

بررسی شواهد مورفوتکتونیک رشد چین جوان گئو و ارتباط آن با زمین لرزه های منطقه در شمال خاوری لوت

بی بی زهرا حسینی گئو؛ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی،

دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

سارا کیانی^۱؛ استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران،

ایران.

سید مروت افتخاری؛ استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی،

تهران، ایران.

مهدی ثقفی؛ استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور بیرجند، بیرجند، ایران.

سیروس اسماعیلی؛ پژوهشگر زمین لرزه، سازمان زمین شناسی مرکز تبریز، تبریز؛ ایران.

پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۲۸

چکیده

فلات ایران زمین، به دلیل قرارگیری در میانه کمربند کوهزایی آلپ-هیمالیا و در بین دو صفحه همگرای عربی-اوراسیایی در دوره ترشیاری، با گسل خوردگی های فراوان و به سبب آن رخداد زمین لرزه های مخرب مواجه بوده است. از اینرو، شناخت مناطق پرخطر لرزه ای نخستین گام برای کاهش خسارات ناشی از زمین لرزه است. در این پژوهش، چگونگی رشد کواترنری چین جوان گئو در اثر جنبایی گسل امتدادلغز گئو، به عنوان یکی از رشته های سامانه گسل نهبدان-خاش در شرق بلوک لوت و مسبب رخداد زمین لرزه ۱۳۲۴ مد نظر قرار گرفته است. شواهد متعدد، دلالت بر ارتباط گسل امتدادلغز جنوب گئو و رشد چین جوان گئو و تشکیل پک گسلی جوان و فعال گئو است. پیمایش های میدانی و شواهد مورفوتکتونیک همچون؛ انحراف مسیر و حفر بستر رودخانه ها، پدیده آنته سه دانس، جابجایی مخروط افکنه ها و نسل های متعدد آن از یافته های این پژوهش است، بیانگر جنبایی بالای قطعه جنوبی گسل گئو بوده و از توان خطر لرزه خیزی بالایی برخوردار است.

واژه های کلیدی: سامانه گسل نهبدان-خاش، زمین لرزه، رشد چین، گسل گئو.

مقدمه

امروزه انسان در کنار بهره‌برداری از توان‌های محیطی باید بتواند مخاطرات محیطی را شناخته و در جهت کاهش خسارات آن تلاش کند. قرار گرفتن ایران در کمربند کوهزایی آلپ-همالیا سبب شده است که ایران جزو مناطق پرخطر لرزه‌ای به شمار آمده و سرزمین‌های شرق ایران نیز از این قاعده مستثنی نبوده است. فعالیت‌های گسلی شرق ایران و بخصوص شرق و غرب بلوک لوت تهدیدی جدی برای ساکنان شرق ایران به شمار می‌آید که فعالیت گسل‌های قدیمی و جوان و پیدایش گسل‌های جدید زمینه بروز زمین‌لرزه‌های مخرب در این نواحی را فراهم آورده است. این مسئله ناشی از تنش‌های تکامل زمین ساختی اواخر ترشیاریست که از آن زمان آغاز شده، هنوز ادامه داشته و در طول تاریخ با رخداد زمین‌لرزه‌های متعدد، مخاطرات گاه جبران ناپذیری را برای ساکنان شرق ایران فراهم آورده است (واکر و جکسون، ۲۰۰۲) فازهای تکتونیکی فعال یک از مهمترین عوامل در دگرریختی‌های سطح زمین، مانند تغییر مسیر رودخانه‌ها، ناپایداری‌های دامنه‌ای و تغییر در سطح تراز آب زیرزمینی به شمار می‌آید (سارا کیانی و همکاران ۱۴۰۲، ۱۳۹۹، ۱۳۹۶)

تکتونیک جنب‌از دو منظر مورد بررسی قرار می‌گیرد یکی از دیدگاه مخرب و آنی تکتونیک و دیگری دیدگاه سازنده و حیات‌بخش آن (خسروی و همکاران، ۱۳۹۱) که در این پژوهش تأکید بیشتری بر دیدگاه مخرب و آنی تکتونیک است. دیدگاه مخرب و آنی تکتونیک به شناخت مناطق پرخطر لرزه‌ای که گسل‌های جوان و فعال دارند سوق می‌دهد و در این پژوهش گستره مورد مطالعه از این منظر مورد بررسی قرار گرفته است. شاید بتوان دو جنبه (مخرب و سازنده) تکتونیک را به دوالیته (زوجیت) در ژئومورفولوژی نسبت داد، دوالیته بیانگر تباین دو پدیده یا به معنی هماهنگی منظمی از دو قسمت متضاد (پارادوکسی جالب) یا تکمیل‌کننده یک کل است که با یکدیگر در ارتباطی خاص هستند. منظور از دوالیته در ژئومورفولوژی، پدیده خاصی است که با پدیده‌های ثانویه زوج شده، اگرچه می‌توان ماهیتی مستقل و جدا برای آن منظور داشت ولی پیوند خاصی بین آن‌ها برقرار است به‌طوری‌که رفتار یکی را باید در ارتباط با پدیده دیگر بیان کرد (پور خسروانی و همکاران، ۱۳۹۱). بخشی از شواهد مورفوتکتونیک سامانه گسلی گیو نیز مربوط به جنبه ویرانگر آن است که تخریب سازه‌های روستایی و تلفاتی را در دوره‌هایی رقم‌زده و بخشی از آن مربوط به فراهم آوردن شرایط زیستی حاصل از فعالیت و تکامل گسل گیو در طول زمان بوده و هست که بیانگر نقش سازنده تکتونیک است و احتمالاً با دوالیته در ژئومورفولوژی پیوندی نزدیک دارد. در ارتباط با گسل و تاثیرات مخرب آن مطالعات مختلفی در ایران و خارج از ایران انجام شده است از جمله مونلار، کویدونگ، ۱۹۸۴، میانگین تقریبی نرخ تغییر شکل را در بخش‌هایی از آسیای شرقی و مرکزی برای ۸۰ سال گذشته تعیین کرده‌اند. نتایج حاکی از آن بوده که جنوب شرقی چین در حدود ۲۱ میلی متر در سال به سمت شرق جنوب شرقی نسبت به اوراسیا در ۸۰ سال گذشته با عدم اطمینان حدود ۲ در این نرخ تخمینی حرکت کرده است. واکر و دیگران، ۲۰۰۴، گسل‌های فعال و لرزه‌خیزی منطقه دشت بیاض، در شرق ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داده است که گسل پراکنده امتداد لغز در منطقه گسترده است و نشانه‌هایی وجود دارد که گسل دشت بیاض از چندین گسل کوتاه که در حال ادغام هستند، تکامل یافته است. این نتایج نه تنها برای درک زمین ساخت منطقه بلکه برای توسعه و تکامل گسل‌های امتداد لغز به طور کلی مهم هستند. سیلیم و دیگران، ۲۰۱۳ شواهد مورفوتکتونیک از شاخه جنوبی گسل آناتولی شمالی (NAF) و زیر منطقه مرمره جنوبی، شمال غربی ترکیه را بررسی کردند. داده‌های GPS موجود و کلاس‌های Iat گسل‌های شاخه جنوبی NAFZ همبستگی داشتند. تمام محاسبات و داده‌های میدانی نشان می‌دهد که شاخه جنوبی NAF عنصر تکتونیکی اصلی تشکیل دهنده

ژئومورفولوژی زیر منطقه مرمره جنوبی است. (ریزا و دیگران، ۲۰۱۳) نرخ‌های لغزش برآورد شده از اندازه‌گیری‌های زمین‌شناسی (تداخل سنجی راداری و GPS) را با آن‌هایی که با تاریخ‌گذاری یک انحراف ژئومورفولوژیکی یک مخروط افکنه در امتداد گسل تبریز تعیین می‌شوند، مقایسه کرده‌اند. (زوفتی و بریسیزو، ۲۰۲۰) شواهد مورفوساختاری تکتونیک کواترنر پسین در مرز دشت پو-آپنین شمالی (لمباردی، ایتالیا) بررسی کردند. (تیلور و دیگران، ۲۰۲۳) در مقاله‌ای تکتونیک فعال و فرآیندهای سطحی با استفاده از فناوری زمین فضایی را مورد تحلیل قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیده‌اند که ترکیبی از نتایج با استفاده از تکنیک‌هایی مانند آنالیز زمین مبتنی بر مدل ارتفاعی دیجیتال (DEM)، PSInSAR و GNSS-geodesy، یک سهم علمی تاثیرگذار خوب در رابطه با تکتونیک فعال و فرآیندهای سطحی با استفاده از فناوری زمین فضایی خواهد داشت.

