

# پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRF در حوضه چالکرد

صمد شادفر<sup>۱</sup>، استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری  
مجتبی یمانی، دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران  
محمد نمکی، استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۱۰/۱۲

دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۰۶/۲۸

## چکیده

یکی از انواع فرآیندهای حرکت‌های دامنه‌ای که خسارت‌های مالی و جانی فراوانی را بر زندگی انسان‌ها وارد می‌نماید، پدیده زمین‌لغزش است. وجود عواملی از قبیل مستعد بودن ناهمواری‌ها از نظر منشاء ساختمانی و دینامیک، قطع درختان جنگل و بهره‌برداری‌های مفرط از آن‌ها، رعایت نکردن اصول فنی در احداث و نگهداری جاده‌های جنگلی و روستایی، عدم اعمال مدیریت صحیح و بهره‌برداری اصولی از منابع موجود، سبب شده است که هر ساله خسارت‌های زیادی بر سکونت‌گاه‌های روستایی، فعالیت‌های ساختمانی و زراعی، به‌ویژه باغ‌های مرکبات و چای وارد شوند. این مسائل، لزوم پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را به‌عنوان اولین مرحله در مدیریت صحیح محیطی این پدیده روشن می‌سازد. به‌این منظور ابتدا لایه‌های اطلاعاتی برخی از عوامل مهم تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش از قبیل سنگ‌شناسی، شیب، ارتفاع، نوع استفاده فعلی از زمین<sup>۲</sup>، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه تهیه و رقومی شدند. سپس با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی و عملیات میدانی، کلیه لغزش‌های موجود در حوزه، شناسایی و به‌صورت نقشه ارائه شدند. از تلفیق نقشه‌های عامل با نقشه زمین‌لغزش‌ها، درصد لغزش در واحدهای مختلف هر نقشه به‌دست آمد و با محاسبه LNRF<sup>۳</sup> تراکم سطح<sup>۴</sup>، ارزش اطلاعاتی<sup>۵</sup> وزن هر یک از عوامل تعیین شد. در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با ادغام لایه‌های مختلف وزنی در مدل‌های مختلف، حاصل شد. درستی‌یابی مدل‌ها با انتخاب یک زیرحوزه به‌عنوان شاهد و اعمال وزن به‌دست آمده برای هر کدام از مدل‌ها در شاهد، برای بقیه حوزه بدون استفاده از نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها صورت گرفت. نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که بیش‌ترین سطح لغزش در واحدهای سنگ شناختی Pdr و Js به‌علت وجود لایه‌های مارن، رس و سیلت و در طبقه شیب ۵۰-۳۰ و در ارتفاع ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر به‌وقوع پیوسته است. از طرف دیگر طبقه کاربری مرتع، طبقه‌بندی فاصله از آبراهه ۳۰۰-۰ متر و فاصله از گسل ۱۰۰۰-۰ بیش‌ترین ناپایداری‌ها را به‌خود اختصاص می‌دهند. این تحقیق نشان می‌دهد که در مدل تراکم سطح، حدود ۷۹ درصد و در مدل LNRF، حدود ۶۳ درصد و در مدل ارزش اطلاعاتی، حدود ۶۶ درصد از حوزه مورد مطالعه در محدوده استعداد خطر لغزش بالا قرار می‌گیرند.

واژه‌های کلیدی: استفاده از اراضی، ارتفاع، جاده‌های جنگلی، سنگ‌شناسی، شیب

## مقدمه

بررسی پدیده ناپایداری دامنه‌ای جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از یک سو به‌منظور شناسایی مناطق دارای قابلیت زمین‌لغزش در محدوده‌های فعالیت‌های بشری حایز اهمیت بوده و از سوی دیگر برای شناسایی

