

## کاربرد شاخص‌های مورفوتکتونیک در تحلیل مخاطرات زمین‌لغزش در راه آهن ناحیه لرستان

امیر افشاری (a\_afshari@sbu.ac.ir)

دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران  
منیژه قهرودی تالی \*

استاد و عضو هیأت علمی ژئومورفولوژی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران  
سید حسن صدوق (hasan.sadough@gmail.com)

استاد و عضو هیأت علمی ژئومورفولوژی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران  
محسن احتشامی معین‌آبادی (ehteshami58@gmail.com)

استادیار زمین‌شناسی-تکتونیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۱۰/۷ - تاریخ پذیرش ۱۳۹۸/۳/۲۶)

### چکیده

یکی از مهم‌ترین پدیده‌هایی که ایمنی خطوط ریلی را کاهش می‌دهد، مخاطرات طبیعی ناشی از حرکات دامنه‌ای و زمین‌لغزش است که خسارات جانی و مالی بسیاری را در پی دارد. با شناسایی مناطق دارای پتانسیل خطر می‌توان از بروز چنین حادثه‌هایی جلوگیری کرد. هدف این تحقیق، ارزیابی محدوده خطوط ریلی ناحیه لرستان از لحاظ شدت فعالیت‌های تکتونیک و تأثیر این فعالیت‌ها در ایجاد و تشدید مخاطرات زمین‌لغزش در این حوضه است. ارزیابی نسبی وضعیت تکتونیک منطقه با استفاده از شاخص تکتونیک  $at$  و محاسبه هفت شاخص ژئومورفولوژیک و مورفوتکتونیک نظیر منحنی‌های هیپسومتری (Hi)، انگرال هیپسومتری، شاخص شیب طولی رودخانه (SL)، نسبت شکل حوضه (BS)، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق دره (VF)، فاکتور تقارن توپوگرافی عرضی (T) و شاخص نسبت  $V$  انجام گرفت. زمین‌لغزش‌های منطقه نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و همچنین تحقیقات میدانی مشخص شد. در مرحله بعد برای برقراری ارتباط کمی بین لغزش‌های مشاهده‌شده و شاخص‌های تکتونیک در زیرحوضه‌ها از روش تحلیل رگرسیون خطی استفاده و به دلیل ناهمگنی شاخص‌ها در دامنه اعداد، به روش نمرة  $Z$  استاندارد شد و برای برقراری ارتباط بین شاخص‌ها و برداشت‌های میدانی مدل رگرسیون خطی آن محاسبه شد. نتیجه این تحقیق نشان داد که منطقه از لحاظ فعالیت‌های تکتونیک جوان است، اما شدت فعالیت در همه جای آن یکسان نیست، به نحوی که حوضه‌های ۱، ۳ و ۱۲ بیشترین فعالیت تکتونیک را داشته و حوضه‌های ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۳، فعالیت به نسبت کمتری دارند. حداکثر رخداد زمین‌لغزش در اطراف خطوط ریلی در حوضه‌های ۵ و ۱۲ مشاهده شد. براساس مشاهدات میدانی، بیش از ۸۰ درصد کل زمین‌لغزش‌های منطقه بین ایستگاه درود تا تنگ هفت، در محدوده فعالیت تکتونیک زیاد تا بسیار زیاد قرار دارد که این موضوع نشان‌دهنده تأثیر فعالیت زمین‌ساخت بر فراوانی زمین‌لغزش‌های منطقه است.

**واژه‌های کلیدی:** تکتونیک، خطوط ریلی ناحیه لرستان، زمین‌لغزش، شاخص‌های مورفوتکتونیک.

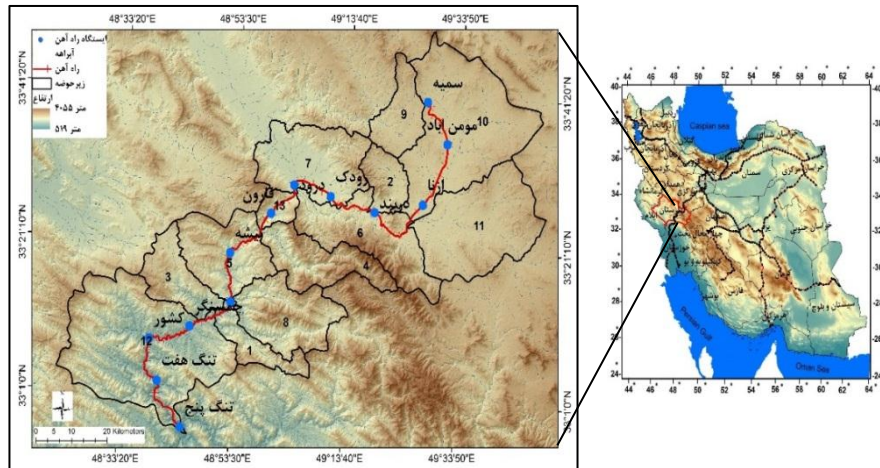
## مقدمه

حرکات دامنه‌ای، از جمله مخاطرات طبیعی است که بیشترین آسیب‌ها را به شریان‌های حیاتی از جمله خطوط ریلی وارد می‌آورد و بعد از حوادثی همچون خروج قطار از ریل و تخریب روسازی، عامل بیشترین خسارت جانی و مالی است. این عامل همواره عملکرد سیستم حمل‌ونقل ریلی را دچار مشکل ساخته و از اطمینان مشتریان به آن کاسته است [۱۲]. از این رو شناسایی محدوده‌های دارای پتانسیل خطر زمین‌لغزش می‌تواند در ایمن‌سازی و کاهش مخاطرات ناشی از این پدیده راهگشا باشد. علاوه بر سنگ‌شناسی، مورفولوژی و شرایط اقلیمی، فعالیت‌های تکتونیکی و لرزه‌خیزی از عوامل مهم در تولید و تحریک زمین‌لغزش‌ها در هر منطقه محسوب می‌شوند [۲]؛ به طوری که مطالعات صورت گرفته در سراسر جهان حاکی از آن است که وقوع زمین‌لغزش‌ها در مناطق فعال تکتونیکی، دارای فراوانی بیشتری است. بدین جهت با شناخت ویژگی‌های تکتونیکی هر منطقه می‌توان به درک بهتری از فرایندهای ژئومورفیک آن دست یافت. طی سال‌های اخیر پژوهشگران زیادی سعی در کمی کردن حرکات زمین‌ساختی داشته‌اند و شاخص‌های متعددی را با عنوان شاخص‌های مورفوتکتونیک معرفی کرده‌اند [۶]. این شاخص‌ها ابزار سودمندی برای بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی در نواحی مختلف محسوب می‌شوند و به وسیله آنها می‌توان اطلاعاتی در مورد نواحی خاص از یک منطقه که در معرض فعالیت‌های تکتونیکی به نسبت سریع یا حتی کند قرار دارند، به دست آورد و به تحلیل خطر مخاطرات ژئومورفیک ناشی از این فعالیت‌ها پرداخت [۳۱، ۱۳]. ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساخت با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک یا ریخت‌سنجی ابتدا توسط بول و مک فادن آغاز شد [۲۰] و محققان دیگری همچون براند و همکاران در جنوب شرق آسیا [۱۹]، کانسلی و نووا در بخش‌های مرکزی کوه‌های آلپ [۲۲]، مورگان و همکاران در ایالت ویرجینیا [۳۱]، سیوا و همکاران در سواحل مدیترانه‌ای اسپانیا [۳۶]، آیالیو و یاماگاشی در کوه‌های مرکزی ژاپن [۱۷]، گوارنیری و پیروتا در شمال شرقی سیسیل [۲۷]، وویکتو و همکاران در شمال حوضه نابورک [۳۹]، ریاض احمد و همکاران در کشمیر پاکستان [۳۳] استفاده و آزمون شده است. از جمله تحقیقات داخلی نیز می‌توان به مطالعات بیاتی خطیبی در زمینه بررسی فعالیت‌های نفوتکتونیک دامنه‌های شرقی سهند [۳]، کرمی در زمینه تحلیل فعالیت‌های نفوتکتونیک دامنه شمالی رشته‌کوه بزقوش با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژیکی [۱۲]، زارع درباره کیفیت واکنش به زمین‌لرزه برای کاهش مخاطرات [۸]، جباری و همکاران درباره بررسی حوضه حصارک کرج با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک [۵]، همتی و همکاران درباره ارزیابی