پرداختن به این موضوع که فشارهای اواخر ترشیاری سبب تکامل سیستم‌های گسلی شرق ایران و فعالیت گسل‌های شرق و غرب لوت و بروز زمین‌لرزه‌های ویرانگر می‌شود، موضوع مهم بسیاری از مطالعات داخلی و خارجی است از جمله می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد.

مطالعات (سیف و خسروی ۱۳۸۹) به بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس اختصاص داده شده است. نتایج حاصل در این مطالعه، نشان می‌دهد که در این حوضه گسلی فرعی منشعب از گسل اصلی زاگرس در طول حدود ۸۳۵۰ متر دارای فعالیت تکتونیک در حد بسیار فعال است. همچنین بخشهای زیادی از حاشیه این گسل دارای تکتونیک متوسط است. دو شهر باباحیدر و فارسان در حاشیه گسل‌های فعال واقع شده‌اند. (کیانی و همکاران ۱۳۹۹) در ارتباط با زمین ساخت فعال در گستره رودبار با نگرش ویژه بر زمین لغزش‌های منطقه به این نتیجه رسیده‌اند که تکتونیک فعال می‌تواند تغییراتی را در سطح زمین ایجاد کند. (بهرامی و همکاران ۱۳۹۲) تکتونیک فعال طاق‌دیس گلیان را مورد ارزیابی قرار دادند. بررسی شاخص‌های ژئومورفولوژیک در طاق‌دیس گلیان نشان می‌دهد که اولاً طاق‌دیس گلیان از نظر تکتونیک فعال است و ثانیاً میزان فعالیت‌های تکتونیک از جنوب شرق طاق‌دیس به سمت شمال غرب آن افزایش می‌یابد. براساس مطالعات (زمانی و همکاران ۱۳۹۳) در مورد ارتباط گسل گیو با تراورتن‌زایی به این نتیجه رسیده که گسل گیو به چهار پاره گسل اصلی تقسیم شده است به طوری که پاره گسل گاریجگان قدیمی‌ترین و دارای بیش‌ترین فعالیت و پاره گسل گیو دارای کمترین فعالیت و جوان‌ترین پاره گسل شناخته شده است. (کیانی و همکاران ۱۳۹۶) نقش گسل فعال در سطح تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز شهرچای، به این نتیجه رسیدند که گسل فعال می‌تواند در تغییر تراز آب زیرزمینی نقش مهمی داشته باشد. (مقصودی و همکاران ۱۳۹۶) در مقاله‌ای، تکتونیک فعال حوضه آبخیز مارون با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک بررسی قرار داده‌اند. طبقه‌بندی بدست آمده از بررسی شاخص‌ها، حوضه مارون به لحاظ تکتونیک و بالآمدگی، فعال است و زیرحوضه‌های بالادست نسبت به زیرحوضه‌های میانی و انتهایی فعال‌تر هستند. همچنین تکتونیک فعال در این حوضه، بر لندفرمها و سکونت‌گاهها تاثیر زیادی داشته است. (یوسفی و همکاران ۱۳۹۷) شواهد زمین‌ریختی رشد چین‌ها در ناحیه شمال غرب بیرجند را به صورت کمی و کیفی مورد بررسی قرار داده‌اند. بررسی شاخص‌های مورفوتکتونیک به همراه شواهد نوزمین‌ساختی مثل قطع‌شدگی و کج‌شدگی در رسوبات کواترنری، وجود سه نسل تراس رودخانه‌ای بریده شده، پشته‌های مسدود کننده و پرتگاه‌های گسلی، حاکی از پویایی زمین‌ساختی این منطقه است. (رضایی مقدم و همکاران ۱۳۹۹) به ارزیابی تکتونیک فعال با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک در حوضه آبریز تلوار پرداختند. تمامی شاخص‌ها، تکتونیک فعال و نسبتاً فعال را در زیر حوضه‌ها را نشان

می دهند. مطالعات (احراری رودی ۱۴۰۰) میزان تاثیر فعالیتهای تکتونیکی بر تغییرات ژئومورفولوژیکی سواحل جنوب شرق ایران را مورد بررسی قرار داد. تغییر شکل چشم اندازهای ژئومورفولوژیکی، شواهد تکتونیکی و زمین شناسی نشان داد که تغییرات ژئومورفولوژیکی سواحل چابهار، ناشی از فرآیندهای رسوبگذاری اثر امواج و تحت تاثیر فعالیت های تکتونیکی است. (سرهنکی و همکاران ۱۴۰۰) بررسی شاخص های ژئومورفیک حوضه زهکشی جاسک و تاثیر گسل زندان بر این شاخص ها و در نتیجه تاثیر آن بر مخاطرات زمین ساختی منطقه پرداختند. (کیانی و همکاران ۱۴۰۲) در ارتباط با فعالیت های نسبی مورفو تکتونیکی حوزه آب ریز کن سولقان به این نتیجه رسیده اند که زمین ساخت فعال می تواند تغییراتی را در حوضه های آبریز و رودخانه های منطقه ایجاد کند.

این پژوهش نیز در راستای مطالعات و پژوهش های قبلی و انجام کار های میدانی فراوان بیان می دارد که سامانه گسلی گیو در شمال خاوری بلوک لوت در زمره گسل های پرخطر لرزه ایست و زمین لرزه های فراوانی را سبب شده است از جمله زمین لرزه مخرب ۱۳۲۴ روستای گیو که باعث تخریب کامل روستای گیو و جان باختن ۳ نفر از اهالی روستا شده است. به لحاظ زمین شناسی محدوده مورد مطالعه جزو مناطق تغییر شکل یافته قاره ای شرق ایران است که در اثر فشارهای اواخر ترشیاری بین سپرهای مجاور به دام افتاده و این فشارها سبب فعالیت گسلی برخی سیستم های گسلی در شرق ایران شده است. فشردگی ایران در این بخش حاصل همگرایی عربستان اوراسیا و سپر هند است (مُر و مدبری، ۱۳۸۶). این میزان از فشردگی در شرق ایران حدود ۱۰ الی ۱۲ میلی متر در سال است (سیلا و دیگران، ۲۰۰۲). این تحولات در شرق ایران که حاصل فشارهای اواخر ترشیاری است و هنوز هم ادامه دارد سبب ایجاد گسل های جدید، فعالیت گسل های قدیمی و بروز زمین لرزه های ویرانگر شده است (زمردیان، ۱۳۹۱).