<sup>۱</sup> samad.shadfar@gmail.com

<sup>۲</sup> Landuse

<sup>۳</sup> Landslide Nominical Risk Factor

<sup>۴</sup> Density Area

<sup>۵</sup> Information Value Method

مکان‌های امن برای توسعه زیستگاه‌ها و سکونت‌گاه‌های جدید و یا سایر کاربری‌های آتی انسانی نظیر راه‌ها، مسیرهای انتقال نیرو و انرژی، نیروگاه‌ها در مقیاس‌های مختلف، مورد توجه برنامه‌ریزان قرار دارد (سفیدگری و همکاران ۱۳۸۴). هدف نهایی از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش پیش‌بینی مکان وقوع این پدیده است (Crozier, ۱۹۹۹). شناسایی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر آن برای مشخص نمودن مناطق ناپایدار و مستعد خطر و کمک به برنامه‌ریزان برای انتخاب مکان‌های مساعد توسعه‌ای در مراحل اولیه برنامه‌ریزی، بسیار مفید است (Anbalagan, ۱۹۹۲). استفاده از روش‌های دو متغیره (ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح) و چند متغیره آماری، مورد توجه ویژه محققین قرار داشته و در سال‌های اخیر نیز برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ercanoglu و همکاران ۲۰۰۴; Ayalew و همکاران ۲۰۰۴; Wang و Sassa, ۲۰۰۵; Lee, ۲۰۰۵).

سیارپور (۱۳۷۸) در جنوب خلخال به این نتیجه رسید که مدل ارزش اطلاعاتی، مناسب‌ترین مدل در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است. فاطمی‌عقدا و همکاران (۱۳۸۲) در ارزیابی روش‌های آماری در تعیین قابلیت خطر زمین‌لغزش در منطقه رودبار به این نتیجه رسیده‌اند که از بین روش‌های آماری، روش تراکم سطح نتایج بهتری را نشان می‌دهد. نیک‌اندیش (۱۳۷۸) با استفاده از انطباق نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها با نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل از مدل‌های ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح در حوضه کارون میانی، نقشه‌های حاصله را ارزیابی نموده و به این نتیجه رسیده است که روش ارزش اطلاعاتی، نتایج قابل قبولی داشته است. با توجه به این‌که بسیاری از زمین‌لغزش‌ها در اثر عدم رعایت اصول صحیح در تغییر کاربری اراضی، گسترش مناطق مسکونی در مناطق شیب‌دار، احداث راه‌ها و دیگر اقدامات مشابه به‌وجود آمده‌اند، لزوم شناخت مناطق حساس به زمین‌لغزش برای دستگاه‌های اجرایی مسئول برنامه‌های توسعه‌ای، اهمیت زیادی دارد. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش این امکان را برای دستگاه‌های ذی‌ربط مهیا می‌کند که مناطق حساس به زمین‌لغزش را شناسایی کرده و در مورد برنامه‌های مورد نظر تصمیم‌گیری نمایند (مهدوی‌فر و همکاران، ۱۳۷۶).

انواع خسارت‌های حاصله از زمین‌لغزش از قبیل تخریب ساخت و سازها و سکونت‌گاه‌ها، از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و باغات درحوضه چالکرد باعث شد تا به شناسایی عوامل و تعیین خطر وقوع لغزش که از مهم‌ترین بررسی‌های ژئومورفولوژیکی و مدیریت محیطی و کاربری اراضی است، پرداخته شود.

## مواد و روش‌ها

در ابتدا، این تحقیق با بررسی منابع و یافته‌های علمی و بررسی طرح‌های مطالعاتی مرتبط با موضوع در حوزه آغاز شد. پس از این مرحله با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ قزوین-رشت و ۱:۱۰۰۰۰۰ رامسر و عکس‌های هوایی ۲۰۰۰:۱ و ۱:۴۰۰۰۰ منطقه، به‌همراه عملیات صحرایی، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها تهیه شد. سپس، لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از نقشه‌های پایه و تصاویر ماهواره‌ای ETM<sup>+</sup> مربوط به سال ۲۰۰۲ استخراج شدند. پس از تعیین وسعت و درصد زمین‌لغزش‌ها در طبقات مختلف عوامل، کمی‌کردن عوامل مؤثر و وزن‌دهی به طبقات با توجه به عوامل مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRF صورت پذیرفت و نقشه‌های عوامل بر اساس مقادیر وزنی تهیه شد. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی، نقشه‌های ساخته شده بر اساس وزن، با هم تلفیق شده و از جمع جبری نقشه‌های وزنی، نقشه پهنه‌بندی و در نهایت با طبقه‌بندی نقشه فوق بر اساس نقاط عطف نمودار تجمعی فراوانی وزن واحدها، نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به‌دست آمد.

