شمال شهر سلماس ادامه می‌یابد (شکل‌های ۲ و ۹). گسله سرو، اصلی‌ترین گسله در این بخش است که با راستای عمومی شمال، شمال باختری، مرز خاوری فلات آناتولی را با بلوک شمال باختر ایران تعیین می‌کند. در بررسی ناحیه‌ای که کوپلی و جکسون [۱۳]

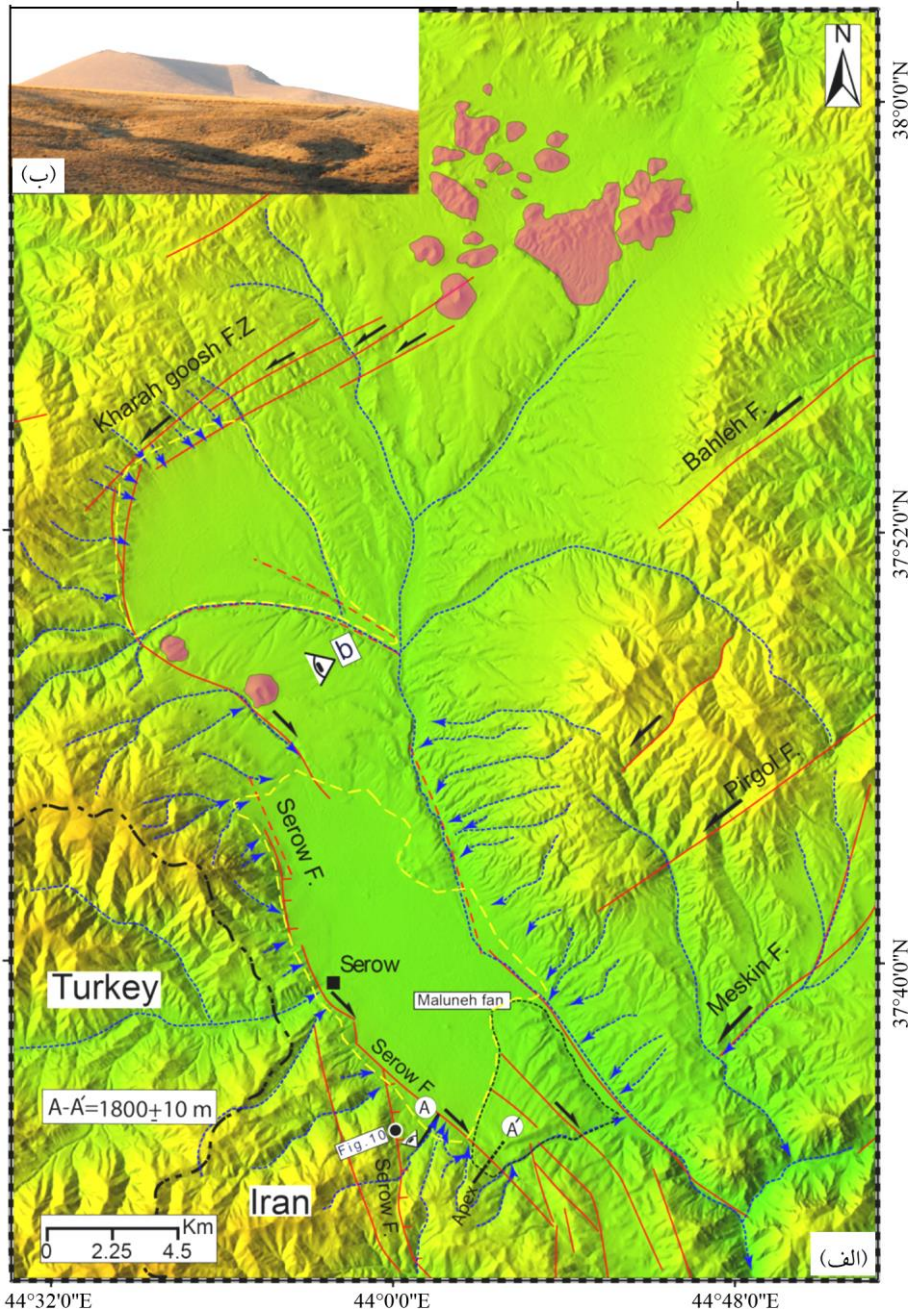
آن بسته به راستای گسله از چپ‌تر تا راست‌تر متغیر است (شکل ۱۱). در این رابطه، گسله‌های با آزیموت ۱۴۵ تا ۱۶۰ درجه، سازوکار راستالغز راست‌تر با مؤلفه نرمال دارند که نمونه‌ای از جابه‌جایی آنها را در مخروط افکنه ملونه می‌توان دید (شکل ۱۰). در جاهایی که راستای گسله نزدیک به شمالی-جنوبی (آزیموت ۱۶۰ تا ۱۷۰ درجه) می‌شود، سازوکار آن به کششی محض تبدیل شده و با تغییر راستا به آزیموت ۱۹۰ تا ۲۰۰ درجه، مؤلفه راستالغز چپ‌تر بر روی صفحه‌های گسلی نرمال نمایان می‌شود (شکل ۱۱).

گسله سرو در ۲۰ کیلومتری شمال شهر سرو با تکه‌هایی از یک سامانه‌ی گسلی شمال خاوری (راستای ۰۵۰) (شکل‌های ۹ و ۱۰) بریده می‌شود. این سامانه گسلی از دست کم ۱۵ گسله یا پهنه گسلی کم‌ویش موازی ساخته شده است که گستره‌ای به طول ۷۰ و به عرض ۷۰ کیلومتر را در شمال باختر ایران و خاور آناتولی متأثر کرده است (شکل ۹).

مرکب است که از گسله‌های کششی نزدیک به شمالی-جنوبی و گسله‌های راستالغز موازی گسله جوان زاگرس (روند عمومی زاگرس) ساخته شده است. رابطه ساختاری میان این دو دسته گسله با یکدیگر نکته جالب و قابل تأملی است. طوری که گسله‌های شمالی-جنوبی با تکه‌های گسلی راستالغز هم‌روند زاگرس جابه‌جا نمی‌شوند؛ بلکه برعکس، مجموعه گسله‌های شمالی-جنوبی که با آرایش پلکانی چپ‌دست قرار دارند، با گسله‌های راست‌تر به هم مرتبط شده‌اند. با در نظر گرفتن این آرایش و الگوی ساختاری، پهنه گسلی سرو از ۱۵ کیلومتری جنوب روستای سیلوانه در جنوب، تا شمال شهر سرو ادامه دارد و یک پهنه گسلی مرکب را با درازای بیش از ۷۰ کیلومتر می‌سازد (شکل‌های ۹ و ۱۰). اندازه‌گیری‌های ساختاری-جنبشی ما در این پهنه گسلی نشان می‌دهد که با وجود سازوکار چیره کششی مجموعه گسله‌های شمالی-جنوبی، سازوکار مؤلفه فرعی راستالغز



شکل ۹: (الف) نقشه ساده شده گسله‌های پایانه شمال باختری سامانه گسلی راست‌تر در برخورد با گسله‌های چپ‌تر شمال خاور-جنوب باختر که بر روی نقشه شیب برگرفته از داده‌های فرازنمای رقومی استر با قدرت جداسازی ۳۰ متر پیاده شده است. موقعیت حوضه‌های کششی سرو و بسکل در شکل مشخص شده است. تصویر استریوگرافیک گسله‌ها و خش لغزش‌های برداشت شده در پهنه گسله‌های چپ‌تر (ب) بهله، (پ) پیرگل، (ت) خره‌گوش و (ث) دریک، موقعیت محورهای اصلی تنش و نمودار توزیع زاویه ناهم‌خوانی لغزش برای ایستگاه‌های (ت) بهله و (ث) در یک نشان داده شده است.