فعالیت‌های نئوتکتونیک اطراف گسل بناروان [۱۵]، ده‌بزرگی و همکاران درباره مطالعات تکتونیک حوضه سروستان بخش مرکزی زاگرس [۲۳]، روستایی و همکاران در زمینه تحولات ژئومورفولوژیکی مخروط‌افکنه اسکوچای [۷]، صمدی مقدم و همکاران درباره ارزیابی نئوتکتونیک گسل کلمرد [۱۱]، بیرانوند و همکاران درباره برآورد شاخص‌های مورفومتری زمین‌لغزش کبیرکوه [۴] و مقیمی و همکاران درباره تأثیر مخاطرات ژئومورفیک بر خطوط انتقال انرژی [۱۴] و تحقیقاتی از این دست اشاره کرد که بیانگر اهمیت تأثیر زمین‌ساخت بر ایجاد یا تغییر لندفرم‌ها و پدیده‌های ژئومورفولوژیکی است. راه آهن لرستان به‌عنوان بخشی از خطوط ریلی سراسری شمال به جنوب کشور ایران به طول ۲۱۵ کیلومتر در سراسر رشته‌کوه زاگرس مرتفع و قسمتی از زاگرس چین‌خورده از ایستگاه مؤمن‌آباد در استان مرکزی تا ایستگاه تنگ هفت در استان خوزستان امتداد می‌یابد. این محدوده به‌دلیل قرار گرفتن در کمربند چین‌خورده فعال زاگرس از نظر ناپایداری دامنه‌ای و پدیده‌های ژئومورفولوژیکی دارای ویژگی‌های خاصی است [۱۹]. فعالیت فرایندهای ژئومورفیک، ساختار چین‌خورده تاقدیسی و ناودیسی، لیتولوژی متنوع و به‌نسبت مقاوم سنگ آهک کرتاسه، گسلش شدید منطقه، و لرزه‌خیزی شدید، زمینه وقوع مخاطرات طبیعی مثل زلزله و انواع حرکات توده‌ای را در این محدوده فراهم آورده است. روزانه مسافران پرشمار و کالاهای تجاری و مواد معدنی بسیاری از این مسیر جابه‌جا می‌شود و با توجه به کم بودن آستانه خطر خطوط ریلی نسبت به سایر خطوط حمل‌ونقل کوچک‌ترین حادثه ممکن است به خروج قطار از خط و تحمیل خسارات جانی و مالی شدیدی منجر شود. براساس آمار مرکز تحقیقات راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، در حدود ۳۴ نقطه دارای ریزش مخرب از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۶ در منطقه ثبت شده است (جدول ۱۰). از این رو شناسایی سازوکار زمین‌ساخت و خطرهای مرتبط با این پدیده به‌منظور جلوگیری از بروز خسارات مالی و جانی در این منطقه هدف اصلی این پژوهش است.

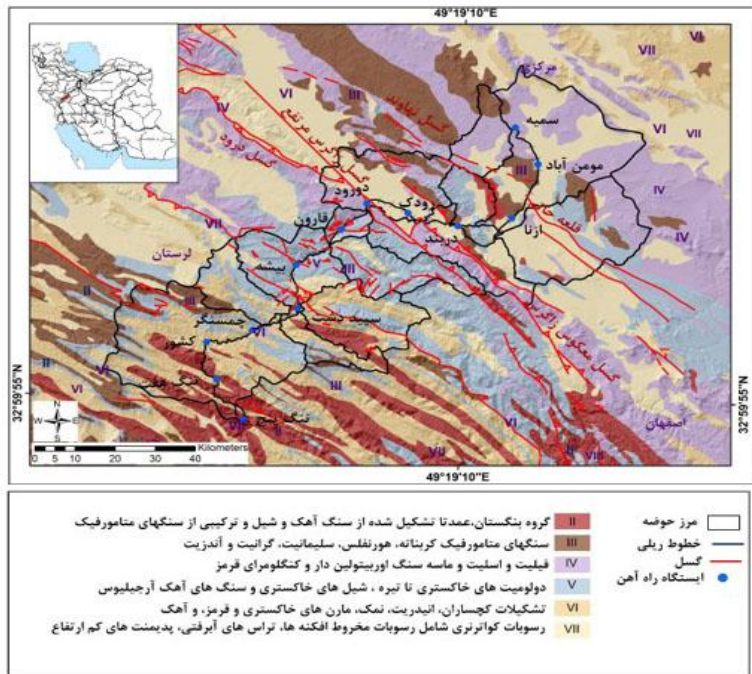
### منطقه تحقیق

ناحیه راه آهن لرستان از مناطق بسیار بااهمیت شبکه راه آهن سراسری ایران به‌شمار می‌رود که در محور سراسری شمال- جنوب به طول ۲۱۵ کیلومتر خط اصلی در دو استان لرستان و خوزستان واقع شده است. این مسیر دارای دو ایستگاه تشکیلاتی دورود و اندیمشک و ۱۳ ایستگاه بین راهی است (شکل ۱). محدوده تحقیق در مختصات جغرافیایی ۱۵'، ۴۸° تا ۰۵'، ۴۹° شرقی و عرض‌های ۲۵'، ۳۲° تا ۳۰'، ۳۳° شمالی قرار دارد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه تحقیق

