

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره دهم، شماره بیست و هشتم، تابستان ۱۴۰۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۰۵

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۲۱

صفحات: ۱۵۰ - ۱۳۱

مقاله (علمی پژوهشی)

## ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش های ANN و OWA (مطالعه ی موردی: شهرستان پاوه)

صیاد اصغری سراسکانرود<sup>۱\*</sup>، راشد امامی<sup>۲</sup>، الناز پیروزی<sup>۳</sup>

\*۱. دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲. کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

### چکیده

شهرستان پاوه به دلیل ویژگی‌های خاص زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی و فعالیت‌های آنتروپیک (انسانی)، مدت زیادی است که تحت تأثیر زمین‌لغزش قرار گرفته است. هدف این پژوهش، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و بررسی عوامل مؤثر بر وقوع آن و همچنین مقایسه مدل ANN با روش OWA، جهت ارزیابی خطر زمین‌لغزش در شهرستان پاوه می‌باشد. بدین جهت ابتدا موقعیت زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه با استفاده از بازدیدهای میدانی شناسایی شدند و نقشه‌های عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش (شامل: لیتولوژی، شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، بارش، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، خاک)، در محیط GIS تهیه گردید. در راستای انجام مدل OWA، وزن‌دهی با استفاده از روش کرتیک، ارزش‌گذاری و استانداردسازی نقشه‌های معیار، به صورت توأم با استفاده از روش فازی انجام گرفت. به منظور انجام مدل شبکه عصبی مصنوعی، از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد و هر یک از پارامترهای شبکه عصبی مصنوعی، با روش سعی و خطا، تعیین شده است. سپس با ساختار نهایی شبکه دارای ۸ نرون در لایه ورودی، ۱۳ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی گردید. با توجه به نتایج مطالعه عوامل شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی و خاک، به ترتیب با ضریب وزنی: ۰/۱۵۶، ۰/۱۴۳، ۰/۱۳۹ و ۰/۱۳۱، بیشترین اهمیت را دریافت کردند. با توجه به خروجی مدل OWA، به ترتیب ۱۵/۵۳ و ۲۶/۶۴ درصد از منطقه در دو طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند و طبق خروجی شبکه‌ی عصبی ۱۹/۸۸ و ۲۹/۸۲ درصد از منطقه در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر واقع شده است. مناطق بسیار پرخطر و پرخطر، به‌طور عمده در شیب ۱۵-۳۰ درصد، کاربری زراعی، سازندهای نامقاوم و سست کواترنری و در خاک‌هایی با درصد زیاد رس، سیلت و مارن قرار دارند. در نهایت، با مقایسه‌ی دو روش، مشخص گردید که مدل OWA، دارای دقت بالاتری نسبت به روش ANN بوده است.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، ANN، OWA، شهرستان پاوه.

## مقدمه

زمین لغزش به عنوان یکی از حرکت‌های توده‌ای، شامل حرکت تند یا کند مواد سنگی، خاکی یا مجموع هر دو، روی دامنه به سمت پایین، تحت تأثیر نیروی جاذبه است (کروستا<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹). مکانیسم فعالیت این پدیده بدین گونه است که در سازندهای ریزدانه (رس، مارن و شیل)، در اثر جذب آب، خاصیت کلوئیدی مواد بهم می‌خورد و تا محلی که رطوبت نفوذ کرده باشد، خاک از توده اصلی جدا شده و در نتیجه نیروی ثقل در روی دامنه حرکت می‌کند (احمدی، ۱۳۹۰). زمین لغزش، نتیجه طیف گسترده‌ای از فرآیندهای محیط‌زیست جغرافیایی است که شامل عوامل زمین‌شناسی، هواشناسی و انسانی می‌باشد (آنبالاگان<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). به طور کلی عوامل وقوع زمین لغزش را می‌توان به چهار دسته کلی؛ عوامل زمین‌شناسی، عوامل ریخت‌شناسی، عوامل انسانی و مکانیسم‌های محرک تقسیم کرد (هاگلند و ببروسکی<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸). در سرتاسر جهان، زمین لغزش‌ها خطرات فاجعه‌آمیز و گسترده‌ای محسوب می‌شوند که در بسیاری از مناطق جهان آسیب‌های قابل توجهی را به دنبال داشته‌اند (هاگ<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۹؛ روسی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). به طوری که زمین لغزش‌ها، ۹ درصد از کل بلایای طبیعی را در دهه گذشته شامل شده و این آهنگ رو به رشد، در دهه‌های آتی نیز ادامه دارد (یلماز<sup>۶</sup>، ۲۰۰۹). به دلیل ویژگی‌های خاص زمین‌شناختی و ژئومورفولوژیکی و فعالیت‌های آنتروپیک، مدت زیادی است که این پدیده مورد مطالعه قرار گرفته است (کرکس<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به اینکه، زمین لغزش‌ها یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی هستند و باعث ایجاد تغییرات شدید در مورفولوژی منظره و آسیب به سازه‌های طبیعی و مصنوعی روی زمین می‌شوند (تانیاس<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۹)، شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش و تولید نقشه‌های دقیق منطقه‌بندی حساسیت به زمین لغزش از موضوعات مهم برای مطالعات مدیریت خطر می‌باشد (کلوکسن<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). از مهم‌ترین روش‌های مطالعه زمین لغزش، پهنه‌بندی می‌باشد. پهنه‌بندی ناپایداری‌های دامنه‌ای معمولاً بر اساس خطر وقوع قطعی آن یا میزان خطر آفرینی (بالفعل) و یا احتمال وقوع (بالفعل) و نحوه آسیب‌پذیری صورت می‌گیرد (رجائی، ۱۳۸۲). با پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و تقسیم‌بندی نواحی مورد مطالعه به پهنه‌هایی با خطرات متفاوت با توجه به عوامل مؤثر در آن تا حدی می‌توان خسارت‌های زیادی که در اثر بی‌توجهی به این امر همه ساله متوجه کشور می‌شود را کاهش داد (عابدی قشلاقی، ۱۳۹۴). پژوهش‌های ارزنده‌ای، به ویژه در سال‌های اخیر با روش‌های مختلفی، به منظور بررسی و مطالعه زمین لغزش‌ها در نواحی مختلف ایران و جهان، صورت گرفته است. برای مثال: عابدی قشلاقی و فیضی‌زاده<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۷)، با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای و منطق فازی، خطر زمین لغزش را حوضه آذرشهر مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه عوامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، تراکم پوشش گیاهی، بارش، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از رودخانه به عنوان عوامل مؤثر در نظر گرفته شده است و طبق نتایج مطالعه، در مجموع

