بررسی ریختزمینساختی یهنه انتهای گسلی اطراف قوزلو (جنوب شرقی گسل شمال تبریز)

علیرضا یوسفی باویل^(و*)، محسن موید^۲ ۱. دکتری ژنوتکتونیک و ژنودینامیک، دپارتمان ژنوتکتونیک و زمین شناسی منطقهای، انستیتو زمین شناسی آذربایجان، باکو، آذربایجان ۲. استاد گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۹

چکىدە

اثر سطحی گسلها در یهنه انتهای گسلی قوزلو، واقع در انتهای جنوب شرقی قطعهای از گسل شمال تبریز که به پهنه تغییر شکل بزقوش منتهی می گردد، نشان از تشکیل یک ساختار دماسبی است. هر چند که در مورد نوع این ساختار دماسیی و یا الگوی تغییر شکل آن اطلاعاتی در دست نیست. در این راستا بررسی های مربوط به توپوگرافی (مطالعه تغییرات نسبی ارتفاع در دو مقیاس در پهنههای حائل کل پهنه تغییر شکل و پهنههای اطراف آبراهههای جاری درون پهنه)، شـیب سطح، شاخص عدم تقارن و اطلاعات زمین شناسی نشان میدهد که: ۱) پهنه انتهای گسلی از نوع ساختار دماسبی انقباضی است. ۲) درون پهنه انتهای گسلی رژیم زمین ساختی از نوع فشارشی حاکم بوده و روند حداکثر فشارش N۲۰W-S۲۰E است. ۳) در درون یهنه انتهای گسلی در طول دو آبراهه، دو یهنه گسلی متفاوت با حداکثر و حداقل فعالیت زمین ساختی شناسایی گردید. ۴) در داخل پهنههای گسلی مرتبط با آبراههها مولفه شیب لغز کلی از نوع معکوس یا رانده است. این نتایج اطلاعات مهمی در باره زمین ساخت پهنه انتهای گسلی قوزلو فراهم کرده و دانش ما در مورد تغییر شـکل درون پهنه گسلی شمال تبریز را بهبود می خشد. این بررسی همچنین اهمیت کاربرد پروفیل های حائلدار طولى آبراههها جهت حصول مستقيم دادههاي زمين ساختي از تويوگرافي را نشان مي دهد.

واژههای کلیدی: پروفیل حائل دار، پروفیل طولی آبراهه، پهنه انتهای گسلی، ریختزمین ساخت، گسل شمال تبريز.

مقدمه

یهنههای انتهای گسلی یکے از ساختارهای رایج زمین شناسی در طول گسلهای امتدادلغز می باشند. این ayousefibavil@gmail.com ؛ayousefi@gia.ab.az * نوىسنده مرتبط:

یهنهها بهواسطه قطعهبندی گسلی، در هم کنش این قطعات و نیز ایجاد، رشد و تکامل گسلهای فرعیتر ایجاد میشوند Cartwright and Mansfield, 1998; Kim، برای مثال) et al., 2001; De Joussineau and Aydin, 2009).

بررسی ریخت زمین ساختی پهنه انتهای گسلی...

که در انتهای جنوب شرقی قطعهای از گسل تبریز (قطعه "بستان آباد"، مابین قوروگل و ینگیجه) واقع شده است (شکل ۱) برای درک بهتر تغییر شکل قطعه گسلی مرتبط با گسل شمال تبریز در نظر گرفته شد.

با توجه به مکانیسـم تشکیل این پهنهها که بهصورت ایجاد ساختارهای گسلی فرعیتر (رده بالاتر) نسبت به گسل اصلی یا رده پایینتر است، تعیین خصوصیات این پهنهها میتواند به درک مکانیسم و الگوی تغییر شکل ساختارهای اصلیتر کمک کند. بر این اسـاس، بررسی پهنه انتهای گسلی قوزلو



شکل ۱. نقشه زمینشناسی در اطراف پهنه انتهای گسلی قوزلو؛ نقشه و نیز شرح و اختصارات آن برگرفته از نقشه زمین زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰ بستان آباد است (بهروزی و همکاران، ۱۳۵۶). چندضلعی توخالی با رنگ خاکستری پهنه حائل (درجه اول) در اطراف خط مرکزی (خط چین) که در آن مطالعات توپوگرافیک صورت گرفته را نشـان میدهد. نقشـه فرعی، پهنه گسلی را در انتهای جنوب شرقی گسل شمال تبریز (قبل از عبور گسل از غرب کوه بزقوش) نشان میدهد؛ NTF نشان گر گسل شمال تبریز است

مثال، مرادی سیاهکلی و همکاران، ۱۳۸۷ و -Bavil و Javil، 2013) (Bavil، 2013. اطلاعات زمین شناسی و صحرایی مربوط به پهنه انتهای گسلی قوزلو محدود به نقشههای زمین شناسی است (بهروزی و همکاران، ۱۳۵۶) که بررسی اثر سطحی گسلهای تعیین شده حاکی از وجود یک ساختار دماسبی میباشد ولی در مورد فعالیت زمین ساختی غالب در این پهنه تغییر شکل از جمله فعالیت گسلهای اصلی اطلاعات چندانی موجود نمی باشد. این ساختار دماسبی در انتهای جنوب شرقی خود به پهنه تغییر شکل بزقوش منتهی میگردد (بهروزی و همکاران، ۱۳۵۶). در محدوده در برگیرنده پهنه تغییر شکل قوزلو، در امتداد گسل شمال تبریز واحدهای سنگ شناسی الیگوسن و میوسن (جناح شمال

بهدلیل جایگیری فعالیتهای زمین ساختی عمده در محل گسل شـمال تبریز، این گسل نقش مهمی در تکامل زمین ساختی (Eftekhar-Nezhad، 1975 ; Alavi، 1991) و متعاقباً ریخت شناسی (Yousefi-Bavil, 2012) در معیاس منطقهای و نیز محلی ایفا میکند. بدین خاطر، مطالعه این گسل از جنبههای مختلف همواره مد نظر بوده است. گسل مذکور که یک پهنه گسلی از نوع امتدادلغز راستگرد می باشد (آقانباتی، ۱۳۸۵) متشکل از قطعات متعدد همراه با پهنههای انتهای گسلی مختلفی است. این گسل دارای امتداد عمومی شمال غرب جنوب شرق بوده و شیب عمومی آن قائم می باشد (آقانباتی، ۱۳۸۵)؛ هر چندکه شیب عمومی آن قائم می باشد (آقانباتی، ۱۳۸۵)؛ هر چندکه در مقیاس ریزتر، شیب قطعات مختلف آن در جهات مختلف

پلیوسن- کواترنر (جناح جنوب غربی گسل) قرار گرفتهاند. سطح پهنه انتهای گسلی توسط واحد سنگشناسی مربوط به میوسن (ماسهسنگ، مارن و سیلتسنگ) پوشیده می شود. این سنگها به سمت شمال شرق شیبدار هستند.