حوزه مورد مطالعه در باختر شهرستان تنکابن و بین طول‌های جغرافیایی خاوری ۲۳' و ۵۰° الی ۴۸' و ۵۰° و عرض جغرافیایی شمالی ۳۶' و ۳۶° الی ۵۳' و ۳۶° قرار دارد. این حوزه حدود ۴۳۰ کیلومترمربع مساحت دارد و بیشینه و کمینه ارتفاع آن از سطح دریا به‌ترتیب ۳۶۹۳ متر در کوه سماموس و ۲۰- متر در محل خروجی حوزه در روستای چالکرد قرار دارد. آب و هوای این حوزه به‌وسیله توده‌های هوای قاره‌ای قطبی (cp)<sup>۱</sup> و قطبی بحری در دوره

1 Continental Polar

سرد سال و توده‌های هوای شبه قطبی و حاره‌ای (استوایی) در فصل گرم کنترل می‌شود (علیچانی، ۱۳۷۶). براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، منطقه مورد بررسی جزو مناطق بسیار مرطوب است. حوزه تحت بررسی در تقسیم‌بندی ساختمانی ایران جزئی از البرز شمالی (واحد گرگان-رشت) بوده و از مسائل زمین‌ساختی آن فرونشینی کف گودال خزر، در مقابل دیواره کوهستانی جنوبی آن است که این فرونشینی در امتداد سه خط شکستگی مهم به‌نام‌های گسل خزر، گسل لاهیجان و گسل آستارا صورت می‌گیرد (علائی‌طالقانی، ۱۳۸۲).

این حوزه با توجه به تقسیم‌بندی ژئومورفولوژیکی آن براساس شکل زمین از سه واحد مورفولوژیکی کوهستانی مرتعی، کوهستانی جنگلی و جلگه‌ای تشکیل شده است که واحد مورفولوژیکی کوهستانی مرتعی با مساحت ۵۲/۴۵ درصد دارای سنگ شناسی غالب رس، سیلت با میان لایه‌هایی از ماسه سنگ و زغال (Js) و کنگلومرا (c) بوده و عمده‌ترین سیستم فرسایشی فعال در آن، سیستم فرسایشی مجاور یخچالی و تخریب مکانیکی است. واحد مورفولوژیکی کوهستانی جنگلی با مساحت حدود ۳۸/۳ درصد غالباً دارای سنگ‌های آهک و سیلت (pr) و سنگ‌های تقسیم نشده پرمین (pdr) است. واحد جلگه‌ای نیز که حدود ۱۰ درصد از مساحت کل حوزه را به‌خود اختصاص داده است، تحت تأثیر ژئومورفولوژی منطقه و فرسایش سازندها یا انباشته شدن رسوب‌های تخریبی حاصل از مناطق بالادست حوزه، توسعه پیدا کرده و زمین‌های حاصل‌خیز کشاورزی نیز در این واحد قرار گرفته است.

## نتایج و بحث

با توجه به تنوع سنگ شناختی منطقه مورد مطالعه و حساسیت متفاوت واحدهای سنگی به زمین‌لغزش، شرایط سنگ‌شناختی نقش مؤثری در پراکنش زمین‌لغزش‌ها در حوضه مورد مطالعه دارد. لذا با استفاده از نقشه زمین‌شناسی، نقشه سنگ‌شناسی حوزه تهیه شد و ویژگی‌های سنگ شناختی آن در رابطه با زمین‌لغزش، مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا طبقه‌بندی سنگ‌ها از نظر مقاومت در برابر لغزش، بر اساس روش حایری و سمیعی (۱۳۷۶) انجام گرفت. در جدول ۱ مساحت لغزش‌های صورت گرفته در هر واحد لیتولوژیکی ارائه شده است.

شیب: شیب دامنه، تأثیر بسیار زیادی در وقوع زمین‌لغزش دارد (Sakar و همکاران، ۱۹۹۵) و در صورت ثابت بودن دیگر عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش، هر قدر دامنه‌ای پر شیب‌تر باشد، بیش‌تر مستعد ناپایداری است. ناپایداری دامنه‌های پر شیب در نواحی دره‌های عمیق و صخره‌های سنگی که مکان‌های بالقوه سقوط سنگ هستند، بیش‌تر است (مقیمی و محمودی، ۱۳۸۳). نقشه شیب حوزه پس از ساختن مدل رقومی ارتفاعی<sup>۱</sup> با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شد. انطباق نقشه شیب با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها نشان داد که ۷۸ درصد از حوزه، شیبی بالای ۳۰ درصد دارد و همچنین ۴۰ درصد لغزش‌های حوزه در طبقه شیب ۵۰-۳۰ درصد رخ داده است (جدول ۲).