منطقه تحقیق بخشی از پهنه‌های زمین‌ساختی ناآرام و پویا در ایران است که در شمال شرق آن بخشی از پهنه تکتونیکی سندرچ-سیرجان قرار دارد که از شمال بروجرد تا جنوب شهرستان دورود را در بر می‌گیرد. بخش مرکزی و جنوبی آن هم مربوط به ارتفاعات زاگرس مرتفع و چین‌خورده است. از لحاظ توالی چینه‌شناسی ۹ واحد لیتولوژی در منطقه وجود دارد که قدیمی‌ترین آنها سنگ آهک بنگستان، شامل سنگ آهک‌های خاکستری تا تیره با لایه‌بندی خوب و تناوب آهک‌های رسی و شیلی است که تفکیک‌ناپذیرند. سازند گوری با جنس سنگ آهک‌های مارنی و مارن‌های تیره روی آهک بنگستان قرار گرفته است. این سازند با سازند ماسه‌سنگی، کنگلومرای، سیلت استون، و مارن زیتونی امیران پوشیده شده است. سازند تله زنگ با آهک‌های متوسط لایه تا توده‌ای با ضخامت متغیر در جنوب حوضه روی سازند امیران قرار گرفته است (شکل ۲). سازند آهک و دولومیتی آسماری که ارتفاعات حوضه را می‌پوشاند روی سازند کشکان قرار می‌گیرد و با سازند مارنی گچی و ماسه‌سنگی گچساران پوشیده می‌شود و رسوبات کنگلومرای بختیاری با مساحت بسیار کمی که در حوضه دارند، روی رسوبات قدیمی‌تر قرار می‌گیرند و رسوبات آبرفتی عهد حاضر به‌صورت ناپیوستگی در مسیر آبراهه‌ها و رودخانه‌ها بر جای گذاشته شده‌اند (شکل ۲).



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی و گسل‌های منطقه تحقیق

### مواد و روش‌ها

داده‌های این پژوهش شامل نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ دریافت‌شده از سازمان نقشه‌برداری، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۳۰ متر تهیه‌شده از ماهواره ASTER، نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ استان لرستان است که در کنار بازدید میدانی سال ۱۳۹۷، به شناسایی ۳۵ دامنه ناپایدار از لحاظ حرکات دامنه‌ای انجامید. روش تحقیق مقایسه‌ای و شامل شاخص‌های تکتونیکی است که فعال بودن منطقه را از نظر تکتونیکی و برقراری ارتباط بین وقوع پدیده زمین‌لغزش و فعالیت تکتونیکی را نشان می‌دهند. شاخص‌های تکتونیکی استفاده‌شده شامل منحنی هیپسومتری و انتگرال هیپسومتری (HI) [hypsothetic integral]، عدم تقارن حوضه زهکشی (AF) [asymmetry factor]، شاخص تقارن توپوگرافی (T) [Drainage basin tilting]، شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL) [Stream length gradient]، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (VF) [ratio of valley floor width to valley height]، شاخص نسبت V [V ratio index] و شاخص شکل حوضه (BS) [Drainage basin shape] است که برای هر یک از زیرحوضه‌ها به

تفکیک محاسبه شده است (جدول ۲). طبقه‌بندی شاخص‌ها نیز براساس طبقه‌بندی حمدونی و همکاران (۲۰۰۸) صورت گرفت. وضعیت تکتونیکی منطقه با استفاده از شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (lat) مشخص شد (جدول ۱). سپس شاخص‌ها به دلیل ناهمگنی در دامنه نمره، به روش نمره Z استاندارد شدند و ارتباط کمی بین لغزش‌های مشاهده‌شده و شاخص‌های تکتونیکی در زیرحوضه‌ها به روش تحلیل رگرسیون خطی محاسبه شد.

جدول ۱. طبقه‌بندی شاخص lat براساس طبقه‌بندی حمدونی (۲۰۰۸)

$lat > 2/5$	$2/5 > lat > 2$	$2 > lat > 1/5$	$lat = 1 - 1/5$
فعالیت تکتونیکی کم	فعالیت تکتونیکی متوسط	فعالیت تکتونیکی زیاد (۲)	فعالیت تکتونیکی بسیار زیاد (۱)
(۴)	(۳)		

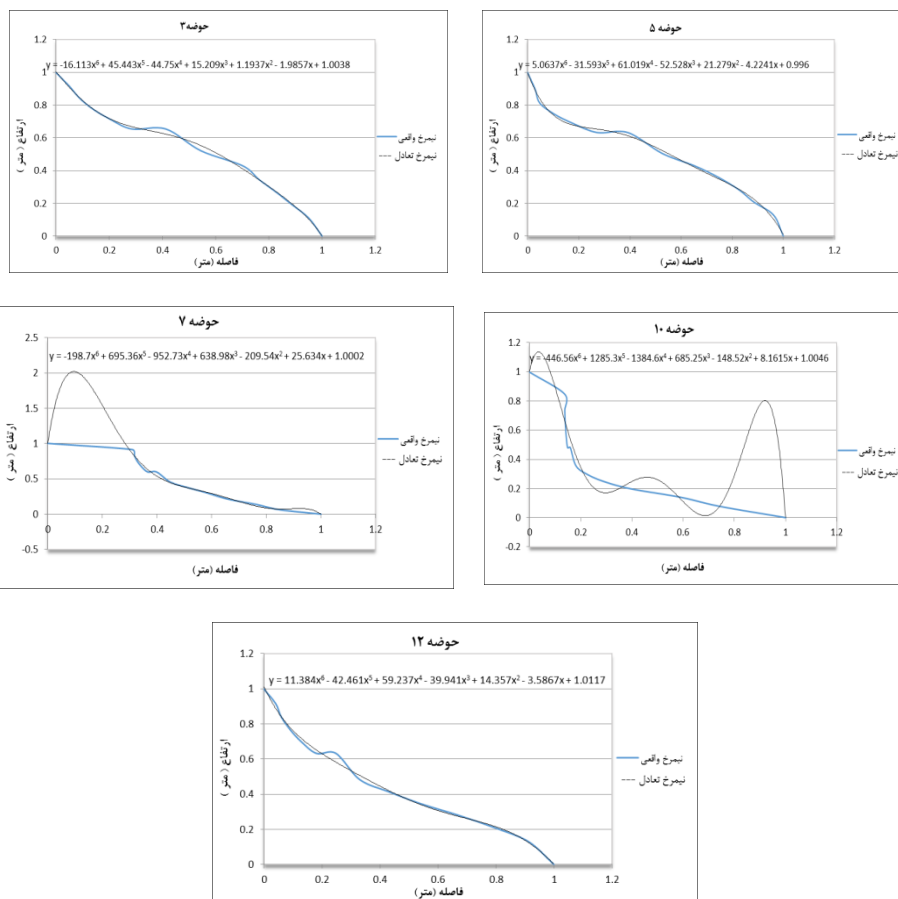
جدول ۲. شاخص‌های استفاده‌شده برای ارزیابی نسبی وضعیت تکتونیکی [۲۳]