شکل (۱۰): (الف) نقشه ریخت زمین ساخت بخش های پایانی MRF بر روی مدل فرازنمای رقومی (Aster 30 m). حوضه کششی فعال سرو در اثر اندرکنش سامانه های گسلی متقاطع در بخش های پایانی MRF شامل گسله های سرو، پهنه گسلی خره گوش، بهله، پیرگل و مسکین ایجاد شده است. جابه جایی مخروط افکنه ملونه که در بخش جنوبی گسله سرو با روند شمال باختر - جنوب خاور به صورت راست بر بریده شده است. گنبد های آتش فشانی کواترنری که درون پوسته کشیده شده حوضه سرو رخنه کرده اند در بخش های بالایی تصویر با رنگ قرمز روشن مشخص شده است و (ب) دورنمایی از یک گنبد آتش فشانی جوان در مسیر سرو به هشتیان که واحدهای جوان آبرفتی را بریده است. بخش های جوان تر حوضه با منحنی زرد مشخص شده است.

پیرگل و مسکین در مرز واحدهای پرکامبرین قرار دارند، اما فعالیت جوان راستالغز چپ بر آنها در قالب جابه جایی های سامان مند در زمین ریخت های کواترنری (سامانه زهکشی و سطوح زمین ریختی^{۲۹}) دیده می شود (شکل ۹). این سامانه های

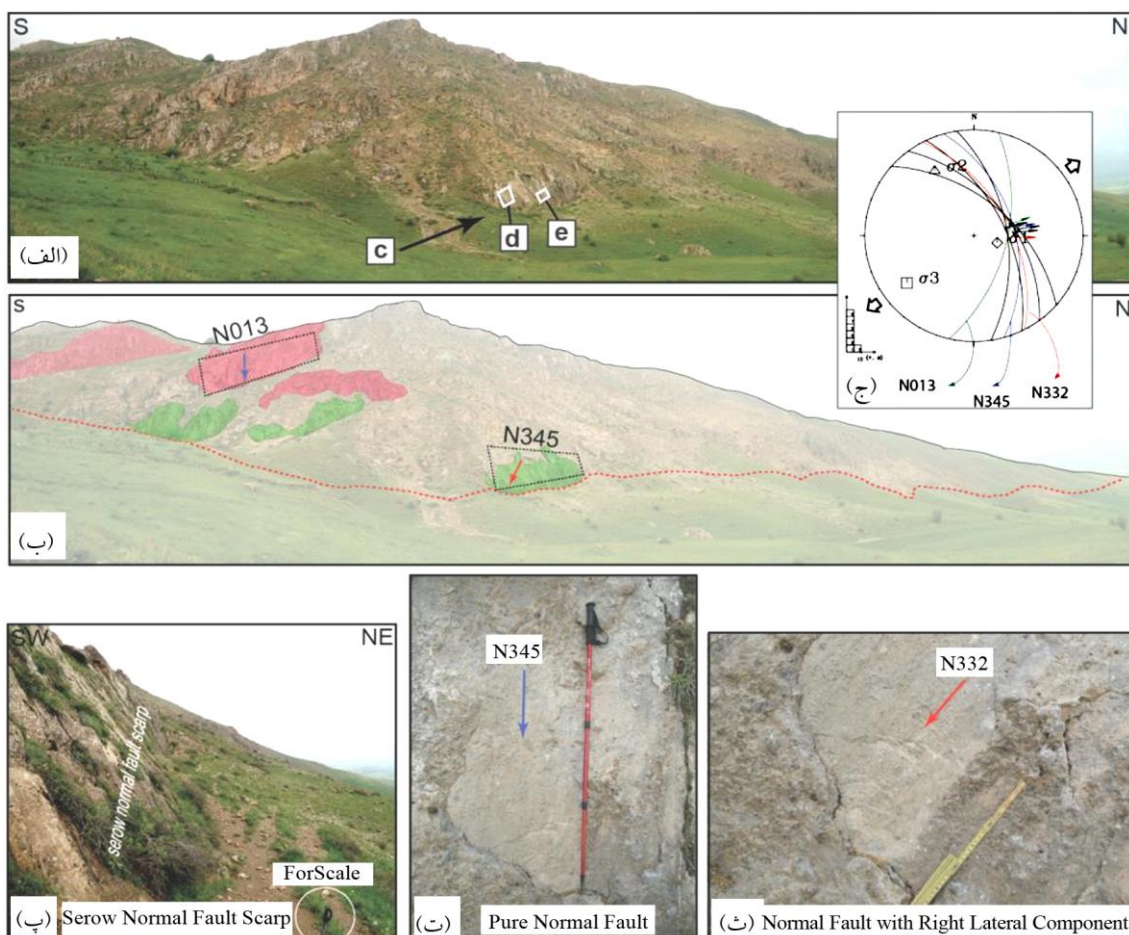
از مجموعه گسله های این سامانه به گسله های بهله، پیرگل و مسکین، پهنه گسلی خره گوش و گسله های دریک (در شمال باختر گسله سلماس) و بسکل (در جنوب شرقی ترکیه) می توان اشاره کرد (شکل های ۹ و ۱۰). برخی از آنها مانند گسله بهله،

شد. پس از جداسازی داده‌ها به دسته‌های همگن، هر دسته داده به‌طور جداگانه و به روش وارون‌سازی پردازش شد و تانسورهای کاهش‌یافته تنش به دست آمد (برای آگاهی بیشتر به بخش روش‌های به کار رفته در مطالعه بازگردید). پس از ترسیم هر یک از سازوکارهای کانونی، محور فشردگی (P) برای زمین‌لرزه‌های با سازوکار فشاری و راستالغز و محور کشیدگی (T) برای زمین‌لرزه‌های با سازوکار کششی ترسیم شد (شکل ۳- الف). این اطلاعات برای پهنه‌بندی اولیه گستره به زیرپهنه‌های همگن به کار رفته است. وضعیت تنش در گستره بررسی بر پایه نتایج این تحلیل به سه رژیم متفاوت تقسیم می‌شود.