ارتفاع: حوزه مورد مطالعه از لحاظ ارتفاع دارای تنوع زیادی است. ارتفاع از این نظر مهم است که بر میزان بارندگی و نوع بارندگی و درجه حرارت مؤثر است. نقشه ارتفاع با استفاده از روند تغییرات منحنی هیستوگرام طبقه‌بندی شد و از قطع دادن نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها با نقشه طبقات ارتفاعی ملاحظه می‌شود که حدود ۳۱ درصد زمین‌لغزش‌ها در طبقه ارتفاعی ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر رخ داده‌اند. جدول ۳ طبقات ارتفاعی و مقدار لغزش رخ داده در هر یک از طبقه‌ها را نشان می‌دهد.

کاربری اراضی: چگونگی کاربری اراضی در وقوع پدیده زمین‌لغزش مؤثر است و در بسیاری از موارد، ایجاد تغییر در نوع استفاده از زمین، باعث بروز این پدیده شده است (Richard، ۲۰۰۳). بدین منظور پس از تهیه تصاویر رنگی مرکب (باندهای ۴، ۱، ۷) از داده‌های رقومی ماهواره لندست ETM<sup>+</sup> مربوط به سال ۲۰۰۲ و با کمک نمونه‌های تعلیمی و استفاده از روش طبقه‌بندی، بیشینه احتمال کاربری اراضی حوزه چالکرو، تهیه شد. جدول ۴ توزیع انواع مختلف کاربری و ارتباط آن‌ها را با زمین‌لغزش نشان می‌دهد.

جدول ۱- توزیع طبقات سنگ شناسی و سطح لغزشها در حوضه چالکرد

طبقه	واحدهای سنگ شناختی	مساحت لغزش		مساحت طبقات	
		هکتار	درصد	هکتار	درصد
۱	گابرو و دولریت، سنگ آهک، ماسه سنگ و دولومیت	۱۲۵/۲۵	۱۲/۰۴	۸۲۶۰/۷۴	۱۹/۳۱
۲	آتشفشانه‌های بازی و کنگلومرا	۳۸	۳/۶۵	۷۵۱۱/۶۷	۱۷/۵۶
۳	آبرفت دریایی	۰	۰	۱۱۷۱	۲/۷۳
۴	رس، سیلت و مارن	۸۶۷/۷۵	۸۳/۴۳	۲۵۸۳۳/۶۶	۶۰/۳۹

جدول ۲- توزیع طبقات شیب و سطح لغزشها در حوضه چالکرد

طبقه	طبقات شیب	مساحت لغزشها (هکتار)	مساحت هر طبقه (هکتار)
۱	< ۵	۱۱/۵۳	۱۵۲۱/۳۹
۲	۵-۱۵	۲۶/۲۲	۱۲۱۲/۰۵
۳	۱۵-۳۰	۱۹۱/۷۵	۵۰۰۲/۱۳
۴	۳۰-۵۰	۴۷۲	۱۵۴۲۰/۶۰
۵	۵۰-۷۰	۱۹۶/۵	۱۰۸۳۰/۶۶
۶	> ۷۰	۱۴۲	۸۷۹۰/۲۲

جدول ۳- توزیع طبقات ارتفاعی و مساحت لغزشها در حوضه چالکرد

طبقه	طبقات ارتفاعی	مساحت لغزش		مساحت طبقات	
		هکتار	درصد	هکتار	درصد
۱	< ۱۰۰۰	۲۰۳/۷۵	۱۹/۵۹	۶۸۳۷/۳۷	۱۵/۹۸
۲	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱۸۱/۵۰	۱۷/۴۵	۵۲۷۱/۲۲	۱۲/۳۲
۳	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۲۵۷/۵۰	۲۴/۷۶	۷۴۱۱/۶۵	۱۷/۲۳
۴	۲۰۰۰-۲۵۰۰	۳۲۳/۵۰	۳۱/۱۱	۹۳۳۶/۹۱	۲۱/۸۳
۵	۲۵۰۰-۳۰۰۰	۵۶	۵/۳۸	۱۰۲۰۱/۸۳	۲۳/۸۳
۶	> ۳۰۰۰	۱۷/۷۵	۱/۷۱	۳۷۱۸/۰۷	۸/۶۹