تعریف اجزای معادله	شاخص‌های کمی
$SL =$ گرادیان طولی رودخانه $\left(\frac{\Delta H}{\Delta L}\right) =$ گرادیان محلی رودخانه $L =$ طول کانال رودخانه از خط تقسیم آبراه تا مرکز بخشی که گرادیان آن محاسبه شده است [۵].	$SL = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L}\right) \cdot L$ نیمرخ طولی رودخانه
$Af =$ شاخص عدم تقارن $Ar =$ مساحت حوضه آبریز در سمت راست آبراه اصلی $At =$ مساحت کل حوضه	نامتقارن بودن حوضه زهکشی $Af=100(Ar/At)$
$Da =$ فاصله نوار مانداری فعال از خط میانی حوضه آبریز $Dd =$ فاصله خط میانی حوضه آبریز از خط مرز حوضه	تقارن توپوگرافی عرضی $T=Da/Dd$
$hmean =$ میانگین ارتفاع حوضه $hmax =$ حداکثر ارتفاع حوضه $hmin =$ حداقل ارتفاع حوضه	شاخص انتگرال هیپسومتر حوضه $Hi = \frac{(hmean - hmin)}{(hmax - hmin)}$
$Vfw =$ عرض کف دره $Eld =$ ارتفاع کف دره از سمت چپ $Erd =$ ارتفاع کف دره از سمت راست $Esc =$ ارتفاع کف دره	نسبت پهنای دره به ارتفاع آن $Vf=2vfw/$ $(Eld-Esc) + (Erd-Esc)$
$AV =$ مساحت دره در مقطع عرضی $Ac =$ مساحت نیم‌دایره‌ای به شعاع H $H =$ ارتفاع دره به متر مربع	شاخص نسبت V $V=AV/AC$
$BS =$ شاخص شکل حوضه $BL =$ طول حوضه $BW =$ عرض حوضه	نسبت شکل حوضه زهکشی (BS) $BS=BL/BW$

### بحث و نتایج تحقیق

نتایج حاصل از شاخص‌های تکتونیک بیانگر میزان پایداری و ناپایداری محیط و پتانسیل رخداد زمین‌لغزش است. برای نمونه، پروفیل طولی رودخانه وابسته به مورفولوژی حوضه، سنگ بستر و هندسه هیدرولویک جریان رود است [۳۹،۳۷،۲۶،۱۶] و رابطه بین شیب آبراهه و مساحت حوضه زهکشی را توصیف می‌کند [۳۴]. به منظور ارزیابی پاسخ سیستم رودخانه به تغییرات چشم‌اندازها و فرایندهای مختلف نظیر بالا آمدن و تغییرات تکتونیک به کار می‌رود [۴۰]. جدول ۳، شاخص‌های تکتونیک برحسب زیرحوضه‌ها در خطوط ریلی لرستان را نشان می‌دهد، همان‌طور که ملاحظه می‌شود حوضه‌های ۱، ۳، ۵، ۱۲، ۱۳ با رنگ متمایز شده است که بیانگر رخداد زمین‌لغزش است که موقعیت برداشت‌های میدانی در جدول ۳ نوشته شده است. شاخص گرادیان طولی رودخانه، به تغییرات شیب آبراهه حساس است و می‌تواند هرگونه بی‌نظمی را که در اثر فعالیت‌های تکتونیک یا مقاومت سنگ در شیب طولی آبراهه ایجاد شده است، تبیین کند. بازه شاخص گرادیان طولی رودخانه یا SL برای حوضه‌ها از ۶۳۱ (شماره ۳) تا ۵۷ در حوضه (شماره ۱۳) در نوسان است. شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF) برای تعیین کج‌شدگی تکتونیک حوضه‌های زهکشی به کار می‌رود و شاخص تقارن توپوگرافی عرضی حوضه‌ای (T)، از دیگر شاخص‌های بررسی تأثیر تکتونیک در عدم تقارن حوضه زهکشی است. مقدار این شاخص بین صفر و یک در تغییر است و هرچه عدد T به یک نزدیک‌تر باشد، عدم تقارن در حوضه بیشتر است [۳۹، ۲۸، ۷]. شاخص هیپسومتری حوضه، عاملی مناسب برای شناسایی تکامل زهکشی حوضه آبخیز است [۳۲] که نشان‌دهنده توزیع نسبی سطوح ارتفاعی حوضه آبخیز، بالا یا پایین‌تر از یک حد معین است [۲۵]. براساس مساحت منحنی‌های ترسیمی زیرحوضه‌های تحت مطالعه، حوضه‌های ۳، ۵، ۷، ۱۰ و ۱۲ دارای مقادیر بیش از ۵۰ درصد است که در نتیجه، شکلی محدب دارد و نشان‌دهنده جوان بودن حوضه است و مقادیر بقیه حوضه‌ها کمتر از ۵۰ درصد است که دارای شکل مقعر و نشان‌دهنده غلبه فعالیت‌های فرسایشی بر فعالیت‌های تکتونیک است (شکل ۳). نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (شاخص VF) تفاوت میان دره‌های با بستر پهن و U شکل را که در اثر ثبات سطح اساس و آرامش تکتونیک، فرسایش کناری در آنها برتری دارد، در مقایسه با دره‌های پرشیب و باریک V شکل که در پاسخ به بالا آمدگی، پایین‌دست خود را حفر می‌کنند نشان می‌دهد [۲۷]. شاخص نسبت V عبارت از نسبت مساحت دره به مساحت نیم‌دایره‌ای با شعاع معادل عمق دره ایجاد شده است [۱۹]. نسبت شکل حوضه زهکشی (BS) نوع حوضه از لحاظ شکل و کشیدگی ارزیابی می‌شود. میزان فعال بودن زیرحوضه‌ها از لحاظ تکتونیک با استفاده از شاخص Iat بررسی شده و براساس طبقه‌بندی حمدونی و همکاران که همان

رده شاخص زمین ساخت فعال (lat) منطقه تحقیق است، به سه کلاس فعالیت تکتونیکی (۱-۲-۳) تقسیم شدند. عدد ۱ نشان دهنده بیشترین فعالیت، عدد ۲ بیانگر حالت نیمه فعال و متوسط و عدد ۳ نشان دهنده فعالیت کم و غیرفعال است. تغییرات نمره Z شاخص های تکتونیکی بر حسب زیرحوضه ها در خطوط ریلی لرستان در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود، میزان نوسان شاخص ها زیاد است و توسط شاخص lat رده بندی شده اند. با توجه به نتایج به دست آمده از این شاخص، حوضه های ۱، ۳ و ۱۲ فعالیت تکتونیکی بسیار زیاد دارند و در بقیه حوضه ها فعالیت تکتونیکی زیاد و متوسط دیده می شود. در حوضه هایی که شاخص یاد شده عدد ۳ را نشان می دهد، در مشاهدات میدانی با نمونه های لغزش پیدا نشده است.

