

بررسی ویژگی های زمین ساخت فعال در گستره رودبار

با نگرش ویژه بر زمین لغزش های منطقه

تایبه کیانی^۱، استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

هیراد ندیم، کارشناس ارشد زمین شناسی محیط زیست، گرایش مخاطرات زمین شناسی، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

پرستو غفورپور عنبران، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۱/۰۶

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۰۲

چکیده

منطقه پرجمعیت رودبار در شمال ایران، بدلیل شیب های تند توپوگرافی، مصالح سست پوشاننده شیب ها، فازهای تکتونیکی فعال، فعالیت های بشری نظیر ساخت و ساز جاده و راه آهن، از مناطق مستعد رخداد زمین لغزش است. در این پژوهش، در فاز اول براساس پیمایش های زمینی، نقشه زمین شناسی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، تصاویر ماهواره ای منطقه رودبار، محدوده و وضعیت پایداری زمین لغزش های منطقه شناسایی شد؛ براساس مشاهدات میدانی، عوامل ساختاری و وزنی (باربرداری شیب) بیشترین تاثیر در وقوع این رخداد را داشته و محرک اصلی در بیشتر آنها، عامل ساختاری است. این مهم نیاز به تعیین و چگونگی فعالیت های تکتونیکی برای پیش بینی و کنترل پدیده زمین لغزش در زیرساخت های عمرانی و زیست محیطی منطقه رودبار را ضروری مینماید. از اینرو در فاز دوم پژوهش، از شاخص های ژئومورفیک سینوزیته جبهه کوهستان (Smf)، نسبت پهنای دره به ارتفاع دره (Vf)، شیب طولی رودخانه (SL)، شکل حوضه (Bs) و عدم تقارن حوضه زهکشی (Af) استفاده شد. سپس نتایج شاخص ها، به صورت شاخص فعالیت تکتونیک نسبی (LAT) نشان داد که بیشتر زیر حوضه ها دارای فعالیت تکتونیکی شدید و متوسط است. از نظر گستردگی، طبقه شدید با مساحت ۱۹۵/۰۵ کیلومتر مربع (۶۷/۲۱ درصد) از کل مساحت منطقه را دربر می گیرد. تلفیق مکانی پهنه های زمین لغزش های شناسایی شده در بخش اول پژوهش با پهنه های تکتونیکی استخراج شده در بخش دوم پژوهش، انطباق این پهنه ها در طبقه نشان می دهد. پهنه های رخداد زمین لغزش های فتلک، لویه، رودبار، فیلده، در پهنه هایی با فعالیت تکتونیکی شدید قرار گرفته و زمین لغزش های دشتگان، طلاپر، تکلیم، نصفی، دولت آباد، هرزویل در پهنه های فعال تکتونیکی متوسط واقع شده است. برای جلوگیری از خسارات آتی رخداد زمین لغزش و آرایه گزارش های دقیق تر برای هرگونه فعالیت عمرانی و زیست محیطی در منطقه رودبار باید مطالعات تفصیلی مهندسی و زمین شناسی در مقیاس های بزرگ تر انجام گیرد.

واژه های کلیدی: زمین لغزش، زمین ساخت فعال، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شاخص ژئومورفیک، منطقه رودبار.

مقدمه

زمین لغزش، نتیجه حرکت مواد در روی دامنه است که در اثر عمل آب و نیروی ثقل ایجاد می گردد، سازندی که پدیده لغزش را به وجود می آورد دانه درشت تر از مواد خاک سره^۱ است. وسعت فعالیت پدیده زمین لغزش بسیار وسیع بوده و همراه خود مواد کوهرفتی را به پایین دامنه منتقل می نماید (احمدی، ۱۳۹۱: ۲۳۰). عوامل زیادی در وقوع زمین لغزش موثرند که مهم ترین آنها عبارتند از: اثرات تکتونیکی (که شامل زمین لرزه، گسل های منفرد، گسل های قابل تحریک، گسل های فعال، چین خوردگی و نواحی خرد شده و آماده لغزش و ...) که این اثر بیش تر در نواحی البرز و زاگرس سبب می شود؛ خواص ژئوتکتونیکی (خواص زمین ساخت)؛ آب های زیرزمینی و سطحی؛ فعالیت های عمرانی (رمضانی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۳۱). یکی از پدیده هایی که همزمان با زمین لرزه اتفاق می افتد، رانش زمین می باشد و موجب بالارفتن خسارات زمین لرزه می شود. با استفاده از شاخص های مورفوتکتونیک می توان با ارایه نقشه ها در پیش بینی مکان هایی که در اثر زمین لرزه های آتی دچار ناپایداری می شوند، برنامه ریزان را یاری داد. با استفاده از تحلیل های مورفومتری و بهره گیری از شاخص های ژئومورفیک و پارامترهای رتبه ای زهکشی می توان، تکتونیک فعال یک منطقه را بررسی کرد (حبیبی، ۱۳۹۴).

در این زمینه شاخص های ژئومورفیک ابزار سودمندی برای مطالعه فعالیت های تکتونیکی در نواحی مختلف محسوب شده و به وسیله آنها می توان اطلاعاتی در مورد نواحی خاصی از یک منطقه در معرض فعالیت تکتونیکی نسبتاً سریع و حتی کند قرار دارند، بدست آورد. استفاده از نوآوری های سیستم اطلاعات جغرافیایی، کمک شایانی به ارزیابی شاخص های ژئومورفیک به عنوان ابزارهای پایه و اساسی به منظور شناخت تکتونیک فعال و نشان دادن تاثیر آنها بر فعالیت های تکتونیکی در منطقه می نماید (زرگرزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

استفاده از شاخص های ژئومورفیک در مطالعه فعالیت های نو زمین ساختی توسط بول و همکاران (Bull and et al, ۱۹۷۷) آغاز گردید. این شاخص ها به دست محققان دیگری همچون راک ول و همکاران (Rockwell and et al, ۱۹۸۵) در جنوب غربی آمریکا، ولز و همکاران (Wells and et al, ۱۹۸۸) در سواحل کاستاریکا، سیلوا و همکاران (Silva and et al, ۲۰۰۳) در سواحل مدیترانه ای اسپانیا، گارنیر و همکاران (Garnier and et al, ۲۰۰۸) در شمال شرقی سیسیلی مورد استفاده قرار گرفته است. همدونی و همکاران (Hamdoni and et al, ۲۰۰۸) به منظور ارزیابی تکتونیک منطقه سیرانودا (جنوب اسپانیا)، از شاخص های ژئومورفیک استفاده کردند که نتایج حاصل از شاخص ها به صورت شاخص تکتونیک فعال نسبی (LAT) نشان از فعال بودن منطقه می باشد. (گالو و همکاران، ۲۰۱۴) در تحقیقی با استفاده از تحلیل های فضایی بر روی شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)، به بررسی زمین لغزش های منطقه کوهپایه ای بخش جنوب شرقی امیلیا رومانیا (شمال اپنی ایتالیا) پرداختند تا کارایی شاخص SL را به عنوان ابزاری جهت بررسی زمین لغزش بیازمایند. (دونای و همکاران، ۲۰۱۵)، در مقاله ای نقش عوامل مورفولوژیکی و ساختاری را در زمین لغزش هایی که در پی زمین لرزه ی منطقه پادنگ در سوماترای غربی در سال ۲۰۰۹ اتفاق افتاد را بررسی کردند. در این مقاله علاوه بر اشاره به عوامل کنترل کننده همچون شیب، لیتولوژی به نقش عوامل ساختاری در زمین لغزش پرداخته است. جهت بررسی ارتباط زمین لغزش با فعالیت تکتونیکی در این پژوهش از شاخص های SL, Af, Vf, Dd, Smf استفاده کرده اند. نتایج شاخص های ژئومورفیک حاکی از آن بوده است که زمین لغزش رخ داده در پی زمین لرزه ی سال ۲۰۰۹ در پادنگ

^۱. Solifluction

در پهنه متوسط از نظر فعالیت تکتونیکی واقع شده است. همچنین عوامل شیب، لیتولوژی از فاکتورهای دیگر دخیل در زمین لغزش مورد مطالعه بوده است. در داخل کشور ایران مطالعاتی در زمینه بررسی فعالیت تکتونیکی با استفاده از شاخص‌های ژئورفیک توسط محققانی همچون (یمانی و همکاران، ۱۳۸۹)، در حوضه آبخیز رودخانه چله (علیپور و همکاران، ۲۰۱۱)، در منطقه سد رودبار لرستان در کمربند گسلی زاگرس صورت گرفته است. (شریفی و همکاران، ۲۰۱۳)، با بررسی ارتباط تکتونیک فعال و پهنه‌های لغزشی در قالب شاخص‌های V_f و S_{mf} نقشه پهنه‌بندی تکتونیکی را در سه طبقه (I) پهنه فعال تکتونیکی، (II) پهنه با فعالیت متوسط، (III) پهنه غیر فعال تکتونیکی تهیه نموده‌اند. آنها همچنین نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در پنج طبقه تهیه نمودند مقایسه و انطباق نقشه پهنه‌بندی تکتونیک فعال حاصل از شاخص‌های V_f و S_{mf} به ترتیب نشان می‌دهد که حدود ۶۸ و ۵۳ درصد از پهنه‌های با خطر بالای تکتونیک فعال حاصل از ارزیابی دو شاخص مذکور با پهنه‌های حساسیت بالا و خیلی بالا حاصل از نقشه پهنه خطر زمین لغزش منطقه انطباق دارند (حبیبی، ۱۳۹۴)، برای بررسی زمین لغزش‌های رخ داده و ارتباط آن با وضعیت تکتونیکی در حوضه‌های ایزده، مرغاب، باغ ملک، صیدون، دالون- میداوود، جایزان، بهبهان در استان خوزستان از شاخص‌های مورفوتکتونیکی استفاده کرده است نتایج تحقیق حاکی از آن است که به طور کلی حوضه از لحاظ فعالیت‌های تکتونیکی جز مناطق فعال است. در ادامه تحقیق نشان داده است که اکثریت زمین لغزش‌ها در طبقه خیلی شدید و شدید از لحاظ شاخص‌های تکتونیکی واقع شده است.