1. Crosta

2. Anbalagan

3. Highland & Bobrowsky

4. Hague et al

5. Rossi

6. Yilmaz

7. Kereks

8. Tanyas

9. Colkesen

10. Abedi Gheshlaghi & Feizizadeh

۲۳/۲۲٪ از منطقه، به وسعت ۱۰۵/۳۸ کیلومتر مربع، در طبقه پرخطر و بسیار پرخطر قرار دارد. تاج‌الدین<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸)، در اولوکلاچ، واقع در کشور مالزی، با استفاده از GIS و سنجش از دور و عوامل شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و به ویژه با تأکید بر نقش بارش، به مطالعه زمین‌لغزش پرداختند. نتایج مطالعه در ۵ طبقه‌ی خطر بسیار کم تا بسیار زیاد به دست آمد و کارایی روش WLC، به عنوان روش تحلیل چند معیاره، با توجه به رخدادهای زمین‌لغزش در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹ مورد تأیید قرار گرفت. گیگووایس<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره و با استفاده از پانزده معیار، به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در بخش غربی جمهوری صربستان پرداختند و در این مطالعه، در مجموع ۱۰۸۲ مکان لغزش شناسایی شدند. نتایج اعتبارسنجی تأیید کرد که استفاده از روش تحلیل چند معیاره، از دقت بسیار بالایی برخوردار است. بیجری<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۹)، به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، در منطقه ساحلی صفی (مراکش)، پرداختند و در نهایت نقشه پهنه‌بندی در چهار طبقه به دست آمد. نتایج مطالعه نشان داد: پارامترهای شیب و زمین‌شناسی دارای همبستگی قوی (۰/۷۵)، با ناپایداری‌های موجود در منطقه می‌باشند. براگانو<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۰)، در مطالعه‌ای با استفاده از شبکه‌عصبی مصنوعی و با استفاده از عوامل ژئومورفولوژیکی (ارتفاع، جنبه، شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، انحنای مشخصات)، زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی) و کاربری اراضی به ارزیابی زمین‌لغزش در دو شهر بزرگ برزیل (پورتو آلگره و ریودوژانییر)، پرداختند. نتایج نشان داد که روش شبکه‌عصبی مصنوعی، می‌تواند ابزاری مؤثر برای کمک به توسعه نقشه‌های مستعد زمین‌لغزش باشد. بهاروند و سوری (۱۳۹۴)، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در حوضه‌ی سپیددشت لرستان، پرداختند و با توجه به نتایج مطالعه، به ترتیب ۲۹/۸۵ و ۴۳/۵۲ درصد از مساحت محدوده، در دو طبقه خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد و سه عامل شیب، جهت شیب و زمین‌شناسی بیشترین همبستگی را با لغزش‌های منطقه دارند. عابدی قشلاقی و همکاران (۱۳۹۵)، در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آذرشهرچای، با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای و شبکه عصبی مصنوعی پرداختند و نتایج نشان داد با توجه به خروجی شبکه عصبی ۵/۷۳ درصد و با توجه به نتایج حاصل از فرآیند تحلیل شبکه ۳/۲۷ درصد از مساحت محدوده در طبقه با خطر بسیار زیاد قرار دارد. مرادی (۱۳۹۶)، در مطالعه‌ای با استفاده از مدل فازی، به پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش در شهرستان پاره پرداخته است. با توجه به نتایج مطالعه مناطق اطراف شهر پاره به دلیل وجود خطوط گسلی، شبکه رودخانه، راه ارتباطی و شیب زیاد و همچنین بخش‌های عمده‌ای از مناطق جنوب و جنوب‌غربی شهرستان دارای پتانسیل خطر زمین لغزش زیاد می‌باشند و به صورت کلی شهرستان پاره از پتانسیل بسیار بالایی برای وقوع انواع حرکات دامنه‌ای، به ویژه زمین‌لغزش برخوردار است. مددی و همکاران (۱۳۹۷)، با استفاده از مدل الکترو<sup>۵</sup>، به عنوان یکی از روش‌های تحلیل چند معیاره، خطر زمین‌لغزش را در حوضه‌ی آبخیز آق‌لاقان‌چای پهنه‌بندی کردند. با توجه به نتایج مطالعه، زیر حوضه‌ی نیر و ایرنجی با شیب‌های ۳۰-۱۵ درصد، با زیربنای سنگ سخت به همراه مواد رسوبی و سست سطحی، به ترتیب از پتانسیل بیش‌تری جهت وقوع زمین‌لغزش برخوردارند. همچنین در این مطالعه، کارایی استفاده از روش تحلیل