جدول ۴- توزیع طبقات کاربری و مساحت لغزشها در حوضه چالکرد

طبقه	کاربری	مساحت لغزش		مساحت طبقات	
		هکتار	درصد	هکتار	درصد
۱	کشاورزی	۲۴/۷۵	۵/۲۹	۲۲۶۴/۹۲	۵/۲۹
۲	جنگل	۴۴۸/۲۵	۳۹/۲۲	۱۶۷۷۵/۸۲	۳۹/۲۲
۳	مرتع	۵۵۲/۵۰	۵۵/۰۹	۲۳۵۶۷/۵۹	۵۵/۰۹
۴	مسکونی	۱۴/۵۰	۰/۳۹	۱۶۸/۷۳	۰/۳۹

**شبکه آبراهه‌ها:** کلیه آبراهه‌های اصلی و فرعی موجود در حوضه چالکردود رقومی شد. عامل بسیاری از پدیده‌های لغزشی، فرسایش و زیرشویی پای شیب‌ها و دامنه‌ها به‌وسیله جریان‌های پرسرعت سیلابی یا رواناب‌های سطحی و جریان‌های رودخانه‌ای است. فرسایش پای شیب به‌مرور زمان و توسط جریان‌های آبی و عمدتاً سیلابی، باعث به‌هم خوردن نیروهای متعادل کننده شیب دامنه‌ها می‌شود. این عمل تأثیر نیروهای برشی مخرب را افزایش داده و در نهایت ناپایداری شیب را باعث می‌شود. شروع ناپایداری معمولاً با بروز یک مجموعه ترک‌های کششی در بالای دامنه آغاز می‌گردد و به‌مرور زمان به سقوط یا لغزش بخشی از دامنه منتهی می‌شود (شریعت‌جعفری، ۱۳۷۵). نقشه شبکه آبراهه‌ها با استفاده از روند تغییرات منحنی هیستوگرام طبقه‌بندی شده و بر این اساس ملاحظه شد که در حوزه چالکردود ۳۴ درصد از لغزش‌ها دقیقاً در دامنه‌های منتهی به رودخانه یا مسیل‌ها یا آبراهه‌ها به‌وقوع پیوسته است. به‌عبارت بهتر ۷۲ درصد از زمین‌لغزش‌ها تا فاصله ۳۰۰ متری از آبراهه‌ها رخ داده‌اند (جدول ۵).

جدول ۵- توزیع طبقات فاصله از آبراهه و سطح لغزش‌ها در حوضه چالکردود

مساحت طبقات		مساحت لغزش		فاصله از آبراهه	طبقه
هکتار	درصد	هکتار	درصد		
۱۲۷۵۴/۲۹	۲۹/۸۱	۳۵۳/۷۵	۳۴/۰۱	۰-۱۰۰	۱
۱۵۶۳۹/۶۷	۳۶/۵۶	۳۹۵	۳۷/۹۸	۱۰۰-۳۰۰	۲
۱۴۳۸۳/۱۰	۳۳/۶۲	۲۹۱/۲۵	۲۸	>۳۰۰	۳

**فاصله از گسل:** جهت بررسی ارتباط زمین‌لغزش‌ها با عامل گسل، نقشه فاصله از گسل با استفاده از روند تغییرات منحنی هیستوگرام به‌شرح جدول ۶ تهیه شد و با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها انطباق داده شد. همان‌گونه که مشخص است، آستانه تأثیر گسل‌ها غالباً تا شعاع دو کیلومتر است به‌طوری که حدود ۹۷ درصد زمین‌لغزش‌ها در این محدوده قرار گرفته‌اند.

جدول ۶- توزیع طبقات فاصله از گسل و سطح لغزش‌ها در حوضه چالکردود

مساحت طبقات		مساحت لغزش		فاصله از گسل	طبقه
هکتار	درصد	هکتار	درصد		
۲۲۲۹۹/۳۹	۵۲/۱۲	۵۸۷/۲۵	۵۶/۴۶	۰-۱۰۰۰	۱
۱۳۲۸۴/۴۸	۳۱/۰۵	۴۱۸	۴۰/۱۹	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲
۴۴۲۳/۰۵	۱۰/۳۳	۳۴/۷۵	۳/۳۴	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۳
۲۷۷۰/۱۴	۶/۴۷	۰	۰	>۳۰۰۰	۴