گسلی با راستای شمال‌خاور- جنوب‌باختر بر سر راه گسله شمالی- جنوبی سرو قرار گرفته و به‌طور مشخص آن را بریده، به آن پایان می‌دهد (شکل‌های ۹ و ۱۰). به این ترتیب، آخرین شاخه‌های گسلی وابسته به سامانه ساختاری گسله جوان زاگرس با این سامانه چپ‌بر بریده شده و رو به شمال ادامه نمی‌یابد.

۲-۳- وضعیت تنش امروزی و آشفته‌گی‌های محلی در پهنه‌های واگذاری گسلی^{۳۰}

تعداد ۲۸ زمین‌لرزه دوباره جایابی شده^{۳۱} [۳۳] با بزرگای بیش از ۴/۵ (جدول ۱ و شکل ۳) برای تعیین وضعیت تنش امروزی در شمال باختر ایران به روش وارون‌سازی برگزیده



شکل (۱۱): اندازه‌گیری هندسه و سازوکار بخشی از گسله سرو در جنوب سرو در باختر روستای گل‌شیخان بر روی سنگ‌آهک و دولومیت‌های پرمین بالایی سازند روتنه (Pr). (الف)، (ب) نمایی نزدیک از صفحه‌های گسلی نرمال سرو که مقدار و سازوکار مؤلفه راستالغز آنها با تغییر راستای صفحه گسله (به‌عنوان مثال از N345 به N005) تغییر می‌کند، (پ) نمایی از پرتگاه نرمال گسله سرو، (ت)، (ث) نمونه‌ای از خش‌لغزش‌های اندازه‌گیری شده بر روی گسله سرو با سوی لغزش نشان داده شده با پیکان‌ها و (ج) تصویر استریوگرافیک صفحه‌های اصلی برداشت شده و تغییر سازوکار آنها هم‌خوان با تغییر راستا؛ موقعیت فضایی محورهای اصلی تنش و زاویه ناهم‌خوانی میان مدل تنش و داده‌ها در سمت چپ آورده شده است.

جدول (۲): تانسورهای تنش به دست آمده از روش وارون سازی داده های لغزش گسله سازوکارهای کانونی زمین لرزه ها.

Rm	N	R	σ_3		σ_2		σ_1		زون
			Pl.	Tr.	Pl.	Tr.	Pl.	Tr.	
TP	۱۴	۰/۶۸۸	۸۴	۳۱۰	۰۴	۸۶	۰۴	۱۷۴	زون I
SS	۶	۰/۲۰۳	۰۲	۲۶۰	۸۸	۴۶	۰۱	۱۷۰	زون II
T	۷	۰/۵۶۸	۰۵	۰۹۱	۱۶	۳۵۹	۷۳	۱۹۶	زون III

نتایج وارون سازی شامل پارامترهای تانسور تنش انحرافی (محور $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) همراه با روند (Tr) و میل (Pl) هر محور است که بر اساس روش وارون سازی کاری [۳۹] تعیین شده است. R، شکل میدان تنش، (N) شمار صفحه های گسله زمین لرزه ای استفاده شده برای حل هر تانسور تنش و (Rm) نشان دهنده ی رژیم های تنش ترا فشاری (TP)، راستالغز (SS) و کششی (T) است. توجه کنید که مقدار $R = 0/203$ به طور معمول نشانگر یک رژیم تراکششی است؛ اما این مقدار عددی با ماهیت گسله های راستالغز محض پردازش شده در شکل (۳) همخوانی چندانی ندارد و بیشتر ناشی از کم بودن تعداد داده برای تعیین یک تانسور تنش با کیفیت بالا است. در چنین موردی، آرایش آندرسونی تنش و نوع گسلش، قابل استنادتر از اعداد خروجی از نرم افزار است.

۳-۲-۱- رژیم تنش ترا فشاری منطقه ای

توضیح نیست.

۳-۲-۳- رژیم تنش کششی محلی

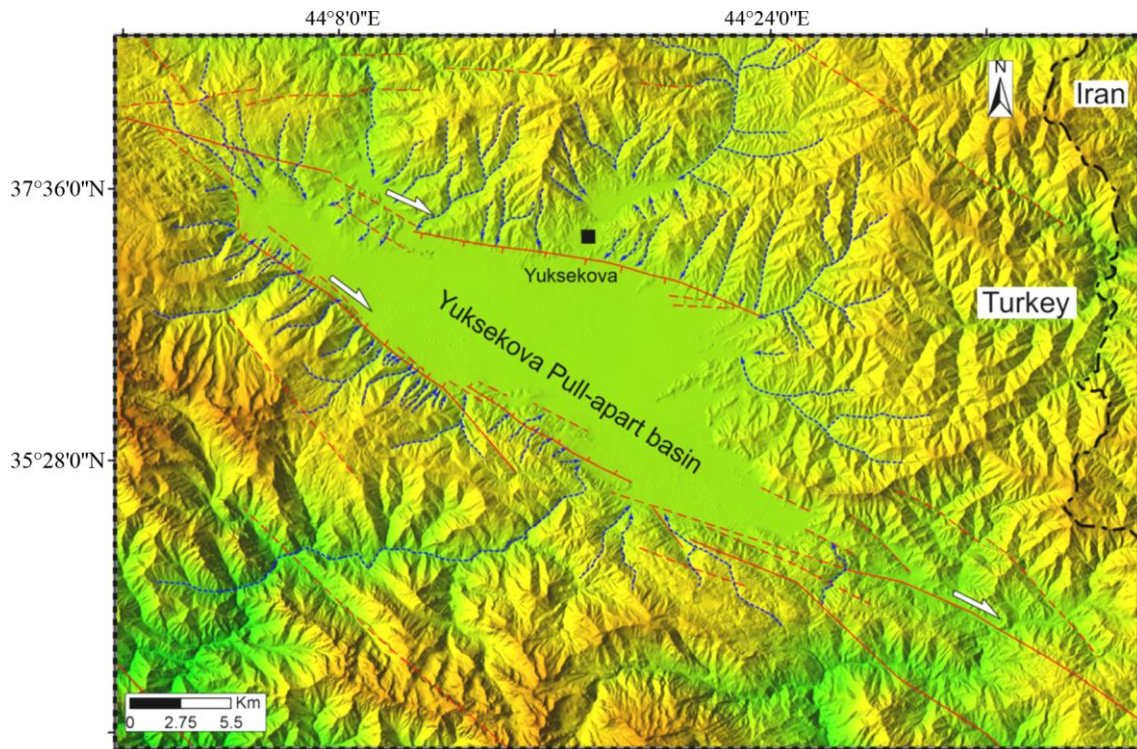
سومین دسته داده ها دربر گیرنده هفت سازوکار کانونی کششی است که با توجه به شکل (۳-الف) پیرامون حوضه های کششی رخ داده اند. نتیجه پردازش این داده ها به روش وارون سازی یک تانسور تنش کاهش یافته است که گویای برقراری رژیم تنش محلی کششی محض با روند محور تنش اصلی کمینه افقی شرقی- غربی است (شکل ۳-ت). نکته جالب اینکه داده های به کار رفته در این پردازش از نظر مکانی پراکنده اند، اما در جایگاه های ساختاری همانندی قرار دارند. این زمین لرزه های کششی در پیرامون حوضه های کششی میروان (دریاچه زریبار)، پیرانشهر و بسکل (در ترکیه) رخ داده اند (شکل ۳-الف). این الگوی فضایی و یکدستی سازوکاری زمین لرزه های رخ داده نشانگر رژیم های تنش محلی کششی محضی است که در اثر تغییرات محلی در راستای سامانه راستالغز گسله جوان زاگرس (فعال در رژیم منطقه ای ترا فشاری) ایجاد شده است. در همه این موارد، گسله ها آرایش پلکانی راست دست دارند که حوضه های کششی فعال در میان آنها ایجاد شده است. در واقع این رژیم های تنش کششی محلی مسبب دگرریختی های کششی محض هستند که در پهنه های واگذاری گسلی در حال رویداد هستند.