<sup>1</sup>. Tajudin

<sup>2</sup>. Gigovic

<sup>3</sup>. Bchari

<sup>4</sup>. Bragagnolo

<sup>5</sup>. Electre

چندمعیاره مورد تأیید قرار گرفت. خسروی و جمالی (۱۳۹۷)، به بررسی خطر زمین‌لغزش در منطقه شمال قوچان با استفاده از روش‌های شبکه عصبی، اتوماتای سلولی- مارکوف<sup>۱</sup> و رگرسیون لجستیک<sup>۲</sup> پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که وجود سازندهای سست، شیب زیاد و تغییر کاربری اراضی به صورت مراتع فقیر و اراضی کشاورزی دیم، منجر به وقوع لغزش‌ها در منطقه شده‌اند. انتظاری و همکاران (۱۳۹۸)، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و مدل ویکور<sup>۳</sup>، به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در استان البرز پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد معیارهای شیب، طبقات ارتفاعی، کاربری اراضی، لیتولوژی، خاک و بارش دارای اثر افزایشدهنده و معیارهای فاصله از گسل و پوشش گیاهی دارای اثر کاهشدهنده در آسیب‌پذیری محدوده در برابر زمین لغزش هستند و ۳۳/۰۹ درصد از سطح استان در طبقه با خطر زیاد قرار دارد. به علاوه با توجه به نتایج مطالعه، کارایی روش‌های تحلیل چند معیاره، مورد تأیید قرار گرفت.

شهرستان پاوه، به دلیل قرار گرفتن در رشته‌کوه‌های زاگرس، از وضعیت اقلیمی خاصی برخوردار است و به دلیل وضعیت لیتولوژیکی خاص و وجود سایر عوامل تشدید کننده ناپایداری دامنه‌ها، دارای پتانسیل وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. در گذشته نیز وقوع زمین‌لغزش در این شهرستان، خسارات مالی و جانی به همراه داشته است. به عنوان نمونه: در بارندگی‌های شدید سال ۱۳۷۰، رانش زمین و جریان‌های واریزه، در چندین نقطه از شهر نودشه سبب بسته شدن معابر عمومی گردید و به اموال عمومی و چند خانه مسکونی خسارت وارد کرد. رانش زمین، در تیرماه سال ۱۳۷۸، در مسیر جاده نودشه-هجیج، سبب مسدود شدن راه ارتباطی، خسارات به باغات و کشته شدن تعداد زیادی دام شد. در فروردین ۱۳۹۵، رانش زمین در شهر باینگان به وقوع پیوست و منجر به رانش زمین، ایجاد مشکل در تردد مردم و تخریب منازل مسکونی شد (احمد محمدی مطلق، ۱۳۹۴؛ سایت خبری سلام پاوه، ۱۳۹۵). در بهار ۱۳۹۸ در اراضی مستعد جهت وقوع زمین‌لغزش و در پی بارش‌های بهاری، رانش زمین ۳۵ میلیارد تومان خسارت در این شهرستان گردید. رانش زمین در محور پاوه به بله بزاق و جاده سنتو، راه مرزی پاوه به باینگان از محور دوآب به مره خیل، اطراف روستای هیروی و کمربندی شهر شاهو، مسیر روانسر به پاوه، به راه‌های ارتباطی خسارت وارد کرد. به علاوه این رانش‌ها موجب تخریب یک دهنه پل در روستای دوردشت، در دهستان جلالوند شد (سایت باشگاه خبرنگاران جوان، ۱۳۹۸). بنابراین، در تحقیق حاضر با توجه به اهمیت موضوع، تحلیل و ارزیابی خطر زمین‌لغزش در این شهرستان، مورد مطالعه قرار گرفته است.

## داده‌ها و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

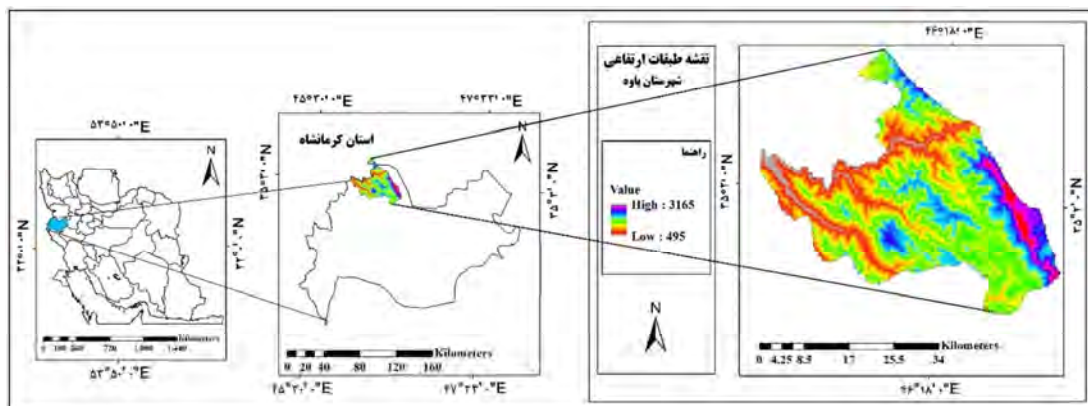
شهرستان پاوه یکی از شهرستان‌های استان کرمانشاه است که در شمال غرب این استان واقع شده است و از شمال به استان کردستان، از جنوب به شهرستان جوانرود، از غرب به مرز ایران و عراق و از شرق به استان کردستان محدود می‌شود (شکل ۱). شهرستان پاوه، در فاصله‌ی ۱۱۲ کیلومتری شمال غرب شهر کرمانشاه، قرار گرفته و این شهرستان دارای سه بخش (مرکزی، باینگان و نوسود)، ۶ دهستان (شرام، نیسانه، هولی، شمشیر، ماکوان و شیوه سر) است.