پهنههای انتهای گسلی بهدلیل تمرکز زیاد تنش ناشی از فعالیتهای مربوط به رشد قطعات مختلف گسلی محل (Chinnery، تشکیل پهنههای تغییر شکل فعال میباشند ، Chinnery) (Chinnery، بهدلیل فعال بودن و تشدید مقدار فعالیت در این پهنهها، عموماً ساختارهای زمین ساختی ایجادشده به مرحله پهنهها، عموماً ساختارهای زمین ساختی ایجادشده به مرحله روابط زمانی و مکانی پیچیده میباشند Cartwright and روابط زمانی و مکانی پیچیده میباشند Mansfield, 1998; Kim et al., 2001; Shipton and روابط زمانی و مکانی پیچیده میباشند Mansfield, 1998; Kim et al., 2001; المی میتواند باعث سردرگمی و سوء تفسیر در مرحله مطالعات از ساختار و زمین ساخت عمومی آن ها در مقیاس مناسب میتواند باعث سردرگمی و سوء تفسیر در مرحله مطالعات میتواند به محقق، بینشی عمومی در مورد فعالیتهای میتواند به محقق، بینشی عمومی در مورد فعالیتهای

وجـود ارتباط مسـتقیم بیـن فعالیت گسـل اصلی و گسـلهای فرعیتر همراهیکننده آن با شکلگیری عوارض طبیعی و توپوگرافی پهنه درگیر با گسـلها، امکان استفاده از شـاخصهای ریختشناسـی برای تفسـیر فعالیتهای زمینساختی را فراهم میسازد. در این راستا، شاخصهای ریختشناسی همچون تغییرات ارتفاع در سطح پهنه تغییر شـکل، تغییرات ارتفاع و شیب سطحی در مجاورت امتداد طولی آبراههها و اطلاعات زمینشناسی موجود مورد بررسی

قرار گرفت تا درکی بهتر از نوع و الگوی تغییرشکل در پهنه انتهای گسلی قوزلو بهدست آید. نتایج بهدستآمده از این مطالعه، اطلاعات ارزشمندی در مورد الگوی توزیع تغییر شکل (بالاآمدگی) در سطح پهنه تغییر شکل و نیز نوع و میزان فعالیت زمینساختی در طول گسلهای موجود در پهنه انتهای گسلی ارائه میکند.

دادهها و روشها

برای بررسیهای ریختشناسی، وجود دادههای توپوگرافی ضروری میباشد. این دادهها را میتوان از نقشههای توپوگرافی و یا از دادههای مدل رقومی ارتفاع بهدست آورد. در این مطالعه، دادههای مدل رقومی ارتفاع آستر^۲ که دارای دقت ۳۰ متر هستند برای استخراج دادههای توپوگرافی و نیز استخراج شبکه آبراههها مورد استفاده قرار گرفت. این دادهها را میتوان بهکمک هر یک از نرمافزارهای سیستم اطلاعاتی جغرافیایی^۳ استخراج کرد.

اندازهگیری تغییرات ارتفاع

پس از استخراج دادههای مربوط به شبکه آبراههها، ۶ آبراهه (آبراهههای شیماره ۳ تا ۸) که در درون پهنه انتهای گسیلی جریان داشتند، انتخاب گردیدند (شکل ۲). برای این که تاثیر عامل تغییر سنگ شناسی به حداقل رسانده شود، دادههای مربوط به آن قسمت از آبراههها که در روی یک واحد سنگ شناسی جریان داشتند، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار، یک پهنه حائل به طول تقریباً ۲۵/۷ کیلومتر و عرض ۲۲۰۰ متر در راستای تقریبی ۱۱۳^۰ تشکیل داده شد (شکل ۱). در این پهنه حائل تغییرات ارتفاع به دو صورت اندازه گیری و ارزیابی گردید:

^{1.} Digital Elevation Model

^{2.} Aster

^{3.} Geographic Information System (GIS)



شــکل۲. آبراهههای انتخابشــده در پهنه انتهای گسلی قوزلو و حوضه آبریز مربوطه؛ اعداد درون نقشه شماره آبراهه را نشان میدهند. اعداد درجشده در شرح و اختصارات نقشه و رنگهای مربوطه، مقادیر شاخص عدم تقارن را نشان میدهند

 ۲. تغییر ارتفاع در کل سطح پهنه حائل (پهنه حائل درجه اول). در امتـداد طولی این پهنـه، دادههای ارتفاع در روی خط پروفیل و نیز ارتفاع حداقل، متوسط و حداکثر مربوط به سـطح پهنه حائل اندازهگیری شد. بهعنوان مکانهای اسـتناد، موقعیت آبراههها در محل قطع شدنشان با خط مرکزی پروفیل محاسبه و لحاظ گردید (شکل ۳).

 ۲. تغییر ارتفاع در سطح پهنههایی که در امتداد پروفیل طولی آبراههها (پهنه حائل درجه دوم) تشکیل گردیدند (شکل۴). تشکیل این پروفیلهای حائلدار اجازه ارزیابی دقیقتر توپوگرافی و نهایتاً تعبیر و تفسیر فرایندهای زمینساختی و فرسایشی را در امتداد ساختارهای زمینشناسی- عوارض توپوگرافیک (آبراههها) فراهم میسازد.



