

صص ۶۱-۷۴

## بررسی و پتانسیل‌یابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل منطق‌فازی در حوضه آبریز کهمان - استان لرستان

**داریوش ابوالفتحی\***

عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور، مرکز نهاوند، ایران

**صیاد اصغری سراسکانرود**

دانشیار گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی) دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

**احسان قلعه**

دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی) دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۵

### چکیده

زمین‌لغزش به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی هر ساله منجر به خسارات زیادی می‌شود. حوضه آبریز کهمان با دارا بودن ویژگی‌های کوهستانی و شرایط طبیعی مختلف دارای استعداد بالقوه زمین‌لغزش است. هدف از این پژوهش بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل منطق‌فازی در حوضه کهمان استان لرستان است. در این مطالعه ابتدا پارامترهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش استخراج و سپس لایه‌های مربوطه تهیه گردید. در ادامه با تلفیق نقشه عوامل مؤثر بر لغزش با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، تأثیر هر یک از عوامل شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، بارش، کاربری اراضی، فاصله از گسل و آبراهه در محیط نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های رخ داده حوضه تهیه شد. در این پژوهش مدل منطق‌فازی با اپراتورهای عملگر اجتماع فازی، عملگر اشتراک فازی، عملگر ضرب جبری فازی، عملگر جمع جبری فازی، عملگر گاما فازی بکار گرفته شد. بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته با استفاده از عملگر گاما فازی، به ترتیب ۶۴/۳۷، ۷/۴۵، ۸/۹۳، ۱۲/۴۹ و ۶/۷۶ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است.

**واژگان کلیدی:** زمین‌لغزش، مدل منطق‌فازی، حوضه آبریز کهمان، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

### مقدمه

زمین‌لغزش یکی از فرآیندهای ژئومورفیکی اصلی تأثیرگذار بر چشم‌انداز تکاملی در مناطق کوهستانی به شمار می‌رود که باعث حوادث فاجعه‌آوری شده است (هاتانچی و مریواکی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹، ۴۵۰). طی این فرآیند، خاک و مواد سطحی، تحت

Email: dariushablf@yahoo.com

\* نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۹۰۹۷۷۰۳

<sup>1</sup>Hattanji & Moriwaki

تأثیر نیروی گرانش، بارش‌های شدید، زلزله، اشباع شدن خاک از آب و فعالیت‌های انسانی مانند تخریب پوشش گیاهی و عملیات ناصحیح مهندسی قرار گرفته و به شکل‌های مختلف به پایین دست دامنه جریان می‌یابد. کشور ایران به دلیل شرایط خاص آب و هوایی، فیزیوگرافی و تغییر کاربری همواره با مشکل حرکات توده‌ای مواجه است و توجه به این محدودیت طبیعی امری ضروری به نظر می‌رسد (کورکی نژاد، ۱۳۸۱، ۲۴). استان لرستان نیز با توجه به ویژگی‌های متنوع زمین‌شناسی نظیر سنگ‌شناسی، زمین‌ساخت، لرزه‌خیزی و شرایط خاص آب و هوایی از جمله مناطق دارای پتانسیل لغزش است (بلواسی، ۱۳۹۴، ۲۲۶). قرار گرفتن بر روی کمربند زلزله‌خیز آلپ - هیمالیا، عبور گسل بزرگ زاگرس، تناوب لایه‌های سخت آهکی و لایه‌های سست ماری - شیلی در یال طاقدیس‌های بزرگ در سراسر این استان شرایط مساعدی را برای ناپایداری بخش‌های بزرگی از دامنه‌های طبیعی به وجود آورده است (سوری و همکاران، ۱۳۹۱، ۱۲۷۰). جهت پهنه‌بندی دقیق مناطق خطر زمین‌لغزش باید عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش مناطق مختلف تحلیل گردد (همکاران، ۱۳۹۱، ۳۷). محققین عوامل مختلفی را در وقوع زمین‌لغزش مؤثر می‌دانند که شامل ارتفاع از سطح دریا و جهت شیب و شکل شیب، بارش‌های سنگین و نفوذ آب به داخل ترک‌ها و شکاف‌ها، فعالیت گسل‌های بزرگ و فعال، وجود شبکه‌های زهکشی و آبراهه‌ها، کاربری اراضی و تغییرات آن، تنوع بافت و سنگ‌شناسی و نوع خاک‌های منطقه که در استحکام و نفوذپذیری مؤثر می‌باشد، زمین‌شناسی منطقه و فعالیت‌های انسانی از جمله جاده‌سازی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش می‌باشند (روستایی و احمدزاده، ۱۳۹۱؛ موسوی خطیر و همکاران، ۱۳۸۹؛ چائو و همکاران، ۲۰۰۵؛ لی و سمبات، ۲۰۰۶). بعد از تشخیص عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش باید روش‌های مورد مطالعه بررسی شود. محققین روش‌های مختلفی را برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش استفاده می‌کنند که کارایی هر کدام از این روش‌ها در مناطق مختلف متفاوت است (اشقلی فراهانی، ۱۳۸۰، ۵۱) با توجه به اهمیت پدیده زمین‌لغزش مطالعات فراوانی در متون علمی جهان و ایران انجام شده است. از جمله مالچیور<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، با تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز گسیختگی به این نتیجه رسیدند که روش شبکه عصبی مصنوعی یک روش مناسب جهت پهنه‌بندی زمین‌لغزش است. کانونگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۶) با به کارگیری روش‌های وزن دهی دانش کارشناسی، فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی، عوامل مؤثر در لغزش زمین را وزن دهی کرده و دریافتند که اگر از مقادیر کلاس‌ها در شبکه عصبی استفاده شود، این شبکه بهترین نتایج را به بار خواهد آورد. بیسواجد<sup>۳</sup> (۲۰۱۰) با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی خطر زمین‌لغزش منطقه سالنگور مالزی را ارزیابی کردند. راکعی و همکاران (۱۳۸۶) به ارزیابی کاربرد سیستم شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی زمین‌لغزش در منطقه سفیدارگله در استان سمنان پرداختند. فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۲) برای پهنه‌بندی خطر رانش زمین از روش شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چند لایه و الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا استفاده نمودند. مرادی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی کارایی شبکه عصبی مصنوعی