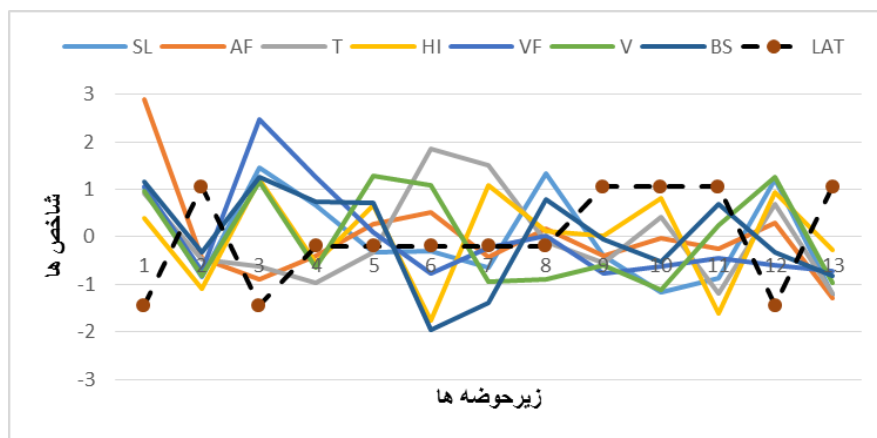


شکل ۳. نیمرخ هیپسومتری زیرحوضه های ۳، ۵، ۷، ۱۰ و ۱۲ منطقه تحقیق



جدول ۳. شاخص‌های تکتونیک برحسب زیرحوضه‌ها در خطوط ریلی لرستان

لغزش ثبت‌شده	lat	BS	V	VF	HI	T	AF	SL	حوضه
۵	۱	۳/۹۴	۰/۸۴	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۴۴	۴۸/۱۸۶	۵۳۴	۱
.	۳	۱/۵۵	۵/۱۶	۲	۰/۳۷	۰/۲۵	۴۳/۵۴	۱۳۵	۲
۱۸	۱	۱/۹۶	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۵۴	۰/۲۳	۳۶/۳۶	۶۳۱	۳
۶	۲	۲/۸۳	۳/۲۳	۰/۵۸	۰/۴۱	۰/۱۸	۴۷/۵۶	۴۵۶	۴
۱۰	۲	۰/۸۲	۰/۹۷	۰/۲۵	۰/۵۰	۰/۲۷	۲۹/۸۲	۲۴۳	۵
۱	۲	۳/۱۲	۳/۸۹	۰/۱	۰/۳۲	۰/۵۷	۷۱/۹۱	۲۵۰	۶
۴	۲	۲/۲۷	۷/۱۱	۱/۱۶	۰/۵۳	۰/۵۲	۸۰/۵۴	۱۷۴	۷
۱	۲	۳/۸۴	۲/۱۴	۰/۲۳	۰/۴۶	۰/۳۰	۲۵/۷۸	۵۹۴	۸
.	۳	۱/۶۲	۴/۲۵	۳/۱	۰/۴۵	۰/۲۴	۷۴/۵۵	۲۲۸	۹
.	۳	۱/۵۰	۱۰/۵	۲/۵	۰/۵۱	۰/۳۷	۶۳/۷۰	۶۶	۱۰
.	۳	۱/۸۱	۱۰/۵۷	۱۰	۰/۳۳	۰/۱۵	۵۰/۶۱	۱۳۰	۱۱
۲۵	۱	۱/۵۵	۰/۹۶	۰/۶	۰/۵۲	۰/۴۱	۶۸/۸۲	۵۷۰	۱۲
۳	۳	۱/۴۲	۵/۱۰	۲/۲	۰/۴۳	۰/۱۵	۴۸/۲۱	۵۷	۱۳



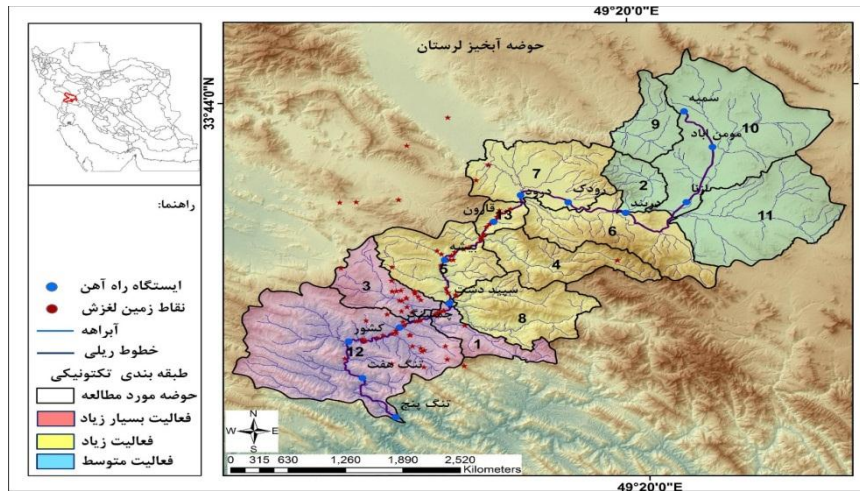
شکل ۴. نمودار تغییرات شاخص‌های تکتونیک برحسب زیرحوضه‌ها در خطوط ریلی لرستان

براساس مشاهدات میدانی بیش از ۸۰ درصد کل زمین‌لغزش‌های منطقه بین ایستگاه دورود تا تنگ هفت در محدوده فعالیت تکتونیک فعال قرار دارد که این امر نشان‌دهنده تأثیر فعالیت زمین‌ساخت بر فراوانی زمین‌لغزش‌های منطقه است. جدول ۴ نتایج مشاهدات میدانی