شکل ۳. تغییرات ارتفاع در کل سطح پهنه حائل (درجه اول) در امتداد WNW-ESE و SSW-NNE که موازی با، به ترتیب خط مرکزی پهنه حائل (a) و عمود بر آن (b) هســـتند؛ منحیz ارتفاع روی خط پروفیل و منحنیهای حداقل، متوســط و حداکثر z به ترتیب ارتفاع مربوطه در پهنه حائل را نشان میدهند. خطوط مربوط به اعداد ۳ تا ۸ موقعیت آبراههها را نشان میدهند



شکل ۴. تصویر شماتیک قسمتهای سازنده مربوط به a) پهنههای حائلدار (درجه دوم) در اطراف پروفیل طولی آبراهه و b) مقطعی عرضی از پهنه حائل که در آن Ę_R به ترتیب نحوه محاسبه ارتفاع میانگین توپوگرافی در سمت راست و چپ آبراهه را نشان میدهند (W: عرض پنجره در پهنه حائل درجه دوم؛ n: تعداد نقاط نمونهبرداری ارتفاع در طول خط تصویر)

لغزش کنترل می شود (Jaeger، 2009). با توجه به این که عموماً عوامل تغییر شیب مذکور، سنگ شناسی و نیز دیگر پارامترهای زمین شناسی (چسبندگی موثر، زاویه اصطکاک، فشار موثر) و اقلیمی در طرفین یک پهنه گسلی معین مشابه است، وجود توپوگرافی غیرمتقارن را میتوان به هندسه، نوع حرکت و عملکرد گسل ها در پهنه گسلی نسبت داد. در این مطالعه، اهمیت اثر تغییرات اقلیمی خرده مقیاس در مقابل اثر فعالیت های زمین ساختی در شکل گیری توپوگرافی ناچیز در نظر گرفته شد.

فرایند خروج ماده و فروسایی بعد از تشکیل سطح شیبدار یا پرتگاه (گسلی) فرایند غالب میباشد که عموماً از سطح آزاد در قسمت فوقانی پرتگاه گسلی شروع و به سمت پایین به محدودههای سقوط واریزه و تجمع مواد منتهی میشود (Huggett, 2007). Barrow-Huribert (1985) به تفاوت و تاخیر در فروسایی و کاهش شیب پرتگاه گسلی معکوس نسبت به نرمال اشاره میکند. در دو مدل پرتگاه گسلی مربوط به گسلهای معکوس (مدلهای قائم تا آویزان^۳

فرایندهای تغییر شکل در مجاورت آبراهه

آبراههها را می توان به عنوان ساختارهای ریخت شناسی در نظر گرفت که حاصل فعالیت های زمین شناسی/ زمین ساختی بوده و در بازه وسیعی (از نظر مقیاس مکانی) در حجم یک توده زمین شناسی تغییر شکل یافته، نفوذ کردهاند. درزهها، رایجترین سـاختار زمینشناسی در سـطح زمین بوده و به همراه گسلها با ایجاد سطوح مسطح باعث از هم جدا شدن تودههای سینگی بکر می شوند (Jaeger et al., 2007). این ساختارها میتوانند مسیر جریان آب را فراهم کنند. پهنههای گسلی (که دارای ضخامت متغیری بین چند سانتیمتر تا یک کیلومتر یا بیشتر هستند) متشکل از صفحات ہی۔شمار سطوح گسلی نزدیک بہ ہم بودہ کہ جابجایی در طول آنها صورت می گیرد. یهنههای ضخیمتر، جابجایے بیشتری را در خود جای میدهند و جابجایی بیشتر سبب خردشدگی و ضعیف شدن بیشتر توده سنگها می گردد. دیواره درههای ایجادشده توسط این ساختارهای شـکننده در مرحله بعدی در معرض فرایندهای فرسایش و تغيير شيب قرار مي گيرد. اين تغيير شيب توسط عواملي همچون شيب سطوح سنگی، وجود و يا نبود لايهبندي و ارتباط آن با شیب سطوح آزاد ناشی از ایجاد ساختارهای شـكننده، عمق اين سـاختارها و نيز شكل عمومي سطوح

^{1.} Degradation

^{2.} Vertical to Overhanging Model

^{3.} Tank-tread Model

استمرار طولانی تر آن می باشد؛ زیرا هندسه گسل معکوس و نوع حرکت در امتداد سطح گسلی باعث کوتاه شدگی پوسته و جایگیری توده سنگی بیشتر در راستای شاقولی در محل گسلش می شود Moores and 1992; Moores می ایز به (McLeish، 1992; Moores and ی فرسایشی نیاز به مدت زمان بیشتری جهت فرسایش ماده بالاآمده و فروسایی مدت زمان بیشتری جهت فرسایش ماده بالاآمده و فروسایی سطح آزاد توده سنگی (دیواره دره) دارند. بنابراین هندسه و عملکرد گسلها ایجاب می کند، گسلهایی که مولفه شیب لغز در آنها از نوع معکوس یا راندگی است در مقایسه با آن هایی که دارای مولفه از نوع نرمال می باشند، در تعامل با فرایندهای فرسایشی باعث ایجاد دره هایی با شیب بیشتر و دیواره مرتفعتر می شوند.