<sup>1</sup>Melchiorre

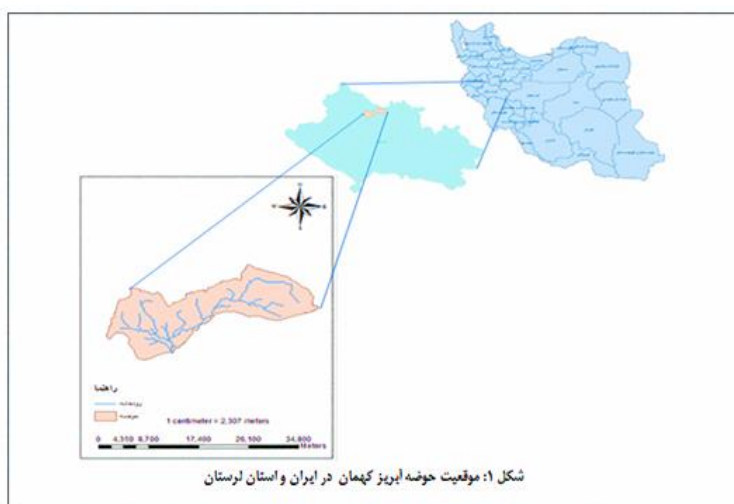
<sup>2</sup>Kanungo

<sup>3</sup>Biswajeet

برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در بخشی از حوضه آبریز هراز پرداختند. فیض اله پور (۱۳۹۱) در پژوهش خود به‌منظور پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش در رودخانه گیوی چای از مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمود. سوری و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز نوژیان پرداختند. هدف از این پژوهش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل منطق فازی در حوضه آبریز کهمان می‌باشد.

### منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه با مساحت ۳۲۷/۶ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی  $۴۸^{\circ}۱۵'۲۰''$  تا  $۴۸^{\circ}۳۰'۰۹''$  طول شرقی و  $۳۳^{\circ}۵۴'۱۰''$  تا  $۳۴^{\circ}۰۳'۱۵''$  عرض شمالی قرار دارد. این حوضه در شمال شهرستان سلسله و جنوب ارتفاعات گرین در استان لرستان واقع شده است (شکل ۱). این حوضه از نظر موقعیت زمین‌شناسی بخشی از زاگرس چین‌خورده و زاگرس مرتفع است. تشکیلات زمین‌شناسی حوضه مربوط به دوره تریاس فوقانی تا عهد حاضر بوده و عمدتاً از سنگ‌آهک تشکیل شده است. ارتفاعات مهم منطقه کوه‌های گرین، خرگوش‌ناب و مه‌باب هستند که ناهمواری‌های غالب منطقه را تشکیل می‌دهند. این کوه‌ها با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی جزء رشته‌کوه‌های زاگرس به حساب می‌آیند. حداکثر ارتفاع منطقه ۳۵۲۴ متر و حداقل آن ۱۵۵۲ متر است. این محدوده به لحاظ وجود ارتفاعات آهکی، بارش برف و باران و آبرفت مناسب دارای منابع آب زیرزمینی قابل توجه و چشمه‌ها و رودخانه‌های دائمی است که از سرشاخه‌های رودخانه کرخه محسوب می‌شوند.



مأخذ: نگارندگان (۱۳۹۸)

### داده‌ها و روش‌ها

در این مطالعه از نقشه‌های زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ رقومی سازمان جغرافیایی نیروی‌های مسلح، تصاویر ماهواره لندست ۸ گذر ۱۶۶ ردیف ۳۶ تاریخ ۲۵ آوریل

۲۰۱۴، داده‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه از جمله دما و بارش که از سازمان هواشناسی استان لرستان تهیه شد و مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری منطقه مورد مطالعه جهت تهیه نقشه شیب، جهت شیب و استخراج آبراهه‌ها استفاده شده است. از نرم‌افزار ArcGIS جهت ایجاد پایگاه داده، تحلیل‌های مکانی-فضایی و در نهایت پیاده کردن مدل و از نرم‌افزار ENVI جهت پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. در این پژوهش برای بررسی و پتانسیل‌یابی خطر زمین‌لغزش ۸ عامل شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی، فاصله گسل، طبقات ارتفاعی، فاصله از آبراهه و بارش مورد پژوهش و بررسی قرار گرفت. سپس نقشه این عوامل با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه و برای پهنه‌بندی در مدل منطق فازی استفاده شده است.

جهت انجام این مطالعه ابتدا به بررسی و مطالعه سوابق علمی موجود، جهت تعیین همه معیارها و عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش پرداخته شد. سپس اطلاعات موجود شامل نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز گردآوری، و پس از تهیه نقشه‌ها، ویرایش‌های لازم بر روی نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت. نقشه‌های مورد نیاز در محیط GIS رقومی، و پس از رقومی سازی، مدل‌سازی رستری لایه‌ها صورت گرفت.

منطق فازی یک منطق چند مقداری است، یعنی پارامترها و متغیرهای آن، علاوه بر اختیار اعداد ۰ یا ۱، می‌توانند تمامی مقادیر بین این دو عدد را نیز اختیار کنند. تعلق هر عضو مجموعه مرجع به یک عضو زیرمجموعه خاص، به صورت قطعی نیست یعنی با قاطعیت نمی‌توان گفت که عضو مورد نظر متعلق به این مجموعه هست یا نه. این عدم قطعیت با نسبت دادن یک عدد بین ۰ و ۱ به این عضو انجام می‌گیرد. اگر این عدد برابر صفر باشد می‌توان با قطعیت گفت که عضو مورد بحث متعلق به آن مجموعه نبوده و همچنین اگر این عدد ۱ باشد می‌توان ادعا کرد که عضو مورد بحث متعلق به آن مجموعه است. به این ترتیب می‌توان زیرمجموعه‌های یک مجموعه فازی را با نسبت دادن عددهای ۰ و ۱ به هر عضو مجموعه بازنمایی کرد.

تئوری فازی شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کند. به بیان لطفی زاده برای مشخص شدن اعضاء یک مجموعه می‌بایست تابع عضویت تعریف شود (فلیکیسیمو و همکاران، ۲۰۱۳، ۱۷۹). یکی از اساسی‌ترین مباحث در تئوری فازی بحث تابع عضویت و چگونگی تعریف آن است. اساس اختلاف روش‌های فازی با روش‌های دیگر، در تعریف تابع عضویت است. تابع عضویت را می‌توان درجه تعلق عناصر مجموعه مرجع به زیرمجموعه‌های آن دانست و به صورت  $\mu_C(X)$  نمایش داده می‌شود. در توابع مشخصه مجموعه‌های قاطع باید در مورد تعلق یک عضو به مجموعه که یا صفر است یا یک تصمیم بگیریم. در حالی که توابع عضویت این امکان را به ما می‌دهد که میزان تعلق یا درجه را به صورت یک عدد حقیقی بین یک تا صفر انتخاب کنیم.