۳-۲-۲- رژیم تنش ترا فشاری منطقه ای

وارون سازی داده های حاصل از ۱۳ سازوکار کانونی نشانگر برقراری یک رژیم تنش ترا فشاری در بخش بزرگی از گستره است (شکل ۳-الف). روند محور تنش بیشینه افقی این تانسور تنش کاهش یافته نزدیک به شمالی- جنوبی (۱۷۶ درجه) است (شکل ۳-ب و جدول ۲). پراکنندگی مکانی سازوکارهای کانونی پردازش شده در این دسته داده، نشانگر ماهیت منطقه ای این وضعیت تنش است. گسله های راستالغز چپ بر و راست بر فشاری با راستاهای مختلف در این رژیم تنش فعالند.

۳-۲-۳- رژیم تنش راستالغز ناحیه ای

در میان کل داده های لغزش گسلی پردازش شده، هشت سازوکار کانونی راستالغز محض با رژیم ترا فشاری حل شده قابل توضیح نیستند. این زمین لرزه ها بیشتر در بخش شمالی گستره رخ داده اند (شکل ۳-الف) و با توجه به تانسور تنش حل شده، نشانگر گسلش های راستالغز چپ بر روی صفحه های شمال خاور- جنوب باختری هستند که با محور فشارش بیشینه شمالی- جنوبی، همانند رژیم تنش ترا فشاری، همخوان اند (شکل ۳-پ و جدول ۲). اما این دسته داده ها به هیچ روی با آرایش آندرسونی فشاری حل شده در رژیم ترا فشاری قابل جمع نیستند. به این معنی که در ناحیه شمالی گستره یک رژیم تنش مستقل راستالغز برقرار است که با رژیم تنش



شکل (۱۳): نقشه ریخت زمین ساخت حوضه کششی فعال یوکسی کوا که نشان دهنده‌ی محدود شدن حوضه با گسله‌های راست‌الغز راست بر است که در اثر عملکرد گسله یوکسی کوا- سیمدینلی، حوضه‌های زهکشی پیرامون بار رسوبی خود را درون حوضه می‌ریزند.

گذار از حوضه‌های غیرفعال جنوبی به فعال شمالی را در حوضه پیرانشهر، در انتهای شمالی گسله پیرانشهر (شکل‌های ۵-الف و ۱۲)، می‌توان دید. در این حوضه، شاخه‌های جوانی از گسله اصلی به درون حوضه رشد کرده و دو تکه گسلی زیوه در شمال و پیرانشهر را در جنوب به هم پیوند داده است. با توجه به ژرفای کم فروکاوی در نهشته‌های جوان حوضه و سن نسبی یکسان و نبود اختلاف فراز در سرزمین‌های دو سوی گسله میان‌بر نوپدید، می‌توان چنین برداشت کرد که حوضه کششی پیرانشهر در حال ورود به مرحله تکامل و از کارافتادگی رسوبیت ساختاری باشد (شکل ۵-الف).

۴- بحث

در این پژوهش، بازنگری و تکمیل نقشه گسله‌های پلیوسن-کواترنری به شناسایی مجموعه تازه‌ای از گسله‌های جوان در سطوح و نهشته‌های کواترنری و نیز گسله‌های بازفعال شده در واحدهای سنگی پیش از پلیوسن-کواترنری در گستره میان

مشاهدات ریخت زمین ساختی ما نشان می‌دهد که، از پیرانشهر به سوی شمال باختر گستره، شدت فروکاوی و فرسایش در این حوضه‌ها کم‌تر و بر این اساس، نهشته‌های سطحی آنها جوان‌تر می‌شود.

۳-۲- حوضه‌های رسوبی کششی تکامل یافته و از کار افتاده ۳

از دیدگاه ریخت زمین ساختی، حوضه‌های کششی درگیر فروکاوی، یا در آخرین مرحله‌های تکامل هستند یا از کار افتاده‌اند (برای توضیح بیشتر به مقدمه و بخش روش‌های به کار رفته در مطالعه بازگردید). این نوع از حوضه‌های رسوبی کهن‌تر و متکامل‌تر هستند و دیگر رسوب گذاری فعالی درون آنها صورت نمی‌پذیرد. حوضه‌های کششی لون-گازرسانی در شمال کامیاران (در خارج از گستره بررسی)، سیاناو در باختر مریوان (شکل ۲) و حوضه سردشت در بخش جنوبی گسله پیرانشهر از این دسته هستند (شکل ۴) که به دلیل به هم پیوستن گسله‌های مرزی با گسله میان‌بر و نیز پیشرفت شاخه‌های گسلی راست‌الغز به بیرون از مرزی‌های حوضه، غیرفعال شده‌اند. در این میان، مرحله