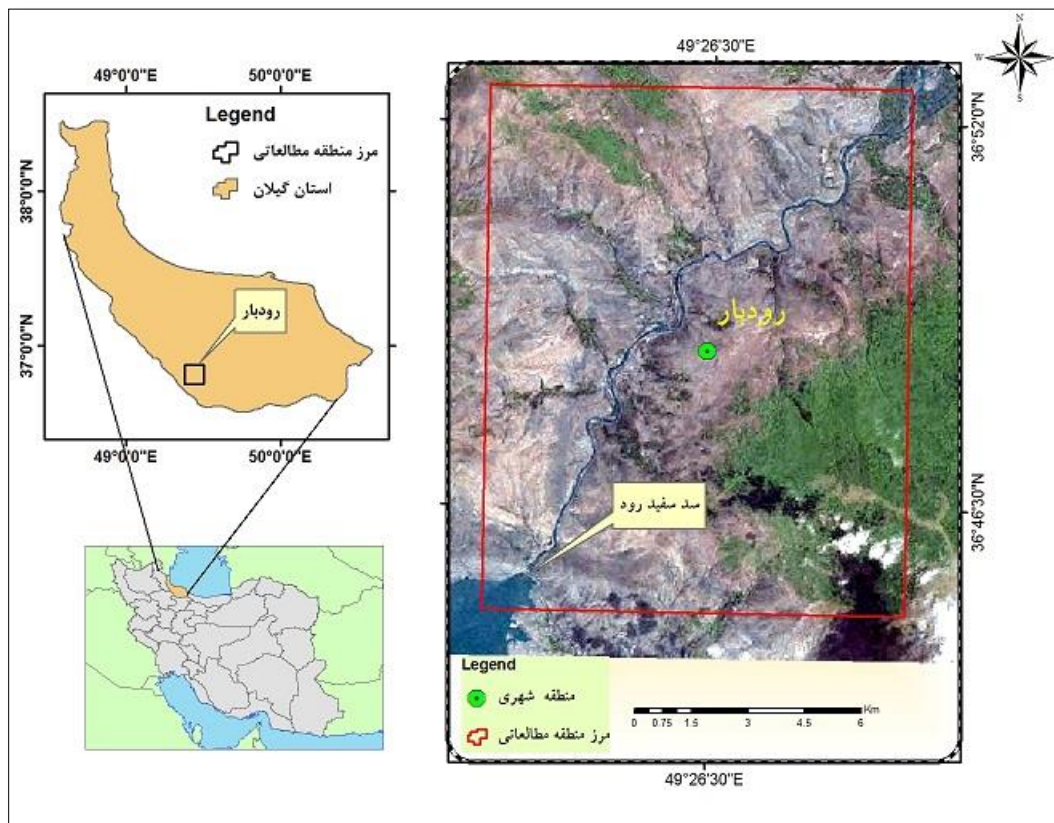
منطقه رودبار بدلیل مورفولوژی خاص خود و فعالیت‌های گسترده تکتونیکی همواره آبستن مخاطرات متنوع زمین شناختی از قبیل زمین لرزه، سیل، آلودگی‌های زیستی و رانش زمین می‌باشد بطوریکه از میان آنها، رانش زمین یکی از فعالترین پدیده‌های موجود در محدوده این منطقه گسترده و کوهستانی می‌باشد. در محدوده برکه رودبار ۱۱ زمین لغزش بزرگ و کوچک با عملکرد و خواص مختلف به ثبت رسیده که برخی از آنها عواقب فاجعه باری نیز به همراه داشته است از جمله آن می‌توان به زمین لغزش‌های رودبار و فتک اشاره کرد که در اثر وقوع زمین لرزه ۳۱ خرداد سال ۱۳۶۹ موجب بروز حوادث مخرب در منطقه رودبار گردید و تلفات جانی و مالی را در پی داشت. عملکرد شدید فازهای تکتونیکی که به عنوان محرک اصلی لغزشها نقش ایفا می‌کنند، عوامل ساخت و ساز، جاده و راه آهن، شیب‌های تند توپوگرافی و مصالح سست پوشاننده شیب‌ها، عوامل متنوعی در بروز این گونه زمین لغزشها می‌باشند. با توجه به اینکه زمین لغزش، قابلیت پیش‌بینی، پیشگیری و پایداری را دارند شناسایی و پهنه‌بندی در سطح کشور و استان، انجام مطالعات اولیه زمین‌شناسی در مناطق مستعد زمین لغزش با مقیاس بزرگ حایز اهمیت است. به دلیل پتانسیل بسیار بالای منطقه برای لغزش‌های بعدی و هم خواص بودن مناطق دست نخورده با مناطق رانشی قدیمی، در پژوهش حاضر سعی می‌گردد، مهم‌ترین عامل تاثیرگذار در رخداد زمین لغزش‌ها منطقه رودبار مشخص گردد و براساس آن، جهت کنترل پدیده زمین لغزش برنامه‌های مدیریتی صورت گیرد. در نهایت، با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، وضعیت فعالیت تکتونیکی منطقه رودبار تعیین و با انطباق موقعیت زمین لغزش‌ها و گسل‌ها با نقشه پهنه‌های فعالیت تکتونیکی، ارتباط تکتونیک و پدیده زمین لغزش مورد بررسی قرار گیرد و محدوده خطر که احتمال ناپایداری زمین لغزش در آن وجود دارد نیز تعیین گردد (ندیم، ۱۳۹۵).

داده‌ها و روش کار

الف) قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه $36^{\circ} 45'$ تا $36^{\circ} 45' 30''$ عرض شمالی و $49^{\circ} 30' 30''$ تا $49^{\circ} 30'$ طول خاوری واقع شده است. شهرستان رودبار از شهرستان‌های جنوبی استان گیلان می‌باشد که به خاطر داشتن باغهای زیتون شهرت خاصی دارد و نامگذاری این شهر به سبب جاری بودن رودهای فصلی و دایمی آن است. شهرستان رودبار از شمال به شهرستان رشت، از جنوب به شهرستان رودبار الموت (از استان قزوین)، از خاور به شهرستان لاهیجان و از باختر به شهرستان فومن منتهی می‌گردد (شکل ۱ و ۲). در مورد ژئومورفولوژی، برگه رودبار از سمت جنوب به شمال در واقع به شکل یک دره حاصل از عملکرد فرسایشی رودخانه سفیدرود شکل گرفته که هرچه از سمت جنوب به سمت شمال حرکت می‌کنیم عمق این دره کمتر و شیب توپوگرافی در دو سمت رودخانه ملایم‌تر می‌گردد (شکل ۳). این امر می‌تواند در ارتباط با واحدهای سنگی تشکیل‌دهنده منطقه باشد به نحوی که در بخش جنوبی که بیش‌تر از واحدهای کربناته و ماسه سنگی پرارتفاع تشکیل شده دره عمیق‌تر و زاویه شیب توپوگرافی بیش‌تر و در بخش‌های شمالی که عموماً واحدهای سنگی توفی و آتشفشانی ائوسن تشکیل شده با کاهش ارتفاع دره کم‌عمق‌تر و زاویه شیب توپوگرافی ملایم‌تر می‌شود. شکل‌گیری ارتفاعات و عوارض ساختاری منطقه تماماً از دگرریختی پویای پهنه البرز نشات می‌گیرد به صورتی که رژیم فشارشی حاکم بر منطقه در شکل‌گیری تاقدیس بزرگ رودبار نقش داشته و در واقع توپوگرافی حاصل نتیجه عملکرد همین رژیم در منطقه می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی واحدهای سنگی تشکیل‌دهنده این پهنه، از پالئوزویک فوقانی - پرمین با سنگ‌های کربناته سازند روت‌آغاز شده و با توالی واحدهای سنگ‌چینه‌ای شمشک در ژوراسیک تحتانی، سنگ‌های کربناته کرتاسه زیرین تا بالایی در مزوزویک و هم‌چنین توالی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در سنوزویک ادامه و در نهایت با رسوبات عهد حاضر، خاتمه می‌یابد. با توجه به اینکه منطقه مورد بررسی تحت تاثیر فازهای شدید تکتونیکی بوده، مجموعه نهشته‌های سنگی منطقه، مدل یک تاقدیس عظیم پلانژدار را با روند جنوب‌خاور - شمال باختر شکل داده است که البته وجود گسل‌های امتدادلغز مانند گسل رودبار نشانه‌ای از عملکرد ثانویه تکتونیک فعال در منطقه می‌باشد. از دیگر شاخصه‌های بارز منطقه وجود زمین‌لغزش‌های فراوانی است که به نظر می‌رسد نتیجه تکتونیک فعال منطقه می‌باشد. از نظر لرزه‌خیزی، آمار داده‌های زمین‌لرزه‌های دستگاهی و تاریخی این منطقه نشان‌دهنده توان لرزه‌خیزی بالای آن و وجود چشمه‌های لرزه‌ای و گسله‌های پویا می‌باشد رویداد زمین‌لرزه ۳۱ خرداد سال ۱۳۶۹ با بزرگی $MW 7/3$ رودبار گواه بر این موضوع است که موجب کشته شدن حدود ۴۰ هزار نفر، ویران شدن شهر رودبار و

منجیل و آسیب دیدن بیش از ۷۰۰ روستا گردیده است (ندیم، ۱۳۹۵).

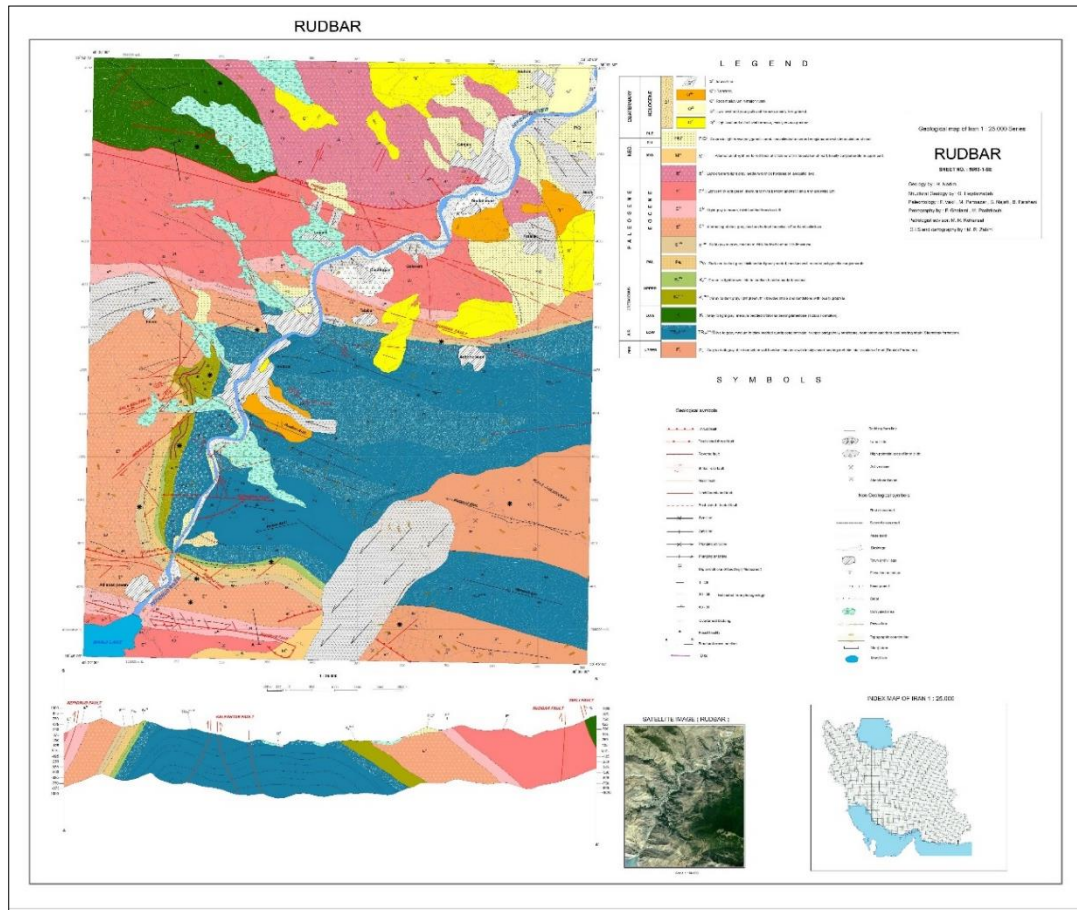
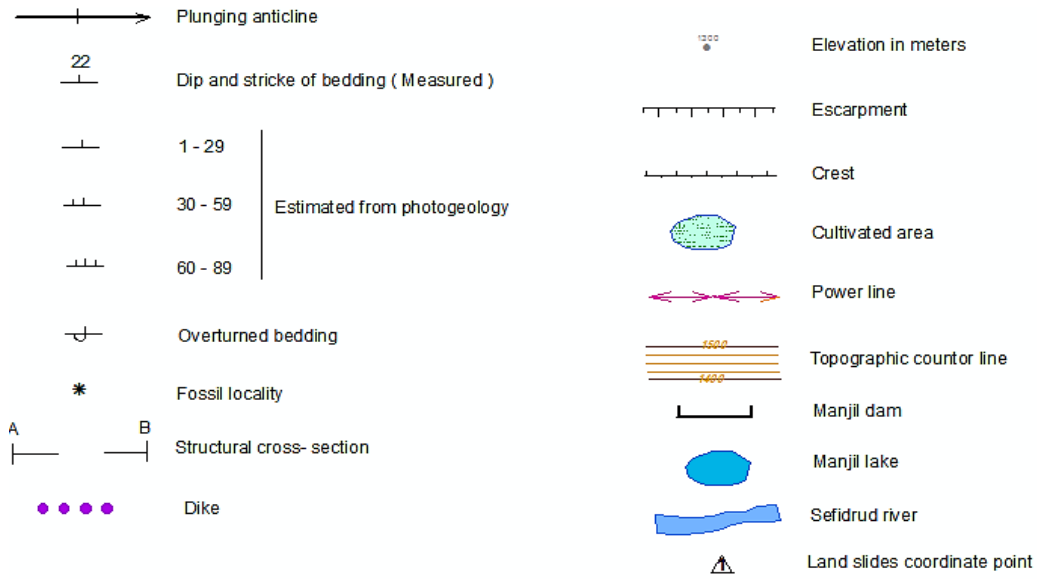


شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

(ب) روش کار

• مشاهده و برداشت داده‌های زمین لغزش‌ها:

روش تحقیق در پژوهش مورد نظر، مبتنی بر مطالعات و پیمایش‌های میدانی می‌باشد. برداشت‌های میدانی در چارچوب برگه ۱:۲۵۰۰۰ رودبار طی پنج نوبت ۲۰ روزه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ زنجان و ۱:۱۰۰۰۰۰ رودبار، عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از سازمان نقشه برداری کشور، تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM^+ سال ۲۰۱۴ در سطح منطقه انجام شده است. لازم به ذکر است همزمان با برداشت‌های مورد نیاز برای زمین لغزش‌های منطقه، کارشناسان ارشد سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ منطقه با عنوان رودبار و شماره برگه SE-۵۸۶۳-۱ را تهیه کردند که از اطلاعات دقیق و کاربردی آن در پژوهش کنونی استفاده شده است (شکل ۴).