با توجه به این که حوضههای مورد بررسی مربوط به قسـمتهای بالادسـتی رودخانه و نزدیک به آبیخشـان' هستند، انرژی آب در این آبراههها خصوصا در جهت عمود بـر آبراههها زیاد نبوده و فرایند فروسـایی و کاهش شـیب در دیوارههای دره به صورت فرایندهای "تامین- محدود" (Huggett, 2007) خواهد بود. در این شرایط تغییر شیب عمدتــاً ار طریق ســقوط و لغزش تودههای ســنگی صورت می گیرد. در نتیجه، تغییرات ارتفاع در طرفین آبراههها بیشتر در ارتباط با فعالیتهای فیزیکی (زمین ساختی، نیروی ثقل، تغییر حجم مایع بین منفذی و باد) خواهد بود. بنابراین فضایابی پهنههای ضعیف شده با منشا زمین ساختی، تغییرات محلی ارتفاع در اطراف پهنههای حائل درجه دوم را تحت تاثیر قرار خواهد داد. بدین صورت که فعالیت متمرکزتر در پهنههای گسلی باعث ضعیفشدگی بیشتر، تاثیر بیشتر فرایندهای فرسایشی و در نتیجه کاهش محلی ارتفاع می شود. تغییر در تنگ شدگی یا عریض شدگی پهنه تغییر شکل فعال، در ارتباط با نرمشـدگی واتنش و یا سختشدگی واتنش در محل پهنههای برشی میباشد. درحالی که نرمشدگی واتنش باعث تمرکز تغییر شکل و تشدید آن می شود، سخت شدگی واتنف باعث کاهش تمرکز تغییر شکل و عریض شدن محدوده يهنه تغيير شـكل (با تغيير محل تمركز فعاليت از درون یهنه برشی به سمت دیوارههای آن) می شود Davis) and Reynolds, 1996; Wibberley et al., 2008)

پروفیل حائلدار در امتداد طولی آبراهه پهنههای حائل درجه دوم (پروفیل های حائل دار) بهصورت متقارن نسبت به مسیر کانال آبراههها و با عرض کلی ۵۶۶ متر تشکیل گردیدند (شکل ۴). دادههای ارتفاع در این پروفیل های حائل دار در سه پنجره با عرضهای تقریبی قرار این پروفیل های حائل دار در سه پنجره با عرضهای تقریبی قرفتند (عرض پنجرهها بهصورت تصاعدی افزایش مییابد و گرفتند (عرض پنجرهها بهصورت تصاعدی افزایش مییابد و اعداد برحسب متر میباشند). فاصله بین نقاط نمونهبرداری پنجرهها) ۱۴/۵ متر میباشد. سمت راست و چپ آبراههها پراساس نگاه از بالا دست به سمت پاییندست رودخانه تعیین گردید. در طول هر آبراهه و برای هر یک از سه پنجره تعیین شده ارتفاع میانگین توپوگرافی در طرف راست _۹⁵ و چپ م¹ آبراهه در روی مقاطع عرضی به طور مجزا و به صورت

 $\bar{e}_{R} = \sum \bar{e}_{Rn}/n$ (۱) رابطه (۱)

 $\overline{e}^{}_{L}\text{=}\sum\overline{e}^{}_{Ln}/n$

که در این روابط n تعداد نقاط نمونهبرداری در طول خط تصویر در مقاطع عرضی را نشـان میدهد؛ سـپس اختلاف بهدسـت آمده برای هر پنجـره در هر مقطع عرضی به نقطه تلاقی خط پروفیل عرضی با خـط پروفیل آبراهه اختصاص داده شد. به طور نظری اختلاف نسبی ارتفاع میانگین طرفین آبراههها $_{5}$ در روی مقطع عرضـی مابین صفر و بینهایت تغییر میکند، اما در عمل مقدار این پارامتر با تغییرات اندک در اطراف عدد ۱ نوسـان میکنـد. بنابراین میتوان مقادیر ارتفاع میانگین سـمت راسـت و چپ در طـول آبراهههای مختلف را در یک نمودار رسـم کرده و با اسـتفاده از برزاش مختلف را در یک نمودار رسـم کرده و با اسـتفاده از برزاش قطی که عرض از مبداء آن از صفر عبور میکند، مقدار شیب فطی که عرض از مبداء آن از صفر عبور میکند، مقدار شیب زوان خط راست برازش شده را بهدست آورد. در صورتی که \overline{F}_{R} و \overline{J} به ترتیب ارتفاع میانگین سـمت راست و چپ پروفیل حائلدار در نظر گرفته شـود، 1
 و b<d خواهد بود اگر به

^{1.} Watershed

^{2.} Supply-limited

شاخص عدم تقارن

علاوهبر مطالعه مربوط به ارتفاع توپوگرافی، شاخص عدم تقارن (AF) برای حوضه زهکشی آبراهههای انتخابشده با محاسبه مساحت کل حوضه و نیز سمت راست حوضه (سمت راست آبراهه با نگاه به سمت پاییندست آبراهه) و براساس رابطه ۳ تعیین گردید:

 $AF=100(A_r/A_r)$ (۳) رابطه (۳) در این رابطه Ar مساحت سمت راست حوضه و Ar مساحت کل حوضه می باشد. این شاخص می تواند اطلاعاتی در مورد کج شدگی زمین ساختی در مقیاس حوضه زهکشی و یا مناطق بزرگتر ارائه کند (Keller and Pinter, 1996).

نتايج

بررسی پروفیل حائلدار درجه اول (مربوط به کل سطح پهنه تغییر شکل) بیانگر تغییر محسوس ارتفاع در امتداد E-SE است، بهطوری که ارتفاع به سمت E-SE افزایت می ابد (شکل ۳). در حالی که تغییرات مربوط به ارتفاع حداکثر بین آبراهه های شماره ۸ تا ۵ به صورت تیز و مثبت (افزایش ارتفاع) است، مقدار این تغییر مثبت بین آبراهه های ۵ تا ۳ کم می باشد. از طرف دیگر، تغییرات مربوط به ارتفاع حداقل دارای روند عمومی مثبت ولی غیر یکنواخت است. بررسی اختلاف ارتفاع مابین ارتفاع حداکثر و حداقل نشان می دهد که این اختلاف در حدفاصل بین آبراهه های شماره ۶ تا ۴ نسبت به دیگر مناطق زیاد می باشد. منحنی مربوط به ارتفاع متوسط نیز نشان گر افزایش مداوم و نرم (برجستگی ملایم) ارتفاع در پهنه انتهای گسلی به سمت در S-SE

بررسـی کل منحنیهای بهدست آمده حاکی از آن است که به غیر از منحنی مربوط به ارتفاع در روی خط پروفیل که محل آبراههها و درههای مربوطه را نشان میدهد، نمیتوان ارتباطی مسـتقیم و سیسـتماتیک بین دیگـر منحنیها و

عوارض ساختاری- توپوگرافیک (مناطق ضعیف شدگی ناشی از فعالیت های زمین ساختی- آبراهه ها) مشاهده کرد. در کل می توان گفت که تشکیل پروفیل حائل دار برای کل پهنه تغییر شکل علی رغم این که الگوی تغییر ارتفاع را برای پهنه مشخص می کند ولی به دلیل اعمال تجمیع و میانگین گیری، جزئیات الگوی تغییر ارتفاع را آشکار نمی کند.