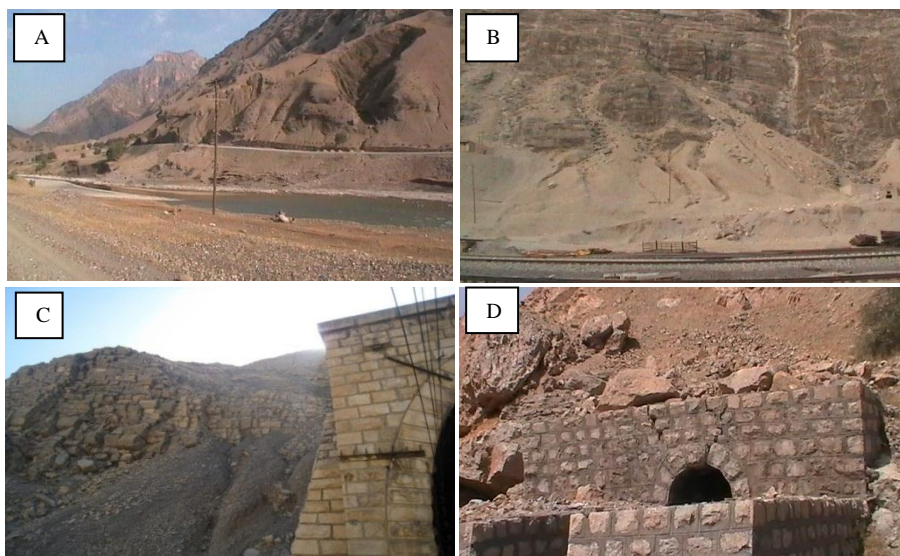
زمین لغزش براساس کیلومتر راه آهن از مبدأ را در بازدیدهای میدانی در محدوده خطوط ریلی ناحیه لرستان نشان می دهد. بیشترین مشاهدات میدانی در اطراف خطوط ریلی در حوضه های ۵ و ۱۲ مشاهده شده است؛ در حالی که مشاهدات میدانی در حوضه های ۳، ۵ و ۱۲ ملاحظه شده است که می توان نتیجه گرفت ایجاد خاکریز راه آهن و برش دامنه، پتانسیل لند اسلاید را در حوضه ۵ افزایش داده و شرایط عبور خطوط ریلی از حوضه ۳ مناسب تر است. حوضه ۱۲ بخش اعظم بین ایستگاه های چمسنگر-کشور و حوضه ۵ بخش اعظم بین ایستگاه های قارون-بیشه را پوشش می دهد که هر سال با مسئله سیل نیز درگیرند. شکل ۵، نقشه پهنه بندی خطوط ریلی ناحیه لرستان از لحاظ فعالیت زمین ساخت شاخص lat و مخاطره زمین لغزش را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود تراکم زمین لغزش در حوضه های ۳ و ۱۲ است و مقایسه این نقشه با نقشه زمین شناسی تنوع لیتولوژی و سازندها شایان ملاحظه است. شکل ۶ تصویر اول (A) لغزش انتقالی در محدوده ایستگاه تنگ هفت و تصویر دوم (B) جریان واریزه ای مواد بعد از ایستگاه تنگ هفت، را نشان می دهد. تصویر سوم (C)، سقوط قطعات سنگی ورودی تونل ایستگاه کشور، کیلومتر ۵۴۱، حوضه شماره ۱۲ و تصویر سوم (D) ریزش سنگ و شکستگی در تونل کیلومتر ۴۷۲، بین ایستگاه دورود تا قارون که در حوضه ۱۳ رخ داده است را نمایش می دهد.

جدول ۴. نتایج مشاهدات میدانی زمین لغزش براساس کیلومتر راه آهن از مبدأ

حوضه ۱	حوضه ۳	حوضه ۵	حوضه ۱۲	حوضه ۱۳
۵۰۳+۳۰۰	۵۱۴+۶۰۰	۴۸۲+۶۰۰	۵۲۶+۵۰۰	۴۷۱+۸۰۰
۵۱۲+۵۰۰	۵۱۴+۶۵۰	۴۸۳+۳۰۰	۵۲۷+۹۵۰	۴۷۳+۰۵۰
۵۱۳+۷۵۰	۵۱۸+۷۰۰	۴۸۳+۴۵۰	۵۳۶+۳۵۰	۴۷۵+۲۰۰
		۴۸۴	۵۳۶+۷۹۶	۴۷۶+۰۵۰
		۴۸۷+۵۰۰	۵۳۷+۵۰۰	۴۷۷+۸۵۰
		۴۸۹	۵۲۰+۸۰۰	۱۰۰+۴۷۹
		۴۹۱	۵۲۳+۰۵۰	۴۸۰
		۴۸۲	۵۴۲+۸۵۰	
		۴۹۵+۵۰۰	۵۴۳+۴۵۰	
		۴۹۶+۳۰۰	۵۴۶+۲۰۰	
			۵۷۶+۶۰۰	



شکل ۵. نقشه پهنه بندی خطوط ریلی ناحیه لرستان از لحاظ فعالیت زمین‌ساخت و مخاطره زمین‌لغزش



شکل ۶. A - لغزش انتقالی در محدوده ایستگاه تنگ هفت حوضه ۱۲ جهت دید شمال غرب، تاریخ آبان ۱۳۹۶. B - جریان واریزه‌ای مواد بعد از ایستگاه تنگ هفت حوضه ۱۲، جهت دید شمال غرب تاریخ آبان ۱۳۹۶. C - سقوط قطعات سنگی ورودی تونل کشور ۵۴۱ حوضه ۱۲، جهت دید رو به شمال تاریخ آبان ۱۳۹۶. D - ریزش سنگ و شکستگی در تونل ۴۷۲ کیلومتر بین ایستگاه دورود تا قارون حوضه ۱۳، جهت دید رو به شمال تاریخ آبان ۱۳۹۶

برای برقراری ارتباط کمی بین لغزش‌های مشاهده‌شده و شاخص‌های تکتونیکی در زیرحوضه‌ها از روش تحلیل رگرسیون خطی استفاده شد و به دلیل ناهمگنی شاخص‌ها در دامنه اعداد، به روش نمره Z استاندارد شد و برای برقراری ارتباط بین شاخص‌ها و برداشت‌های میدانی، مدل رگرسیون خطی آن محاسبه شد (رابطه ۱). به دلیل اینکه در برداشت میدانی در حوضه‌های ۲، ۹، ۱۰ و ۱۱ زمین لغزش مشاهده نشد، از مدل رگرسیون حذف شد. در تحلیل مربعات نسبت واریانس ۲ و سطح معناداری قابل پذیرش بود (جدول ۵). بنابراین رابطه ۱ در شرایطی که زمین لغزش مشاهده شده است معنادار است.