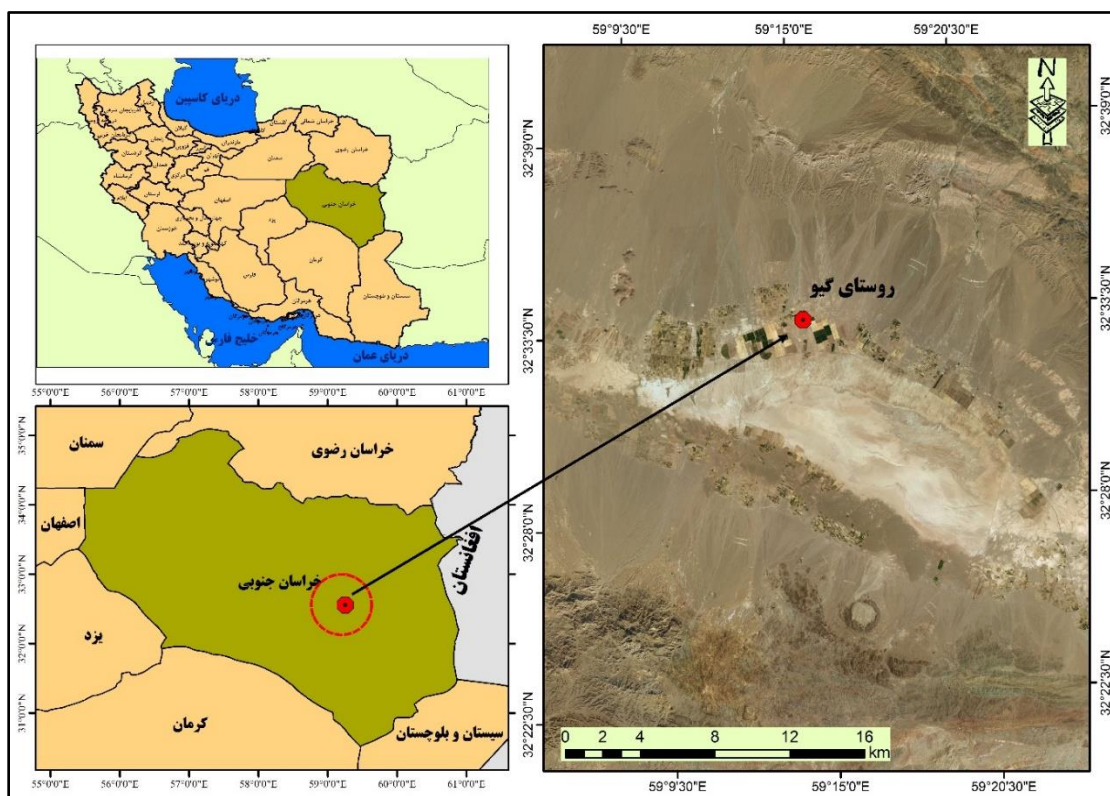
با توجه به توضیحات فوق، هدف این پژوهش بررسی نقش سامانه گسلی گیو در بروز شواهد مورفوتکتونیک و نیز تحلیل زمین ساخت فعال در گستره مورد مطالعه است که با توجه به مدل بکار رفته و منابع مورد مطالعه به نتایج مطلوبی دست یافته است. مدل بکار رفته در این پژوهش که برگرفته از نمونه های مشابه در منابع خارجی، مدل مفهومی است بیشتر به جنبه مخرب تکتونیک پرداخته و به اهداف مورد نظر دست یافته است. بر این اساس باید دید آیا شواهد مورفوتکتونیک سامانه گسلی گیو می تواند نشانه فعالیت بیشتر و تهدید بیشتر در این بخش از محدوده مورد مطالعه (دامنه جنوبی کوه های باگران) باشد یا خیر؟ به دنبال مطالعه منابع مختلف، منابعی که پاسخگوی سؤالات تحقیق است انتخاب و مورد تجزیه و تحلیل بیشتری قرار گرفتند و نیز مدل مفهومی برگرفته از این منابع که جنبه کیفی - تحلیلی دارد بکار گرفته شد. لذا با توجه به اهداف اصلی این پژوهش که جنبه مخرب و آنی تکتونیک را دنبال می کند منابعی انتخاب شدند که بیشترین اطلاعات را برای پاسخ به سؤال تحقیق فراهم نمودند مجموع اطلاعات بیان کننده زمین ساخت فعال در گستره مورد مطالعه است.

داده ها و روش کار

الف) قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

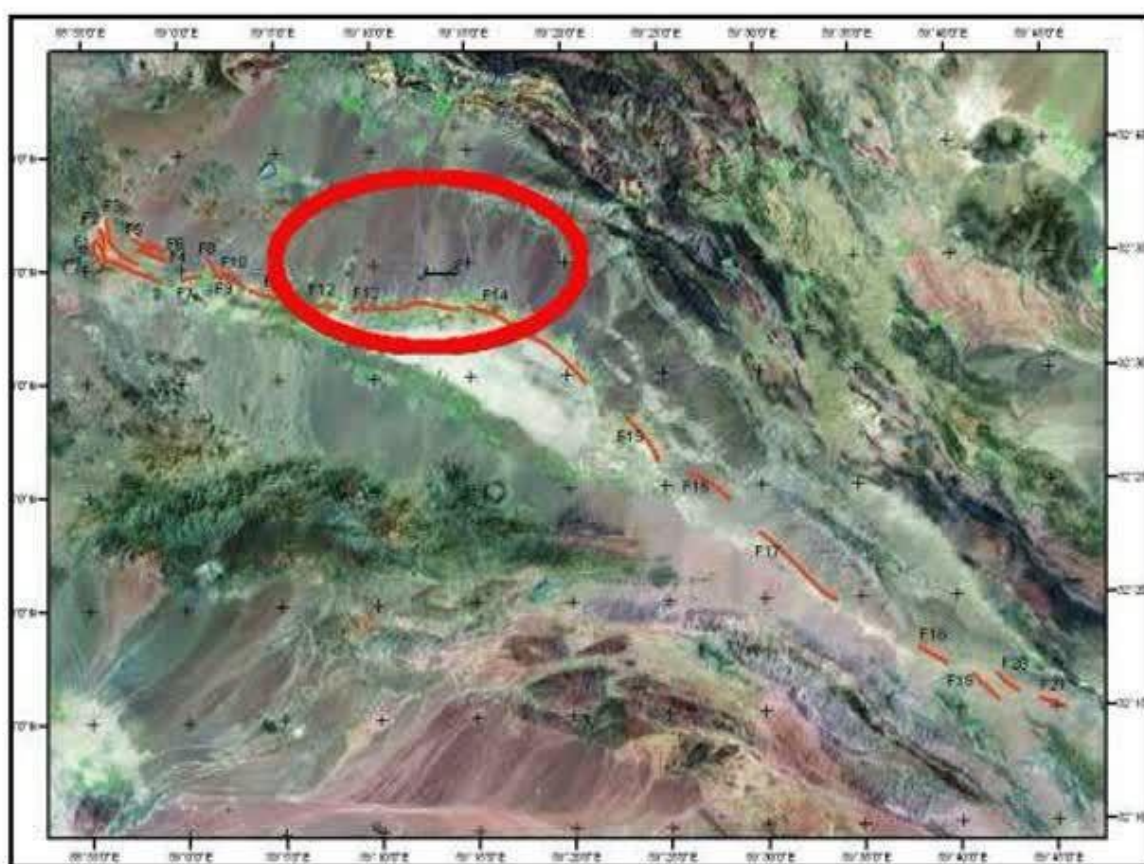
سامانه گسلی گیو بخشی از گسل نهبندان - خاش در شرق بلوک لوت است و در دشت گیو شمال خاوری لوت با جهت تقریباً غربی - شرقی امتداد یافته از جنوب روستای گیو عبور می کند و تا ده میر و کاریجگان در غرب دشت گیو ادامه می یابد.

روستای گیو از توابع شهرستان خوسف در استان خراسان جنوبی و در مرکز دشت گیو در جنوب کوه‌های باگران بیرجند و شمال کوه شاه واقع شده است (شکل ۱). این محدوده، بخشی از منطقه تغییر شکل یافته قاره‌ای شرق ایران است که تحت تأثیر فشارهای اواخر ترشیاری گسل‌های قدیمی آن مجدد فعال گسل‌های جوان و فعال نیز شکل گرفته و هنوز هم فعالیت آن‌ها ادامه دارد و در آینده نیز زمین‌لرزه‌های مخرب دور از انتظار نیست، به دام افتادن ایران بین سپرهای مجاور و فشارهای اواخر ترشیاری شرایط را برای لرزه‌خیزی شرق ایران و بخصوص شرق و غرب لوت فراهم ساخته است (مُر و مدبری، ۱۳۸۶). گستره مورد مطالعه نیز از این فشارها در امان نبوده، امتداد یکی از شاخه‌های گسل نهبندان - خاش یا سامانه گسلی گیو در دشت گیو زمینه را برای زمین‌لرزه‌های ویرانگر فراهم کرده است، این سامانه شامل قطعات زیادی است که در دشت گیو با جهت تقریباً غربی - شرقی ادامه دارد قطعه گسلی گیو نسبت به سایر قطعات فعال‌تر و زمین‌لرزه‌های بیشتری را بخصوص در قرن اخیر داشته است شاید شرایط سنگ‌شناسی با مقاومت کمتر و تمرکز بیشتر فعالیت‌های درونی زمین را بتوان در این مسئله دخیل دانست (زمانی باب گوهری، ۱۳۹۳).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

دق گیو نیز در مرکز دشت گیو در جنوب روستای گیو قرار دارد و احتمالاً یک چاله ساختمانی در امتداد سامانه گسل گیو است. به نظر می‌رسد فرونشینی دق گیو و فعالیت پک گسلی گیو که بخشی از سامانه گسلی گیو است زمینه بروز زمین‌لرزه‌های مخرب را فراهم ساخته‌اند (شکل ۲).