اپراتورهای مدل منطق فازی مشتمل بر عملگر اجتماع فازی<sup>۱</sup>، عملگر اشتراک فازی<sup>۲</sup>، عملگر ضرب جبری فازی<sup>۳</sup>، عملگر

<sup>1</sup> Fuzzy OR

<sup>2</sup> Fuzzy AND

<sup>3</sup>Fuzzy Algebraic Product

جمع جبری فازی<sup>۱</sup> و عملگر گاما فازی<sup>۲</sup> هستند.

عملگر اجتماع فازی: این عملگر اجتماع مجموعه‌هاست. به این صورت که حداکثر درجه عضویت را استخراج می‌کند و از دقت بالایی در تعیین آسیب‌پذیری برخوردار نیست. این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu \text{ Combination} = \text{MAX} [\mu A, \mu B, \mu C, \dots] \quad \text{رابطه ۱}$$

عملگر اشتراک فازی: این عملگر اشتراک مجموعه‌ها است. به این صورت که حداقل درجه عضویت را استخراج می‌کند یعنی در بین کلیه لایه‌های اطلاعاتی حداقل ارزش (وزن) هر پیکسل را استخراج کرده و در نقشه نهایی منظور می‌کند. این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu = \text{MIN} [\mu A, \mu B, \mu C, \dots] \text{ combination} \quad \text{رابطه ۲}$$

عملگر ضرب جبری فازی: در این عملگر تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند. به دلیل ماهیت اعداد بین صفر و یک که همان درجه عضویت اعضا در مجموعه فازی است این عملگر باعث می‌شود تا در نقشه خروجی اعداد کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند. در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی بالا قرار می‌گیرد. به همین دلیل این عملگر از حساسیت بالایی در مکان‌یابی برخوردار است. این عملگر به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\mu \text{ Combination} = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad \text{رابطه ۳}$$

عملگر جمع جبری فازی: این عملگر مکمل حاصل ضرب جبری است. به همین دلیل در نقشه خروجی برخلاف عملگر ضرب جبری فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند. در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی بالا قرار می‌گیرد. این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu \text{ Combination} = \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \quad \text{رابطه ۴}$$

عملگر گاما فازی: این عملگر برحسب حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu \text{ Combination} = (\text{Fuzzy Algebraic Sum})^{\gamma} * (\text{Fuzzy Algebraic Product})^{1-\gamma} \quad \text{رابطه ۵}$$

که در آن  $\gamma$  پارامتر انتخاب شده در محدوده (۰ و ۱) است. وقتی  $\gamma$  برابر ۱ باشد، ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و وقتی  $\gamma=0$  باشد، ترکیب اصلی برابر با حاصل ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح و آگاهانه  $\gamma$  بین صفر و یک مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های کاهشی و افزایشی دو عملگر جمع و ضرب فازی می‌باشند. نتایج به دست آمده از این عملگر نسبت به سایر عملگرها از دقت بیشتری برخوردار است.

جهت اعتبارسنجی نیاز به نمونه‌های واقعی از زمین‌لغزش است. بدین منظور اقدام به نمونه‌برداری میدانی با GPS از زمین‌لغزش‌های موجود در حوضه شد و آنگاه از این نمونه‌ها جهت ارزیابی نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل استفاده شد.

<sup>1</sup> Fuzzy Algebraic Sum

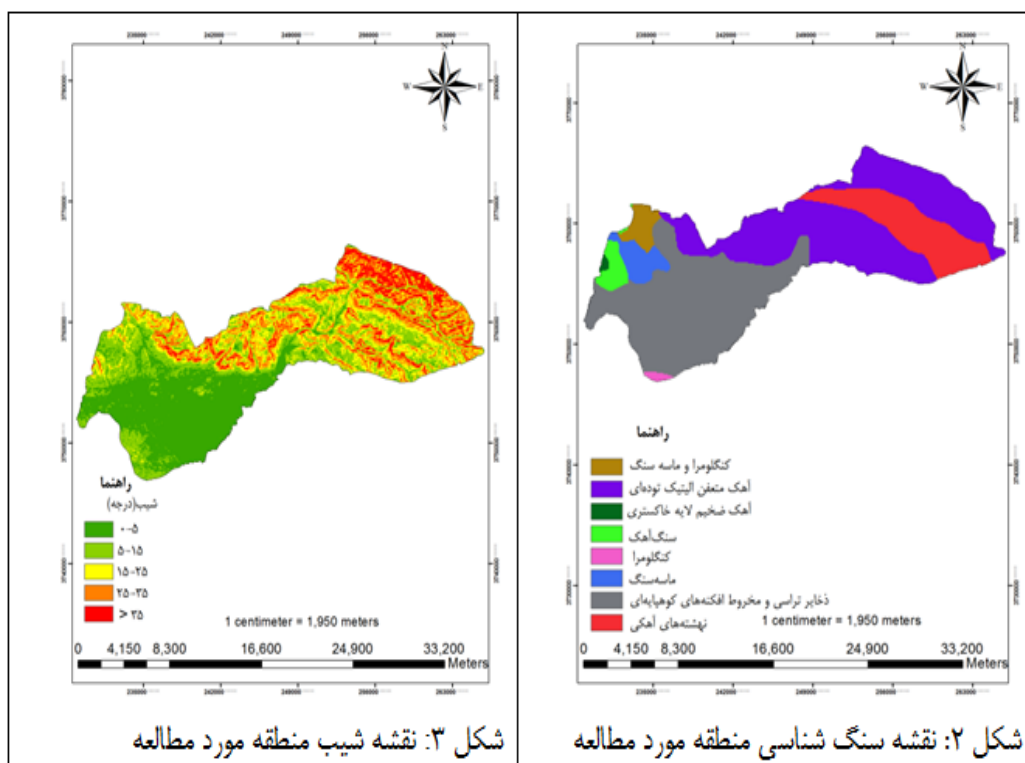
<sup>2</sup> Fuzzy Gamma

## یافته‌ها

جهت انجام این مطالعه ابتدا پایگاه داده شامل لایه‌های شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی (لیتولوژی)، کاربری ارضی، طبقات ارتفاعی، بارش، فاصله از گسل و آبراهه تشکیل و سپس داده‌ها در قالب مدل‌های رستری و برداری تولید شد. در مرحله بعد داده‌ها مورد پردازش قرار گرفت و نقشه‌های مورد نیاز از داده‌ها به دست آمد. سپس در محیط نرم‌افزار Idrisi تعیین درجه عضویت فازی بر اساس نسبت فراوانی نقشه‌ها صورت گرفت. در پایان بر اساس عملگرهای فازی، همپوشانی نقشه‌ها انجام شد و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر اساس این عملگرها به دست آمد.