شکل ۴: نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰ ابرگه رودبار (Nadim et al, ۲۰۱۶)

در عملیات صحرائی در سراسر منطقه، با انجام پیمایش های عرضی و یا طولی (نسبت به عوارض زمین شناسی، زمین ساخت و ژئومورفولوژی)، با فاصله ۲۵۰ متر، اندازه گیری و نمونه برداری انجام گرفت. فاصله گذر پیمایش در برداشت

های منطقه مورد مطالعه، وابسته به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، تعیین شده است. در عملیات صحرایی در مناطق حساس و پیچیده، بیشترین چگالی برداشت^۱ یعنی فاصله کمتر از ۲۵۰ متر صورت گرفت (جدول ۱). براساس بررسی‌های یاد شده، اطلاعات موردنیاز در مورد زمین‌لغزش‌ها شامل نام منطقه، مساحت، نوع لغزش، عامل لغزش، شیب توپوگرافی، وضعیت پایداری زمین لغزش، سنگ بستر و نوع مصالح، از یازده رخداد زمین لغزش موجود در منطقه استخراج شده است.

جدول ۱: مشخصات چگالی برداشت در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰

روش برداشت زمینی	حداکثر فواصل پیمایش (متر)	تعداد نقاط برداشت صحرایی در ۱۰۰ هکتار	درصد کنترل دقیق چند ضلعی‌ها	مساحت چند ضلعی (هکتار)	مقیاس برداشت
پیمایش پیاده	۲۵۰	۴	۷۵-۵۰	۲۵	۱:۲۵۰۰۰

(منبع: برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن، وزارت صنایع و معادن، ۱۳۸۹)

• پهنه‌های فعال تکتونیکی:

در این پژوهش، منطقه مورد مطالعه از نظر مورفوتکتونیک نیز بررسی شده است و نتایج آن به صورت نقشه‌های پهنه بندی مناطق مستعد فعالیت‌های تکتونیکی ارائه شده است. این پهنه بندی به منظور انطباق زمین لغزش‌های شناسایی شده در بخش اول پژوهش، پهنه‌های مستعد زمین لغزش دارای منشا تکتونیکی و وضعیت تکتونیک منطقه انجام شده است. برای این منظور در کنار مطالعات صحرایی، چندین شاخص مورفوتکتونیک شامل شاخص سینوزیته جبهه کوهستان (Smf)، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، شاخص شیب طولی رودخانه (SL)، شاخص شکل حوضه (Bs)، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af) بررسی و از نتایج تلفیق آنها استفاده شده است. در ابتدا با استفاده از توابع مدل‌سازی هیدرولیکی (Archydro Tools) و مدل ارتفاعی رقومی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر (ASTER) در نرم‌افزار ARC GIS امکان تعیین زیرحوضه‌های یک حوضه و شبکه رودخانه امکان‌پذیر شد و منطقه مورد مطالعه به ۲۳ زیر حوضه تقسیم گردید. در ادامه، جهت افزایش دقت نتایج، مرز زیرحوضه براساس تصاویر Google Erath مطابقت داده شد. سپس شاخص‌های سینوزیته جبهه کوهستان (Smf)، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، شیب طولی رودخانه (SL)، شکل حوضه (Bs)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af) به عنوان پارامترهایی که تحت‌تأثیر نوزمین‌ساخت قرار می‌گیرند، برای هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه و نتایج شاخص‌ها، به صورت نقشه، جدول ارائه می‌شود. در نهایت با استفاده از شاخص فعالیت نسبی تکتونیکی (LAT) و داده‌های کمی بدست آمده از شاخص‌های مورفوتکتونیک، میزان فعالیت تکتونیکی منطقه تعیین گردید.

شاخص سینوزیته جبهه کوهستان (Smf)^۱: یکی از شاخص‌هایی که با ارزیابی شکل‌سنجی، بررسی تغییرات مورفولوژی جبهه‌های کوهستانی و سپس میزان نسبی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی را امکان‌پذیر ساخته است. شاخص سینوزیته جبهه کوهستان (Smf) می‌باشد این شاخص از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود:

$$Smf = Lmf / Ls$$

رابطه ۱

^۱ = Specification of survey intensity

^۱ = the mountain front sinuosity index

در این رابطه، $Lmf = \text{طول جبهه کوهستان در امتداد کوهپایه و در محل شکست شیب}$

$LS = \text{طول خط مستقیم جبهه کوهستان}$

طبقه (۱) دارای مقدار کمتر از $1/3$ (وضعیت خیلی فعال)، طبقه (۲) با مقدار $1/6 - 1/3$ (وضعیت فعال) و طبقه (۳) مقدار $1/8 - 1/6$ (فعالیت نیمه فعال) و طبقه (۴) مقدار بیشتر از $1/8$ (وضعیت غیرفعال) را شامل می شود (شایان و همکاران، ۱۳۹۰).

شاخص نسبت پهنای دره به ارتفاع عمق آن (Vf)^۱؛ با استفاده از این شاخص می توان فهمید که رود در چه وضعیتی می باشد. ممکن است که رود در حال حفر بسترش باشد یا به فرسایش کناری مشغول بوده و اقدام به توسعه بستر خود کند. مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده بالآمدگی کم نوزمین ساختی می باشد (شایان و همکاران، ۱۳۹۰).

$$Vf = \frac{2vfw}{(Eld - Esc) + (Erd - Esc)} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه.

$Vfw = \text{پهنای کف دره} = Esc = \text{ارتفاع کف دره} = Erd = \text{ارتفاع دیواره سمت راست دره} = Eld = \text{ارتفاع دیواره سمت چپ دره}$ (شایان و همکاران، ۱۳۹۰). طبقه (۱) دارای مقدار کمتر از $0/5$ (وضعیت فعال)، طبقه (۲) با مقدار $0/5 - 1$ (وضعیت نیمه فعال) و طبقه (۳) مقدار بیشتر از 1 (فعالیت کم) را شامل می شود.

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)^۲؛ شاخص عدم تقارن روشی برای تشخیص وجود کج شدگی ناشی از فعالیت های تکتونیکی در حوضه های زهکشی است. این شاخص به صورت زیر تعریف می گردد:

$$Af = (Ar/At) \times 100$$

در این رابطه، Af عدم تقارن حوضه زهکشی، Ar مساحت قسمت راست مسیر رود اصلی، At مساحت کل حوضه برای رودخانه های در حال تعادل که تداوم جریان در حالت ثابتی وجود دارد. Af برابر 50 است که بیانگر وجود تقارن زهکش های فرعی نسبت به آبراهه اصلی و در نتیجه عدم کج شدگی بر اثر بالآمدگی خواهد بود. مقادیر بیش از 50 بیانگر عمل بالآمدگی در ساحل راست و کمتر از 50 بیانگر بالآمدگی در ساحل چپ آبراهه اصلی است (Hamdoni et al, 2008).

شاخص شکل حوضه (Bs)^۳؛ معمولاً حوضه هایی که از نظر زمین ساختی فعال هستند شکل کشیده دارند. با توقف فعالیت یا غلبه فرآیندهای فرسایشی، شکل حوضه به تدریج در طی زمان دایره ای می شود و شاخص کاهش می یابد. این شاخص از رابطه زیر بدست می آید:

$$Bs = Bl/Bw$$

در این رابطه BL ، طول حوضه آبریز بوده که از خروجی تا انتهایی ترین بخش حوضه را در بر گرفته و Bw عرض حوضه آبریز است. مقادیر بالای Bs نشان دهنده فعال بودن نو زمین ساخت حوضه آبریز است (رامشت و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۱).

^۱=the ratio of width to depth valley floor

^۲=Asymmetry Factor

^۳=Drainage Basin Shape Ratio

شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL): شاخص گرادیان طولی رودخانه توسط هاک (۱۹۷۳) به شکل زیر توصیف شد (

$$Sl = (\Delta H / \Delta L) \times L$$

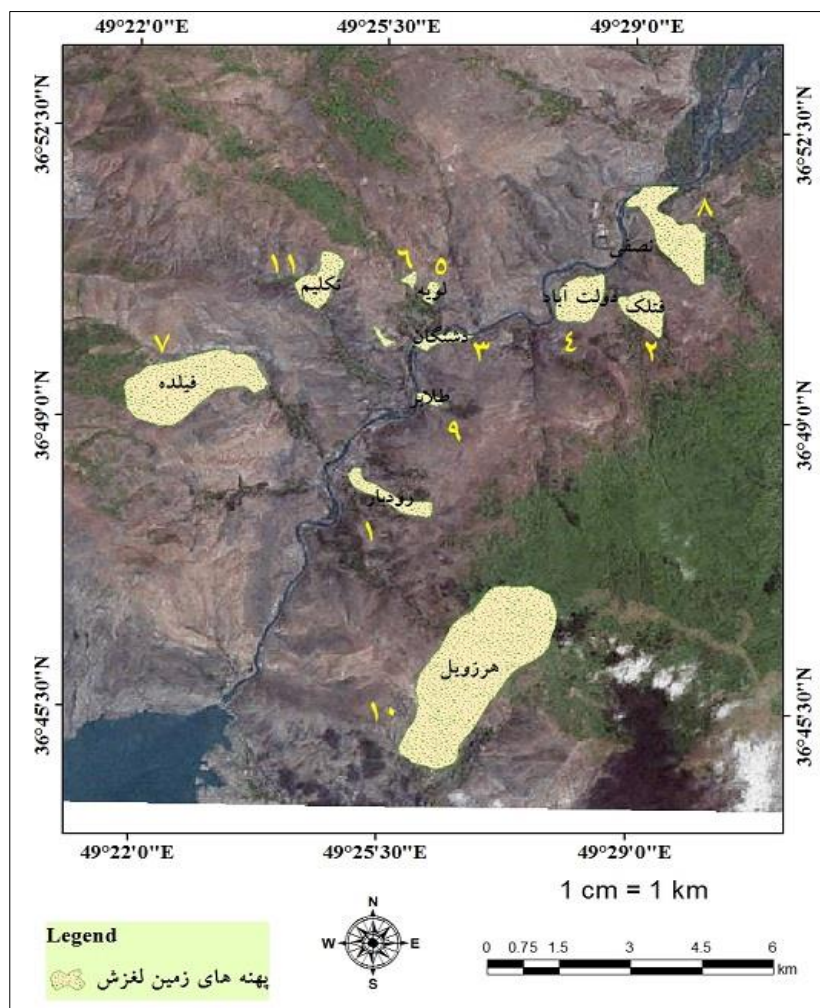
در این رابطه، SL شاخص گرادیان طولی رودخانه، $\Delta H / \Delta L$ بیانگر شیب محلی رود، ΔH اختلاف ارتفاع بین دو نقطه‌ی اندازه‌گیری شده، ΔL طول بازه و L طول کل کانال از خط تقسیم اب تا مرکز بخشی که شیب آن محاسبه شده است. (خاوری و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۹).

در نهایت، پس از طبقه‌بندی هر یک از شاخص‌ها، شاخص نسبی فعالیت تکتونیکی (LAT) به وسیله‌ی میانگین کلاس‌های مختلف شاخص‌های ژئومورفیک (s/n) بدست می‌آید و براساس مقدار بدست آمده از (s/n) به چهار کلاس تقسیم می‌گردد، که در این تقسیم‌بندی کلاس ۱ به فعالیت تکتونیکی بسیار بالا، کلاس ۲ با فعالیت تکتونیکی بالا، کلاس ۳ با فعالیت تکتونیکی متوسط و کلاس ۴ با فعالیت تکتونیکی کمی فعال مشخص می‌شوند.