شکل ۲: تصویر ماهواره‌ای دشت گیو و گسل گیو

ب) روش تحقیق

در پژوهش حاضر باهدف شناسایی عوامل دخیل زمین‌ساخت فعال، ارائه مدل مفهومی و اعتبار یابی کیفی برای شناسایی عناصر مرتبط از روش تحلیل کیفی مضمون استفاده شده است، روشی است که برای توصیف عینی و کیفی محتوای مفاهیم متن‌ها، پدیده‌ها و فضاها به صورت نظام‌دار انجام می‌شود، قلمرو این نوع پژوهش متن‌های مکتوب، شفاهی، تصویری و فضایی در مورد موضوعی خاص است و در این راستا عناصر و مطالب موردنظر گردآوری و طبقه‌بندی می‌شوند و داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند (علیجانی ۱۳۹۲) این روش در مواردی چون واکنش‌های پنهان یک تصمیم، تحلیل یک وضعیت تعارض‌آمیز (تکتونیک مخرب و سازنده)، تحلیل ساختار و تفسیر عناصر فضایی محیط خارج موردنظر است و جزو روش‌های تحلیل کیفی در پژوهش است (حافظ نیا ۱۳۸۹).

تحقیق حاضر از نوع پژوهش‌های کاربردی و توسعه‌ای است و با توجه به پیشینه لرزه‌خیزی منطقه و داده‌های تاریخی می‌تواند گامی در جهت شناخت مناطق پرخطر لرزه‌ای باشد و همچنین آمادگی بیشتر ساکنان بومی را یادآوری می‌کند. مدل مفهومی بکار رفته در این پژوهش که برگرفته از نمونه‌های مشابه خارجی است (واکر و جکسون، ۲۰۰۲) بیشتر جنبه مخرب تکتونیک را مورد بررسی قرار می‌دهد به‌قرار زیر است.

جدول ۱: مدل مفهومی جنبه مخرب تکتونیک

فشارهای اواخر ترشیاری

(چین خوردگی های باقران در شمال گستره مورد مطالعه مربوط به فشار های اواخر ترشیاری است)

۲- فعالیت مجدد گسل های قدیمی. (گسل امتداد لغز جنوب گیو به نسبت گسل های شمال گیو قدیمی تر است و مجدداً فعالیت های بیشتری داشته است.)	۱- رشد چین های جوان و به وجود آمدن گسل های جوان پنهان و آشکار. (رشد چین جوان گیو نیز همراه با گسل های پنهان و آشکار مسبب زمین لرزه های اخیر می باشد).
	۱.۱- ارتباط با گسل های امتداد لغز (رشد چین جوان گیو با گسل امتداد لغز جنوب گیو مرتبط است.)
	۱.۲- بروز زمین لرزه های مخرب (زمین لرزه های تاریخی و ثبت شده روستای گیو نتیجه تکامل سامانه گسلی گیو است.)
	۱.۳- بروز شواهد مورفوتکتونیک در کواترنر. (شواهدی مانند جابجایی مخروط افکنه، تغییر مسیر و حفر بستر رودخانه ها و پدیده انته سه دانس و دگر شیبی در کواترنر نشانه زمین ساخت فعال می باشد)

در این پژوهش، کار کتابخانه ای با جمع آوری و دریافت منابع داخلی و خارجی آغاز و به دنبال آن ترجمه منابع خارجی در مدت زمان طولانی صورت گرفت. همچنین آمار و اطلاعات از سازمان زمین شناسی و موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه بیرجند، مرکز لرزه نگاری بیرجند دریافت شد. مطالعات میدانی، مصاحبه، پیمایش و اندازه گیری های صحرایی، استفاده از نقشه های زمین شناسی و توپوگرافی و تصاویر ماهواره ای و به کارگیری نرم افزارهای گوگل ارث و نرم Arc GIS، تجزیه و تحلیل و ترکیب اطلاعات انجام شد. اغلب داده ها به صورت داده های کیفی و تا حدودی داده های کمی در تجزیه و تحلیل بکار گرفته شد.

شرح و تفسیر یافته ها

• لرزه زمین ساخت سامانه گسلی گیو

گستره مورد مطالعه در بخش شمالی حوضه فلیش خاور ایران از نظر فعالیت گسلی و لرزه خیزی جزء مناطق فعال قاره ای شرق ایران محسوب می شود. سیستم های گسلی شرق و غرب بلوک لوت که مسبب زمین لرزه های مخرب شرق ایران هستند نیز در این محدوده واقع شده اند. گسل نهبندان - خاش یکی از گسل های مهم شرق ایران که تحت تأثیر فشارهای اواخر ترشیاری و به دام افتادگی بلوک های شرق ایران بین صفحات مجاور فعال شده و هنوز هم این فعالیت ادامه دارد، زمین لرزه های ویرانگری را سبب شده و در آینده نیز ادامه خواهد داشت. سامانه گسلی گیو یکی از شاخه های گسل نهبندان - خاش از فشارهای اواخر ترشیاری در امان نبوده و در امتداد آن دگرشکلی هایی صورت گرفته که حاصل همین فشارها است (زمردیان، ۱۳۹۱).

بر اساس مدل زمین ساختی بربریان شاید بتوان گفت دگرشکلی های ایران در محدوده های بزرگتر از مرز صفحات و بلوک ها اتفاق می افتد به نظر می رسد رشد چین جوان گیو در محدوده گسل امتداد لغز راست گرد گیو هم منطبق بر مدل زمین ساختی بربریان است و دگرشکلی ها از محدوده باریک گسل های امتداد لغز در محدوده بزرگتری قابل مشاهده است

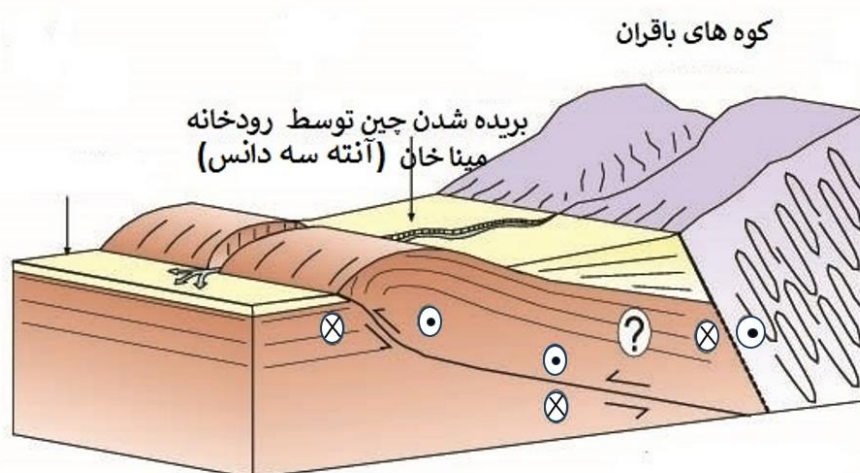
که خود حاصل فشردگی ایران بین صفحات عربستان - اوراسیا از یک سو و آسیای صغیر در غرب و هند در شرق ایران از سوی دیگر است (مُر و مدبری، ۱۳۸۶).

امتداد گسل امتدادلغز راست گرد گيو با مؤلفه معکوس در دشت گيو و چین جوان گيو حدفاصل روستای گيو و دامنه جنوبی کوه‌های باقران تشکیل یک بخش گسلی فعالی را می‌دهند که موتور محرکه فعالیت و تکامل آن گسل امتدادلغز جنوب گيو است، به طوری که به دنبال زمین‌لرزه ۱۳۲۴ که احتمالاً در گسل امتدادلغز جنوب گيو رخ داد، متعاقب آن در دهه‌های بعد برخی زمین‌لرزه‌ها در شمال روستای گيو در محدوده چین جوان گيو رخ داده است که حاکی از وجود گسل پنهان در این محدوده است لذا با توجه به شواهد مورفوتکتونیک می‌توان گفت آن بخش از سامانه گسلی گيو که قطعه جنوب روستای گيو را شامل می‌شود به همراه چین جوان یا بر خاستگی شمال گيو نسبت به بقیه قطعات فعال‌تر و زمین‌لرزه‌های مخرب را سبب شده است که نشان‌دهنده تکامل قطعه گسلی گيو در دوره‌های مختلف فعالیت سامانه گسلی گيو می‌باشند.

• ارتباط گسل امتدادلغز و رشد چین جوان گيو

گسل‌های امتدادلغز در مراحل مختلف تکامل خود در اکثر موارد موتور محرکه گسل‌های رو رانده و رشد چین‌های جوان هستند و زمینه تکامل آن‌ها را نیز فراهم می‌کنند. رشد چین‌ها، برخاستگی چین‌ها و گسل‌های رو رانده در مجاورت گسل‌های امتدادلغز بافاصله کم در بیشتر گسل‌های شرق و غرب لوت صدق می‌کند (واکر، جکسون، ۲۰۰۲) در مورد سامانه گسلی گيو نیز می‌تواند صادق باشد.