**۱- لیتولوژی منطقه:** در بسیاری از زمین‌لغزش‌ها نوع مصالح درگیر یکی از عوامل اصلی در وقوع زمین‌لغزش بوده و تقریباً تمامی روش‌های پهنه‌بندی این عامل را به نحوی در نظر گرفته‌اند. جهت تهیه نقشه سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه از نقشه زمین‌شناسی استان لرستان استفاده شد (شکل ۲).

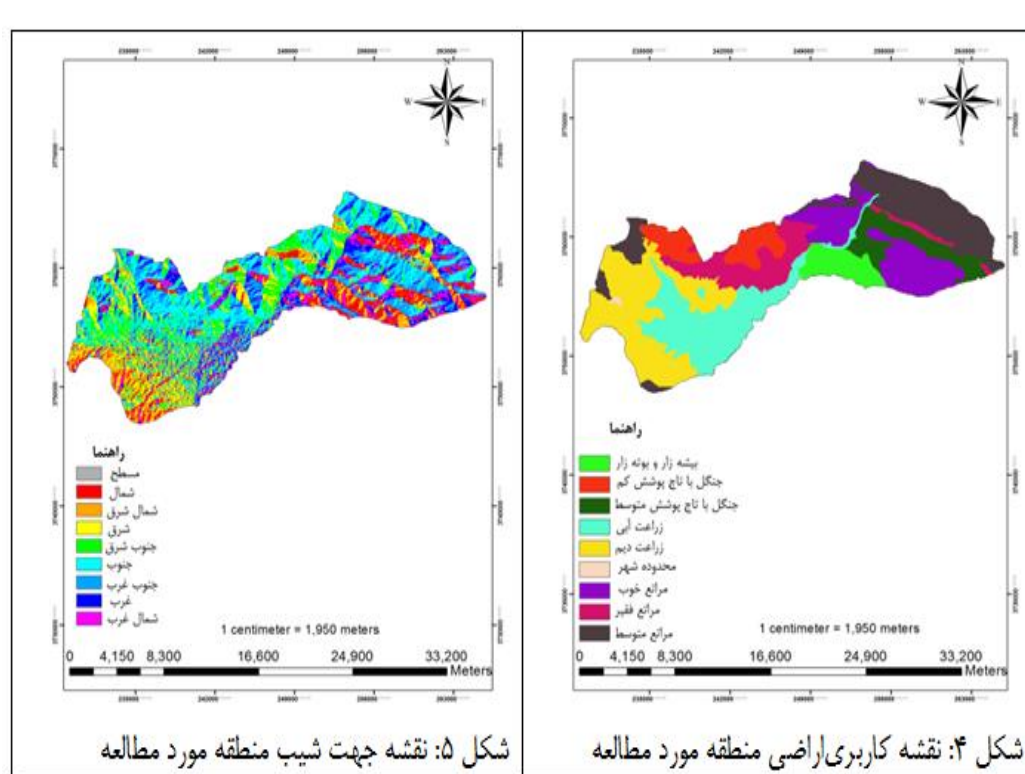
**۲- شیب دامنه:** شیب از عوامل اصلی ایجاد زمین‌لغزش در مناطق مختلف است. به‌عنوان پیش‌فرض در شیب‌های کمتر از ۵ درجه لغزش اتفاق نخواهد افتاد (گومز و کاوازاگو، ۲۰۰۵، ۱۷). جهت تهیه نقشه شیب از مدل ارتفاعی رقومی منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده گردید. نقشه شیب برای منطقه مورد مطالعه در ۵ کلاس ۵-، ۱۵-، ۲۵-، ۳۵-، ۴۵- و بیشتر از ۴۵ درجه تهیه شد (شکل ۳).



مأخذ: نگارندگان (۱۳۹۸)

۳- **کاربری اراضی:** مطالعه نوع پوشش گیاهی روی زمین و نوع کاربرد آن در مصارف کشاورزی، صنعتی و عمرانی در امر بررسی زمین‌لغزش دامنه‌ها بسیار مهم هستند. با توجه به پوشش گیاهی و نوع کاربری، زمین‌های حوضه آبریز کهمان به ۹ کلاس تقسیم شدند که مبنای آن مطالعاتی بود که در سازمان منابع طبیعی استان لرستان انجام گرفته است (شکل ۴).

۴- **جهت شیب دامنه:** جهت شیب نشان‌دهنده تأثیر متفاوت نور آفتاب، بادهای گرم و خشک و بارش در جهت‌های مختلف است (کومک<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶). در این پژوهش به منظور نشان دادن ارتباط بین جهت شیب و زمین‌لغزش‌های رخ داده، نقشه جهت شیب برای منطقه مورد مطالعه به ۹ کلاس شمال، شمال شرق، شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب غرب، غرب، شمال غرب و مسطح طبقه‌بندی شد (شکل ۵).