کشتی هستند (شکل‌های ۲، ۴ و ۵). دسته دیگری از حوضه‌های کشتی که بیشتر در بخش‌های شمالی گستره دیده می‌شوند، هندسه پیچیده‌تر و ابعاد بزرگ‌تری نسبت به دسته نخست دارند. این گروه در پی برهم کنش^{۳۴} ساختاری و جنبشی میان گسله‌های مربوط به سه پهنه گسلی متقاطع با راستا و سازوکار متفاوت ایجاد شده‌اند. در همه موارد، مرز جنوبی این حوضه‌ها با گسله‌های راست‌بر موازی گسله جوان زاگرس، مرز باختری یا در برخی موارد خاوری آنها با گسله‌های شمالی-جنوبی (موازی گسله سرو و با سازوکار چیره نرمال) و مرز شمالی آنها با گسله‌های راست‌الغز چپ‌بر با راستای شمال خاور-جنوب باختری نظیر گسله‌های بهله، پیرگل، مسکین، پهنه گسلی دریک، پهنه گسلی خره‌گوش و گسله بسکل محدود می‌شود (شکل‌های ۲، ۹ و ۱۲). در واقع، کشتی محض عمود بر گسله‌های شمالی-جنوبی در قالب حرکات راست‌الغز راست‌بر و چپ‌بر بر روی گسله‌های کناری حوضه‌ها جای داده می‌شود. از جمله حوضه‌های کشتی این گروه به حوضه کشتی سرو در محدوده گسله سرو (شکل ۱۰) و حوضه‌های کشتی بسکل و یوکیکووا در جنوب باختر دریاچه وان ترکیه (که خود یک حوضه راست‌الغز است) در محدوده گسله یوکیکووا-سیمدلی می‌توان اشاره کرد (شکل‌های ۲، ۹، ۱۲ و ۱۳). از سوی دیگر، مخروط‌ها و گنبدهای آتش‌فشانی کواترنری که در بررسی تصویرهای ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی در بخش‌های شمالی گستره دیده می‌شوند، به‌طور اصلی، باید در حوضه‌های کشتی با گسترش ناحیه‌ای ایجاد شده باشند. بررسی‌های انجام شده دلیل این آتش‌فشانی کالک آلکالن را کشتی ناحیه‌ای در مقیاس لیتوسفری می‌دانند (برای نمونه [۴۰-۴۱]). این گونه از آتش‌فشانی در حوضه‌های کشتی در پی نازک‌شدگی پوسته در بالای یک لیتوسفر نازک‌شده (پس از لایه‌برداری از لیتوسفر قاره‌ای یا شکست لبه ورقه اقیانوسی فرورونده) رخ می‌دهد، (برای نمونه [۶]). بروز این پدیده در حوضه‌های شمالی گستره (آتش‌فشانی کالک آلکالن در پهنه گسلی خره‌گوش و شرق گسله سرو) در پی گسلش نرمال با روند شمالی-جنوبی می‌تواند

پیرانشهر و خوی منجر شده است. کنترل روندهای اصلی گسلی و تعیین سازوکار بخش‌های کلیدی، با استناد به مشاهدات ریخت‌زمین‌ساختی و اندازه‌گیری‌های ساختاری میدانی انجام شده است. تحلیل این مشاهدات و داده‌ها به ما اجازه داده است تا الگوی ساختاری گستره، تغییر و پیچیدگی‌های ساختاری محلی و سیمایا و زمین‌ریخت‌های مرتبط با آنها را تعیین و توصیف کنیم. وارون‌سازی داده‌های لغزش گسلی حاصل از سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های متوسط تا بزرگ روی داده در گستره نیز به تعیین وضعیت تنش فعال در بخش‌های گوناگون گستره و رژیم‌های تنش محلی ناشی از پیچیدگی‌های ساختاری کمک کرده است. دسته‌بندی حوضه‌های کشتی مرتبط با سامانه‌های گسلی شناسایی شده، که بر پایه تعادل میان فرسایش و نهشتگی انجام شده است، این امکان را فراهم کرده است تا با شناسایی حوضه‌های کشتی فعال و از کار افتاده، الگوی عمومی گسترش ساختاری را بررسی کنیم. در این بخش با کنار هم گذاشتن این مجموعه مشاهدات و نتایج، به بحث پیرامون جنبه‌های مختلف گسلش فعال در ادامه شمال باختری سامانه گسله جوان زاگرس خواهیم پرداخت.

۴-۱- کشتی مرتبط با سامانه گسله جوان زاگرس

در این بررسی، انواع متفاوتی از حوضه‌های کشتی از نظر شکل و اندازه، و نیز چگونگی تشکیل و تکامل آنها در گستره شناسایی و دسته‌بندی شد. یک دسته از این حوضه‌ها به‌طور مستقیم در پیوند با آرایش پلکانی تکه‌های گسلی و سازوکار راست‌الغز راست‌بر آنها ایجاد شده و در فضاهای باز شده میان دو بلوک گسله پدیدار شده‌اند. حوضه کشتی مریوان در محدوده دریاچه زریبار در ارتباط با گسله مریوان، حوضه کشتی سردشت در خاور شهر سردشت در ارتباط با گسله‌های پیرانشهر، سردشت و گسله‌های میانبر درون حوضه‌ای، حوضه کشتی پیرانشهر در ارتباط با گسله‌های پیرانشهر و زیوه و حوضه کشتی سیلوانا در شمال اشنویه و باختر دریاچه ارومیه در ارتباط با بخش جنوبی گسله سرو، نمونه‌های بارزی از این نوع حوضه‌های

مقیاس کشش ناحیه‌ای این حوضه‌ها را نسبت به حوضه‌های جنوبی موازی با سامانه اصلی تأیید کند (شکل ۱۰-ب).

۴-۲- گسلش فعال در گستره و جای‌دهی دگرریختی در مقیاس منطقه‌ای

بر پایه تنوع هندسه و سازوکارهای گسلی، گستره به سه بخش جنوبی، میانی و شمالی جدا شده است که هر کدام یک قلمرو ساختاری مشخص با ویژگی‌های متفاوت از دیگری بروز می‌دهند. دنباله شمال باختری گسله جوان زاگرس، که تاکنون ناشناخته بود، از کمی بالاتر از عرض جغرافیایی ۳۷ درجه در شمال پیرانشهر، به سوی شمال تا سامانه گسلی چپ‌بر خوی-بسکل و با آرایش هندسی راست‌پله و با راستای عمومی شمال-شمال باختری (NNW) قابل پیگیری است. این دنباله ساختاری شامل مجموعه‌ای از پهنه‌های گسله کوتاه‌تری یا فعال است که با درازای بیش از ۲۰۰ کیلومتر، در یک رژیم تنش منطقه‌ای ترافشارشی فعالیت می‌کنند. سازوکار بدنه اصلی این سامانه، راستالغز راست‌بر است که در پهنه‌های واگذاری میان روندهای گسله کم‌ویش موازی سبب بروز رژیم‌های تنش کششی محلی و دگرریختی‌ها (گسلش نرمال فعال) و زمین‌ریخت‌های (حوضه‌های کششی و فروافتادگی‌ها) مرتبط با آن شده است. رابطه ساختاری توصیف شده برای گسله‌های راستالغز و نرمال متقاطع در بخش شمالی گستره، همانند بسیاری به رابطه ساختاری میان گسله‌های تبدیلی ۳۵ و مراکز گسترش اقیانوسی دارد که، به‌عنوان یک مشاهده کلیدی، نشان‌دهنده‌ی برهم‌کنش مستقیم و تنگاتنگ این مجموعه ساختاری راستالغز و نرمال برای جای‌دهی برش‌های راست‌بر موازی زاگرس در این بخش از گستره است (شکل ۹). این الگو بر این نکته تأکید دارد که دنباله ساختاری سامانه گسله جوان زاگرس در شمال باختر ایران با سامانه گسلی چپ‌بر خوی-بسکل (با راستای شمال خاوری) بریده شده، پایان می‌یابد (شکل‌های ۲، ۹ و ۱۲). افزون بر این سامانه گسلی پیچیده، شاخه‌هایی از بدنه اصلی گسله جوان زاگرس (پهنه‌های سردشت و شلماش) و دنباله شمال باختری آن