گسل‌های امتدادلغز معمولاً رشد طولی ارتفاعات و گسل‌های رو رانده و رشد چین‌ها زمینه رشد عرضی ارتفاعات را فراهم می‌کنند سامانه گسلی گيو نیز از این قاعده مستثنی نیست بخصوص شواهد شمال و جنوب روستای گيو بیان‌کننده ارتباط گسل شمال و جنوب آن است و اینکه گسل امتدادلغز جنوب گيو زمینه رشد و تکامل چین جوان را فراهم می‌سازد و این دو مراحل تکاملی را با هم در مراحل مختلف فعالیت طی می‌کنند و زمین‌لرزه‌های مخرب روستای گيو را در دوره‌های گذشته رقم زده‌اند.



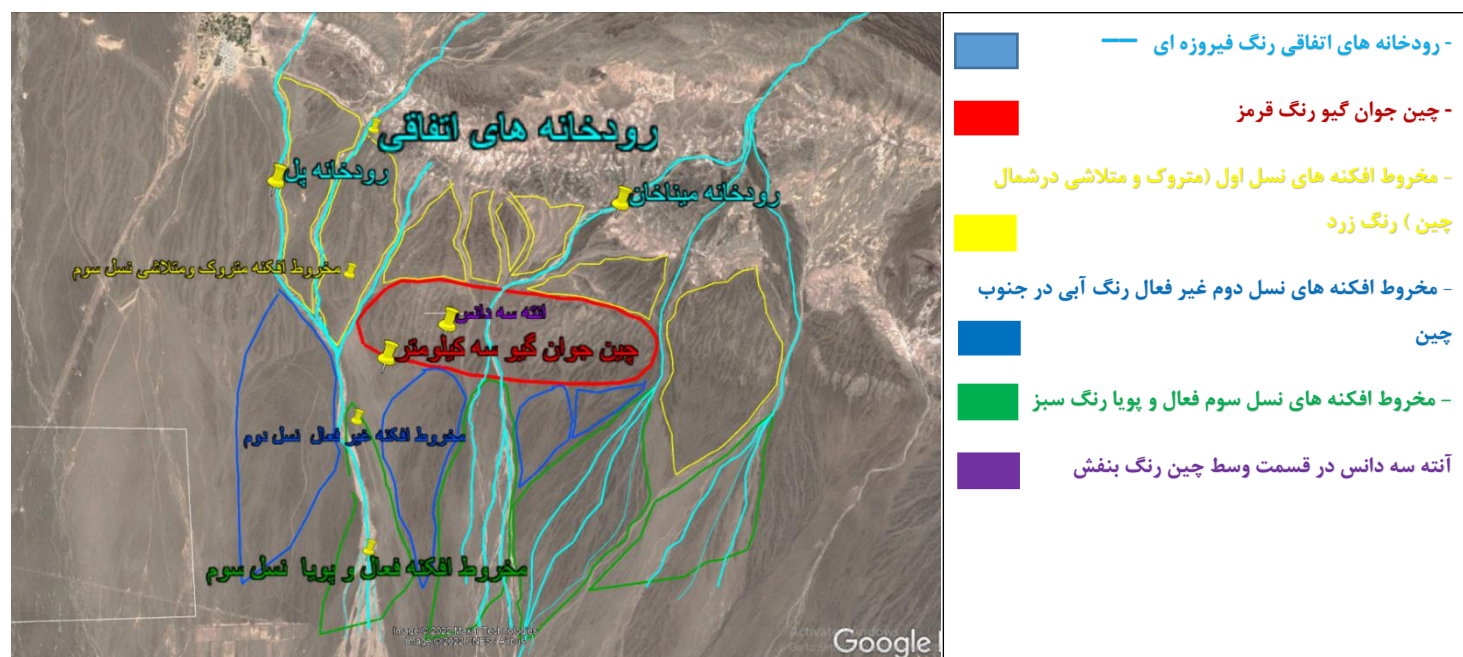
شکل ۳: رشد چین جوان گيو در پنج کیلومتری شمال گيو (برگرفته و تعدیل شده از واکر و جکسون ۲۰۰۲)

به نظر می‌رسد در مجاورت چین جوان گیو در حدفاصل حدود ۵ کیلومتری شمال روستای گیو و دامنه جنوبی کوه‌های باگران بیرجند، گسل‌های پنهان و فعال وجود دارد که بخشی از زمین‌لرزه‌های مخرب را می‌توان به آن نسبت داد.

شواهد مورفوتکتونیک رشد چین جوان گیو در شمال روستای گیو نیز حاکی از زمین‌ساخت فعال و خطر لرزه‌خیزی بالا در این بخش از سامانه گسلی گیو است که عبارت‌اند از:

- انحراف مسیر رودخانه پل؛
- انحراف مسیر رودخانه مینا خان؛
- حفر بستر رودخانه‌ها؛
- پدیده آنته سه دانس؛
- وجود سه نسل مخروط افکنه در مجاورت چین.

درمجموع این شواهد می‌تواند بیانگر سابقه لرزه‌خیزی گسترده مورد مطالعه و فعالیت بیشتر قطعه گسلی گیو به نسبت سایر قطعات آن در این سامانه گسلی باشد.



شکل ۴: رشد چین جوان گیو در پنج کیلومتری شمال گیو

لازم به ذکر است گسل امتدادلغز جنوب گیو موتور محرکه چین جوان گیو در شمال آن است و باهم در مراحل مختلف تکاملی خود زمین‌لرزه‌های مخربی را سبب شده‌اند (زمین‌لرزه ۱۳۲۴) در دهه‌های بعد زمین‌لرزه‌هایی با قدرت کمتر اکثراً مرتبط با رشد چین جوان گیو و گسل‌های پنهان در این محدوده است. لذا می‌توان گفت فعالیت در بخش‌های مختلف قطعه گسلی باهم ارتباط دارند و گسل امتدادلغز جنوب گیو در پایانه خود پیچ می‌شود با گسل رو رانده شمال گیو و زمینه رشد چین گیو را فراهم می‌سازد، موارد مشابه در مطالعات بیاض

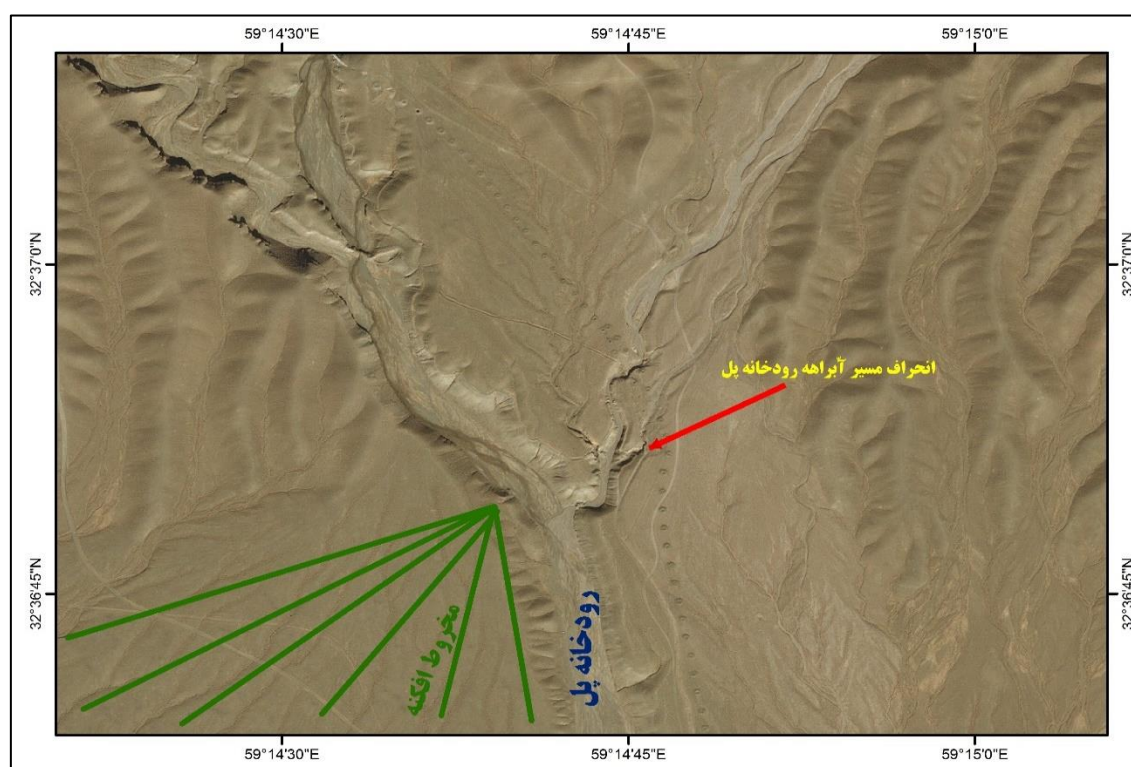
گلن ۱۹۹۹ در مغولستان، بربریان ۲۰۰۰ در گسل سفیدآبه، واکر و جکسون ۲۰۰۴ در گسل فردوس، طبس، ماهان، راین، «بر این باورند گسل‌های امتدادلغز در پایانه خود پیچ می‌شوند با گسل‌های رو رانده و زمینه رشد چین‌های جوان را فراهم می‌کنند و نیز چین‌های قدیمی و تکامل‌یافته هم همین مراحل را پشت سر گذاشته‌اند.»