<sup>1</sup>. Cellular Automata-Markov

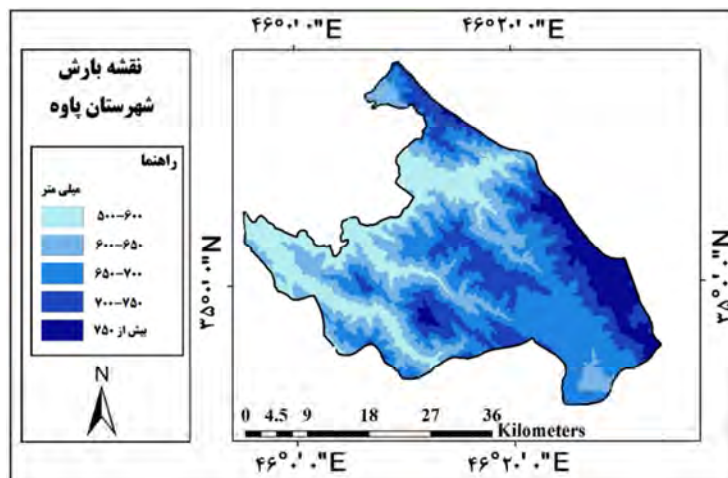
<sup>2</sup>. Logistic regression

<sup>3</sup>. VIKOR

وسعت این شهرستان، ۱۲۶۰ کیلومترمربع است و ۶ درصد مساحت استان را به خود اختصاص داده است. از نظر موقعیت ریاضی این شهرستان بین طول‌های جغرافیایی ۴۵ درجه ۵۷ دقیقه و ۴۶ درجه ۳۱ دقیقه شرقی و بین عرض‌های جغرافیایی ۳۴ درجه ۵۴ دقیقه و ۳۵ درجه ۱۷ دقیقه شمالی قرار دارد. این شهرستان دارای آب‌وهوای معتدل کوهستانی است و مقدار متوسط بارش سالیانه آن، بیش از ۶۵۰ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۱: نقشه موقعیت شهرستان پاوه در ایران و کرمانشاه.



شکل ۲: نقشه بارش شهرستان پاوه.

### داده‌ها و روش‌ها

در مطالعه حاضر، برای ترسیم مرز محدوده از لایه GIS مرز شهرستان پاوه (ترسیم شده توسط وزارت کشور)، استفاده شد. با استفاده از نقشه توپوگرافی پاوه (با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰)، لایه‌های فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و شیب ترسیم گردید. نقشه خاک محدوده مورد مطالعه با استفاده از نقشه خاک استان و نقشه لیتولوژی و فاصله از گسل محدوده نیز، با توجه به نقشه زمین‌شناسی استان کرمانشاه، به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، تهیه شد. نقشه‌ی بارش شهرستان، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی پاوه و همچنین ایستگاه‌های مجاور (دو آب نوسود، جوانرود، منصور آقایی،

قوری قلعه و سفیدبرگ) و با استفاده از روش درون‌یابی کوگریجینگ<sup>۱</sup>، ترسیم شد. جهت تهیه نقشه کاربری، از نقشه کاربری اراضی شهرستان و تصاویر Google earth و تصویر سنجنده‌ی OLI ماهواره‌ی لندست ۸ برای ماه جولای ۲۰۱۸ مصادف با ۱۴ تیر، استفاده گردید. در این تحقق، جهت تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی پیکسل پایه استفاده شد. در بین روش‌های طبقه‌بندی‌کننده‌ها، الگوریتم حداکثر احتمال استفاده‌ی بیشتری دارد، در این الگوریتم به پیکسل مورد نظر کلاسی اختصاص می‌یابد که بیشترین احتمال تعلق پیکسل به آن وجود دارد (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۱). برای آماده‌سازی تصاویر برای طبقه‌بندی و انجام پردازش بر روی آن‌ها، ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم (شامل تصحیح اتمسفری و رادیومتریک) صورت گرفت و سپس طبقه‌بندی پیکسل پایه در نرم‌افزار ENVI انجام شد. در مرحله‌ی بعد، از ضریب کاپا جهت بررسی دقت طبقه‌بندی نقشه‌ی کاربری اراضی استفاده شد. نتایج حاصله از طبقه‌بندی کاربری‌ها در مطالعه‌ی حاضر، چه از نظر تک‌تک کاربری‌ها و چه از نظر مجموع صحت و آمار کاپا، صحت قابل قبول (بزرگ‌تر از ۸۵ درصد)، را نشان می‌دهد. نقشه پراکنش نقاط لغزشی نیز، با استفاده از GPS و در طی پیمایش‌های میدانی برداشت شد.