در بررسی پروفیلهای حائل دار درجه دوم (مربوط به پهنههای اطراف آبراههها) مشاهدات مربوط به توزیع b (شکل ۵) منحنیهای مربوط به δ_{τ} برای تمامی آبراههها و در سه پنجره متفاوت (شکل ۶) حاکی از آن است که:

- ۸. مقدار b برای تمامی آبراهه ها در هر سه پنجره بیشتر از ۱ بوده و علامت آن مثبت میباشد. به عبارت دیگر، طرف راست آبراهه ها نسبت به طرف چپ دارای ارتفاع بیشتری است.
- ۲. در امتداد آبراهههای مورد بررسی به غیر از آبراهه شماره
 ۳ (شـماره ۴ تـا ۸)، مقدار b با افزایـش عرض پنجره
 افزایش مییابد. در آبراهه شماره ۳، مقدار b پنجره سوم
 بهجای افزایش، کاهش مییابد.
- ۳. با در نظر گرفتن تغییرات b در مورد هر یک از آبراههها، بزرگترین و کوچکترین تغییر b به ترتیب مربوط به آبراهه شیماره ۵ و شماره ۶ میباشند. بیشترین مقدار تغییر b در میان پنجرهها مربوط به پنجره سوم میباشد.
- ۴. مقادیر b متوسط بهدست آمده از میانگین گیری b هر سه پنجره (Wa) برای تمامی آبراهه ها روندی نزدیک به افق را نشان میدهد. این مقادیر متوسط به مقادیر b پنجره دوم نزدیک هستند. مقدار متوسط b بهدست آمده از داده های پنجره متوسط برابر با ۱۰۰۰۴ می باشد.
- ۵. در حالی که مقادیر b مربوط به پنجره اول روندی عموماً صعودی از سـمت شـمال غرب به سمت جنوب شرق نشـان میدهنـد، دادههای پنجره سـوم روند عمومی نزولی را نشان میدهند.



شکل ۵. توزیع شیب b منحنی مربوط به اختلاف نسبی ارتفاع میانگین طرفین آبراههها (هð) برای سه پنجره با عرض متفاوت (W1،W2،W3)، بهعلاوه مقادیر b متوسط بهدست آمده از میانگین گیری b برای هر سه پنجره (Wa)

محاسبه شاخص عدم تقارن حوضههای مربوط به آبراهههای انتخاب شده نشان می دهد که به غیر از حوضه مربوط به آبراهه شاماره ۳، تمامی حوضه ها دارای مقدار شاخص عدم تقارن بیشتر از ۵۰ می باشاند (شاکل ۲). به عبارت دیگر، نسبت به آبراهه ها، سمت راست حوضه ها در مقایسه با سمت چپ دارای مساحت بیشتری است. در میان حوضه های آبریز کمترین و بیشترین مقدار عدم تقارن به ترتیب مربوط به حوضه های شماره ۳ و ۵ می باشد.

بحث

با توجه به این که توپوگرافی، برآیند فرایندهای بالاآمدگی و فرسایش می باشد، افزایش ارتفاع توپوگرافیک بیان گر چیرگی فرآیندهای بالاآمدگی نسبت به فرسایشی می باشد. در همین راستا، در پهنه انتهای گسلی اطراف قوزلو (پهنه حائل درجه اول)، روند مثبت تغییر ارتفاع از سـمت غرب شـمال غرب به سـمت شرق جنوب شرق پهنه می تواند نشان گر افزایشی نسـبی در شـدت نیروهای بالاآمدگی نسـبت به نیروهای فرسایشـی باشد (شکل ۳). این افزایش نسبی را می توان از روند مثبت ارتفاع حداقل مشاهدهشـده نیز استنباط کرد؛ بدیـن نحو که روند صعودی مقدار ارتفاع حداقل، نشـان گر بالاآمدگی نسـبی سـطح تراز محلی به سمت شرق جنوب

زمینساختی از نوع فشارشی در جهت شرق جنوب شرق و یا به افزایش فعالیتهای زمینساختی از نوع کششی در جهت غرب شـمال غرب نسبت داد. افزایش اختلاف ارتفاع بین منحنیهای مربوط به ارتفاع حداقل و حداکثر در منطقه مابین آبراهههای شـماره ۴ تا ۶ و نیز وجود اختلاف ارتفاع مشابه (با یکدیگر) ولی کمتر در طرفین این منطقه حاکی از مشابه (با یکدیگر) ولی کمتر در طرفین این منطقه حاکی از بهطور کلی میتوان گفت که مطالعه تغییرات توپوگرافی در کل سطح پهنه حائل (پهنه حائل درجه اول) علی رغم تعیین الگوی فعالیت زمین ساختی، در مورد مکانیسم تشکیل آن (نوع گسلهای موثر در داخل پهنه تغییر شکل) اطلاعات تعیین کننده در اختیار قرار نمی دهد.