شرح و تفسیر نتایج

• نتایج مشاهده و برداشت داده‌های زمین لغزش‌ها:

در محدوده مورد مطالعه ۱۱ زمین لغزش بزرگ و کوچک با عملکرد و خواص مختلف طی پیمایش‌های زمینی مشاهده و اندازه‌گیری شد (شکل ۶ تا ۱۵) و (جدول ۲). وضعیت پراکندگی زمین لغزش منطقه رودبار در شکل شماره (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵: وضعیت پراکندگی زمین لغزش های منطقه مورد مطالعه

مشخصات این زمین لغزش ها به همراه محدوده مشخص شده در گوگل ارث در زیر آورده شده است:
 - زمین لغزش (شماره ۱) رودبار: این زمین لغزش در مختصات جغرافیایی $49^{\circ} 25' 01''$ طول خاوری و $36^{\circ} 48' 22''$ عرض شمالی، با راستای حرکت خاور-شمال باختر در خاور آبادی رودبار قابل مشاهده است. زمین لغزش رودبار، یکی از معروفترین زمین لغزشهای منطقه و با همین نام می باشد که در اثر تحریک زمین لرزه فاجعه بار ۳۱ خرداد سال ۱۳۶۹ بصورت بطئی در طی ۱۰ روز پس از وقوع زلزله حاصل شد. این زمین لغزش خود در دل یک زمین لغزش بزرگتر و قدیمی تر صورت گرفته که با توجه به مورفولوژی منطقه و وضعیت این زمین لغزش کلیه سازه های جانبی خود را در معرض خطر جدی قرار داده و وضعیت کنونی آن بالقوه دارای ریسک لغزش است (شکل ۶، ردیف ۱ جدول ۲).
 - زمین لغزش (شماره ۲) فتلک: زمین لغزش فتلک دارای مختصات جغرافیایی $49^{\circ} 42' 60''$ طول خاوری و $36^{\circ} 60' 60''$ عرض شمالی می باشد. بی گمان یکی از فاجعه بارترین رانش های اخیر کشورمان به این زمین لغزش اختصاص دارد چرا که اندکی پس از زلزله رودبار تنها در عرض چند ثانیه حدود ۵۰۰ نفر از هموطنانمان در این روستا در زیر توده لغزیده مدفون شدند (شکل ۷، ردیف ۲ جدول ۲).

-زمین لغزش (شماره ۳) دشتگان: این زمین لغزش در موقعیت $49^{\circ} 41' 60''$ طول خاوری و $36^{\circ} 49' 07''$ عرض شمالی در محدوده شمال آبادی دشتگان قرار دارد که بخش پایه آنرا بصورت تراس‌بندی و مهار شده، در مسیر جاده آزاد راه قزوین- رشت می‌توان بخوبی مشاهده نمود. این بخش در طی سال‌های قبل یکی از بخش‌های به شدت ناپایدار محل بوده که در اثر باربرداری پایه شیب هنگام احداث جاده آزاد راه بارها لغزیده بود و حتی کماکان هم اثراتی از زمین‌لغزش‌های بیش و کم کوچک را می‌توان در اطراف آن مشاهده نمود (شکل ۸، ردیف ۳ جدول ۲).

-زمین لغزش (شماره ۴) دولت‌آباد: این محدوده با مساحت $1/24$ کیلومتر مربع در موقعیت جغرافیایی $49^{\circ} 28' 60''$ طول خاوری و $36^{\circ} 51' 60''$ عرض شمالی قرار دارد و در واقع یکی از نقاطی است که دارای پتانسیل لغزش، و بالقوه ریسک لغزش در آن بالا است. چنانچه در محدوده آبادی دولت آباد رانش‌های کوچک حاشیه‌ای و گسستگی‌های پراکنده خود شاهدهی براین ادعاست. ماهیت این منطقه بسیار مشابه با رانشی است که در رودبار اتفاق افتاده است (شکل ۹، ردیف ۴ جدول ۲).

-زمین لغزش (شماره ۵ و ۶) لویه A, B: این زمین لغزش در موقعیت جغرافیایی $49^{\circ} 24' 42''$ طول خاوری و $36^{\circ} 49' 50''$ عرض شمالی واقع شده است. عامل زمین‌لغزش در این محدوده به ظاهر ساختاری در بخش‌های کنار جاده در اثر باربرداری از پایه شیب می‌باشد (شکل ۱۰، ردیف ۵ و ۶ جدول ۲).

-زمین لغزش (شماره ۷) فیله: زمین لغزش فیله دارای مختصات جغرافیایی $49^{\circ} 25' 01''$ طول خاوری و $36^{\circ} 48' 22''$ عرض شمالی است. این زمین لغزش، یکی دیگر از انواع زمین‌لغزش‌های بزرگ در محدوده شمال باختر برکه یک بیست و پنج هزارم رودبار، در جوار آبادی فیله می‌باشد همچنین زمین لغزش فیله، یکی از زمین‌لغزش‌های قدیمی منطقه است که هیچ گزارشی از شاهدان در مورد این زمین‌لغزش در دست نیست. راستای زمین‌لغزش فیله باختر - خاوری است (شکل ۱۱، ردیف ۷ جدول ۲).

-زمین لغزش (شماره ۸) نصفی: زمین لغزش نصفی در موقعیت جغرافیایی $49^{\circ} 29' 42''$ طول خاوری و $35^{\circ} 51' 43''$ عرض شمالی قرار دارد. مجموعه زمین‌لغزش‌های پراکنده نصفی از سری لغزش‌های قدیمی می‌باشند که اکثر مصالح آن از کنگلومراهای پلیستوسن تا رسوبات هولوسن می‌باشد که بصورت خزشی عملکردی آهسته دارند. عامل زمین‌لغزش در این محدوده به ظاهر ساختاری در بخش‌های کنار جاده در اثر باربرداری از پایه شیب است (شکل ۱۲، ردیف ۸ جدول ۲).

-زمین لغزش (شماره ۹) طلاپر: این زمین لغزش دارای موقعیت جغرافیایی $49^{\circ} 26' 49''$ طول خاوری و $36^{\circ} 54' 60''$ عرض شمالی است. زمین لغزش طلاپر همراه با شکاف‌های کششی عمیق تازه (Tension crack) بخصوص در منطقه پنجه آن می‌باشد که این خود شاهد بارزی از فعالیت این زمین لغزش در حال حاضر است. یکی از عواملی که موجب تحریک این زمین لغزش شده را می‌توان باربرداری پایه شیب برای ایجاد دهانه تونل راه آهن مسیر قزوین- رشت عنوان نمود که کماکان شرکت پیمانکار با این معضل روبرو است (شکل ۱۳، ردیف ۹ جدول ۲).

-زمین لغزش (شماره ۱۰) هرزویل: زمین لغزش هرزویل در موقعیت جغرافیایی $49^{\circ} 26' 51''$ طول خاوری و $36^{\circ} 45' 45''$ عرض شمالی واقع شده است. این زمین‌لغزش با راستای حرکت شمال خاور به جنوب باختر، یک لغزش بسیار قدیمی است. سنگ بستر توده عمدتاً از سازندهای جانبی آن یعنی ردیف‌های سنگ‌ها نهشته‌های سازند کرج و سازند شمشک تشکیل گردیده از عوامل زمین‌لغزش آن بدلیل قدیمی بودن و فقدان شواهد اطلاعات خاصی در دست نیست

اما با توجه به رژیم تنش‌زای ساختاری منطقه احتمال تحریک ساختاری آن زیاد بوده است. وضعیت کنونی آن ثابت بوده و محدوده مورد خطر آن آبادی هرزویل می‌باشد (شکل ۱۴، ردیف ۱۰ جدول ۲).

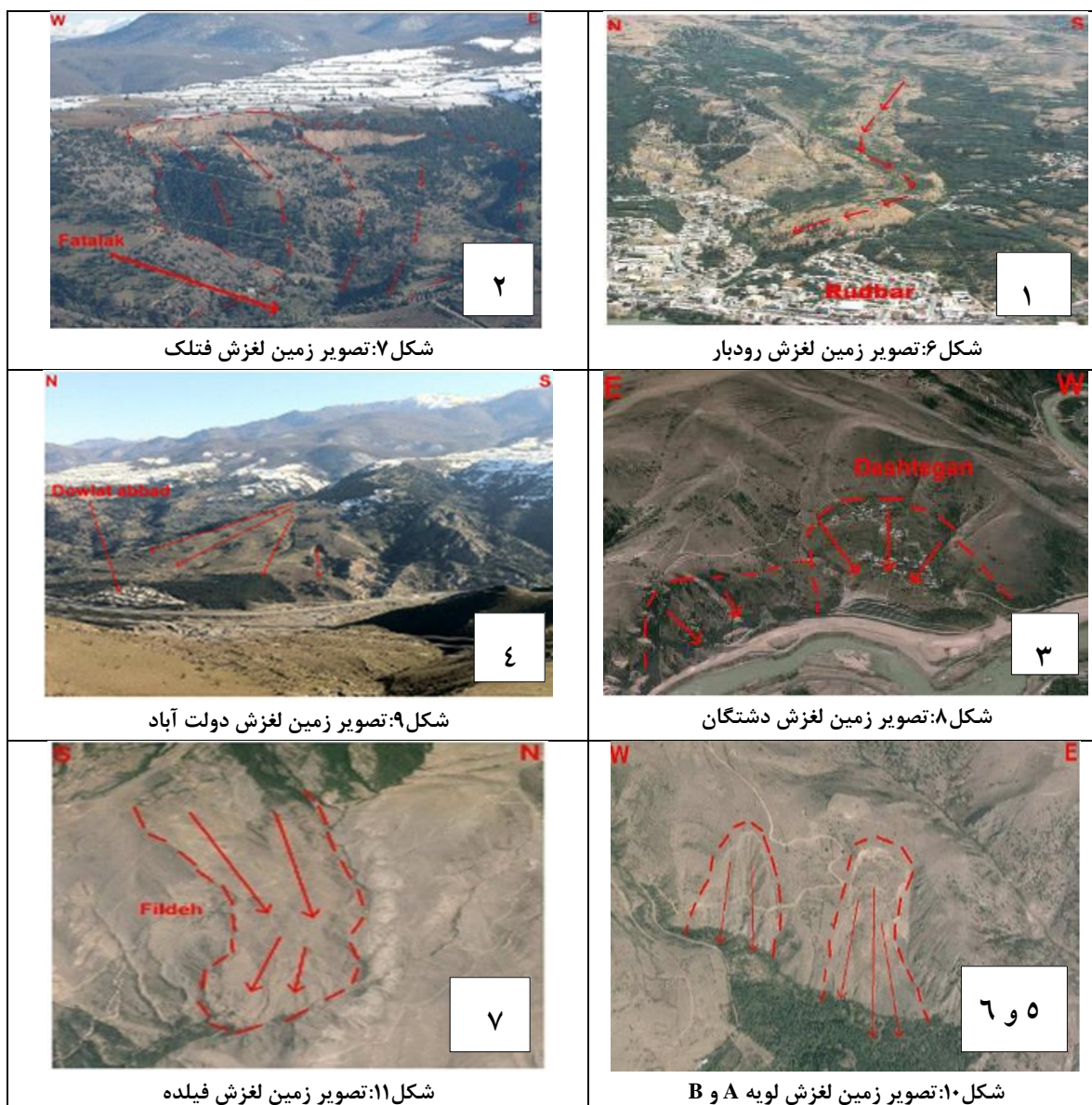
-زمین لغزش (شماره ۱۱) تکلیم: این زمین لغزش در موقعیت جغرافیایی "۴۹° ۵۰' ۴۹" طول خاوری و "۳۶° ۲۴' ۴۲" عرض شمالی واقع شده است. در باختر برگه رودبار با طول لغزش ۸۶۹ متر و مساحت تقریبی ۴۷۰۰۰۰ مترمربع و شیب لغزش ۲۸ درجه مشخص می‌گردد (شکل ۱۵، ردیف ۱۱ جدول ۲).