#### روش میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA)

این روش که توسط یاگر در سال ۱۹۸۸ ارائه شد، تلفیق یک جمع وزنی با الویت‌بندی معیارهای ارزیابی بوده و علاوه بر وزن معیارها، الویت‌بندی آن‌ها را نیز لحاظ می‌کند و الویت‌بندی وزن‌ها امکان کنترل مستقیم معیارها را فراهم می‌نماید. این روش، قادر به محاسبه میزان ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی افراد و اعمال آن در انتخاب گزینه نهایی است. توانایی این روش در این است که منجر به درجه‌بندی پیوسته سناریوهایی بین عملگر اشتراک (خطر ناسازگاری - ریسک‌ناپذیری) و عملگر اجتماع (ریسک‌پذیری) می‌شود (آقاجانی و همکاران، ۱۳۹۱). می‌توان گفت که روش OWA، ترکیب نسبتاً جدید (MCE) است که مانند روش WLC بوده، اما دو مجموعه از وزن‌ها را در بر می‌گیرد. مزیت روش OWA، این است که محقق می‌تواند، با مرتب‌سازی و تغییر پارامترهای هر معیار، دامنه‌ی وسیعی از پیش‌بینی و سناریوها را ایجاد نماید (میرآبادی و همکاران، ۱۳۹۶).

در راستای انجام مراحل روش OWA، برای استانداردسازی فازی نقشه‌های معیار از توابع و قالب‌های عضویت افزایشی به صورت یکنواخت، کاهشی به صورت یکنواخت و متقارن استفاده شده است. از آن‌جا که در اندازه‌گیری معیارها، دامنه‌ی متنوعی از مقیاس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ لذا لازم است که معیارها قبل از ترکیب با یکدیگر استاندارد گردد (سلمان ماهینی و همکاران، ۱۳۸۷). استاندارد نمودن داده‌ها به معنی همسان کردن دامنه‌ی تغییرات داده‌ها بین صفر و یک و یا یک دامنه‌ی مشخص دیگر (مانند ۰ تا ۲۵۵) است (آشور، ۱۳۹۰). در رابطه با استانداردسازی معیارهای مطرح در مطالعه‌ی حاضر می‌توان گفت؛ بارش با تأثیر بر روی فشار آب منفذی و سطح آب زیرزمینی، افزایش بار دامنه و زیرشویی و از بین بردن تکیه‌گاه‌های جانبی به عنوان یک عامل محرک در وقوع زمین‌لغزش عمل می‌نماید (کورکی‌نژاد، ۱۳۸۴). بیش‌ترین تعداد گسیختگی دامنه‌ها پس از بارندگی‌های سنگین و یا ذوب برف در بهار و به علت نفوذ آب در شکاف‌ها صورت می‌گیرد (شادفر و یمانی، ۱۳۸۶). لذا، در استانداردسازی عامل

1. Cokriging

بارش، با توجه به نقش بارش به ویژه بارش های بهاری در افزایش تنش برشی و شکل گیری لغزش، مناطق با بارش زیاد (۶۵۰-۵۵۰ میلی متر) که عمدتاً در نواحی کوهستانی و مرتفع گسترده شده اند، ارزش فازی زیاد دریافت نمودند و برعکس. در رابطه با عامل فاصله از شبکه آبراهه، قابل ذکر می باشد که آب هایی که بر سطح دامنه (روانابها) و آب-هایی که در بین مواد نفوذ می کنند، از عوامل تحریک کننده مواد دامنه ای هستند. هر جایی که شیب دامنه ها افزایش زیادی داشته باشد و جنس سازندها نیز مناسب باشد، آبراهه ها با زیرشویی دامنه ها و از بین بردن تکیه گاه دامنه ها، در ایجاد لغزش نقش بسیار مهمی ایفا می کنند. در نقشه ای استاندارد شده ای فاصله از آبراهه، نواحی مستعد جهت ایجاد زمین لغزش، که منطبق بر فواصل نزدیک به شبکه آبراهه می باشند، با دامنه ارزشی بالا، نمایش داده شده اند و برعکس. وجود شیب در دامنه ها به عنوان اساس حرکات توده ای مطرح می باشد. وجود این عامل به صورت بحرانی، نقش تأثیرگذار عوامل دیگر، در حرکات توده ای را تشدید می نماید. در یک دامنه با داشتن ویژگی های برابر، افزایش شیب دامنه بیشترین ضریب تأثیر را در وقوع حرکات توده ای دارد (دای و لی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲؛ کرکس<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). در مطالعه ای حاضر آستانه شیب پرخطر جهت شکل گیری زمین لغزش ۱۵ تا ۳۵ درصد، در نظر گرفته شده است و عمدتاً در شیب های بالا (به دلیل عدم تشکیل خاک و وجود رخنمون های سنگی) و کم تر از این مقدار (به دلیل کافی نبودن مقدار شیب جهت حرکات مواد دامنه ای)، در منطقه، امکان شکل گیری حرکات لغزشی کم می باشد. در رابطه با معیار فاصله از گسل نیز قابل ذکر می باشد که، با توجه به این که مسیر گسل های بالقوه بر نقاط ناپایدار زمین می باشند و همچنین به دلیل گسیختگی در دامنه ها و ایجاد شکستگی در لایه ها و خردشدگی توده های سنگی عموماً در مسیر سیستمی از درزها و شکافها ایجاد می گردد و در نتیجه نفوذ آب به داخل زمین موجب کاهش مقاومت برشی دامنه می گردد (روزبهانی و همکاران، ۱۳۸۹). حرکت گسل نیز می تواند به نوعی شروع لغزش در دامنه باشد؛ بنابراین، جهت بررسی ارتباط زمین لغزشها با عامل گسل، نقشه فاصله از گسل در فواصل مختلف تهیه می شود (مقیمی و همکاران، ۱۳۸۷؛ خامه چیان و همکاران، ۱۳۸۶). با افزایش فاصله از گسل دامنه ارزشی اختصاص داده شده به این معیار کاهش داده شد و برعکس. در تشریح معیار خاک بایستی اشاره داشت، خاک هر منطقه از عوامل مؤثر در ایجاد حرکات دامنه ای می باشد و انواع خاکها منجر به شکل گیری انواع مختلفی از حرکات توده ای می شود. به منظور پهنه بندی زمین لغزش، خاک های ریزدانه که از درصد زیادی رس، مارن و سیلت تشکیل شده اند و از عمق زیادی نیز برخوردارند، ارزش بالای فازی دریافت نمودند. در ارتباط با معیار کاربری، به طور مسلم نوع کاربری اراضی، همیشه نقش تعیین کننده ای در تغییرات محیطی، به ویژه ایجاد و تشدید حرکات دامنه ای ایفا می کند. در این مطالعه، کاربری زراعی با توجه به عدم رعایت تناوب زارعی، کشت در اراضی شیب دار و افزایش رطوبت خاک از طریق آبیاری و نفوذ دادن آب بیشتر به زمین بیشترین ارزش را در پهنه بندی زمین لغزش، دریافت کردند. نوع سازند زمین شناسی هر ناحیه نیز، نقش مهمی در گسترش پهنه های لغزشی دارد و در محدوده مطالعاتی، مناطقی که سنگها توسط مواد آبرفتی و دیگر سازندهای سطحی پوشیده شده است و عموماً مستعد جهت ایجاد لغزش اند، ارزشی بالا را به خود اختصاص دادند. در رابطه با فاصله از جاده نیز شایان ذکر می باشد که در حالت کلی بررسی عامل فاصله از جاده، به دلیل زیربری و از بین بردن پاشنه دامنه و تغییر در شیب دامنه ها در مطالعه ای وقوع حرکات دامنه ای نقش بسیار