بررسـی شـاخص عدم تقارن حوضههای آبریز، اختلاف نسبی ارتفاع میانگین و شیب سطحی در طرفین آبراههها از روشهایی هستند که میتوان از آنها برای تعیین توپوگرافی نامتقارن و متعاقباً شناسـایی فعالیت گسلهای درگیر (در مجاور مسـیر آبراهه) اسـتفاده کرد. در مقیاس پهنه حائل درجه اول، مقادیر شاخص عدم تقارن محاسبه شده حاکی از کچ شدگی حوضه ها به سمت جنوب شرق می با شند (شکل ۲). با توجه به این که در محدوده این پهنه حائل، ارتفاع از سمت غرب شمال غرب به سمت شرق جنوب شرق (موازی با پهنه حائل (۲۹۳۰-۱۱۳۰)) و نیز از سـمت جنوب جنوب غرب به آنها در بلافصل کانال آبراههها بیشتر میباشد (شکل ۷). نظر به شیب سطحی مذکور و اختلاف در مقادیر بالآمدگی (بالآمدگی بیشتر سمت راست)، افزایش ارتفاع نسبی در جهت شرق جنوب شرق در کل پهنه تغییر شکل (شکل ۳) و همچنین شواهد زمین شناسی (مرتبط بودن پهنه گسلی با گسل راستگرد شمال تبریز و نیز شیب لایهبندی به سمت شمال شرق در داخل پهنه گسلی) میتوان تشکیل درههای شمال شرق در داخل پهنه گسلی) میتوان تشکیل درههای معکوس و یا رانده دانست و مکان هندسی این آبراههها را بهعنوان پهنههای گسلی دارای مولفه معکوس در نظر گرفت که در اطراف آنها بلوک سمت راست پهنه گسلی (آبراهه) روی بلوک سمت چپ رانده میشود. بنابراین در کل میتوان مکانیسم موثر در شکل گیری توپوگرافی مشاهده شده را به رژیم فشارشی و گسلش معکوس و یا رانده مرتبط با تغییر شکل برشی ساده نسبت داد.

شمال شمال شرق (عمود بر امتداد پهنه حائل (۲۰۳۰-۲۰۳۰)) افزایش می یابد (شکل ۳)، می توان گفت که در سطح کل پهنه، ارتفاع به سـمت شرق شمال شـرق افزایش می یابد. بنابراین الگوی کچ شدگی و افزایش ارتفاع مذکور نشان می دهد که بالاآمدگی در سمت راست حوضه ها نسبت به سمت چپ آن ها بیشـتر است. در ارتباط با پهنه های حائل درجه دوم نیز چیرگـی مقادیر مثبت مگ در طول آبراهه ها (شـکل ۶) و نیـز مقادیـر d بالاتر از ۱ برای تمامـی آبراهه ها در تمامی پنجره ها (شکل ۵) نشان گر غلبه داشتن نیروهای بالاآمدگی اطراف آبراهه ها است که خود را در وجود تو پوگرافی مرتفعتر و به عبارت دیگر در وجود بیشـتر مواد تشکیل دهنده زمین نسبت به فضای خالی نشان می دهد. از طرف دیگر، بررسی شیب سطحی در کل پهنه نشـان می دهد که عموماً شیب دیواره دره ها در سمت راست آبراهه ها نسبت به سمت چپ



فعالیت در محدوده حدفاصل آبراهههای مذکور است، مقدار پایین b در هر سه پنجره برای آبراهه شماره ۶ نشان *گر جو*ان بودن فعالیتهای زمین ساختی و فرسایش در اطراف این آبراهه بوده که خود حاکی از جوان بودن پهنه گسلی مربوطه میباشد. فعالیتهای زمین ساختی در مجاور آبراهه شماره ۴ نیز با توجه به مقادیر بالا (با b تقریبی ۱۰۰۴) و نزدیک بههم b حائز اهمیت است. این نزدیکی مقادیر میتواند اشاره به مشابه بودن شرایط زمین ساختی در عرض هر سه پنجره باشد. در صورتی که مقدار متوسط b حاصل از پنجره متوسط به کل پهنه انتهای گسلی تعمیم داده شود، میتوان گفت که اختلاف نسبی بالاآمدگی در طرفین آبراههها در حدود ۲۰۰۴ است (شکل ۵). در نگاه جزئی تر، براساس مقادیر پارامتر b، میتوان گفت که بیشترین مقدار فعالیتهای زمین ساختی در مجاور آبراهه شـماره ۵ (با b تقریبی ۱/۰۰۵) و کمترین آنها در اطراف آبراهه شـماره ۶ (با b تقریبی ۱/۰۰۱) صورت میپذیرد. در حالی که، وجود بیشترین اختلاف بین منحنی ارتفاع حداکثر و حداقل مابین آبراهههای ۶ تا ۴ موید افزایش



شکل ۷. تغییرات شیب سطحی در داخل پهنه حائل درجه اول؛ S درجه شیب سطحی را نشان میدهد

با توجه به این که تغییر در توپوگرافی و یا در نسبت مواد تشکیل دهنده زمین به فضای خالی حاصل برآیند فرایندهای زمین شناسی/ زمین ساختی و فرسایش است، تفسیر دادهها براساس هر دو نوع فرآیند بایستی به صورت همزمان صورت گیرد. برای مثال، در این بررسی با توجه به این که تغییرات ارتفاع در طرفین آبراهه ها در پنجره هایی با عرض فزاینده پنجرهای با عرض بیشتر را میتوان به ۱) افزایش شدید ارتفاع در سمت راست آبراهه به موجب کمی نرخ هوازدگی که در کل باعث چیرگی بالآمدگی زمین ساختی بر فرسایش می شود. ۲) افزایش فروسایی و کاهش شیب در سمت چپ

آبراهه بهواسـطه افزایش فعالیتهای زمینساختی متمرکز (پهنههای با نرمشدگی واتنش)، ۳) تاثیر همزمان دو فرایند بالا و ۴) وجود سنگشناسـی مقاوم در سمت راست آبراهه نسبت به سمت چپ آن نسبت داد. بهعنوان مثال این تغییر شدید را میتوان در آبراهه شماره ۵ مشاهده کرد، جایی که d مربوط به پنجره سوم نسبت به دو پنجره قبلی خیلی افزایش یافته اسـت. این افزایش مربوط به کاهش ارتفاع توپوگرافی بهدلیل قرار گرفتن حاشیه پنجره در حوضه مجاور (حوضهای خیلی کوچک مابین حوضههای مربوط به آبراهههای ۴ و ۵ (شـکل ۲) که در نزدیکی گسل رده پایینتر است) در جایی میباشد که فعالیتهای شـدید و متمرکز زمینساختی در