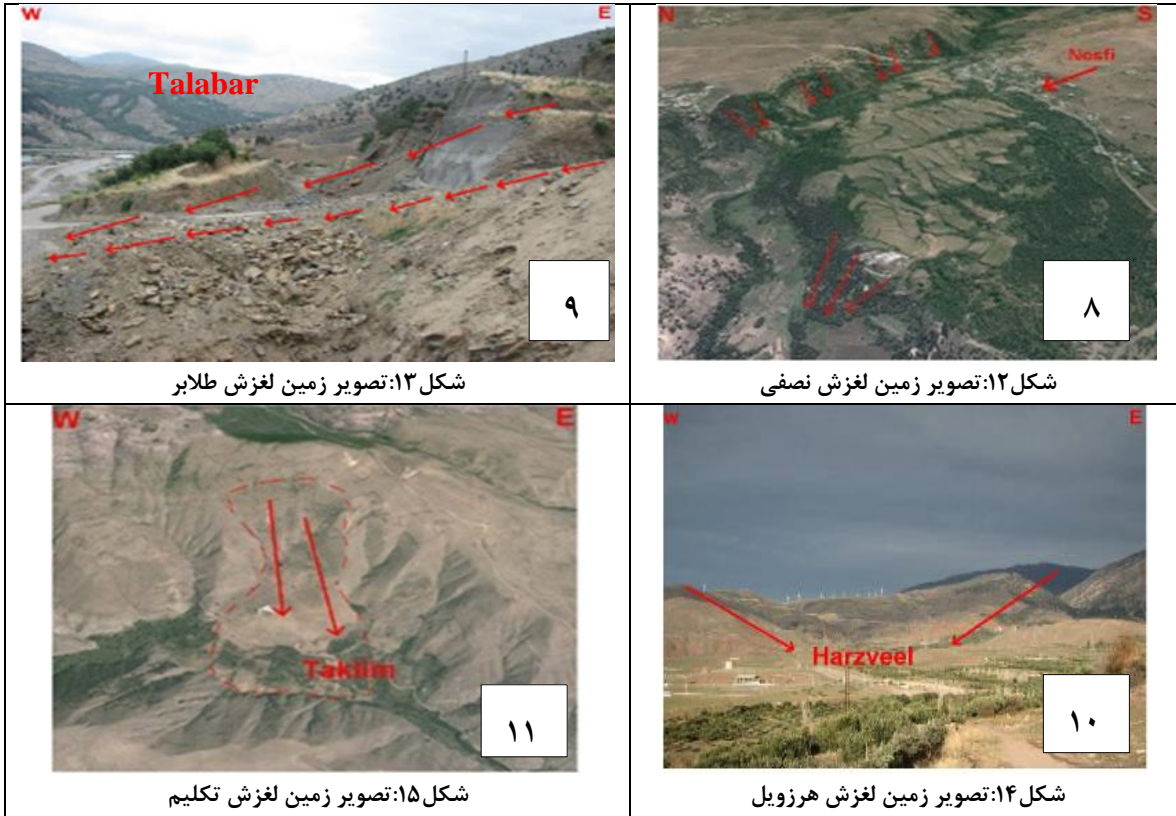
سایر خصوصیات کمی و کیفی مرتبط با زمین‌لغزش‌های منطقه از قبیل نام زمین لغزش، مساحت، نوع لغزش، عامل لغزش، شیب توپوگرافی، وضعیت پایداری زمین لغزش، سنگ بستر و نوع مصالح هر ۱۱ محدوده زمین‌لغزش بررسی در این پژوهش، براساس مشاهدات و اندازه‌گیری های میدانی و اطلاعات کتابخانه‌ای در جدول شماره دو ارائه شده است. تصویر هر یک از زمین لغزش ها بر اساس شماره گذاری جدول شماره دو آورده شده است.

جدول ۲: زمین‌لغزش‌های منطقه رودبار و مشخصات آن

ردیف	اسامی زمین لغزش‌ها	مساحت (مترمربع)	نوع زمین لغزش	عامل زمین لغزش	شیب توپوگرافی	وضعیت پایداری زمین‌لغزش	سنگ بستر	نوع مصالح زمین لغزش
۱	رودبار	۴۸۴۰۰۰	خزشی - انتقالی	ساختاری	۱۲ درجه	بالقوه دارای ریسک لغزش در منطقه پنجه	سازند شمشک	رسوبات کواترنر پسین، هولوسن (سیلت، ماسه، گراول)
۲	فتلک	۴۶۷۰۰۰	چرخشی	ساختاری	۲۰ درجه	وضعیت ثابت	سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن	کنگلومرای پلیستوسن
۳	دشتگان	۲۲۵۰۰۰	خزشی	باربرداری دامنه شیب	۱۴-۱۰ درجه	به ظاهر ثابت	سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن	رسوبات کواترنر پسین، هولوسن (سیلت، ماسه و گراول)
۴	دولت‌آباد	۱/۲۴ (کیلومترمربع)	خزشی	وزن توده و شیب	۱۵-۱۰ درجه	بالقوه دارای ریسک لغزش	سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن	رسوبات کواترنر پسین، هولوسن (سیلت، ماسه و گراول)
۵	لویه A	۸۱۰۰۰	انتقالی	ساختاری	۲۴ درجه	ثابت	سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن	کنگلومرای پلیستوسن
۶	لویه B	۷۸۸۰۰	انتقالی	ساختاری	۲۴ درجه	ثابت	سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن	کنگلومرای پلیستوسن
۷	فیلده	۴۸۴۰۰۰	روانه مصالح	ساختاری	۱۹ درجه	لغزش در پنجه	سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن	رسوبات کواترنر پسین، هولوسن (سیلت، ماسه، گراول)
۸	نصفی	۱/۲۵ (کیلومتر مربع)	چرخشی - انتقالی	ساختاری، باربرداری از پایه شیب	۱۸ درجه	دارای ریسک لغزش	سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن	کنگلومرای پلیستوسن تا رسوبات هولوسن

رسوبات کواترنری (کنگلومرا، سیلت، ماسه، گراول)	سازند شمشک	درحال لغزش با سرعت کم	۱۹ درجه	برابرداری پایه شیب	انتقالی	۹۹۰۰۰۰	طلابر	۹
مواد سازندهای شمشک و سنگ نهشتههای سازند کرج	سازند شمشک	ثابت	۱۴ درجه	فاقد اطلاعات به دلیل قدیمی بودن	انتقالی	۸۶۶۷۸۳۰	هرزویل	۱۰
رسوبات هولوسن (سیلت، ماسه، گراول)	سنگهای آتشفشانی و آذرآواری ائوسن	ثابت	۲۸ درجه	ساختاری	انتقالی	۴۷۰۰۰۰	تکلیم	۱۱





• پهنه های فعال تکتونیکی:

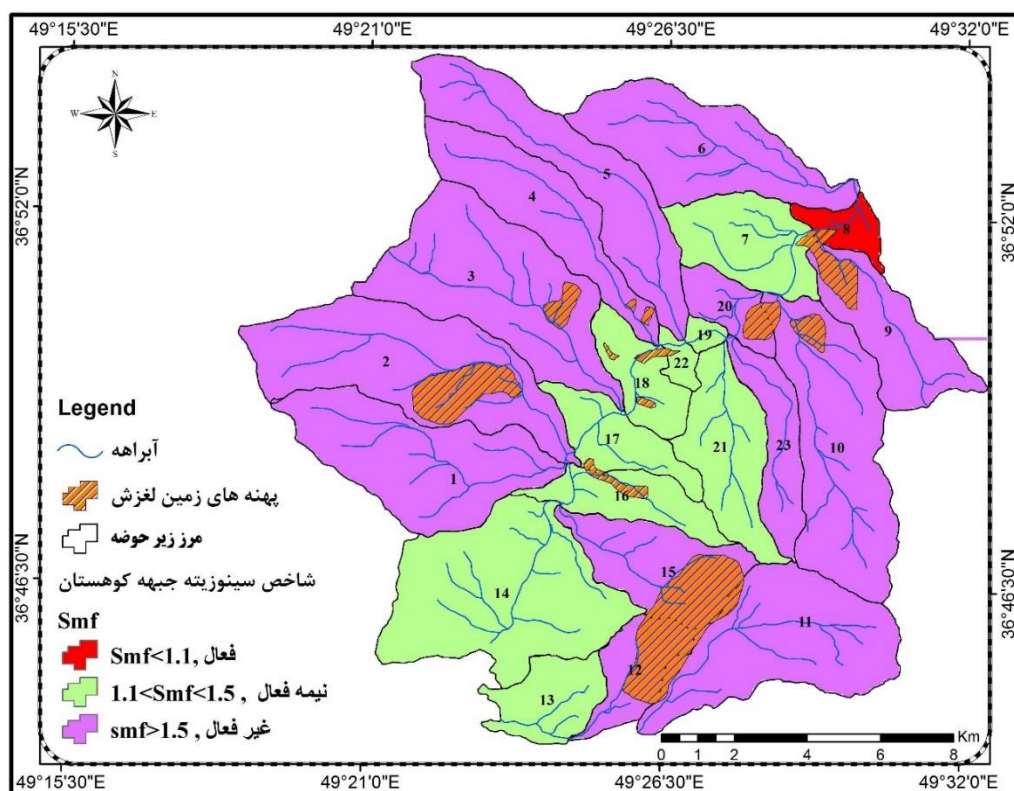
شواهد حاصل از بررسی های میدانی در گستره منطقه رودبار از جمله وجود گسل های امتداد لغز، فازهای شدید تکتونیکی، زمین لغزش های ساختاری متعدد، گسیختگی های سطحی همراه با زمین لرزش ها نشان از تکتونیک فعال در منطقه می دهد (شکل ۱۶).



شکل ۱۶: اثر سطحی گسل سپیدرود در نهشته های آتشفشانی اتوسن، دید به سمت باختر

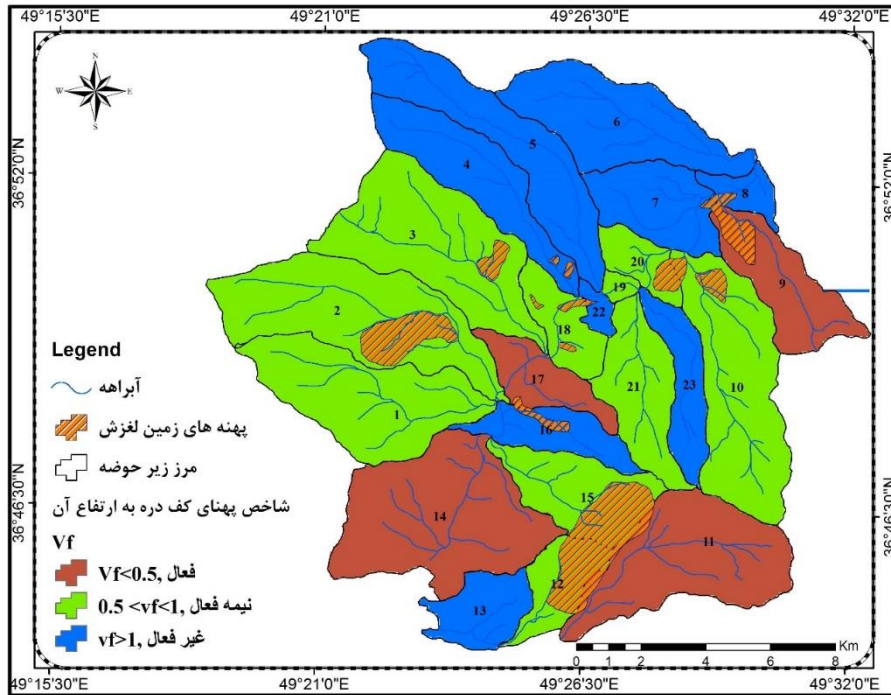
از این رو برای ارزیابی میزان فعالیت تکتونیکی منطقه رودبار اقدام به محاسبه شاخص‌های مورفوتکتونیک در گستره مورد مطالعه شد.

میزان شاخص سینوزیته جبهه کوهستان (Smf) برای زیرحوضه شماره ۸ که در شمال شرقی منطقه مطالعاتی واقع شده است دارای تکتونیک فعال بوده که نشان‌دهنده‌ی بالآمدگی حوضه و عدم وجود فرسایش قهقرایی جهت ایجاد جبهه‌ی سینوسی در کوهستان می‌باشد زیرحوضه‌های ۷، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۲۱، ۱۹، ۲۲ دارای فعالیت تکتونیکی نیمه فعال است. سایر زیرحوضه‌های مطالعاتی در رده‌های تکتونیکی غیرفعال می‌باشند که نشان‌دهنده وجود جبهه‌ی سینوسی و غلبه فرسایش قهقرایی در کوهستان توسط رودخانه می‌باشد و جبهه کوهستان را به صورت نامنظم و پیچ و خم‌دار شکل داده است (شکل ۱۷).