ارتباط زمین‌لغزش با سنگ‌شناسی، شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه‌ها و فاصله از گسل‌ها: با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه‌های عوامل سنگ‌شناسی، شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه‌ها و فاصله از گسل‌ها با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های قطع داده شده، مساحت لغزش در هر واحد به‌دست آمد. سپس با استفاده از مدل‌های LNRF، ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح به‌صورت روابط زیر وزن هر واحد محاسبه شد (نقل از فرهادی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۳).

$$(1) \text{ میانگین لغزش رخ داده در کل واحدهای نقشه / لغزش رخ داده در یک واحد از نقشه عامل } = LNRF$$

$$(2) W \text{ inf} = Ln[(A/B) / C/D]$$

$$Warea = Darea - \left(\frac{C}{D} \times 100\right) \quad (3)$$

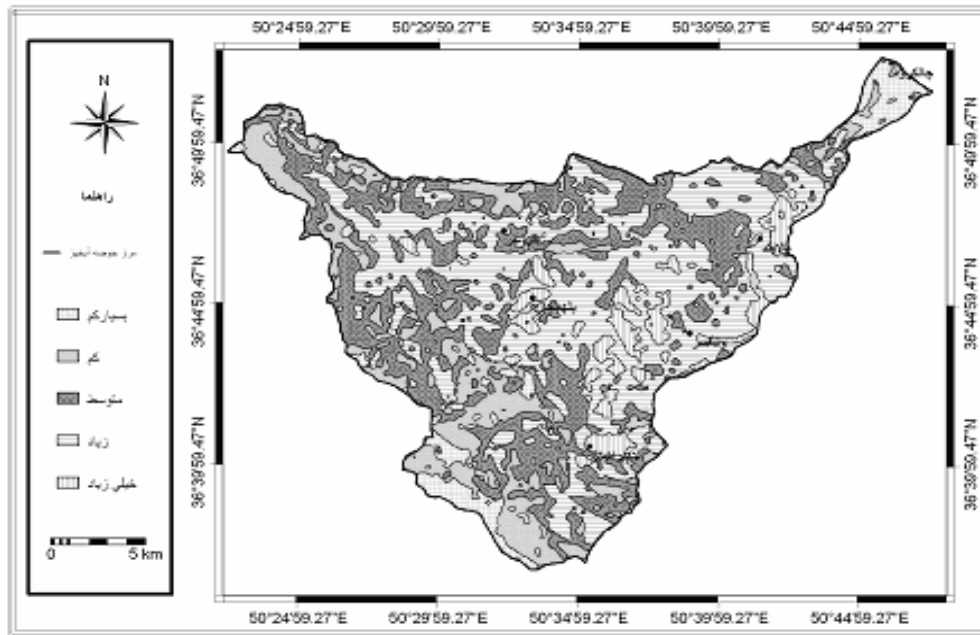
که در آن،  $Ln$  لگاریتم طبیعی،  $Darea$  تراکم سطح،  $A$  مساحت لغزش‌های هر واحد،  $B$  مساحت هر طبقه،  $C$  مساحت کل لغزش،  $D$  مساحت کل حوزه به هکتار،  $Warea$  وزن تراکم سطح، و  $Winf$  وزن ارزش اطلاعاتی است. مطابق جداول ۱ تا ۶ وزن هر یک از طبقات را محاسبه کرده و نقشه هر یک از عامل‌ها تهیه شدند. آن‌گاه در محیط GIS نقشه وزن‌ها با هم جمع شده سپس نقشه حاصله با توجه به نمودار فراوانی تجمعی که منطبق با نقاط شکست منحنی است، به پنج پهنه خطر بسیار پایین، پایین، متوسط، بالا و بسیار بالا طبقه‌بندی شدند و بدین ترتیب نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های مختلف تهیه شد (شکل ۱).