بیان گر اعمال یک نیروی فشارشی در امتداد NNW-SSE می باشد. این امتداد با امتداد قطعه مجاور گسل شمال تبریز (۱۲۰°) و گسل اصلی جنوبی محدود کننده پهنه انتهای گسلی قوزلو (۱۱۵^{°)}) به ترتیب زاویه ^۲۰[°] و^۲۵[°] تشکیل می دهد. این زوایا با امتداد حداکثر تنش فشاری ایدهال جهت تشکیل پهنه برشی گسل شمال تبریز و نیز یهنه انتهای گسلی قوزلو کاملاً انطباق دارد. امتداد N20W-S20E همچنین در مقیاسے بزرگتر با امتداد حداکثر کوتاه شدگی تقریبی N-S به دست آمدہ از بررسے دادہ های (GPS (Vernant et al., 2004) امتداد عمومی NW-SE بهدست آمده از حل مکانیسم كانونى زلزلەها ۲alebian and Jackson, 2002؛ كانونى زلزلەھا سیاهکلی و همکاران، ۱۳۸۷) و در مقیاس محلی نیز با جهتیافتگی ماکزیمم تنش فشارشی (۳۵۵°/۱۱۰) بهدست آمده از مطالعات دیرینهتنش در ارتفاعات مشرف به گسل شـمال تبريز و بستان آباد، واقع در سمت شمال غرب يهنه انتهای گسلی قوزلو (Yousefi-Bavil, 2013) در تطابق کنار پهنه گسلی اصلی امری مورد انتظار است.

بررسے توزیع آزیموتے پارامتر مِδ در هر سے پنجرہ و برای تمامی آبراههها (شکل ۸) نشانگر تمرکز مقادیر بالای در طول قسـمتهایی از آبراههها با امتداد شـرق- غرب δ_{\pm} (پروفیلهای عرضی با آزیموت ^٥۰۸۰) و شمال شرق- جنوب غـرب (پروفیل های عرضی با آزیموت °۱۴۰) اسـت. علاوهبر این، توزیع آزیموتی δ اغلب بین این دو آزیموت میباشــد. این بدان معناســت که امتداد قسمتهای مختلف آبراههها در پهنه انتهای گسلی قوزلو عموماً بین °۵۰۰ تا °۹۰۰ در تغییر است. این تکثر و بالا بودن مقادیر بالاآمدگی (مقادیر مثبت) در آزیموتهای بیـن ۱۴۰۰ تا ۱۸۰۰ با در نظر گرفتن انطباق مکانی مابین آبراهه و گسل نشانه افزایش نیروهای فشارشی در راستای موازی با امتدادهای مرتبط میباشد. با توجه به توزیع آزیموتی مذکور میتوان آزیمــوت ^۱۶۰۰ را بهعنوان آزیموت عمومی و متوسط که در امتداد مربوط به آن (۳۴۰°–۱۶۰°) بیشترین مقدار بالاآمدگی و کوتاه شدگی مشاهده مى شود، محسوب كرد. بنابراين، الكوى بالأمدكى مذكور مى باشد.



شکل ۸. توزیع آزیموتی پارامتر جδ در هر سه پنجره و برای تمامی آبراههها؛ α آزیموت را برحسب درجه نشان میدهد. نمودارها از چپ به راست به ترتیب مربوط به پنجرههای اول تا سوم و از بالا به پایین مربوط به آبراهههای ۳ تا ۸ میباشند. a) آبراهههای ۳–۵. b) آبراهههای ۶–۸

نتيجهگيرى

در پهنه انتهای گسلی اطراف قوزلو بررسیهای مربوط به توپوگرافی (بهواسطه مطالعه تغییرات نسبی ارتفاع در پهنههای حائلدار در دو مقیاس کل پهنه و پهنههای اطراف آبراههها)، تغییرات شیب، شاخص عدم تقارن و اطلاعات زمین شناسی نشان می دهند که:

- ۱. الگوی آزیموتی بالاآمدگی در پهنه مذکور بیانگر آن است که امتداد حداکثر جهت کوتاهشدگی و فشارش N20W-S20E میباشد که با نتایج بهدست آمده از اندازه گیری های GPS و حل مکانیسم کانونی زلزله ها (در مقیاسی بزرگتر در منطقه شمال غرب ایران) و نیز نتایج حاصل از مطالعات دیرینه تنش در مجاور گسل شمال تبریز در نزدیکی پهنه انتهای گسلی قوزلو (در مقیاسی کوچکتر) مطابق میباشد.
- ۲. ارتباط بین جهت گیری مذکور و امتداد گسل شـمال تبریز بهعنوان مرز جنوب غربی پهنه تغییر شـکل موید تشـکیل پهنه انتهای گسـلی در نتیجه برش ساده در پایانه فشاری آن است.
- ۳. افزایش همزمان ارتفاع به سـمت شمال شرق و جنوب شرق، کجشدگی حوضهها به سمت جنوب شرق، شیب سطحی بیشتر در سمت راست آبراههها، شیبدار بودن لایهها به سمت شمال شرق و نیز اثر سطحی گسلهای معینشده در پهنه گسلی همگی اشاره بر این نکته دارند که پهنه انتهای گسلی قوزلو به احتمال زیاد یک ساختار دماسبی از نوع انقباضی است و گسلهای منشعبشده از گسل رده پایین تر انتظار می رود تا دارای مولفه شیب لغز معکوس و یا رانده باشند؛ هر چند که تایید این استنباط نیازمند اندازه گیری های ساختاری در صحرا می باشد.
- ۴. در داخل پهنه انتهای گسلی قوزلو انتظار میرود بیشترین فعالیت زمینساختی در اطراف پهنه گسلی مربوط به آبراهه شاره ۵ باشد، جایی که متوسط اختلاف نسبی ارتفاع میانگین در طرفیان آبراهه بیشترین مقدار را دارا می باشد (بزرگترین b). بیشترین انحراف مابیان منحنی های حداکثر و حداقل ارتفاع نسبت به منحنی ارتفاع متوسط در طرفین این آبراهه نیز موید تشدید جابجایی نسبی شاقولی در اطراف پهنه گسلی مربوطه است. کمترین مقدار فعالیت نیز انتظار

میرود در اطراف پهنه گسلی مربوط به آبراهه شماره ۶ باشـد، جاییکه متوسط اختلاف نسبی ارتفاع میانگین کمترین مقدار را دارد (کوچکترین b).