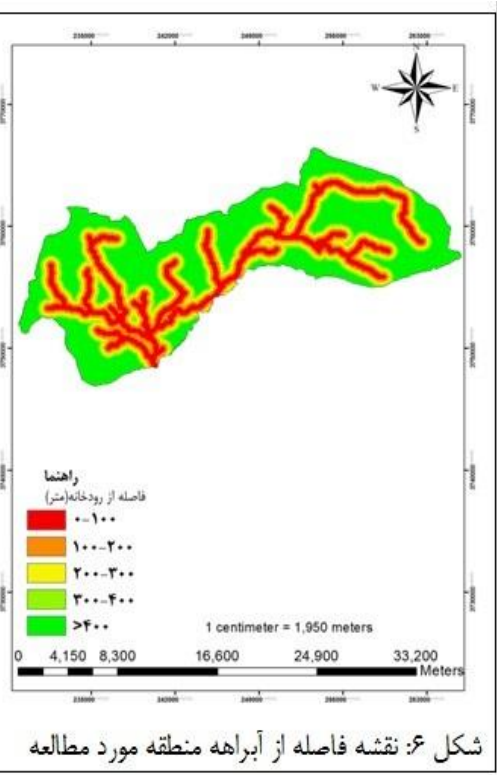
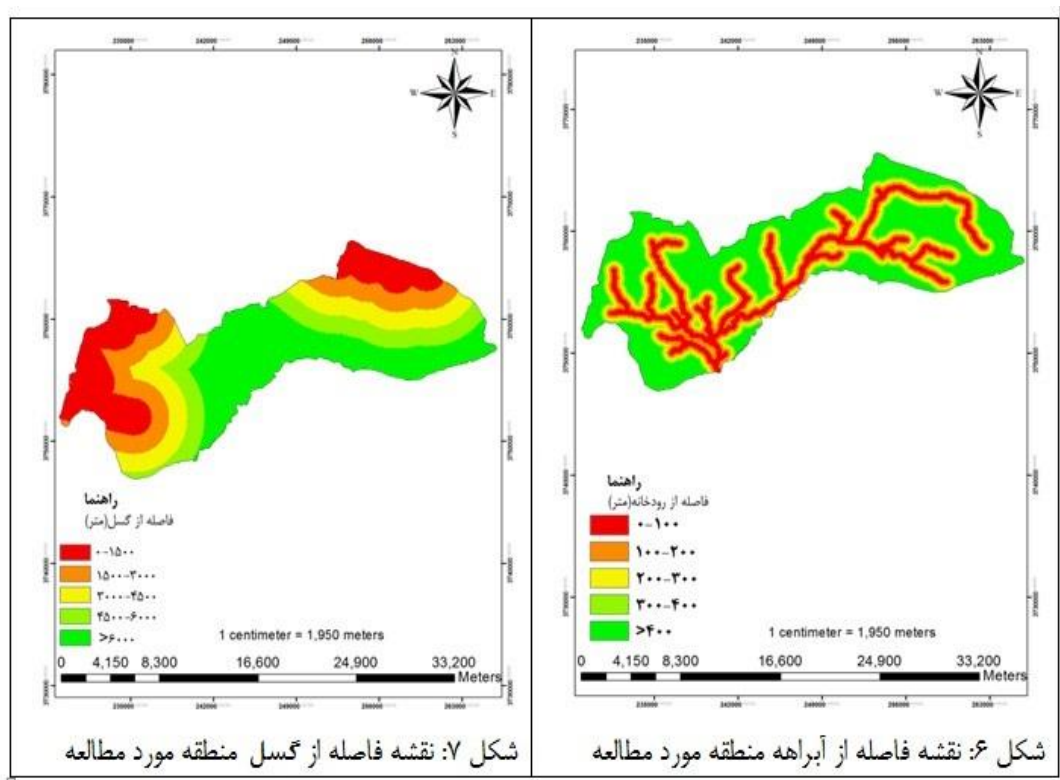


مأخذ: نگارندگان (۱۳۹۸)

۵- **فاصله از آبراهه:** جهت تهیه نقشه فاصله از آبراهه، شبکه آبراهه از روی نقشه توپوگرافی مشخص و در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی شد. آنگاه نقشه فاصله از آبراهه به ۵ کلاس با فواصل ۰-۱۰۰، ۱۰۰-۲۰۰، ۲۰۰-۳۰۰، ۳۰۰-۴۰۰، ۴۰۰-۳۰۰ و بیشتر از ۴۰۰ متر تقسیم و برای نشان دادن ارتباط بین خطر زمین‌لغزش و فاصله از آبراهه به کار برده شد (شکل ۶).

<sup>1</sup>Komac

۶- **فاصله از گسل:** خردشستگی و برشی شدن در مناطق گسلی، نفوذ آب از این مناطق به داخل دامنه‌ها، بروز ناپیوستگی در اطراف گسل‌ها و اختلاف فرسایش در دامنه‌ها از جمله اثراتی است که می‌توان به آن‌ها اشاره کرد (سوری و همکاران: ۱۳۹۱، ۱۲۷۵). برای تهیه نقشه فاصله از گسل ابتدا گسل‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه لیتولوژی رقومی شد، سپس فاصله‌ها از گسل به ۵ کلاس با فواصل ۱۵۰۰-، ۳۰۰۰-۴۵۰۰، ۴۵۰۰-۶۰۰۰، ۶۰۰۰ و بیشتر از ۶۰۰۰ متر طبقه‌بندی شده است (شکل ۷).



مأخذ: نگارندگان (۱۳۹۸)

۷- **بارش:** بارندگی به سبب بالا بردن سطح ایستایی آب‌های زیرزمینی، که این افزایش به نوبه خود موجب افزایش فشار استاتیکی و فشار آب حفره‌ای در مصالح دامنه‌ها می‌شود، نقش بسزایی در زمین‌لغزش ایفا می‌کند (کرم و محمودی، ۱۳۸۴، ۷). کاهش پارامترهای مقاومتی خاک خود، پتانسیل وقوع لغزش را افزایش می‌دهند. در مناطق کوهستانی بارش از ارتفاع تأثیر می‌پذیرد. بدین منظور در منطقه مورد مطالعه نیز به علت کوهستانی بودن و کمبود تعداد ایستگاه‌های باران سنجی، رابطه‌ای بین ارتفاع و میزان بارندگی در ایستگاه‌های موجود به دست آمد که با استفاده از این رابطه نقشه هم‌بارش حوضه آبریز کهمان تهیه شد. (شکل ۸).

$$p = 0.1035 * h + 402.626$$

رابطه ۶

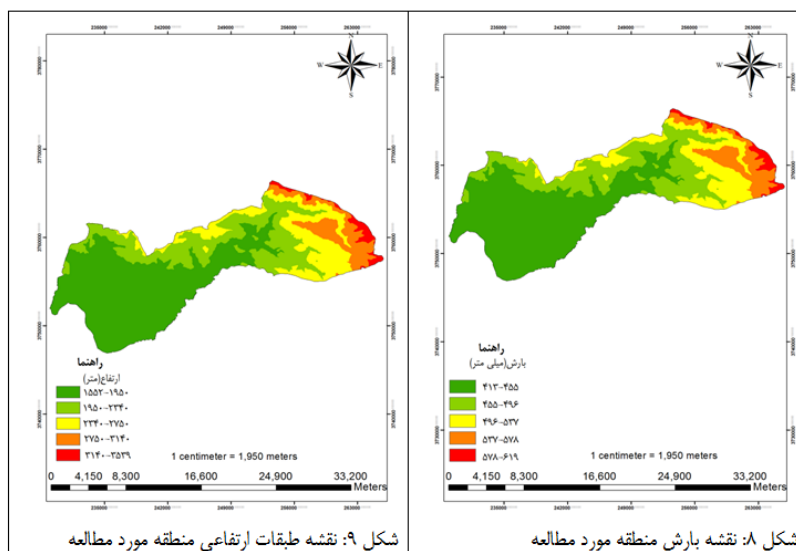
P میزان بارندگی برحسب میلی‌متر، h ارتفاع از سطح دریا برحسب متر

۸- **طبقات ارتفاعی:** برخی از محققین از ارتفاع به عنوان یک عامل کنترلی در وقوع زمین‌لغزش‌ها استفاده می‌کنند.