1. Dai and lee  
2. Kereks

مهمی دارد و با ایجاد ترانسه برای احداث راه ارتباطی و از بین رفتن پایه دامنه‌ها، ناپایداری شکل می‌گیرد (گومز<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵). هر جا تراکم احداث جاده زیاد بوده است، تراکم زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده هم در آنجا افزایش داشته است. لذا، فواصل نزدیک به جاده ارزشی بالا (ارزش ۱) دریافت نمودند و برعکس.

در مرحله وزن‌دهی، جهت وزن‌دهی معیارها در این مطالعه از روش کرتیک، استفاده شده است. در روش وزن‌دهی کرتیک، داده‌ها بر اساس میزان تداخل و تضاد موجود بین عوامل یا معیارها، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند و برای هر معیار ارزیابی دامنه‌ای از تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده در میان پیکسل‌ها (گزینه) وجود دارد که در قالب یک تابع عضویت بیان می‌شوند. هرکدام از بردارهای تشکیل شده برای معیارهای مورد استفاده، دارای پارامترهای آماری از جمله انحراف معیار هستند. پس از محاسبه‌ی انحراف معیار عوامل و معیارهای مورد بررسی، ماتریس مقارنی به ابعاد  $m \times m$  ایجاد می‌گردد که شامل ضرایب همبستگی بین بردارهای تشکیل شده است. با تعیین پارامتر-های ذکر شده، تضاد موجود بین معیار  $j$  با معیارهای دیگر محاسبه می‌شود (دیاکویلاکی<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۹۵). استفاده از روش کرتیک، در وزن‌دهی معیارها در پژوهش حاضر می‌تواند گامی در جهت حل معضل استقلال صفات از یکدیگر باشد که به هنگام مقایسه‌ی زوجی در چارچوب روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و در شرایط عدم تحقق همبستگی بین صفات، عینیت می‌یابد؛ زیرا در این روش، وجود همبستگی بالای یک معیار با معیارهای دیگر، می‌تواند در کاهش وزن آن معیار اثرگذار باشد.