این نتایج اطلاعات مهمی در باره ساختار زمین ساختی پهنه انتهای گسلی قوزلو فراهم کرده و دانش ما را در مورد تغییر شکل درون پهنه گسلی شمال تبریز بهبود می خشد. از این اطلاعات میتوان به عنوان داده های پایه برای دیگر مطالعات ساختاری و زمین ساختی استفاده کرد. همچنین این بررسی اهمیت کاربرد پروفیل های حائل دار طولی آبراهه ها جهت حصول مستقیم داده های زمین ساختی از توپوگرافی را نشان می دهد.

سپاسگزاری

ما تشــکر و قدردانی خود را از داوران محترم که با ارائه نظرات سازنده باعث بهبود این مقاله شدند، ابراز میداریم.

منابع:

آقا نباتی، آ. ۱۳۸۵۰ زمین شناسی ایران. سازمان
 زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶.
 بهروزی، آ.، امینی فضل، آ.، امینی آذر، ب.، امامی،

بهروزی، ۱۰، امینی قصل، ۱۰، امینی ادر، ب.، امامی، م.ح.، عزتیان، ف.، داوری، م.، هادوی، ف. و پرتو آذر، ح.، ۸. م.ح.، عزتیان، فشه زمین شناسی ۱۰۰۰۰۰ چهارگوش بستان آباد - برگه ۵۳۶۵. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
 مرادی سیاهکلی، ع.، تاتار، م.، هاتسفلد، د. و پل، آ.، ۱۳۸۷. مطالعه ساختار سرعتی پوسته و سازوکار گسلش در زون گسلی امتدادلغز تبریز، علوم زمین، ۲۰، ۱۵۳۰-۱۴۰.

- Alavi, M., 1991. Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. Geological Society of American Bulletin, 103, 8, 983-992.

- Barrow-Huribert, S.A., 1985. Geology and neotectonics of the Upper Nevis Basin, South Island, New Zealand. MSc thesis, Oregon State University, 161.

- Cartwright, J.A. and Mansfield, C.S., 1998. Lateral displacement variation and lateral tip geometry of normal faults in Canyonlands National Park, Utah. Journal of Structural Geology, 20, 1, 3-19.

- Chinnery, M.A., 1966. Secondary faulting: II. Geological aspects. Canadian Journal of Earth Sciences, 3, 2, 175-190.

- Davis, G.H. and Reynolds, S.J., 1996. Structural Geology of Rocks and Regions. 2nd edition, John Wiley and Sons, Incorporated, 776.

de Joussineau, G. and Atilla, A., 2009.
Segmentation along strike-slip faults revisited.
Pure and Applied Geophysics, 166, 1575-1594.

- Eftekhar-Nezhad, A., 1975. Brief description of tectonic history and structural development of Azarbaidjan. Internal Report, Geological Survey of Iran, 1-8.

- Huggett, R.J. 2007. Fundamentals of Geomorphology. 2nd edition, Routledge, London, 458.

- Jaeger, C., 2009. Rock Mechanics and Engineering, 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, 523.

- Jaeger, J.C., Cook, N.G.W. and Zimmermann, R.W., 2007. Fundamentals of Rock Mechanics. 4th edition, Blackwell Publishing, Oxford, UK, 475.

- Karakhaniana, A.S., Trifonovb, V.G., Philip, H., Avagyana, A., Hessamid, K., Jamalie, F., Bayraktutan, M.S., Bagdassariana, H., Arakeliana, S., Davtian, V. and Adilkhanyan, A., 2004. Active faulting and natural hazards in Armenia, eastern Turkey and northwestern Iran. Tectonophysics, 380, 189-219.

- Katz, O., Reches, Z., and Baer, G., 2003. Faults and their associated host rock deformation: Part I. Structure of small faults in a quartz-syenite body, southern Israel. Journal of Structural Geology, 25, 1675-1689.

- Keller, E.A. and Pinter, N., 1996. Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape. Prentice Hall, New Jersey, USA, 338.

- McLeish, A., 1992. Geological Science.

Nelson Thornes, UK, 308.

- Moores, E.M. and Twiss, R.J., 1995. Tectonics. Freeman and Company, New York, 415.

- Shipton, Z. and Cowie, P., 2001. Damage zone and slip-surface evolution over μm to km scales in high-porosity Navajo sandstone, Utah. Journal of Structural Geology, 23, 1825-1844.

- Talebian, M. and Jackson, J.A., 2002. Offset on the Main Recent Fault of the NW Iran and implications for the late Cenozoic tectonics of the Arabia-Eurasia collision zone. Geophysical Journal International, 150, 422-439.

- Vernant, P., Nilforushan, F., Hatzfeld, D., Abbasi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinold, J., Ashtiani, A., Tavakoli, F. and Chery, J., 2004. Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. Geophysical Journal International, 157, 38-398.

- Wibberley, C.A.J., Kurz, W., Imber, J., Holdsworth, R.E. and Collettini, C., 2008. The Internal Structure of Fault Zones: Implications for Mechanical and Fluid-Flow Properties. Geological Society, London, Special Publications, 367.

Kim, Y.S., Andrews J.R. and Sanderson,
 D.J., 2001. Reactivated strike-slip faults: examples from north Cornwall, UK. Tectonophysics,
 340, 173-194.

- Yousefi-Bavil, A., 2012. Longitudinal profiles of bedrock rivers around North Tabriz and North Misho faults: implications for geomorphic fault segmentation (Eastern Azerbaijan province, Iran). Academy of Sciences Malaysia's Science Journal 6, 2, 107-121.

- Yousefi-Bavil, A., 2013. Kinematical and superficial-geometrical study of North Tabriz-North Misho faults (segmentation). Unpublished PhD thesis, Geology Institute of Azerbaijan, 233.