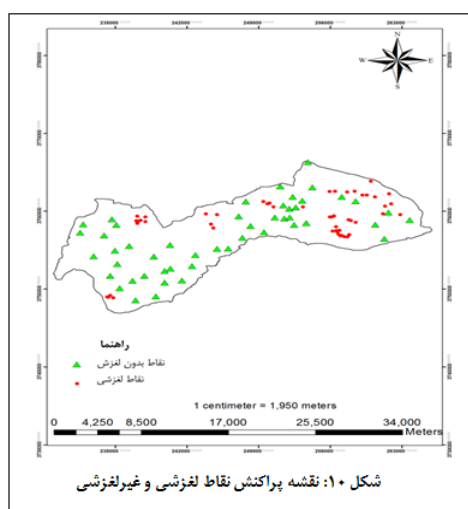
این عامل، جهت آبراهه‌ها و میزان تراکم شبکه زهکشی را کنترل می‌کند و در میزان رطوبت خاک و میزان شیب دامنه‌ها تأثیر قابل توجهی دارد (حسین‌زاده و همکاران، ۲۰۰۹، ۲۳). بدین منظور نقشه طبقات ارتفاعی در ۵ کلاس تهیه شد (شکل ۹).

**۹- نقشه نقاط لغزشی و غیر لغزشی:** با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی منطقه مورد مطالعه، زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده و مناطق مستعد به لغزش در منطقه مورد مطالعه مشخص شدند. به دلیل آنکه بسیاری از زمین‌لغزش‌ها دارای ابعاد کم یا ظاهری مشابه با دامنه‌های مجاور بودند، در تصاویر ماهواره‌ای قابل تشخیص نبودند لذا برای تکمیل اطلاعات، تمامی لغزش‌های قابل دسترس مورد بازدید قرار گرفت و در کل ۵۰ پیکسل لغزشی در منطقه مورد مطالعه مشخص شد. مناطق غیر لغزشی مناطقی هستند که احتمال خطر لغزش در آن‌ها خیلی کم در نظر گرفته می‌شود. این مناطق در داخل شیب‌های کمتر از ۵ درجه و در داخل آبراهه‌ها در نظر گرفته می‌شوند (گومز و کاوزاگلو، ۱۸، ۲۰۰۵) (شکل ۱۰).



شکل ۹: نقشه طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه

شکل ۸: نقشه بارش منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۰: نقشه پراکنش نقاط لغزشی و غیر لغزشی

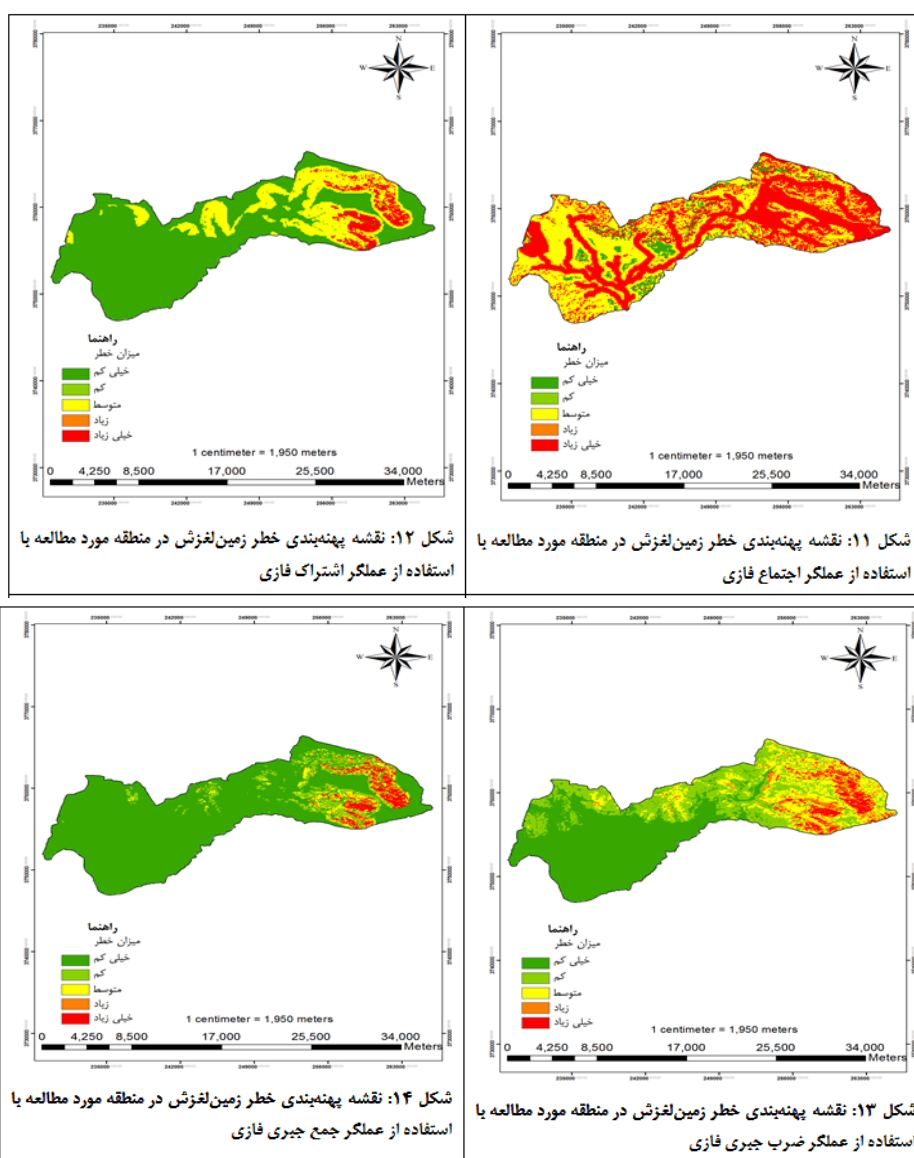
مآخذ: نگارندگان (۱۳۹۸)

عملگر اجتماع فازی، اجتماع مجموعه‌هاست. نقشه حاصل از این عملگر حداکثر درجه عضویت اعضا را تولید می‌کند به همین خاطر از دقت بالایی در تعیین آسیب‌پذیری برخوردار نبود (شکل ۱۱).