• شواهد مورفوتکتونیک رشد چین جوان گیو

سامانه گسلی گیو در شمال خاوری بلوک لوت شاخه‌ای از گسل بزرگ نه‌بندان - خاش در دشت گیو، جنوب کوه‌های باغران بیرجند با امتداد تقریباً شرقی - غربی امتدادیافته و از مجاورت روستای گیو عبور می‌کند و بعد از عبور از ماژان تا گاریجگان و ده میر امتداد دارد و توانسته دگرشکلی‌هایی را در این محدوده بخصوص در شمال و جنوب روستای گیو یا همان محدوده قطعه گسلی فعال ایجاد کند و شواهد مورفوتکتونیک متنوعی را به نمایش بگذارد که قابل بررسی است از جمله:

- انحراف مسیر رودخانه پل

رودخانه پل از دامنه جنوبی کوه‌های باغران در شرق روستای سلم‌آباد، شمال روستای گیو سرچشمه می‌گیرد در ابتدای ورود به دشت گیو بعد از طی مسافت حدود ۳ کیلومتر شاخه‌ای از رودخانه پل در محدوده برخاستگی چین جوان گیو و رشد چین به سمت غرب منحرف‌شده و به حرکت خود با جهت شمال-جنوب ادامه می‌دهد (شکل ۴ و ۵).

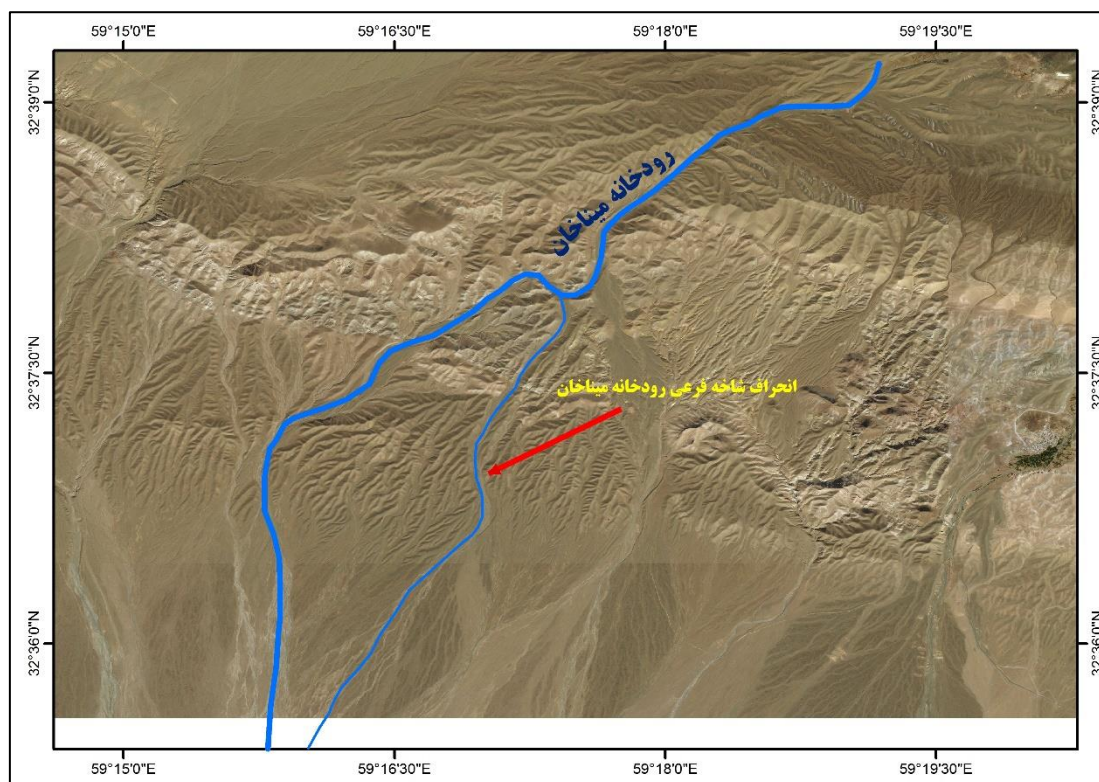


شکل ۵: انحراف مسیر یکی از شاخه‌های رودخانه پل

نهایتاً بعد از عبور از غرب روستای گیو مجدداً بعد از عبور از گسل امتدادلغز جنوب گیو و انحراف مسیر معنادار وارد خندق گیو می‌گردد. لازم به ذکر است که رودخانه پل رودخانه‌ای اتفاقی است و فقط در شرایط طغیانی جریان می‌یابد و گاهی خساراتی به روستای گیو وارد می‌کند.

- انحراف مسیر رودخانه میناخان

این رودخانه اتفاقی از دامنه جنوبی کوه‌های باغران، اطراف روستای میناخان سرچشمه گرفته بعد از چندین پیچ‌وخم از چین سلم‌آباد عبور کرده در ادامه مسیر به سمت جنوب به دلیل برخاستگی و رشد چین جوان گئو به سمت غرب انحراف پیدا می‌کند و به نظر می‌رسد چین را بریده (بروز پدیده آنته سه دانس) و به سمت جنوب ادامه مسیر می‌دهد (شکل ۶). در سمت شرق روستای گئو بعد از عبور از بند سار شرق گئو در جنوب گئو وارد آبگیر تکتونیک یا خندق می‌شود. هم‌چنین شاخه‌های فرعی رودخانه میناخان در قسمت انتهایی شرقی چین به سمت شرق منحرف‌شده و چین را دور می‌زنند بعد در ادامه مسیر به سمت جنوب با شاخه اصلی یکی شده وارد خندق می‌گردد.



شکل ۶: انحراف مسیر شاخه فرعی رودخانه میناخان

- جابجایی مخروط افکنه‌ها

رشد چین‌های جوان می‌تواند سبب جابجایی مخروط افکنه‌ها و برجای گذاری نسل‌های مختلف مخروط افکنه گردد، در مجاورت چین‌های جوان مخروط افکنه دچار تغییرات زیادی می‌شوند.

رو راندگی گئو در جنوب چین سلم‌آباد سبب رشد چین گئو و برخاستگی چین از درون رسوبات نئوژن شده است و مخروط‌افکنه‌های قدیمی یا نسل اول را شکافته و بالاآمده و به دلیل انحراف مسیر رودخانه‌ها مخروط‌افکنه‌های شمال چین گئو به‌صورت متروک و رهاشده قابل مشاهده است در جنوب چین و در انتهای شرق و غرب چین نیز مخروط افکنه‌هایی غیرفعال به دلیل تغییر مسیر رودخانه‌ها به دنبال رشد چین وجود دارد که همان مخروط‌افکنه‌های نسل دوم به حساب می‌آیند و در نهایت در مسیر جدید رودخانه‌ها مخروط‌افکنه‌های جدید و فعال در حال شکل‌گیری است (شکل ۴).