جدول ۵. عناصر مدل رگرسیون

مدل	مجموع مربعات	میانگین مربعات	نسبت واریانس (f)	سطح معناداری
رگرسیون	۱۰۱۸	۱۴۵	۲	۰.۰۰۱
باقی مانده	۵۰	۵۰		
کل	۱۰۶۸			

$$y = -12/0.35 - BS + 0.75 V + VF + HI - T + AF + 0.35 SI \quad (1)$$

### نتیجه‌گیری

زمین لغزش به‌عنوان مخاطره‌ای طبیعی از این نظر که با مخاطرات دیگر از جمله زلزله و سیل فعال می‌شود، به‌طور معمول بیشترین آسیب را به شریان‌های حیاتی از جمله خطوط ریلی وارد می‌آورد؛ از این رو بررسی و شناسایی آن از اهمیت زیادی برخوردار است. ناحیه راه‌آهن لرستان با مخاطره زمین لغزش در بخشی از ایستگاه‌های خود درگیر است. در این مقاله از شاخص‌های مورفولوژیکی و مورفوتکتونیکی که بیانگر فعالیت‌های تکتونیکی است استفاده شده است تا رابطه میان آنها و رخداد زمین لغزش بررسی شود. براساس نتایج به‌دست آمده از شاخص‌ها، منطقه تحقیق از لحاظ فعالیت تکتونیکی به سه رده فعالیت بسیار زیاد، فعالیت زیاد و فعالیت متوسط تقسیم شد. به‌طور کلی برآورد نتایج حاصل از شاخص‌های به‌کاررفته نشان داد که ناحیه لرستان از لحاظ فعالیت‌های نئوتکتونیکی جوان است، اما شدت فعالیت در همه جای آن یکسان نیست؛ به‌نحوی که حوضه‌های ۱، ۳ و ۱۲ بیشترین فعالیت تکتونیکی را داشته و حوضه‌های ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۳ فعالیت به‌نسبت کمتری دارند. حداکثر رخداد زمین لغزش در اطراف خطوط ریلی در حوضه ۱۲ و ۵ مشاهده شد، اما برداشت میدانی نمونه‌ها بیشتر در

حوضه‌های ۳، ۵ و ۱۲ بود که احتمالاً خاکریز راه آهن و برش دامنه رخداد لند اسلاید را در حوضه ۵ افزایش داد. خطوط ریلی در حوضه ۳ از شرایط بهتری برخوردارند؛ بنابراین اگرچه رابطه کمی بین شاخص‌ها و زمین‌لغزش پذیرفتنی است. مواردی نقض‌کننده نیز مشاهده شده است. از این رو برای درک بهتر رابطه از در مدل رگرسیونی استفاده شد و حوضه‌هایی که زمین‌لغزش در آنها مشاهده نشد (حوضه‌های ۲، ۹، ۱۰ و ۱۱) از مدل حذف شد. نسبت واریانس (فیشر) نشان داد که بین شاخص‌های استفاده‌شده و رخداد زمین‌لغزش رابطه معناداری وجود دارد؛ از این رو می‌توان نتیجه گرفت که با مطالعه مورفومتری حوضه‌ها، شدت لغزش دامنه‌ها را می‌توان ردیابی کرد.

### منابع

- [۱]. آمبرسیز، نیکولاس؛ و ملویل، چارلز پیتر (۱۳۷۰). *تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران*، ترجمه ابوالحسن رده، تهران: آگاه.
- [۲]. اجل لوئیان، رسول؛ زراعی سهامیه، رضا؛ بهاروند، سیامک؛ و فرهادی‌نژاد، طاهر (۱۳۸۲). «پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه نوزیان (جنوب شرق خرم‌آباد- استان لرستان)»، *مجله زمین‌شناسی مهندسی*، ج اول، ش ۲، ص ۱۱۹.
- [۳]. بیاتی خطیبی؛ و رجبی، مریم (۱۳۸۸). «تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیک در حوضه قرنقوچای در دامنه‌های شرقی سهند با استفاده از شاخص مورفوتکتونیک»، *نشریه فضای جغرافیایی*، ش ۲۵، ص ۵۰-۲۳.
- [۴]. بیرانوند، حجت‌اله؛ انتظاری، مژگان؛ و سیف، عبدالله (۱۳۹۵). «برآورد شاخص‌های مورفومتری زمین‌لغزش کبیرکوه»، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، سال شانزدهم، ش ۴۱.
- [۵]. جباری، ندا؛ ثروتی، محمدرضا؛ و حسین‌زاده، محمد مهدی (۱۳۹۱). «مطالعه مورفوتکتونیک فعال حوضه حصارک کرج (شمال باختر تهران) با استفاده از شاخص‌های مورفومتری»، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ش ۲.
- [۶]. حسنی، حسین (۱۳۸۷). *روش‌های نوین مدیریت ترانزیت‌ها در راه و راه‌آهن*، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- [۷]. روستایی، شهرام؛ رجبی، معصومه؛ و سمندر، نسرین (۱۳۹۴). «بررسی نقش عوامل مؤثر در تحول ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه و بستر اسکوچای»، *هیدروژئومورفولوژی*، ش ۲، ص ۴۱-۶۰.

- [۸]. زارع، مهدی (۱۳۹۳). «کیفیت واکنش به زمین لرزه وان ترکیه با بزرگای ۷/۲: اول آبان ۱۳۹۰ برای کاهش مخاطرات»، *دانش مخاطرات*، دوره ۱، ش ۲، ص ۲۰۲-۱۸۹.
- [۹]. سلیمانی، شهریار (۱۳۷۸). *رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه شناسی، مؤسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله*.
- [۱۰]. سوری، سلمان؛ لشکری پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد؛ و فرهادی نژاد، طاهر (۱۳۹۰). «پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از شبکه مصنوعی؛ مطالعه موردی حوضه کشوری (نوژیان)»، *نشریه زمین شناسی مهندسی*، سال پنجم، ش ۲، ص ۱۲۸۶-۱۲۶۹.
- [۱۱]. صمدی مقدم، رعنا؛ ده بزرگی، مریم؛ نورزعی، رضا؛ و محجل، محمد (۱۳۹۵). «ارزیابی نئوتکتونیک گسل کلمرد با استفاده از GIS، منطقه شیرگشت (ایران مرکزی)»، *جغرافیا و توسعه*، ش ۴۵، ص ۱۸۰-۱۵۹.
- [۱۲]. کرمی، فریبا؛ رجبی، معصومه؛ و عسگری، مریم (۱۳۹۲). «تحلیل فعالیت های نئوتکتونیک دامنه شمالی رشته کوه بزقوش با استفاده از روش های ژئومورفولوژیکی»، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، سال ۲۸، ش دوم، شماره پیاپی ۱۰۹، ص ۱۵۸-۱۴۱.
- [۱۳]. ملکی راد، زینب (۱۳۹۰). *پهنه بندی خطر زمین لرزه با استفاده از داده های ماهواره ای در استان لرستان*، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال.
- [۱۴]. مقیمی، ابراهیم؛ جعفری بگلو، منصور؛ مقصودی، مهران؛ مونیر، نولبرتو؛ و احمدی، امیر (۱۳۹۷). «تأثیر مخاطرات ژئومورفیک آبراهه ای بر خطوط انتقال انرژی با استفاده از محور ریسک خط لوله گاز نهم سراسری»، *مدیریت مخاطرات محیطی*، دوره ۵، ش ۲، ص ۲۱۶-۱۹۹.
- [۱۵]. همتی، فریبا؛ مختاری، داود؛ روستائی، شهرام؛ و زمانی قره چمنی، بهزاد (۲۰۱۷). «ارزیابی فعالیت های نئوتکتونیک محدود گسل بنااروان براساس شاخصه های ریخت سنجی»، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۶(۳)، ص ۸۵-۱۰۷.
- [16]. Anoop, Ambili; Prasad, Sushma; Basavaiah, Nathani; Brauer, Achim; Shahzad, Faisal; & Deenadayalan, Karen. (2012). "Tectonic versus climate influence on landscape evolution: a case study from the upper Spiti valley, NW Himalaya", *Geomorphology*, 145-146, pp: 32-44.
- [17]. Ayalew, Lulseged & Hiromitsu, Yamagishi . (2005). "The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan". *Geomorphology* 65(1/2), pp: 15-31
- [18]. Berberian, Manuel. (1981). "Active faulting and tectonics of Iran. In: Delany, F.M. (Ed.), *Zagros, Hindu Kush and Himalaya Geodynamic Evolution*,