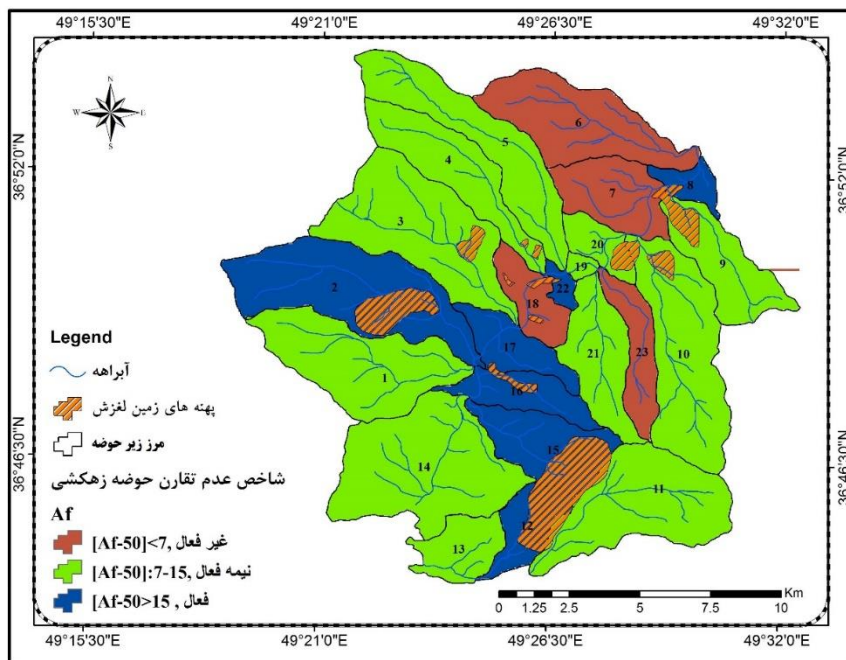
شکل ۱۷: نقشه وضعیت تکتونیکی شاخص سینوزیته جبهه کوهستان (Smf)

مقادیر V_f ، برای زیرحوضه‌های ۹، ۱۱، ۱۴، ۱۷ نشان‌دهنده‌ی عملکرد تکتونیک فعال و دارای رده اول تکتونیکی و زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۳، ۱۰، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱ دارای وضعیت تکتونیکی نسبتاً فعال داشته و در رده دوم از نظر تکتونیکی قرار می‌گیرند (شکل ۱۸). پروفیل عرضی بدست آمده برای هر زیرحوضه نیز نشان از عملکرد وضعیت تکتونیکی فعال برای زیرحوضه‌های ۹، ۱۱، ۱۴، ۱۷ است که دارای بسترهای V شکل همراه با بالآمدگی دیواره دره‌های دربرگیرنده رودخانه می‌باشد. در زیرحوضه‌های نسبتاً فعال تکتونیکی، دارای بستری V شکل اما تمایل به فرسایش در کناره‌های دره مشاهده می‌شود که شکل دره حدفاصل دره‌های V شکل و U شکل می‌باشد.



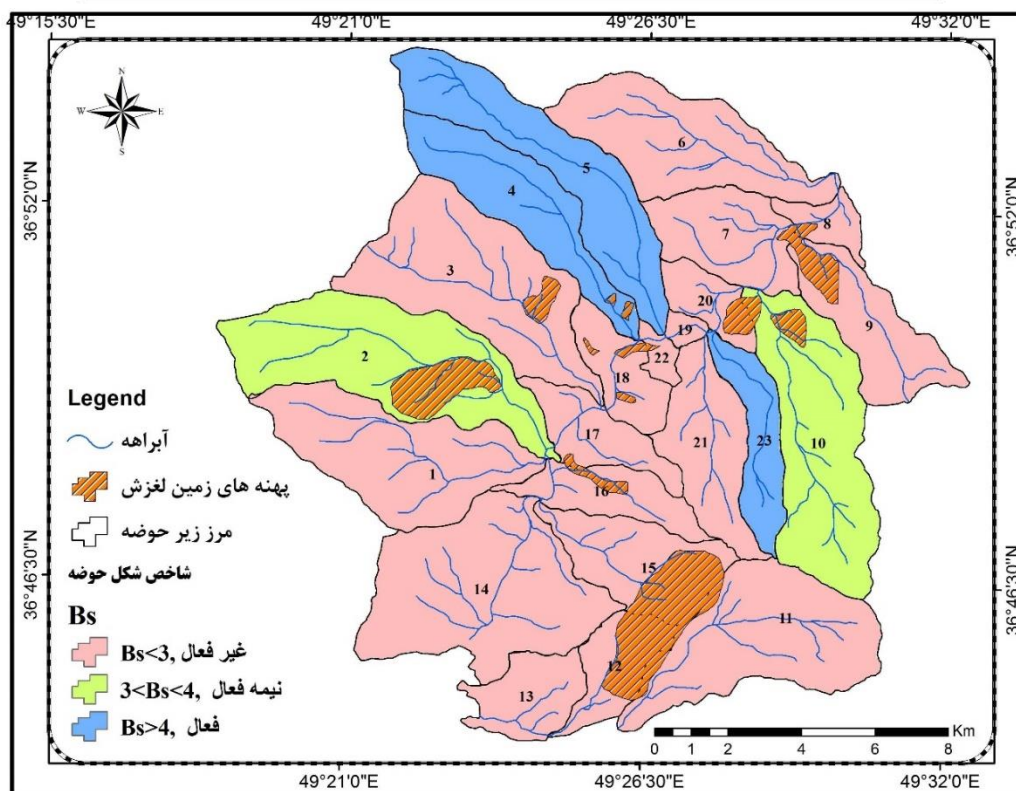
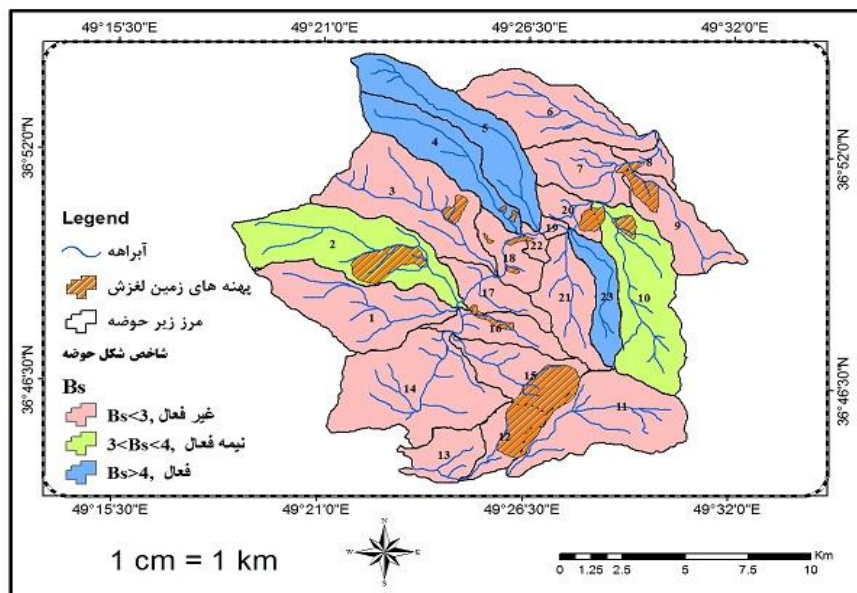
شکل ۱۸: نقشه وضعیت تکتونیکی شاخص نسبت پهنای دره به عمق کف آن (Vf)

نتایج شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی نشان می‌دهد که زیرحوضه‌های ۲، ۸، ۱۵، ۱۲، ۱۶، ۱۷، ۲۲ از نظر زمین ساخت فعال بوده و کج شدگی و عدم تقارن در زیرحوضه را نشان می‌دهد. در این زیرحوضه‌ها، کناره‌های سمت راست دارای آبراهه‌های طولانی تر و در نتیجه کج شدگی به سمت غرب حوضه یعنی ساحل راست رود می‌باشد. زیرحوضه‌های ۶، ۷، ۱۸، ۲۳ دارای فعالیت تکتونیکی کم یا غیر فعال است که نشان‌دهنده تقارن و عدم کج شدگی در زیرحوضه‌های موردنظر می‌باشد (شکل ۱۹).



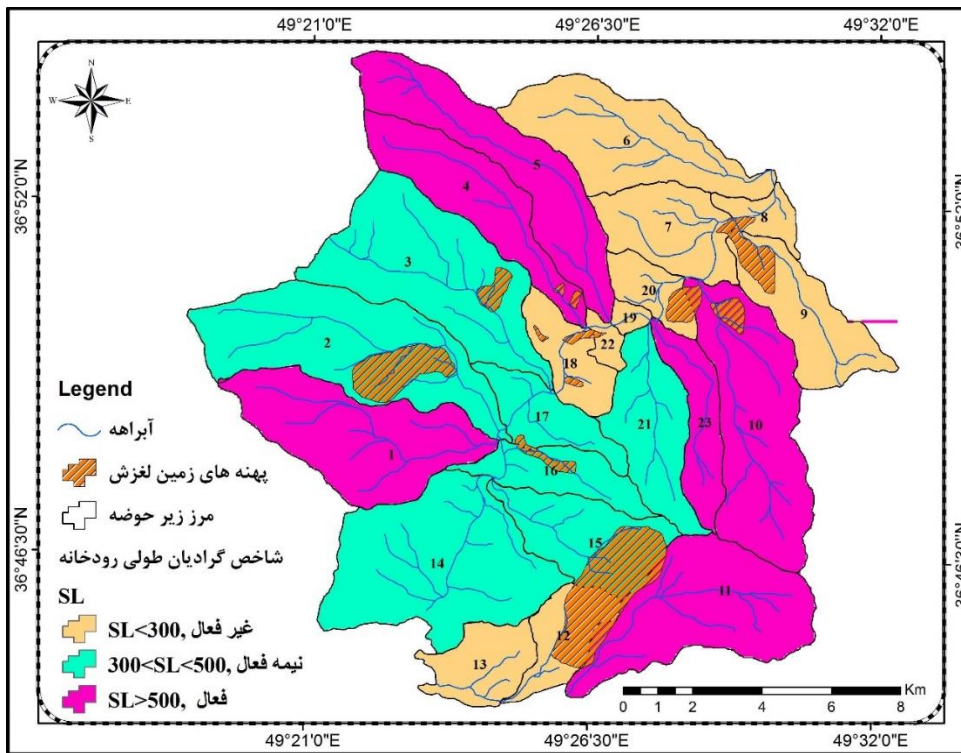
شکل ۱۹: نقشه وضعیت تکتونیکی شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)

در حوضه مطالعاتی حداکثر میزان شاخص شکل حوضه (B_s)، مربوط به زیرحوضه ۴، ۵ و ۲۳ با وضعیت تکتونیکی فعال می‌باشد (شکل ۲۰). علاوه بر این حوضه‌های مذکور، دارای شکل کشیده‌ای هستند. هم‌چنین زیرحوضه‌های شماره ۱۰ و ۲ که به ترتیب در دامنه غربی و شرقی منطقه مطالعاتی قرار دارند دارای وضعیت تکتونیکی متوسط و شکل کشیده است.

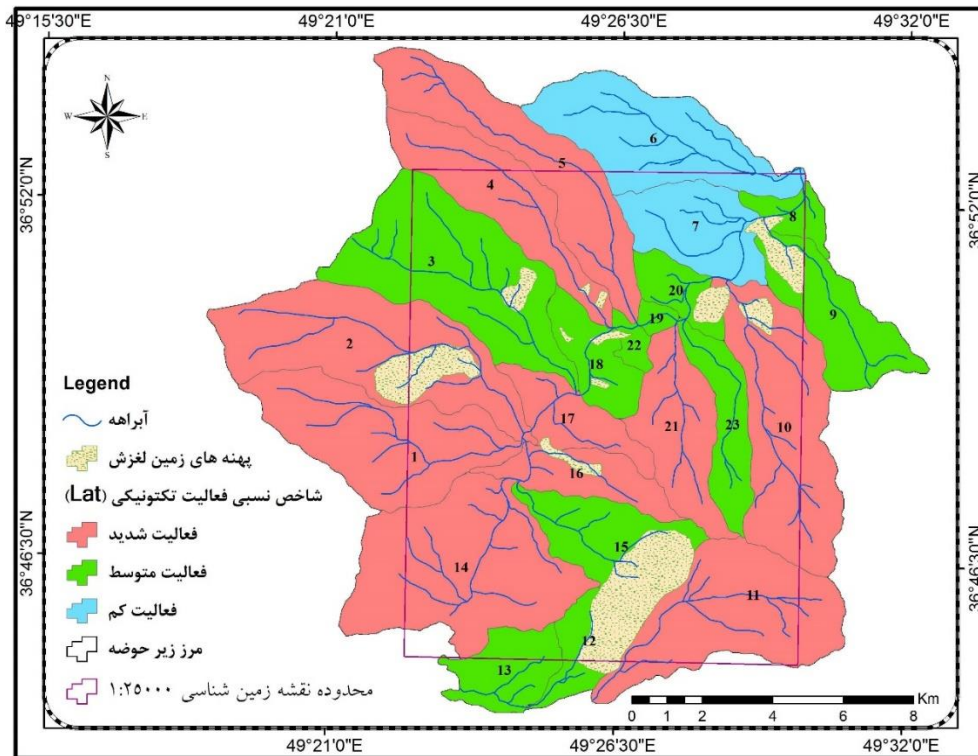


شکل ۲۰: نقشه وضعیت تکتونیکی شاخص شکل حوضه (B_s)

در منطقه رودبار برای ۲۳ زیر حوضه مقدار شاخص گرادیان طولی رودخانه محاسبه گردید نتایج حاصل از محاسبات، نشان داد که زیر حوضه های ۱، ۴، ۵، ۱۰، ۱۱، ۲۳ از نظر تکتونیک دارای وضعیت فعال می باشند (شکل ۲۱).