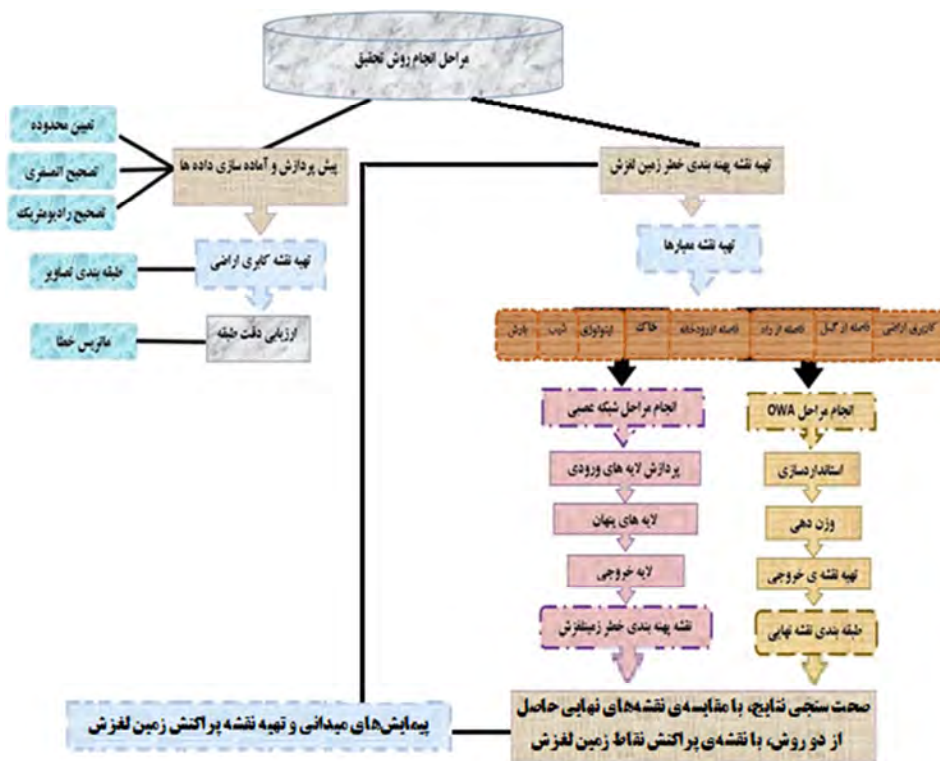
### شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه‌های عصبی، الگوریتم‌های رایانه‌ای هستند که می‌توانند روابط مهم بین تعداد زیادی پارامتر را از یک بانک داده استخراج نموده و به پیش‌بینی و طبقه‌بندی همان بانک داده یا یک بانک جدید داده به کار ببرند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵). در ساخت شبکه عصبی مصنوعی اولین کار تعیین نوع شبکه است. در این تحقیق از شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چند لایه به دلیل کارایی بهتر نسبت به دیگر انواع شبکه عصبی مصنوعی (کنیانی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۸) و الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا استفاده شد. در ساختار شبکه عصبی مصنوعی نیز از سه لایه استفاده شده است چون طبق قضیه کولموگروف<sup>۴</sup>، سه لایه برای تفکیک هر نوع فضایی مناسب است و هرگز نیازی به استفاده از لایه‌های بیشتر نیست (منهاج، ۱۳۸۱). برای شروع کار با شبکه عصبی مصنوعی ابتدا برنامه‌ای در محیط نرم‌افزار متلب مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چندلایه با الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا نوشته شد. در این برنامه تعداد نرون در لایه ورودی، تعداد نرون در لایه خروجی، تعداد پیکسل‌ها جهت آموزش و آزمایش شبکه، تعداد نرون در لایه پنهان، نسبت یادگیری، تعداد تکرار و خطای هدف تغییرپذیر بودند. روش‌های یادگیری شبکه پرسپترون چندلایه بر پایه الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا می‌باشد. سه الگوریتم یادگیری برای این منظور وجود دارد: شبکه با ضریب یادگیری ساده، شبکه با ضریب یادگیری متغیر و شبکه پرسپترون چندلایه که از

1. Gomez  
2. Diakoulaki  
3. Caniani  
4. Kolmogorov



روش لونیبرگ- مارکوارت<sup>۱</sup> استفاده می کند. در این تحقیق از ضریب یادگیری ساده به علت همگرا نشدن و نرسیدن به خطای قابل قبول صرف نظر شد. همچنین میزان خطای ضریب یادگیری متغیر در مقایسه با روش لونیبرگ- مارکوارت بیشتر بود به همین دلیل در این تحقیق از روش لونیبرگ- مارکوارت استفاده شد. شکل ۳، فلوچارت مربوط به مراحل تحقیق را نشان می دهد.