(پهنه شمال اشنویه) جدا می‌شود و به ترتیب، به درون پهنه برخورد بیتلیس و فلات آناتولی (به‌سوی پهنه گسله یوکسیکووا-سیمدینلی در جنوب خاوری دریاچه وان ترکیه) رخنه می‌کند (شکل‌های ۲، ۱۲ و ۱۳) که مسئول انتقال بخشی از برش راست‌بر به بیرون از این سامانه هستند. این مجموعه بزرگ ساختاری و اندرکنش جنبشی آنها، جای‌دهی برش راست‌بر میان ورقه عربی و ایران مرکزی-شمال باختر ایران را در این گستره، و در قالب فرآیندهای گوناگون در مقیاس پوسته‌ای بر عهده دارد. یکی از مهم‌ترین این فرآیندها، کشش پوسته‌ای است که، به ترتیب، در بخش‌های جنوبی و شمالی گستره سبب انتقال دگرریختی در مقیاس محلی و جای‌دهی اختلاف دگرریختی در مقیاس منطقه‌ای شده است.

۵- نتیجه‌گیری

برش راست‌بر میان ورقه‌ای متمرکز در زمین‌درز زاگرس، پس از گسله پیرانشهر، در راستای مجموعه‌ای از پهنه‌های گسلی با آرایش پلکانی تا متقاطع، به سوی شمال باختر و تا مرز ایران-آناتولی در ناحیه خوی منتقل می‌شود. این مجموعه با درازای بیش از ۲۰۰ کیلومتر بخشی از سامانه بزرگ گسله اصلی جوان زاگرس به شمار می‌رود.

همخوانی بسیار خوب میان سازوکارهای گسلش سطحی (زمین‌شناسی) و ژرفی (زمین‌لرزه‌ای) در بخش‌های گوناگون گستره (در هر دو مقیاس محلی و منطقه‌ای) به‌خوبی مقیاس پوسته‌ای مجموعه دگرریختی‌های کششی و راستالغز را نشان می‌دهد که کار جای‌دهی (سامانه راستالغز راست‌بر)، انتقال (پهنه‌های واگذاری گسلی) و استهلاک (گسله‌های نرمال شمالی-جنوبی و راستالغزهای چپ‌بر شمال خاوری) برش راست‌بر میان ورقه‌ای را در مرز برخوردی زاگرس و شمال آن بر عهده دارد. تغییرات دیده شده در وضعیت تنش نیز ناشی از این مقیاس پوسته‌ای دگرریختی فعال می‌تواند باشد.

مقایسه هندسه و جایگاه ساختاری حوضه‌های کششی گستره نشان‌دهنده‌ی دو سازوکار متفاوت برای تشکیل آنها است:

از شرکت مادر تخصصی ساخت و توسعه زیربنای حمل و نقل کشور برای تأمین امکانات اقامتی گروه در سه دوره برداشت میدانی سپاس گزاریم. این نوشتار به روح شادروان دکتر محمد محجل که در آغاز این پژوهش همراه ما بود، تقدیم می‌شود.

مراجع

1. Thatcher, W. (1995) Microplate versus continuum descriptions of active tectonic deformation. *J. Geophys. Res.*, **100**, 3885-3894.
2. Sylvester, A.G. (1988) Strike-slip faults. *Geological Society of America Bulletin*, **100**, 1666-1703.
3. Aydin, A. and Nur, A. (1982) Evolution of pull-apart basins and their scale independence. *Tectonics*, **1**, 91-105.
4. Dooley, T.P. and Schreurs, G. (2012) Analogue modelling of intraplate strike-slip tectonics: a review and new experimental results. *Tectonophysics*, **574-575**, 1-71.
5. Smit, J., Brun, J.-P., Cloetingh, S., and Ben-Avraham, Z. (2008) Pull-apart basin formation and development in narrow transform zones.
6. Bellier, O. and Sebrier, M. (1994) Relationship between tectonism and volcanism along the Great Sumatran Fault zone deduced by SPOT image analyses. *Tectonophysics*, **233**, 215-231.
7. Baniadam, F., Shabaniyan, E., and Bellier, O. (2020) The kinematics of the Dasht-e Bayaz earthquake fault during Pliocene-Quaternary: implications for the geodynamics of eastern Central Iran, *Tectonophysics*, **772**, 228-218.
8. Braud J. and Ricou, L.E. (1971) L'accident du Zagros ou Mainthrust, un charriage et un collissement, *C. R. Ac. Sc., Paris*, ser. D, CCLXXII, 203-206.
9. Tchalenko, J.S. and Braud, J. (1974) Seismicity and structure of the Zagros: the Main Recent Fault between 33° and 35°N. *Phil. Trans. R. Geol. Soc. Lond.*, **277**, 1-25.
10. Talebian, M., Jackson, J. (2004) A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran. *Geophys. J. Int.*, **156**, 506-526.

(۱) حوضه‌های کششی که دستاورد کشش محلی در پهنه‌های واگذاری میان تکه گسله‌های راست‌بر با آرایش پلکانی راست‌دست هستند و تنها کار انتقال دگرریختی را در فاصله میان تکه‌های گسله در راستای سامانه اصلی گسله جوان زاگرس بر عهده دارند (حوضه‌های کششی زیربار، سردشت، پیرانشهر و سیلوانا)، (۲) حوضه‌های کششی ناشی از کشش عمود بر گسله‌های شمالی - جنوبی (حوضه‌های کششی سرو، بسکل و یوکسیکوا در بخش شمالی گستره) که ارتباط ساختاری میان مجموعه گسله‌های چپ‌بر را با سامانه گسلی راست‌بر (دنباله شمال باختری گسله جوان زاگرس) برقرار کرده، برش راست‌بر میان ورقه عربی و ایران را در مرز میان شمال باختر ایران و آناتولی مستهلک می‌کنند.

الگوی نهشتگی - فروکاوی این حوضه‌ها نیز نشان می‌دهد که دسته‌ای از حوضه‌ها در مرحله کشش فعال و نهشتگی هستند (حوضه‌های کششی سیلوانا، سرو، بسکل و یوکسیکوا) اما دسته‌ای دیگر یا به مرحله فروکاوی و فرسایش وارد شده‌اند (مانند حوضه کششی پیرانشهر) یا به دلیل تکامل پهنه گسله میان‌بر، در گیر فرایش و فرسایش هستند و از کار افتاده‌اند (مانند حوضه‌های کششی لون - گازرخانی (خارج از گستره مورد مطالعه)، سیاناو و سردشت). این گروه از حوضه‌ها کهن‌تر هستند و در مرحله تکاملی پیشرفته‌تری قرار دارند. فراوانی حوضه‌های از کار افتاده در بخش جنوبی، در راستای پهنه اصلی گسله جوان زاگرس، و نبود آن در بخش‌های میانی و شمالی را می‌توان به‌عنوان نشانه‌ای از جوان بودن فعالیت ساختارها در بخش شمالی سامانه گسلی برشمرد.