- مخروط افكنه رودخانه پل

رودخانه پل غرب از چین عبور می‌کند و یکی از شاخه‌های آن غرب چین را دور می‌زند و در جنوب غرب چین همه شاخه‌های آن یکی شده دوباره کمی به سمت شرق انحراف می‌یابند درحالی‌که قبلاً مسیر آن غربی‌تر بوده و یک مخروط افکنه از نسل دوم در اینجا قابل مشاهده است و تا حدودی به صورت متروک درآمده است. فشار چین جوان گيو به رسوبات نئوژن در جنوب چین سبب بالا آمدن رسوبات و انحراف مسیر مجدد این رودخانه و بریده شدن مخروط افکنه غیرفعال می‌شود و کمی در موقعیت جنوبی‌تر مخروط افکنه جدید در حال شکل‌گیری است (شکل ۴).

- مخروط افکنه رودخانه میناخان

رودخانه میناخان بعد از عبور از چین جوان گيو به دلیل فشار چین به رسوبات نئوژن و بالا آمدگی آن‌ها در جنوب چین تغییر مسیر داده مخروط افکنه نسل دوم را برجای گذاشته، و در مجاورت آن به سمت شرق مخروط جدیدی (نسل سوم) در حال شکل‌گیری است. هم‌چنین شاخه‌های فرعی ۱ و ۲ رودخانه میناخان که انتهایی‌ترین بخش شرقی چین را دور می‌زند و مخروط افکنه نسل ۲ که تا حدودی است را برجای گذاشته و به سمت غرب آن مخروط جدید و فعال قابل مشاهده است (شکل ۴). جهت مقایسه هرچه از رودخانه‌های فرعی میناخان به سمت شرق حرکت کنیم در مسیر رودخانه نوکاج و اصغول (البته در راستای چین گيو به سمت شرق) مخروط افکنه متروک و غیرفعال قابل مشاهده نیست. لذا می‌توان نتیجه گرفت که در مجاورت چین گيو شواهد مورفوتکتونیک بارزتری وجود دارد که حاکی از فعالیت بیشتر پک گسلی گيو است.

- پدیده آنته سه دانس در مسیر رودخانه میناخان

رشد چین جوان گيو و برخاستگی آن در مسیر رودخانه میناخان سبب حفر بستر هرچه بیشتر رودخانه در بخش میانی چین شده است به‌طوری‌که در طی زمان طولانی قسمت میانی چین توسط رودخانه اصلی مینا خان بریده شده و زمینه بروز پدیده تحمیل و آنته سه دانس را فراهم آورده است (شکل ۴ و شکل ۷ و ۸). به نظر می‌رسد این موضوع به سمت شمال در چین سلم‌آباد نیز اتفاق افتاده باشد و پدیده آنته سه دانس با سن خیلی قدیمی‌تر شکل گرفته است.



شکل ۷: پدیده حفر بستر یا آنته سه دانس در مسیر رودخانه میناخان



شکل ۸: پدیده حفر بستر یا آنته سه دانس در مسیر رودخانه میناخان

- دگرشیبی در محدوده چین جوان گیو

زمین‌ساخت فعال در پک گسلی گیو توانسته تغییرات زیادی در سطح زمین ایجاد کند از جمله برخاستگی چین جوان گیو که یکی از فاکتورهای مهم در بروز شواهد مورفوتکتونیک در این محدوده است. این برخاستگی علاوه بر شواهدی که قبلاً ذکر شد زمینه ایجاد دگرشیبی در مجاورت چین را فراهم کرده است. تکتونیک جنبه سبب شده رسوبات قدیمی‌تر چین‌خورده و از میان رسوبات نئوژن سر برآورده و رسوبات جوان‌تر به صورت دگر شیب و نامتقارن در مجاورت چین قرار گیرند و همچنین زمینه تغییر و جابجایی مخروط افکنه‌ها را فراهم ساخته است. البته لازم به ذکر است در محدوده چین جوان گیو، گسل خوردگی در سطح نمایان نیست و می‌تواند حاکی از گسل پنهان باشد که به سطح نرسیده، مجموعه شواهد ذکر شده تحت تأثیر رشد چین گیو به وجود آمده‌اند.

لازم به ذکر است با توجه به شواهد و آمار زمین‌لرزه‌های تاریخی و ثبت‌شده می‌توان گفت روستای گیو همان‌طور که در گذشته در معرض آسیب‌های ناشی از زمین‌لرزه‌های ویرانگر بوده در آینده نیز در امان نخواهد بود. به نظر می‌رسد روستای گیو سه مرتبه جابجایی داشته که احتمالاً زمین‌لرزه‌های مخرب تاریخی در تخریب و مکان‌گزینی مجدد آن نقش داشته و مسلماً در آینده نیز این زمین‌لرزه‌ها تکرار خواهند شد از جمله زمین‌لرزه‌های مخرب قرن اخیر می‌توان به زمین‌لرزه‌های ۱۲۹۷، ۱۳۲۴، ۱۳۷۰ اشاره کرد.

شواهد مورفوتکتونیک در گستره مورد مطالعه حاکی از خطر بالای لرزه‌خیزی در پک گسلی گیو هست که نسبت به سایر قطعات سامانه گسل گیو از خطر بیشتری برخوردار است. مجموع شواهد از قبیل بالاآمدگی و پرتگاه‌های جنوب گیو، تغییر معنادار رودخانه پل در نزدیکی مصب و حفر بستر در این بخش نشان از بالاآمدگی و فعالیت گسل جنوب گیو و تراورتن زایی همزاد با زمین‌لرزه در جنوب گیو و نیز شواهد رشد چین جوان گیو در ۵ کیلومتری شمال روستای گیو مانند انحراف رودخانه پل و میناخان و حفر بستر رودخانه میناخان (پدیده آنته سه دانس)، وجود سه نسل مخروط

افکنه در مجاورت چین جوان گیو همه حاکی از زمین‌ساخت فعال و برخاستگی چین گیو و بروز زمین‌لرزه‌های مخرب است همه شواهد ذکرشده زنگ خطری جدی برای ساکنان هم‌جوار گسل گیو بخصوص روستای گیو است و کار مطالعاتی بیشتر، مقاوم‌سازی روستاها، برنامه‌ریزی صحیح برای کارهای عمرانی را می‌طلبد تا حوادث تلخ گذشته روستای گیو در آینده تکرار نگردد و این موضوع در بحث آمایش سرزمین مدنظر قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

فعالیت سامانه گسلی گیو زمینه بروز زمین‌لرزه‌های مخرب در گستره مورد مطالعه فراهم کرده است و تهدیدی جدی برای ساکنان آن بشمار می‌آید مانند سایر سامانه‌های گسلی شرق و غرب لوت، در امتداد گسل در دشت گیو جمعیت نسبتاً زیادی متمرکز است. با توجه به مطالعات و اندازه‌گیری‌های میدانی می‌توان به نتایج زیر دست یافت: بخش بسیار فعال سامانه گسلی گیو که شامل گسل امتدادلغز جنوب گیو و چین جوان گیو در شمال آن است به نسبت سایر قطعات گسل گیو فعال‌تر است شواهد مورفوتکتونیک رشد چین جوان گیو عبارت‌اند از:

- انحراف مسیر رودخانه پل حدود ۸۰۰ متر و میناخان حدود ۴۰۰؛
- حفر بستر رودخانه پل حدود چهار متر و میناخان حدود هشت متر؛
- پدیده آنته سه دانس با حدود هشت متر حفر بستر در رودخانه میناخان در مرکز چین؛
- جابجایی مخروط افکنه‌ها.

برخاستگی چین جوان گیو در شمال روستای گیو و حدفاصل کوه‌های باگران بیرجند از میان رسوبات نئوژن سبب بروز دگرشیبی رسوبات جدیدتر و انحراف مسیر رودخانه پل، میناخان و شاخه‌های آن‌ها شده است. هم‌چنین زمینه جابجایی مخروط افکنه‌ها و پیدایش سه نسل مخروط افکنه (نسل اول متروک و رهاشده و حتی متلاشی‌شده در شمال چین، نسل دوم غیرفعال در انتهای جنوب خاور و جنوب باختر چین، نسل سوم جدید و فعال در جنوب چین) را فراهم آورده است. در بخش میانی چین جوان گیو باعث حفر بستر رودخانه میناخان و بریدن چین توسط رودخانه و بروز پدیده آنته سه دانس شده است. در جنوب روستا گیو شواهد مرتبط با گسل امتدادلغز را می‌توان مشاهده نمود مانند آبگیرهای تکتونیکی، آبشارکها، انحراف مسیر رودخانه‌ها در مصب تپه‌های مسدودکننده و پرتگاه‌های گسلی که این‌ها بخشی از شواهدی است که نشان‌دهنده رشد چین جوان گیو و فعالیت گسل امتدادلغز جنوب گیو و زمین‌ساخت فعال در گستره مورد مطالعه است (واکر و جکسون، ۲۰۰۴) و می‌تواند خطری جدی برای ساکنان روستای گیو که قبلاً نیز زمین‌لرزه‌های ویرانگری را تجربه کرده‌اند باشد.