عملگر اشتراک فازی، اشتراک مجموعه‌هاست. این عملگر حداقل درجه عضویت‌ها را استخراج کرد. نتایج به دست آمده از این عملگر در طبقه‌های با خطر پایین قرار گرفت (شکل ۱۲).

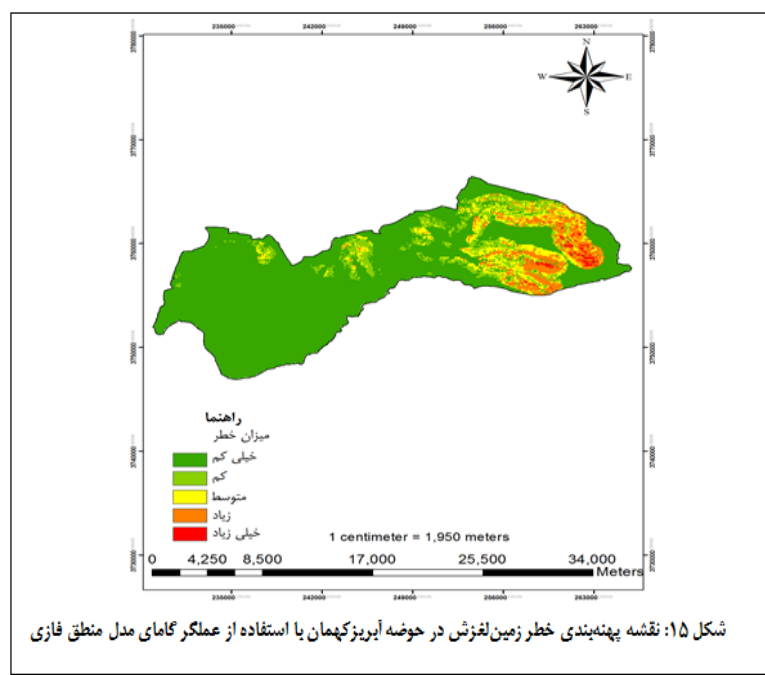
در نقشه خروجی به دست آمده از عملگر ضرب جبری فازی، اعداد کوچک‌تر شده و به سمت صفر نزدیک می‌شوند. این عملگر از حساسیت بالایی در مکان‌یابی برخوردار است (شکل ۱۳).

عملگر جمع جبر فازی مکمل عملگر ضرب جبری است. بدین خاطر در نقشه خروجی برخلاف عملگر ضرب جبری فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت حداکثر نزدیک می‌شوند. در نقشه خروجی حاصل از این عملگر پیکسل‌ها به سمت حداکثر (خطر خیلی زیاد) نزدیک می‌شوند (شکل ۱۴).



مأخذ: نگارندگان (۱۳۹۸)

در این پژوهش جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب جبری فازی و دقت خیلی کم عملگر جمع جبری فازی از عملگر گاما فازی ۰/۹ استفاده شد. در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر حاصل از عملگر گاما فازی ۰/۹ با اختلاف ۰/۲ به ۵ پهنه خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد (شکل ۱۵).



مآخذ: نگارندگان (۱۳۹۸)

بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته با استفاده از عملگر گاما فازی، به ترتیب ۶۴/۳۷، ۷/۴۵، ۸/۹۳، ۱۲/۴۹ و ۶/۷۶ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است (جدول ۱).

جدول ۱: درصد مساحت هر یک از پهنه‌های لغزشی در حوضه آبریز کهمان

درصد مساحت	کلاس‌های خطر
۶۴/۳۷	خیلی کم
۷/۴۵	کم
۸/۹۳	متوسط
۱۲/۴۹	زیاد
۶/۷۶	خیلی زیاد

مآخذ: نگارندگان (۱۳۹۸)

## نتیجه‌گیری

از آنجایی که حوضه آبریز کهمان از سنگ‌شناسی متنوعی برخوردار است، این عامل تأثیر بسزایی در رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه دارد. در سازندهای حاوی سنگ‌های ماری و آهکی به دلیل حساسیت در مقابل رطوبت،

حساسیت نسبت به لغزش بیشتر است. نتایج حاصل از کاربری اراضی نشان می‌دهد که بیشترین حساسیت به لغزش در اراضی جنگلی وجود دارد که این عامل می‌تواند ناشی از قرار گرفتن این واحدها روی توپوگرافی و شیب‌های مستعد لغزش، به‌خصوص قرار گرفتن بر روی لیتولوژی مارنی باشد. بعد از اراضی جنگلی بیشترین حساسیت در برابر لغزش مربوط به واحد اراضی زراعی دیم است که علت آن را می‌توان در نقش انسان در تخریب اکوسیستم‌های طبیعی جستجو کرد.

بررسی کلاس‌های شیب نشان می‌دهد که بیشترین حساسیت نسبت به زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه در شیب ۲۵-۳۵ درجه اتفاق افتاده است. این امر حاکی از آن است که در شیب پایین به دلیل کاهش نیروی ثقل و در شیب‌های خیلی بالا به دلیل ضعیف بودن فرآیند خاک‌سازی و افزایش استحکام سازندهای زمین‌شناسی تعداد زمین‌لغزش‌های رخ داده (به جز ریزش) کاهش می‌یابد. بررسی جهات جغرافیایی نسبت به پراکندگی زمین‌لغزش‌ها نشان می‌دهد که این جهات تأثیر متفاوتی بر وقوع زمین‌لغزش‌ها دارند. در حوضه آبریز کهمان بیشترین حساسیت به زمین‌لغزش در جهات شمال و غرب وجود دارد. با توجه به اینکه در نیمکره شمالی دامنه‌هایی که جهت شیب آن‌ها به سمت جنوب است نور خورشید را بیشتر دریافت کرده و تبخیر در آن‌ها بیشتر می‌شود، لذا در دامنه‌هایی با شیب جنوبی، زمین‌لغزش‌های بیشتری رخ دهد، اما در مورد حوضه آبریز کهمان نتایج دور از انتظار بود و در توضیح این مطلب می‌توان گفت که عامل جهت یک عامل غالب برای وقوع زمین‌لغزش در این منطقه محسوب نمی‌شود و در این جهت‌ها عوامل دیگری به‌عنوان عامل غالب، ایفای نقش کرده‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده، عامل فاصله از گسل با وقوع زمین‌لغزش در منطقه رابطه مستقیم دارد و بیشترین حساسیت به وقوع زمین‌لغزش در طبقه ۰ تا ۱۵۰۰ متری فاصله از گسل وجود دارد و با افزایش فاصله از گسل حساسیت کمتر می‌شود. نتایج به دست آمده از بررسی نقشه پراکندگی زمین‌لغزش‌ها نسبت به آبراهه نشان داد که در اثر فرسایش کنار رودخانه‌ای بر هم زدن تعادل شیب، بیشترین حساسیت به لغزش در طبقه ۱۰۰-۰ متری وجود دارد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ۶۴/۳۷، ۷/۴۵، ۸/۹۳، ۱۲/۴۹ و ۶/۷۶ درصد از مساحت منطقه به ترتیب در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است.