شکل ۲۱: نقشه وضعیت تکتونیکی شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)



شکل ۲۲: نقشه شاخص نسبی فعالیت تکتونیکی (LAT) و موقعیت زمین لغزش

جدول ۳: نتایج محاسبه شاخص‌های تکتونیکی و ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (LAT)

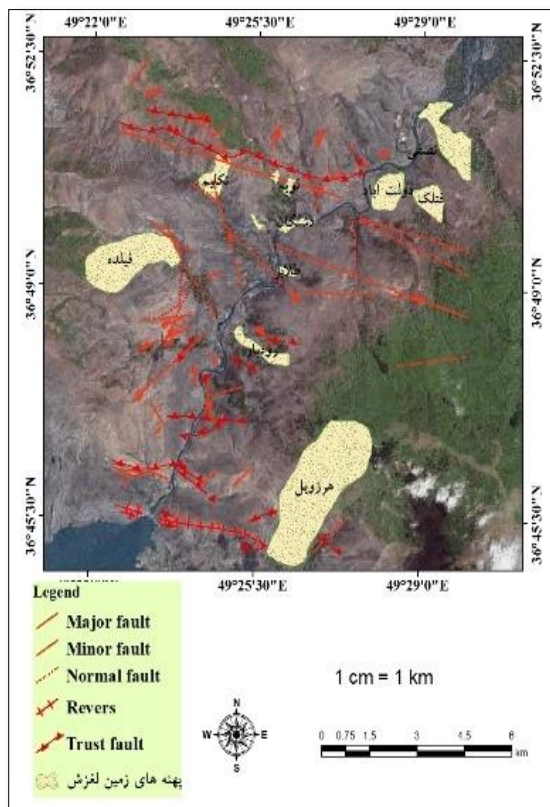
شماره زیرحوضه	(Smf)	(Vf)	(Af)	(Bs)	(SL)	(LAT)	طبقه بندی
۱	۱/۷۷	۰/۷۳	۱۴/۴۸	۲/۶۸	۹۹۵/۳۹	۲	شدید
۲	۱/۷۲	۰/۷۰	۱۵/۷۱	۳/۱۲	۴۲۷/۳۸	۱/۸	شدید
۳	۳/۶۵	۰/۵۵	۱۰/۰۲	۱/۹۰	۳۰۵/۵۸	۲/۴	متوسط
۴	۲/۴۰	۳/۱۱	۱۲/۸۲	۴/۴۳	۶۰۴/۸۹	۱/۸	شدید
۵	۱/۹۷	۱/۷۶	۱۰/۸۷	۵/۸۷	۵۹۸/۳۷	۱/۸	شدید
۶	۲/۵۱	۳/۳۷	۶/۸۶	۲/۷۲	۲۹۹/۳۱	۳	کم
۷	۱/۴۹	۲/۱۱	۴/۰۴	۰/۷۴	۱۰۵/۳۰	۲/۶	کم
۸	۱/۰۳	۲/۶۰	۱۶/۴۹	۰/۵۴	۹۴/۴۹	۲/۲	متوسط
۹	۲/۶۵	۰/۳۹	۹/۶۹	۲/۵۰	۲۱۴/۳۲	۲/۴	متوسط
۱۰	۱/۸۰	۱	۱۱/۹۲	۳/۱۶	۸۳۶/۱۶	۱/۸	شدید
۱۱	۱/۷۷	۰/۴۷	۹/۵۶	۲/۴۴	۸۵۸/۴۵	۱/۸	شدید
۱۲	۱/۷۹	۰/۶۶	۱۶/۴۳	۲/۳۷	۱۵۱/۹۸	۲/۲	متوسط
۱۳	۱/۱۹	۹/۹۲	۹/۰۸	۱/۲۲	۸۷/۶۷	۲/۴	متوسط
۱۴	۱/۴۲	۰/۱۲	۹/۱۶	۱/۰۹	۳۶۲/۸۹	۱/۸	شدید
۱۵	۲/۱۲	۰/۵۷	۱۶/۰۱	۲/۰۱	۲۳۲/۴۶	۲/۴	متوسط
۱۶	۱/۴۹	۳/۸۱	۳۶/۹۲	۰/۲۳	۳۱۴/۰۶	۲	شدید
۱۷	۱/۴۴	۰/۲۶	۱۸/۱۵	۰/۳۳	۳۰۵/۶۲	۱/۶	شدید
۱۸	۱/۴۸	۰/۵۵	۴/۵۶	۰/۴۴	۲۷۹/۷۸	۲/۴	متوسط
۱۹	۱/۱۴	۰/۹۲	۷/۰۲	۱/۱۰	۸۵/۷۹	۲/۲	متوسط
۲۰	۱/۹۳	۰/۹۹	۱۳/۳۳	۰/۴۱	۱۰۳/۰۵	۲/۴	متوسط
۲۱	۱/۳۱	۰/۷۵	۹/۰۶	۲/۴۹	۴۶۴/۲۳	۲	شدید
۲۲	۱/۱۱	۱/۱۵	۳۰/۵۱	۰/۵۷	۱۳۶/۷۹	۲/۲	متوسط
۲۳	۳/۳۵	۲/۴۳	۰/۱۸	۵/۲۴	۷۳۷/۰۳	۲/۲	متوسط

براساس نتایج شاخص نسبی فعالیت تکتونیکی (LAT)، بیشتر زیرحوضه‌ها دارای فعالیت تکتونیکی شدید و متوسط هستند و زیرحوضه شماره ۷ و ۶ در رده تکتونیکی فعالیت کم می‌باشد (شکل ۲۲). از نظر گستردگی، طبقه شدید با مساحت ۱۹۵/۰۵ کیلومتر مربع (۶۷/۲۱ درصد) از کل مساحت منطقه را دربر می‌گیرد. نتایج کلی حاکی از فعالیت شدید نو زمین‌ساخت در محدوده رودبار است. در ادامه، پراکنش زمین‌لغزش‌ها و نتایج شاخص‌های ژئومورفیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از هم‌پوشانی موقعیت زمین‌لغزش‌ها و نقشه شاخص نسبی فعالیت تکتونیکی (LAT) نشان می‌دهد که زمین‌لغزش‌های فتلک، لویه، رودبار، فیله، در پهنه‌های تکتونیکی شدید قرار گرفته و زمین‌لغزش‌های دشتگان، طلابر، تکلیم، نصفی، دولت‌آباد، هرزویل در پهنه‌های تکتونیکی متوسط واقع شده است (جدول ۴). در ادامه تحقیق، گسل‌های منطقه رودبار با زمین‌لغزش‌های منطقه انطباق داده شد که نتیجه حاصل از این انطباق نشان داده است که اکثر زمین‌لغزش‌های در مجاورت گسل‌های منطقه واقع شده است (شکل ۲۳). مجموع طول گسل‌ها در سطح منطقه مورد مطالعه برابر با ۱۰۵/۷۵ کیلومتر می‌باشد در پهنه‌ی لرزه زمین‌ساختی البرز به ویژه در منطقه رودبار گسل‌های مهم، عموماً روند خاوری - باختری با اندکی تمایل به سوی شمال باختری دارند و اکثراً از نوع گسل‌های فشاری می‌باشند. به منظور محاسبه تراکم گسل‌ها لازم است تا طول گسل بر مساحت آن تقسیم گردد. نتایج این محاسبه نشان داده است که تراکم گسل در سطح منطقه بین صفر تا ۸۱.۲۱ کیلومتر بر کیلومتر مربع می‌باشد که بیشترین تراکم را در بخش

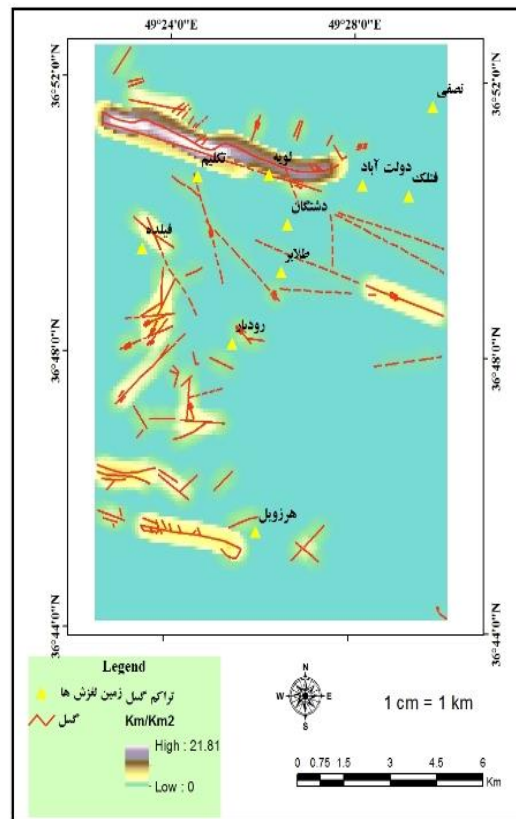
شمالی می توان رویت نمود که گسل امتداد لغز رودبار در این قسمت واقع شده است (شکل ۲۴). همانطور که بیان شد براساس مطالعات میدانی مهم ترین عامل تاثیرگذار در وقوع زمین لغزش های منطقه رودبار، عامل ساختاری بوده است از جمله می توان به زمین لغزش های رودبار، فتلک، لویه، فیله، نصفی، تکلیم اشاره کرد. نمونه بارز زمین لغزش هایی که با فعال شدن گسل و زمین لرزه به وقوع پیوست می توان به زمین لغزش رودبار و فتلک اشاره کرد. بنابر توضیحات فوق و وضعیت تکتونیکی شدید منطقه رودبار، می توان از طریق شاخص های ژئومورفیک جهت شناسایی وضعیت نوزمین ساخت، مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر بالا لغزش در اثر عامل ساختاری را شناسایی کرد و با ارایه راه حل مناسب، تا حدی از وقوع زمین لغزش در محدوده های با فعال زیاد تکتونیکی، جلوگیری کرد.