**ارزیابی روش‌های مختلف پهنه‌بندی:** در روش‌های آماری دو متغیره (ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح) و LNRFR برای وزن‌دهی به لایه‌های مختلف اطلاعاتی از نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه استفاده می‌شود. بعد از تهیه نقشه‌های وزنی بر اساس روابط مدل‌های مربوطه، نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش تهیه و سپس براساس روند تغییرات منحنی هیستوگرام، طبقه‌بندی می‌گردد. لذا نباید برای ارزیابی نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش از نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوزه استفاده شود (Remondo و همکاران، ۲۰۰۳). برای رفع این مشکل یکی از زیر حوزه‌های چالکروود به نام زیر حوضه جلیسان که با توجه به ویژگی‌های حوزه می‌تواند به عنوان معرف حوزه باشد، به مساحت حدود ۲۸۹۰ هکتار انتخاب شد. در ابتدا اقدام به تهیه کلیه لایه‌های اطلاعاتی برای این زیر حوزه گردید و وزن ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRFR کلیه عوامل محاسبه شد. وزن به دست آمده برای هر کدام از مدل‌ها در حوضه معرف، برای بخش باقی مانده حوزه، بدون اینکه از نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها استفاده گردد، اعمال گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهد که در مدل تراکم سطح حدود ۷۹ درصد، مدل ارزش اطلاعاتی ۶۶ درصد، و در مدل LNRFR ۶۳ درصد از زمین‌لغزش‌ها در پهنه‌های با خطر بالا قرار می‌گیرند. به دلیل این که مساحت هر یک از واحدها در نقشه‌های عامل مدنظر قرار نمی‌گیرند. بنابراین، مدل LNRFR کم‌ترین درستی را نشان داده است (جدول ۷).

**جدول ۷- درصد طبقات نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش‌های تراکم سطح، ارزش اطلاعاتی و LNRFR در حوضه چالکروود**

LNRFR		ارزش اطلاعاتی		تراکم سطح		طبقات پهنه‌بندی
لغزش (درصد)	طبقه (درصد)	لغزش (درصد)	طبقه (درصد)	لغزش (درصد)	طبقه (درصد)	
۰/۱	۰/۶۸	۱/۷۹	۳/۳۰	۰/۱۲	۱/۵۹	خیلی کم
۱۴/۸۶	۱۳/۸۷	۱۳/۰۲	۵/۴۳	۳/۶۱	۵/۷۱	کم
۲۱/۸۸	۲۵/۱۹	۱۹/۹۶	۱۹/۹۴	۱۶/۶۵	۱۸/۵۸	متوسط
۴۱/۷۱	۴۹/۸۷	۳۳/۰۸	۳۷/۸۲	۴۹/۴۸	۵۵/۴۷	زیاد
۲۱/۳۸	۱۰/۳۹	۳۲/۰۸	۳۳/۵۱	۳۰/۰۶	۱۸/۶۵	خیلی زیاد

شرایط طبیعی حوضه چالکروود مانند تکنونیک، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی، بستر مناسبی را برای وقوع زمین‌لغزش به وجود آورده که وقوع حدود ۱۲۰ مورد زمین‌لغزش با وسعت حدود ۱۰۴۰ هکتار در سطح حوزه، خود مؤید این ادعا است. نتایج نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار لغزش بر روی سازندهای شمشک و روته و در واحدهای سنگ‌شناسی Js و Pdr به علت وجود رس، سیلت و مارن به ترتیب به میزان ۴۳۸ و ۴۳۸/۷۵ هکتار رخ داده است. علاوه بر عامل سنگ‌شناسی، بررسی عوامل شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، فاصله از آبراه‌ها و فاصله از گسل نیز نشان داده که بیش‌ترین مقدار لغزش در طبقه شیب ۵۰-۳۰ به میزان ۴۷۲ هکتار و در ارتفاع ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر به میزان ۳۲۳/۵۰ هکتار و در کاربری اراضی مرتعی به میزان ۵۵۲/۵۰ هکتار به علت قرار گرفتن بر روی تشکیلات شمشک و روته، و در فاصله از گسل ۱۰۰۰-۰ متر به میزان ۵۸۷/۲۵ هکتار و در فاصله از آبراه ۳۰۰-۰ متر به میزان ۷۴۸/۷۵ هکتار رخ داده است.



شکل ۱- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش براساس روش تراکم سطح

همچنین، نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ارزیابی آنها با استفاده از زیرحوزه شاهد و اعمال وزن آن به بقیه حوزه، نشان می‌دهد که مدل تراکم سطح، پاسخ منطقی‌تری را داده است و مدل‌های ارزش اطلاعاتی و LNRF در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه چالکرو، در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند. جهت کاهش نسبی خطرات و افزایش پایداری دامنه‌ها و با توجه به شرایط حاکم بر حوزه، پیشنهاد می‌شود که هر گونه سرمایه‌گذاری و احداث سازه بایستی با توجه به شرایط ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناختی منطقه انجام گیرد و از تغییر کاربری اراضی به‌ویژه از تبدیل جنگل به باغ‌های چای اجتناب شود. همچنین اعمال مدیریت زراعی و نحوه توسعه سازه‌های در نواحی دارای لغزش به‌منظور پیش‌گیری از حرکات بعدی و گسترش و احیای مراتع و جنگل‌ها در نقاطی که دارای جنگل و مرتع ضعیف می‌باشند، صورت پذیرد.