سپاسگزاری

این پژوهش، بخشی از رساله دکتری نویسنده اول است که با پشتیبانی‌های مالی و لجستیک دانشگاه تربیت مدرس به انجام رسیده است. از آقای دکتر عبدالرضا قدس، رئیس دانشکده علوم زمین دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، برای حمایت‌ها و همکاری‌های بی‌دریغ ایشان سپاس‌گزاری می‌شود.

- F. (2005) Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *Int. J. Earth Sci.*, **94** (3), 401-419.
22. Solaymani Azad, S., Philip, H., Dominguez, S., Hessami, K., Shahpasandzadeh, M., Foroutan, M., Tabassi, H., and Lamothe, M. (2015) Paleoseismological and morphological evidence of slip rate variations along the North Tabriz fault (NW Iran). *Tectonophysics*, **640-641**, 20-38.
23. Solaymani Azad, S., Faridi, M., Shokri, M.-A., Sartipi, A., and Alikhanzadeh, R. (2015) New Results of Seismicity Atlas of Urmieh, NW Iran, Specialized Journal for Urmieh Lake, *Geol. Surv. Iran* (in Persian).
24. Taghipour, K., Khatib, M.M., Heyhat, M.R., Shabaniyan, E., and A. Vaezihir (2018) Evidence for distributed active strike-slip faulting in NW Iran: The Maragheh and Salmas fault zones, *Tectonophysics*, **742**, 15-33.
25. Solaymani Azad, S., Nemati, M., Abbassi, M., Foroutan, M., Hessami, Kh., Dominguez, S., Bolourchi, M., and Shahpasandzadeh, M. (2019) Active-couple indentation in geodynamics of NNW Iran: Evidence from synchronous left- and right-lateral co-linear seismogenic faults in western Alborz and Iranian Azerbaijan domains. *Tectonophysics*, **754**, 1-17.
26. Gaudemer, Y., Tapponnier, P., and Turcotte, D.L. (1989) River offsets across active strike-slip faults. *Annales Tectonicoe*, **3**, 55-76.
27. Shabaniyan, E., Acocella, V., Gioncada, A., Ghasemi, H., and O. Bellier (2012) Structural control on volcanism in intraplate post collisional settings: Late Cenozoic to Quaternary examples of Iran and Eastern Turkey, *Tectonics*, **31**(3), TC3013.
28. Karakhanian, A.S., et al. (2004) Active faulting and natural hazards in Armenia, eastern Turkey and northwestern Iran, *Tectonophysics*, **380**, 189-219.
29. Carey-Gailhardis, E. and Mercier, J.-L. (1987) A numerical method for determining the state of stress using focal mechanism of earthquake populations: application to Tibetan teleseisms and microseismicity of southern Peru. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **82**, 165-179.
11. Motaghi, K., Shabaniyan, E., and Kalvandi, F. (2017) Underplating along the northern portion of the Zagros Suture Zone, *Iran, Geophysical Journal International*, **210**(1), 375-389.
12. Jackson, J.A. (1992) Partitioning of strike-slip and convergent motion between E Arabia in eastern Turkey and Caucasus, *J. Geophys. Res.*, **97**, 12471-12479.
13. Copley, A. and Jackson, J. (2006) Active tectonics of the Turkish-Iranian plateau. *Tectonics*, **25**, 1-19.
14. Talebian, M. and Jackson, J. (2002) Offset on the Main Recent Fault of NW Iran and implications for the late Cenozoic tectonics of the Arabia-Eurasia collision zone. *Geophys. J. Int.*, **150**, 422-439.
15. Authemayou, C., Chadon, D., Bellier, O., Malekzade, Z., Shabaniyan, E., and Abbassi, M. (2006) Late Cenozoic partitioning of oblique plate convergence in the Zagros fold-and-thrust belt (Iran). *Tectonics*, **25**, TC3002.
16. Mohajjel, M. and Rasouli, A. (2014) Structural evidence for superposition of transtension on transpression in the Zagros collision zone: Main Recent Fault, Piranshahr area, NW Iran. *J. Struct. Geol.*, **62**, 65-79.
17. Niasarifard, M., Ghorashi, M., and Talebian, M. (2003). New View on investigation of active tectonic in Piranshahr fault. *23th Geosciences congress, Geological Society of Iran, Tehran* (in Persian).
18. Niasarifard, M. (2005) *Investigation of Seismotectonics and Morphotectonics of South West and West of Uremia Lake (With Emphasis of Piranshahr and Salmas Faults)*. M.Sc. Thesis, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran, 138p (in Persian).
19. Nowroozi, A.A. (1971) Seismo-tectonics of the Persian plateau, eastern Turkey Caucasus, and himdu-Kush regions. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **61**, 317-341.
20. Shabaniyan, E., Bellier, O., Abbassi, M.R., Siame, L., and Farbod, Y. (2010) Plio-Quaternary stress states in NE Iran: Kopeh Dagh and Allah Dagh Binalud mountain ranges, *Tectonophysics*, **480**(1-4), 280-304.
21. Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., and Mouthereau,