## منابع

- ۱- اشقلی فراهانی، علی (۱۳۸۰): ارزیابی خطر ناپایداری دامنه‌های طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت‌معلم تهران، ص ۱۴۲.
- ۲- بلواسی، ایمانعلی؛ رضایی مقدم، محمدحسین؛ نیکجو، محمدرضا؛ ولیزاده کامران، خلیل (۱۳۹۴): مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش، دانش مخاطرات، دوره دوم، شماره دوم، صص ۲۵۰-۲۲۵.

- ۳- راکعی، بابک؛ خامه‌چیان، ماشا...؛ عبدالملکی، پرویز؛ گیاهچی، پانته‌آ(۱۳۸۶): کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۳(۱)، صص ۵۷-۶۴.
- ۴- روستایی، شهرام؛ احمدزاده، حسن(۱۳۹۱): پهنه‌بندی مناطق متأثر از خطر زمین‌لغزش در جاده تبریز- مرند با استفاده از سنجش از دور و GIS، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره یکم، صص ۴۷-۵۸.
- ۵- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سلسله.
- ۶- سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ خرم‌آباد.
- ۷- سازمان هواشناسی لرستان، آمار بیست‌ساله ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک.
- ۸- سوری، سلمان؛ لشگری پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد(۱۳۹۱): پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد پنجم، شماره دوم، صص ۱۲۶۹-۱۲۸۶.
- ۹- فاطمی عقدا، سید محمود؛ قیومیان، جعفر(۱۳۸۲): ارزیابی کارایی روش‌های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین‌لغزش، مجله علوم زمین، دوره یازدهم، صص ۲۸-۴۷.
- ۱۰- فیض اله پور، مهدی(۱۳۹۱): پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش در رودخانه گیوی چای با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی، رساله دکتری، دانشگاه تبریز، تبریز.
- ۱۱- کرم، عبدالامیر؛ محمودی، فرج اله(۱۳۸۴): مدل‌سازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین‌خورده (مطالعه موردی: حوضه آبریز سرخون در استان چهارمحال و بختیاری)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره پنجاه و یکم، صص ۱۴-۱.
- ۱۲- کورکی نژاد، محمد(۱۳۸۰): مقایسه کارایی دو مدل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش(حائریومورا) با استفاده از ساجد در حوضه آبخیز سیاه رودبار گرگان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۲۴ص.
- ۱۳- مرادی، حمیدرضا؛ سپهوند، علی؛ عبدالملکی، پرویز(۱۳۸۹): بررسی کارایی شبکه عصبی مصنوعی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش(مطالعه موردی: بخشی از حوضه آبخیز هراز)، مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۴- موسوی خطیر، سیده زهره؛ کاویان، عطا...؛ سلیمانی، کریم(۱۳۸۹): تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز سجا رود با استفاده از رگرسیون لجستیک، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال چهاردهم، شماره پنجاه و سوم، صص ۹۹-۱۱۲.
- ۱۵- یمانی، مجتبی؛ حسن‌پور، سیروس؛ مصطفایی، ابوالفضل؛ شادمان رود پستی، مجید(۱۳۹۱): نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP در محیط GIS، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال بیست و سوم، شماره چهارم، صص ۳۴-۵۶.

- 16- Biswajeet Paradhan (2010): Remote Sensing And GIS Based Landslid Hazard Analysis And Cross Validation Using Multivariate Logistic Regression Model On Three Test Ares In Malaysia.
- 17- Chau, K.T; J. E. Chan (2005): Regional Bias Of Landslide Data In Generating Susceptibility Maps Using Logistic Regression For Hong Kong Island, Landslides, Pp 280-290.
- 18- Felicisimo, A; Cuartero, A; Remondo, J; Quirós, E (2013): Mapping Landslide Susceptibility With Logistic Regression, Multiple Adaptive Regression Splines, Classification And Regression Trees, And Maximum Entropy Methods: A Comparative Study, J Of Landslide, 10, Pp 175-189.
- 19- Gomez, H; Kavzoglu, T (2005): Assessment Of Shallow Landslide Susceptibility Using Artificial Neural Networks In Jabonosa River Basin, Venezuela, Engineering Geology, 78, Pp 11-27.
- 20- Hosainezadeh. M; M. Servati; A. Mansouri; B. Mirbagheri; S. Khezri (2009): Zoning Risk Of Mass Movements Using A Logistic Regression Model (Case Study: The Path Of The Sanandaj - Dehghan). Journal Of Iran Geology, 11, Pp 27- 37.

- 21- Hattanji, T; Moriwaki, H (2009): Morphometric Analysis Of Relic Landslides Using Detailed Landslide Distribution Maps: Implications For Forecasting Travel Distance Of Future Landslides. *Journal Of Geomorphology*, No 103, Pp 447-454.
- 22- Kanungo, D; Arora, M; Sarkar, S; Gupta, R (2006): A Comparative Study Of Conventional, ANN Black Box, Fuzzy And Combined Neural And Fuzzy Weighting Procedures For Landslide Susceptibility Zonation In Darjeeling Himalayas, *Engineering Geology*, Vol 85, Pp 347-366.
- 23- Komac, M (2006): A Landslide Susceptibility Model Using The Analytical Hierarchyprocess Method And Multivariate Statistics In Perialpine Slovenia.
- 24- Melchiorre, C (2008): Artificial Neural Networks And Cluster Analysis In Landslide Susceptibility Zonation, *Geomorphology*, 94, Pp 379-400.
- 25- Lee, S; Sambath, T (2006): Landslide Susceptibility Mapping In The Damrei Romel Area, Cambodia Using Frequency Ratio And Logistic Regression Models. *Environ Geol*, 50, Pp 847-855.