منابع

- احراری رودی، محی‌الدین. ۱۴۰۰. بررسی تاثیر تکتونیک فعال بر تغییرات ژئومورفولوژیکی سواحل ایرانی مکران (مطالعه موردی: چابهار). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، سال نهم، ۴: ۲۳۰-۲۵۰.
- ارفع‌نیا، رامین. ۱۳۹۳. جنبش‌شناختی ساختارهای گسلی در منطقه اقلید، حاشیه زاگرس بلند. *نشریه علوم زمین (زمین‌ساخت)*، سال بیست و چهارم، ۹۴: ۱۰۳-۱۱۴.
- اصغری، حسن؛ فرشاد رنجبری. ۱۳۹۶. ارزیابی تکتونیک فعال حوضه‌های آبخیز رودخانه جگین. *هفتمین کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار و عمران شهری*.

- بهرامی، شهرام؛ محمدعلی زنگنه اسدی، یوسف غلامی. ۱۳۹۲. تحلیل تکتونیک فعال طاق‌دیس گلیان با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک. *جغرافیا و توسعه*، ۳۳: ۱۵۹-۱۷۲.
- پورخسروانی، محسن؛ محمدحسین رامشت و سید علی المدرسی. ۱۳۹۱. دوالیتی در ژئومورفولوژی. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، سال ۴۴، ۳: ۶۳-۷۲.
- تقی پور، کریم؛ محمدرضا عباسی. ۱۳۸۴. تراویتونیک: کاربرد نهشته‌های تراورتن در تکتونیک فعال، سمپوزیوم علوم زمین. حافظ نیا، محمدرضا؛ ۱۳۸۹. مقدمه‌ای بر روش تحقیق در علوم انسانی. انتشارات سمت.
- خسروی، قاسم؛ محمد حسین رامشت، محمدرضا ثروتی و اریک فورس. ۱۳۹۱. تکتونیک جنوبا، انسان، مدنیت. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، سال ۴۴، ۳: ۱۷-۳۸.
- رضایی مقدم، محمدحسین؛ معصومه رجبی و زهرا زمانی. ۱۳۹۹. ارزیابی تکتونیک فعال در حوضه‌ی آبریز تلوار. *فصلنامه علمی فضای جغرافیایی*، سال بیستم، ۷۱: ۱۰۳-۱۲۰.
- زمانی بابگوه‌ری، معصومه؛ محمد مهدی خطیب، غلامرضا میراب شبستری و محسن علی‌آبادی. ۱۳۹۳. ارزیابی دوره‌های فعالیت پاره‌های گسل گیو با استفاده از تراورتن‌های همزاد با زمین‌لرزه. *فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیط‌زیست*، سال هشتم، ۲۷: ۱۰۳-۹۱.
- زمردیان، محمد جعفر. ۱۳۹۱. ژئومورفولوژی ایران: فرآیندهای ساختمانی و دینامیک‌های درونی. جلد اول، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- سرهنگی، مهرداد؛ علی سلگی، مرتضی طالبیان و زهرا ملکی. ۱۴۰۰. تحلیل مورفومتری و مخاطرات تکتونیک گسل زندان در منطقه جاسک به منظور توسعه پایدار. *مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)*، دوره ۸، ۴: ۳۳۷-۳۵۴.
- سیف، عبدالله؛ قاسم خسروی. ۱۳۸۹. بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارس. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، ۷۴: ۱۴۶-۱۲۵.
- علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۸. روش شناسی کمی در جغرافیا. انتشارات سمت.
- علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۲. پژوهش‌های میدانی در جغرافیا (روش تحقیق عملی). ناشر دانشگاه پیام نور. ۱۳۹۲.
- علیمی، محمد امیر؛ محمد مهدی خطیب، خالد حسامی آذر و محمودرضا هیهات. ۱۳۹۳. ارزیابی لرزه زمین‌ساختی راندگی‌ها و پهنه‌های گسلی پنهان در گستره مختاران-خاور ایران. *مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته*، ۱۲: ۴۱-۵۲.
- کیانی، طیب، یوسفی، زهرا، ۱۳۹۶، نقش گسل فعال در سطح تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز شهرچای
- کیانی، سارا، کرم، امیر، حسینی، نسرين، ۱۴۰۲، پهنه بندی فعالیت های نسبی مورفوتکتونیک حوضه آبریز کن سولقان
- کیانی، طیب، ندیم، هیراد، غفورپور، پرستو، ۱۳۹۹، بررسی ویژگی های زمین ساخت فعال در گستره رودبار با نگرش ویژه بر زمین لغزش های منطقه
- گورابی، ابوالقاسم؛ احمد نوحه‌گر. ۱۳۸۶. شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۶۰: ۱۷۷-۱۹۶.
- مقصودی، مهران؛ سید محمد زمان‌زاده، مجتبی یمانی و عبدالحسین حاجی زاده. ۱۳۹۶. بررسی تکتونیک فعال حوضه آبریز مارون با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، سال ششم، ۳: ۳۷-۵۹.
- مر، فرید؛ سروش مدبری. ۱۳۸۶. زمین‌ساخت صفحه‌ای و فرآیندهای زمین‌ساختی. چاپ دوم، انتشارات کوشامهر، شیراز.
- یوسفی، مهدی؛ محمد مهدی خطیب، ابراهیم غلامی. ۱۳۹۷. چین خوردگی واحدهای نئوژن؛ شاهی بر تکتونیک فعال در شمال غرب بیرجند. *یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی*، دوره ۱۲، ۲۴: ۸۹-۱۰۱.

- Sella, G.F., Dixon, T.H. and Mao, A. ۲۰۰۲. REVEL: A model for recent plate velocities from space geodesy. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **107(B4)**: ETG-۱۱. <https://doi.org/10.1029/2000JB000333>.
- Molnar, P., and Qidong, D. ۱۹۸۴. Faulting associated with large earthquakes and the average rate of deformation in central and eastern Asia, *J. Geophys. Res.*, **۸۹(B۷)**: ۶۲۰۳-۶۲۲۷, doi: 10.1029/JB089iB07p06203.
- Walker, R. and Jackson, J. ۲۰۰۲. Offset and evolution of the Gowk fault, SE Iran: a major intra-continental strike-slip system. *Journal of structural Geology*, **۲۴(۱۱)**: ۱۶۷۷-۱۶۹۸. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(01\)00170-5](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(01)00170-5).
- Walker, R., Jackson, J. and Baker, C., ۲۰۰۴. Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran. *Geophysical Journal International*, **۱۵۷(۱)**, pp.۲۶۵-۲۸۲. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2004.02179.x>.
- Taloor, A.K., Dumka, R., Kothyari, G.C., Srivastava, P. and Khare, N., ۲۰۲۳. Active tectonics and surface processes using geospatial technology. *Journal of Applied Geophysics*, p.۱۰۵۱۴۰. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2023.105140>.
- Selim, H.H., Tüysüz, O., Karakaş, A. and TAS, K.Ö., ۲۰۱۳. Morphotectonic evidence from the southern branch of the North Anatolian Fault (NAF) and basins of the south Marmara sub-region, NW Turkey. *Quaternary international*, **292**, pp.۱۷۶-۱۹۲. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.11.022>.
- Rizza, M., Vernant, P., Ritz, J.F., Peyret, M., Nankali, H., Nazari, H., Djamour, Y., Salamati, R., Tavakoli, F., Chery, J. and Mahan, S.A., ۲۰۱۳. Morphotectonic and geodetic evidence for a constant slip-rate over the last ۴۵ kyr along the Tabriz fault (Iran). *Geophysical Journal International*, **193(۳)**, pp.۱۰۸۳-۱۰۹۴. <https://doi.org/10.1093/gji/ggt041>.
- Zuffetti, C. and Bersezio, R., ۲۰۲۰. Morphostructural evidence of late quaternary tectonics at the Po Plain-Northern Apennines border (Lombardy, Italy). *Geomorphology*, **364**, p.۱۰۷۲۴۵. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107245>.