- D., Emami, M.H., and Saville, C. (2011) 40Ar/39Ar dating of Quaternary lavas in northwest Iran: Constraints on the landscape evolution and incision rates of the Turkish-Iranian Plateau. *Geophys. J. Int.*, **185**, 1175-1188.
41. Lechmann, A., Burg, J-P., Ulmer, P., Guillong, M., and Faridi, M. (2018) Metasomatized mantle as the source of Mid-Miocene-Quaternary volcanism in NW-Iranian Azerbaijan: Geochronological and geochemical evidence. *Lithos*, 304-307.
- واژه‌نامه**
- Pull-apart Basin ۱- حوضه‌ی کششی مرتبط با گسله‌های راستالغز
- Main Recent Fault ۲- گسله اصلی جوان
- Accommodation ۳- جای‌گیری
- Strain Partitioning ۴- سهم‌بندی و اتنش
- Features ۵- سیمایها
- Morphotectonic ۶- ریخت‌زمین‌ساختی
- Continuation ۷- گسترش یا دنباله
- Geomorphic ۸- زمین‌ریختی
- Evolution ۹- فرگشت
- Genesis ۱۰- زایش
- Very High Resolution (VHR) ۱۱- قدرت‌جداسازی بسیار بالا
- Geomorphic Landform ۱۲- زمین‌ریخت
- Shutter Ridge ۱۳- پشته‌کرکره‌ای
- Triangular Facet ۱۴- سطوح‌مثلثی‌شکل
- Beheaded Stream ۱۵- آبراهه بی‌سر
- Abandoned Basin ۱۶- حوضه رسوبی رهاشده
- Incision ۱۷- فروکاوی
- Uplift ۱۸- فرازش
- Local Base Level ۱۹- تراز پایه محلی
- River Capture ۲۰- فرآیند رودگیری
- Retrogressive Erosion ۲۱- فرسایش پس‌گرا
- Shortcut Fault ۲۲- گسله میان‌بر
- Right-Dihedra Method ۲۳- روش دووجهی‌های عمود برهم
30. Harvard catalogue available at <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>.
31. ISC catalogue available at <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin>.
32. Jackson, J. and McKenzie, D. (1984) Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, **77**(1), 185-264
33. Karasçen, E., Nissen, E., Bergman, E.A., and Ghods, A. (2019) Seismotectonics of the Zagros (Iran) from orogen-wide, calibrated earthquake relocations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **124**.
34. Angelier, J. and Mechler, P. (1977) Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en seismologie: la methode des diedres droits. *Bull. Soc. Géol. France*, **19**(6), 1309-1318.
35. Carey-Gailhardis, E. and Vergely, P. (1992) Graphical analysis of fault kinematics and focal mechanisms of earthquakes in term of stress; the right dihedral method, use and pitfalls. *Annales Tectonics*, **VI**(1), 3-9.
36. Javidfakhr, B., Bellier, O., Shabaniyan, E., Ahmadian, S., and Saidi, A. (2011), Pliocene-Quaternary tectonic regime changes in the transition zone between Alborz and Kopeh Dag mountain ranges (NE Iran), *Tectonophysics*, **506**, 86-108.
37. Lacombe, O. (2012) Do fault slip data inversions actually yield paleostresses that can be compared with contemporary stresses? A critical discussion. *C. R. Geoscience*, **344**, 159-173.
38. Ghods, A., Shabaniyan, E., Bergman, E., Faridi, M., Donner, S., Mortezaejad, G., and A. Aziz-Zanjani (2015) The Varzaghan-Ahar, Iran, Earthquake Doublet (Mw 6.4, 6.2): implications for the geodynamics of northwest Iran, *Geophys. J. Int.*, **203**, 522-540.
39. Carey, E. (1979) Recherche des directions principales de contraintes associees au jeu d'une population de failles. *Rev. Geol. Dyn. Geogr. Phys.*, **21**, 57-66.
40. Allen, M.B., Mark, D.F., Kheirkhah, M., Barfod,

Misfit Angle	۲۴- زاویه ناهمخوانی
Wine Glass Valley	۲۵- دره جام شکل
Toe	۲۶- پنجه
Apex	۲۷- سر
Yuksekoa-Semdinli Fault	۲۸- گسله یوکسیکوا-سیمدینلی
Geomorphic Surfaces	۲۹- سطوح زمین ریختی
Fault Relay Zone	۳۰- پهنه واگذاری گسله
Relocated	۳۱- جابجایی شده
Sedimentation	۳۲- نهشتگی
Abandoned	۳۳- از کار افتاده
Interaction	۳۴- برهم کنش
Transform Fault	۳۵- گسله تبدیلی

Evolution Pattern of Pull-Apart Basins Related to the Continuation of the Main Recent Fault in NW Iran

Mehrdad Niassarifard^{1*}, Esmail Shabanian², Shahryar Solaymani Azad³, and Saeed Madanipour⁴

1. Ph.D. Student, Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran,
*Corresponding Author, email: mehrdadniasari@gmail.com

2. Associate Professor, Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran

3. Researcher, Seismotectonics and Seismology Department, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

4. Professor Assistant, Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

The continental suturing in Zagros was mainly occurred between the Arabian Plate in the southeast and Central Iran in the northeast along the Main Zagros Thrust. During the Pliocene time, the suture zone was reorganized and the belt-parallel component of the Arabia – Central Iran convergence has been localized along the Main Recent Fault (MRF). The Main Recent Fault is a major active strike-slip fault system on the border between the northern Zagros belt and Central Iran. Both geometry and kinematics of the fault system is rather well known along its central part and at its SE termination, while its possible continuation to the northwest is ambiguous. Moreover, less regard has been paid to possible relationships between this major intracontinental fault system and other strike-slip faults in NW Iran – SE Anatolia. The aim of this study is to describe both the genesis and evolution of Quaternary extensional basins in relation with the present-day geometry and kinematics of the NW continuation of the Main Recent Fault between SE Anatolia and NW Iran. We have used a combined approach including fault-slip data analysis and tectonic geomorphology to investigate active faulting of the MRF in NW Iran. Our results indicate that, to the north of latitude 37°N (NW from Piranshahr town), the main zone of the Main Recent Fault continues northwards along a less known branch of the Neotethyan suture up to the sinistral Khoy – Baskale fault zone in SE Anatolia. The recognized fault network in addition to the well-known NW part of the Main Recent Fault is divided into three distinct southern, central and northern structural zones. The almost 200 km long active fault system affecting the central and northern structural zones is transtensional dextral in character and is constituted by several strike-slip and normal faults and fault zones. The structural linkages of different zones occur through direct structural connections or soft linking releasing fault relay zones between overlapping fault strands. Our results also reveal that the NW continuation of the MRF clearly terminates to a NE-striking sinistral fault zone. At that place, the intracontinental dextral shear dies out and active deformation is transferred to N-S normal fault zones at the intersection zone of the NNW-SSE dextral and NE-SW sinistral faults. The crustal-scale ESE extension induced to these N-S fault zones has produced elongated extensional basins which, in the west of Lake Urmia and SE of Lake Van, resolve the space problem at the termination of the intracontinental dextral shear. These large elongated extensional basins show significant differences in both geometry and structural pattern with respect to the usual pull-apart basins formed in releasing fault relay zones of the dextral Main Recent Fault. According to our observation, the Marivan, Piranshahr, and Sardasht tectonic depressions are among the pull-apart basins formed in this kind of fault relay zones, while the Silvana – Serow and Başkale depressions are the result of crustal extension at the end of the dextral system. Considering the evolution stage of all the investigated extensional basins, those are classified into three distinct groups of active, transitional and inactive basins. Active basins are undergoing active extension and deposition, while inactive basins are transected by shortcut strike-slip faults and have entered the erosional stage. Basins in the transitional stage are filled by recent deposits affected by retrogressive erosion and incision. Active extension ended in the mature basins due to a direct structural connection of the overlapping main fault segments through a shortcut fault zone.

This erosion – deposition balance in the extensional basins (whatever their genesis) suggests that the extensional basins are more evolved southwards along the Main Recent Fault implying a probable northwards propagation for the dextral fault system. The distribution pattern of extensional basins described in this study reveals the importance of strike-slip faulting in producing special tectonic geomorphology features that are usually seen in extensional tectonic settings, while a dextral transpression is prevailing over the region.

Keywords: Main Recent Fault, Fault-Slip Data Analysis, Strike-Slip Fault, NW Iran, SE Anatolia, Extensional Basin.