### منابع مورد استفاده

۱. حائری، م. و ا.ج. سمعی، ۱۳۷۶. روش جدید پهنه‌بندی مناطق شیب‌دار در برابر خطر زمین‌لغزش با تکیه بر بررسی‌های پهنه‌بندی استان مازندران. نشریه علوم زمین، سال ششم، صفحه ۱۵-۲.
۲. سفیدگری، ر.، ج. غیومیان و س. فیض‌نیا، ۱۳۸۴. ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، مطالعه موردی حوزه آبخیز دماوند. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، صفحه ۵۸۰-۵۷۴.
۳. سیارپور، م. ۱۳۷۸. پهنه‌بندی پتانسیل زمین‌لغزش در جنوب خلخال. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، ۹۳ صفحه.
۴. شریعت‌جعفری، م. ۱۳۷۵. ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شیب‌های طبیعی. گزارش طرح تحقیقاتی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۰ صفحه.
- ۱- علائی‌طلالقانی، م. ۱۳۸۲. ژئومورفولوژی ایران. انتشارات قومس، چاپ دوم، ۴۰۴ صفحه.
- ۲- علیجانی، ب. ۱۳۷۶. آب و هوای ایران. انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران، چاپ سوم، ۲۱۹ صفحه.
۵. فاطمی‌عقدا، م.، ج. غیومیان و ع. اشقلی‌فراهانی، ۱۳۸۲. ارزیابی کارایی روش‌های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین‌لغزش. فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین، سال یازدهم، شماره ۴۸-۴۷، صفحه ۴۷-۲۸.
۶. فرهادی‌نژاد، ط.، ج. غیومیان، م. شریعت‌جعفری و ا. ویس‌کرمی، ۱۳۸۳. ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه سرخاب، تهران. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۸۳ صفحه.
۷. مقیمی، ا. و ف. محمودی، ۱۳۸۳. روش تحقیق در جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی). تهران، انتشارات قومس، ۲۸۴ صفحه.

۸. مهدوی فر، م.، ع. ارومیه‌ای و م. فاطمی عقدا. ۱۳۷۶. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه خورش رستم شهرستان خلخال. مجموعه مقالات دومین سمینار زمین لغزه و کاهش خسارت‌های آن، مؤسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، جلد اول، صفحه ۱۴۷-۱۵۸.

۹. نیک‌اندیش، ن. ۱۳۷۸. بررسی نقش عوامل هیدرواقليم در وقوع حرکات توده‌ای در حوزه کارون میانی با توجه به نقش رسوب‌زایی آن‌ها. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه اصفهان، ۱۷۸ صفحه.

10. Anbalagan, R. 1992. landslide hazard development and zonation mapping in mountainous terrain. *Engineeing Geology*, 32: 269-277.
11. Ayalew, L., H. Yamagishi and N. Ugawa. 2004. landslide susceptibility mapping using GIS based on weishted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. *Landslides*, 1:73-81.
12. Crozier, M.J. 1999. Lanslides. In: M. Pacione (ed), *Applied geography, principles and practice*, London: Routledge, 83-94.
13. Ercanogla, M., C. Gokeeoglu and W. Van Asch. 2004. landslide susceptibility zoning north of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques. *Natural Hazards*, 23:1-23.
14. Lee, S. 2005. Application of logistic model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(7):1477-1491.
15. Remondo, J., A. Gonzalez, J. Teran, A. Cendrero, A. Fabbri and C. Chung. 2003. validation of landslide susceptibility maps, examples and applications from a case study in northern Spain. *Natural Hazard*, 437-449.
16. Richard, J.H. 2003. The geomorphic system, fundamentals of geomorphology, 35-63.
17. Sakar, S., D. Pkanungo and G.S. Mehrotar. 1995. landslide zonation, a case study in garwal himalaya, India. *Mountain Research and Development*, 15(4):301-309.
18. Wang, H.B. and K. Sassa. 2005. Comparative evaluation of landslide susceptibility in minamata area Japan. *Environ. Geol.*, 47:956-966.