جدول ۴: مساحت طبقه های فعالیت نسبی تکتونیکی (LAT) و تعداد زمین لغزش های مشاهده شده

طبقه بندی	مساحت طبقه ها (km ²)	مساحت (درصد)	تعداد زمین لغزش های مشاهده شده	اسامی زمین لغزشها
شدید	۱۵۹/۰۵	۶۷/۲۱	۵	رودبار، فیله، لویه A و B، فتلک
متوسط	۶۸/۹۹	۲۹/۱۵	۶	نصفی، دولت آباد، دشتگان، طلاپر، هرزویل، تکلیم
فعالیت کم	۸/۶۰	۳/۶۳	۰	-----



شکل ۲۳: محدوده ی زمین لغزش ها بر روی تصاویر ماهواره ای (برگرفته از Google Earth)



شکل ۲۴: نقشه تراکم گسل منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

یکی از پدیده‌هایی که همزمان با زمین لرزه اتفاق می‌افتد، رانش زمین می‌باشد و موجب بالا رفتن خسارات زمین لرزه می‌شود. شواهد حاصل از بررسی‌های صحرایی در سطح منطقه رودبار از جمله وجود گسل‌های امتداد لغز، فازهای شدید تکتونیکی، زمین‌لغزش‌های ساختاری متعدد و... نشان از تکتونیک فعال در منطقه بوده است. از زمین‌لغزش‌های معروف در منطقه که عامل ساختاری در وقوع آن نقش بسزایی داشته می‌توان به زمین‌لغزش رودبار و فتلک اشاره کرد که بعد از زمین لرزه فاجعه بار رودبار ۳۱ خرداد سال ۱۳۶۹ به وقوع پیوست که خسارات مالی و جانی عظیمی را در پی داشت و روستای فتلک در اثر زمین‌لغزش مدفون گردید. در این پژوهش، ۱۱ پهنه زمین‌لغزش مشاهده و اندازه‌گیری شد. نتایج پیمایش‌های زمینی جهت شناسایی زمین‌لغزش‌های رخ داده و بررسی مشخصات هر یک از آنها حاکی از آن است که عامل ساختاری از عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه رودبار می‌باشد، بنابراین جهت بررسی وضعیت تکتونیک فعال و انطباق آن با زمین‌لغزش‌های رخ داده از شاخص‌های مورفوتکتونیک استفاده شد. نتایج حاصل از شاخص فعالیت تکتونیکی نسبی نشان داده است که بیش‌تر حوضه‌های مورد مطالعه در منطقه رودبار در وضعیت تکتونیکی فعال شدید و متوسط واقع شده است. طبقه فعالیت شدید مساحتی برابر $159/05$ کیلومتر مربع ($67/21$ درصد) از منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود که نشان از فعالیت تکتونیکی منطقه دارد. نتیجه هم‌پوشانی پهنه‌های زمین‌لغزش‌ها و پهنه بندی تکتونیکی نشان داده است که زمین‌لغزش‌های فتلک، لویه، رودبار، فیله، در پهنه‌های تکتونیکی با فعالیت شدید قرار گرفته و زمین‌لغزش‌های دشتگان، طلاپر، تکلیم، نصفی، دولت‌آباد، هرزویل در پهنه‌های تکتونیکی با فعالیت متوسط واقع شده است هم‌چنین در ادامه کار، موقعیت زمین‌لغزش‌ها با گسل‌های منطقه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاکی از آن است که بیشتر زمین‌لغزش‌ها در مجاورت گسل‌های فعال منطقه رودبار واقع شده است. مجموع طول گسل‌ها در منطقه $105/75$ کیلومتر بر کیلومتر مربع می‌باشد. در پهنه‌ی لرزه زمین‌ساختی البرز به ویژه در منطقه رودبار گسل‌های مهم، عموماً روند خاوری - باختری با اندکی تمایل به سوی شمال باختری دارند و اکثراً از نوع گسل‌های فشاری می‌باشند. می‌توان گفت که ارتباط نزدیکی بین جنبش گسل‌ها و رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه رودبار وجود دارد. با توجه به گریز ناپذیر بودن فعالیت گسل‌ها و مخاطرات ناشی از آن، پیشنهاد می‌شود در راستای بهبود زیر ساخت‌های عمرانی کشور، بررسی‌های دقیق‌تر و با مقیاس‌های بزرگ‌تر بر روی ساز و کار زمین‌لغزش‌های معرفی شده در این پژوهش (شامل تعیین فاکتورهای ایمنی (FS) شیب، محاسبه میزان ریسک زمین‌لغزش‌های منطقه و به کارگیری روش‌های پایداری و ایمن‌سازی شیب‌ها و ...)، به صورت سیمستاتیک و با هماهنگی سازمان‌ها و بخش‌های مرتبط انجام شود.

منابع

- احمدی، حسن. ۱۳۹۱. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول (فرسایش آبی). چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران.
- برنامه تهیه ضوابط معیارهای معدن، وزارت صنایع و معادن، زمستان ۱۳۸۹. دستورالعمل تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی - اکتشافی بزرگ مقیاس (مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰ و رقومی کردن آنها). چاپ اول. امور انتشارات سازمان نظام مهندسی معدن، ۵۳۲.
- حبیبی، علیرضا. ۱۳۹۴. بررسی زمین‌لغزش‌ها با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک. نشریه علمی- پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۷(۱): ۹۸-۱۰۸.

خاوری، رضوان؛ منوچهر قرشی، مهران آرین و خسرو خسروتهرانی. ۲۰۱۰. نشانه های زمین ریختی زمین ساخت فعال حوضه رودخانه کرج در دامنه جنوبی البرز مرکزی، شمال ایران. *فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین*. ۱۹ (۷۵): ۶۷-۷۴.

رضوانی، بهمن و هدی ابراهیمی. پاییز ۱۳۸۸. شناخت عوامل موثر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد برنجستانک قائمشهر. *فصلنامه علمی-پژوهشی نگرش های نو در جغرافیای انسانی (جغرافیای انسانی)*. ۴: ۱۲۷-۱۳۶.

رامشت، محمدحسین؛ هابده آراء، سیاوش شایان و مجتبی یمانی. تابستان ۱۳۹۱. ارزیابی دقت و صحت شاخص های ژئومورفولوژیکی با استفاده از داده های ژئودینامیکی (مطالعه موردی حوضه آبریز جاجرود در شمال شرق تهران). *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، پیاپی ۴۶ (۲)*.

زرگرزاده، مرضیه؛ کاظم رنگزن، عباس چرچی و احسان آبشیرینی. ۱۳۸۸. کاربرد GIS و شاخص های ژئومورفیک در پهنه بندی تکتونیک فعال. *همایش و نمایشگاه ژئوماتیک*.

سیف، عبدالله و قاسم خسروی. زمستان ۱۳۸۹. بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارس. *پژوهش های جغرافیای طبیعی*. ۷۴: ۱۲۵-۱۴۶.

شایان، سیاوش؛ محمد شریفی کیا، غلامرضا زارع و شهرام امیری. پاییز ۱۳۹۰. ارزیابی فعالیت های نوزمین ساختی حوضه های آبریز با شاخص های ژئومورفولوژیک مطالعه موردی (حوضه آبریز پاسخن استان فارس). *فصلنامه جغرافیا و آمایش سرزمین*. ۱: ۳۷-۵۲.

شریفی، رحمان؛ حسین گلبابایی و معصومه شیری. آذرماه ۱۳۹۲. بررسی ارتباط تکتونیک فعال و پهنه های لغزشی بر مبنای شاخص های تکتونیک فعال. *همایش ملی زمین ساخت ایران*. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

کریمی، فریبا؛ معصومه رجبی و مریم عسگری. تابستان ۱۳۹۲. تحلیل فعالیت های نئوتکتونیک دامنه شمالی رشته کوه بزقوش با استفاده از روش های ژئومورفولوژیکی. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*. ۲ (پیاپی ۱۰۹): ۱۴۱-۱۵۸.

کیانی، طیبیه؛ یوسفی زهرا، زمستان ۱۳۹۶. نقش گسل فعال در سطح تراز آب زیرزمینی حوضه شهرچای ارومیه. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. ۴۷: ۶۱-۷۵.

مقیم، ابراهیم؛ مجتبی یمانی و سعید رحیمی هرآبادی. بهار ۱۳۹۲. ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه. *پژوهش های ژئومورفولوژی کمی*. ۴: ۱۰۳-۱۱۸.

ندیم، هیراد. دی ماه ۱۳۹۵. گزارش نقشه ۱:۲۵۰۰۰ رودبار. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نظری، حمید و رضا سلامتی. ۱۳۷۷. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رودبار. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

یمانی، مجتبی؛ سجاد باقری و مریم جعفری اقدم. ۲۰۰۱. تاثیر نو زمین ساخت در مورفولوژی آبراهه های حوضه آبریز رودخانه چله (زاگرس شمال غربی). *مجله محیط جغرافیایی*. ۱ (۱).

Alipoor, R.; M. Poorkermani, M. Zare, & R. El Hamdouni. ۲۰۱۱. Active tectonic assessment around Roudbar Lorestan dam site, High Zagros Belt (SW of Iran). *Geomorphology*, ۱۲۸(۱): ۱-۱۴. doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.10.014.

-Bhakuni, S. S.; K. H. Luirei & G. C. Kothiyari. ۲۰۱۳. Neotectonic fault in the middle part of Lesser Himalaya, Arunachal Pradesh: a study based on structural and morphotectonic analyses. *Himalayan Geology*, ۳۴(۱): ۵۷-۶۴.

Bull, W. B.; L. D. McFadden. ۱۹۷۷. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In *Geomorphology in arid regions. Proceedings of the eighth annual geomorphology symposium*. State University of New York, Binghamton: ۱۱۵-۱۳۸.

- Donny R.W.; S.Hidayati, D .Muslim, N .Sulaksana. ۲۰۱۵. Control morphology to the landslide Induced Earthquake: Case Study Padang Pariaman, Sumatra. *10th Asian Regional Conference of IAEG*. doi: ۱۰.۱۳۱۴۰/RG.۲,۱,۴۲۶۸,۸۴۸۷.
- El Hamdouni, R.; C. Irigaray, T. Fernández, J. Chacón, E. A. Keller. ۲۰۰۸. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96(۱), ۱۵۰-۱۷. doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.geomorph.۲۰۰۷.۰۸.۰۰۴.
- ESRI, ۲۰۱۲. ArcGIS ۱۰: The Complete Geographic Information System. Environmental Systems Research Institute, <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/arcgis۱۰.pdf>, last accessed September ۲۰۱۲.
- Galve, J. P.; D. Piacentini, F .Troian, M. Della Seta. ۲۰۱۴. Stream length-gradient index mapping as a tool for landslides identification. In *Mathematics of Planet Earth : ۳۴۳-۳۴۶*. Springer, Berlin, Heidelberg .
- Google Earth, ۲۰۱۸. <https://earth.google.com/web/>
- Guarnieri, P.; C .Pirrotta. ۲۰۰۸. The response of drainage basins to the late Quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily). *Geomorphology*, 9۵(۳): ۲۶۰-۲۷۳. doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.geomorph.۲۰۰۷.۰۶.۰۱۳.
- Hack, J. T. (۱۹۷۳). Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the us Geological Survey*, 1(۴), ۴۲۱-۴۲۹.
- Hajian, J.; M. Zahhedi, M. Alavi, J.Eftekharneshad, J. Stocklin, M.H.Nabavi, M. Samimi, K. Hirayama, A. Hushmandzadeh, N. Valeh, A. Haghypour. ۱۹۶۹. Geology Map ۱:۲۵۰۰۰۰, Zanjan.
- Nadim, H.; G .Heydarzadeh, M .Partoazar, S .Najafi, M .Poshtkhouhi, B .Farahani, M.R. Kohansal, P. Cholami, M.R. Zabihi. ۲۰۱۶. Geology Map ۱:۲۵۰۰۰, Roudbar, Sheet :۵۸۶۳-۱-SE.
- Rockwell, T. K.; D. L .Johnson, E. A. Keller, G. R. Dembroff. ۱۹۸۵. late PleistoceneHolocene soil chronosequence in the Ventura basin, southern California, USA. In *Geomorphology and soils/edited by KS Richards, RR Arnett, and S. Ellis; published in association with a conference of the British Geomorphological Research Group, University of Hull, 28-30 September 1984*. London: G. Allen & Unwin.
- Silva, P. G.; J. L .Goy, C. Zazo, T. Bardaji. ۲۰۰۳. Fault-generated mountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. *Geomorphology*, 5۰(۱): ۲۰۳-۲۲۵. doi.org/۱۰.۱۰۱۶/S۰۱۶۹-۵۵۵X(۰۲)۰۰۲۱۵-۵.
- Sharifi, R.; A. Solgi, M. Pourkermani. ۲۰۱۳. A Study of the Relationship between Landslide and Active Tectonic Zones: A Case Study in Karaj Watershed Management, *open journal of Geology*, ۳: ۲۳۳-۲۳۹. doi: ۱۰.۴۲۳۶/ojg.۲۰۱۳,۳۳۰۲۷.
- Wells, S. G.; T. F .Bullard, C. M . Menges, P. G .Drake, P. A .Karas, K. I. Kelson, J. R. Wesling, ۱۹۸۸. Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary pacific coast of Costa Rica. *Geomorphology*, ۱(۳): ۲۳۹-۲۶۵. doi.org/۱۰.۱۰۱۶/۰۱۶۹-۵۵۵X(۸۸)۹۰۰۱۶-۵.