- Geodynamics Series". American Geophysical Union, Washington, DC, pp: 33–69.
- [19]. Brand, Edward. Wiliam. (1984). "Landslides in Southeast Asia: A state-of-the-art report". In Proceedings of the 4 international Symposium on Landslides, Vol. 1, Toronto, pp: 17–59.
- [20]. Bull, Wiliam.B. & McFadden, Leslie D. (1977). "Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault". Proceedings of the 8th Annual Geomorphology Symposium, Binghamton, State University of New York.
- [21]. Burbank, Douglas & Anderson, Rabert. (2011). "Tectonic geomorphology". John Wiley & Sons 480 pp.
- [22]. Cancelli, Andrea & Nova, Roberto (1985). "Landslide in soil debris cover triggered by rain storm in Valtellina (Central Alps, Italy)" pp: 267-272, Proceeding of the IV International conference on Landslide, Tokyo, Rotterdam.
- [23]. Dehbozorgi, Maryam; Pourkermani, Mohsen; Arian, Mehran & Hoseini, Amin. (2010). "Quantitative Analysis of Relative Tectonic Activity in the Sarvestan Area central Zagros, Iran". *Geomorphology*, 121T pp: 329-341.
- [24]. El Hamdouni, Rashid; Irigaray, Clemente; Fernandez, Tomas; Chacon, José. & Keller, Edward L. (2008). "Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain)". *Geomorphology* 96, pp: 150-173. doi: 10.1016/j.geomorph.2007.08.004.
- [25]. Font, Yvonne & Lallemand, Sergi (2009). "Subducting oceanic high causes compressional faulting in southernmost Ryukyu forearc a revealed by hypocentral determinations of earthquakes and reflection/refraction seismic data", *Tectonophysics*, 466(3–4), pp: 255–267.
- [26]. Gloaguen, Richard; Marpu, Prashant R. & Niemeyer, Irmgard (2007). "Automatic extraction of Faults and Fractal analysis from remote sensing date", *Nonlinear processes Geophys*, 14, pp: 131-138.
- [27]. Guarnieri, Pierpaolo & Pirrotta, Claudia (2008). "The response of drainage basins to the late Quaternary tectonic in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily)", *Geomorphology*, 95, pp: 260-273.
- [28]. Hancock, Paul.L. (1994). "continental deformation" Pergamon Peress-oxford.
- [29]. Karami, Fariba (2009). "Geomorph assessment of the tectonic activity in the drainage basin saydabad chay". *Physical Geography research*, 69, pp: 67-82.
- [30]. Keller, Edward A. & Pinter, Nicholas ( 2002). "Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape". New jersey, Prentice Hall.
- [31]. Morgan, Benjamin A.; Wieczorek, Gerald F.; Campbell, Roy H.; & Gori P.H. (1997). "Debris flow hazards in areas affected by the June 27, 1995 storm in Madison County, Virginia", U.S. Geological Survey Open-file Report 97-438, 15p., 2 tables, 2 plates, scale 1: 24,000.
- [32]. Pérez-Peña, Jose Vicente; Azañón, José Miguel & Azor, Antonio (2009). "CalHypso: An ArcGIS extension to calculate hypsometric curves and their statistical moments Applications to drainage basin analysis in SE Spain". *Comput. Geosci.* 35 (6), pp: 1214–1223.

- [33]. Reyaz Ahmad Dar; Shakil Ahmad Romshoo; Rakesh Chandra & Ishtiaq Ahmad (2014). "Tectonogeomorphic study of the karewa basin of Kashmir valley", journal of Asian earth science, pp: 143-156.
- [34]. Schoenbohm, Lindsay M; Whipple, Kelin X.; Burchfiel, Benjamin C. & Chen, Lieping (2004). "Geomorphic constraints on surface uplift, exhumation, and plateau growth in the Red River region, Yunnan Province, China". *Geol. Soc. Am. Bull.* 116 (7), 895.
- [35]. Shahzad, Faisal & Gloaguen, Richard (2011). "TecDEM: a MATLAB based toolbox for tectonic geomorphology, Part 1: drainage network preprocessing and stream profile analysis". *Comput. Geosci.* 37 (2), pp: 250–260.
- [36]. Siva, Pablo, G.; Goy, José Luis; Zazo, Caridad & Bardji, Teresa (2003). "Fault generated mountain front in south east Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity". *Geomorphology* 50, pp:225-203.
- [37]. Snyder, Noah P.; Whipple, Kelin X.; Tucker, Gregory E. & Merritts, Dorothy J. (2000). "Landscape response to tectonic forcing: digital elevation model analysis of stream profiles in the Mendocino triple junction region, northern California". *Geol. Soc. Am. Bull.* 112 (8), pp: 1250–1263.
- [38]. Strahler, Arthur (1957). "Quantitative analysis of watershed geomorphology". Defense Technical Information Center, pp: 913–920.
- [39]. Vojtko, Rastislav; Petro, Lubomír; Benova, Alexandr; Bona, Jan & Hock, Jozef (2012). "Neotectonic Evolution of Northern Laborec Drainage". *geomorphology*. Volume 138, Issue 1, February 2012, Pages 276-294.
- [40]. Wobus, Cameron; Whipple, Kelin X.; Kirby, Eric; Snyder, Noah; Johnson, Joel; Spyropoulou, Katerina; Crosby, Benjamin. & Sheehan, Daniel (2006). "Tectonics from topography: procedures, promise, and pitfalls. *Geol.* Soc. Am. Spec. Pap. 398, pp: 55–74.