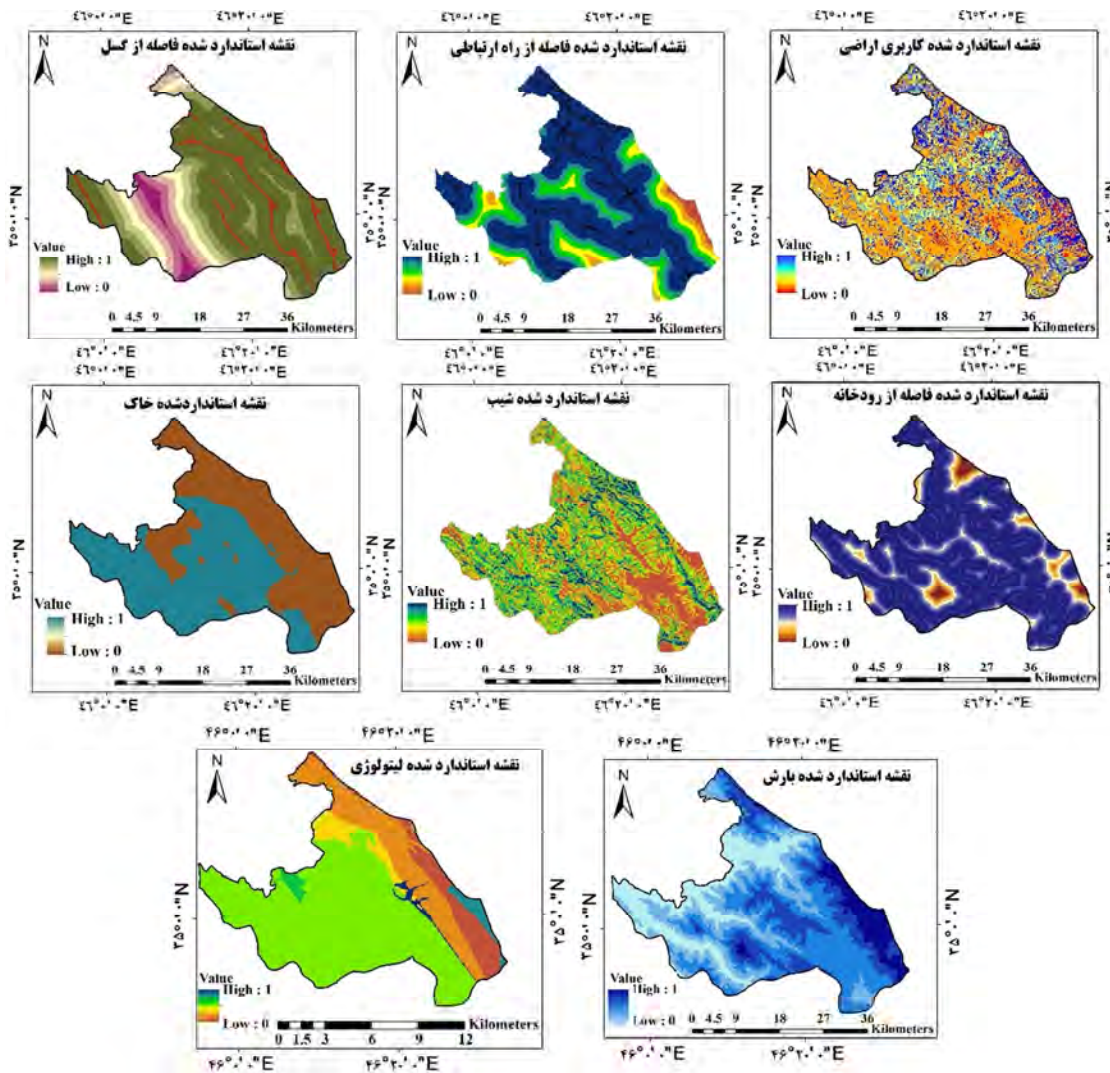


شکل ۳: فلوچارت مراحل تحقیق.

### نتایج و بحث

#### پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش OWA

به منظور پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش OWA، ابتدا استانداردسازی معیارها انجام شد (شکل ۴). سپس با استفاده از مراحل وزن دهی کرتیک نسبت به تعیین ضریب وزنی عوامل دخیل در زمین لغزش محدودی مطالعاتی، اقدام شده است.



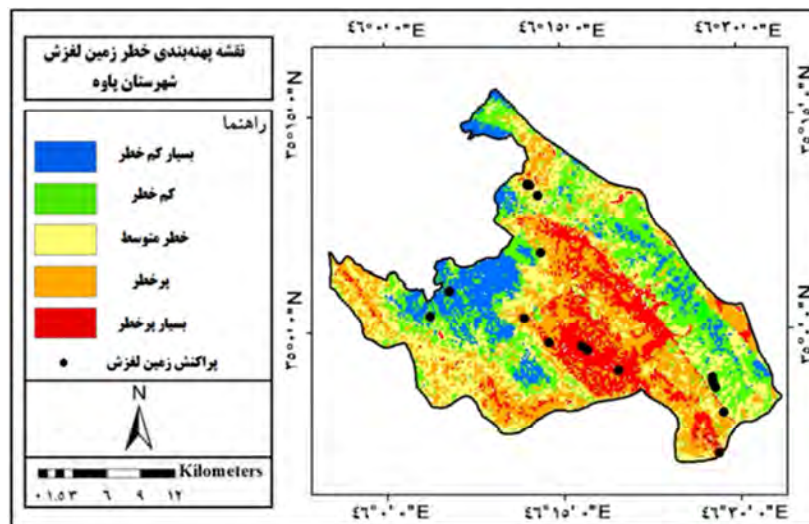
شکل ۴: نقشه استانداردسازی فازی معیارها.

مفروضات پایه‌ای و وزن حاصل از وزندهی کرتیک معیارها، در جدول ۱، نمایش داده شده است. به ترتیب عوامل شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی، خاک و فاصله از رودخانه، با ضریب وزنی؛ ۰/۱۵۶، ۰/۱۴۳، ۰/۱۳۹ و ۰/۱۳۱، ۰/۱۲۱. بیشترین اهمیت را دریافت کردند. بهاروند و سوری (۱۳۹۴)، نیز شیب و زمین‌شناسی، عابدی قشلاقی و همکاران (۱۳۹۵)، لیتولوژی، کاربری و شیب، مددی و همکاران (۱۳۹۷)، شیب و لیتولوژی، عابدی قشلاقی و فیضی‌زاده (۲۰۱۷)، شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، براگنانو و همکاران (۲۰۲۰)، سنگ‌شناسی و کاربری اراضی را از مهم‌ترین عوامل دخیل، در شکل‌گیری زمین‌لغزش معرفی کرده‌اند. در مطالعه‌ای که مرادی (۱۳۹۶)، در سطح شهرستان پاوه انجام داده است نیز شبکه رودخانه و شیب زیاد را از مهم‌ترین عوامل دخیل در زمین‌لغزش شهرستان معرفی

کرده است. در نهایت با انجام دیگر مراحل مدل OWA، نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش، در ۵ طبقه بسیار پرخطر تا بسیار کم خطر، به دست آمد (شکل ۵).

جدول ۱: مجموع تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات و وزن نهایی معیارها در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش.

معیار	مجموع تضاد	انحراف معیار	میزان اطلاعات	وزن نهایی
فاصله از راه	۳/۹۲۶۵	۰/۲۳۴۵	۰/۹۲۰۷۶۴	۰/۰۹۵۷
شیب	۳/۳۰۷۱	۰/۴۵۶	۱/۵۰۸۰۳۸	۰/۱۵۶۷۳۸
فاصله از رودخانه	۳/۳۱۳۲	۰/۳۵۳۲	۱/۱۷۰۲۲۲	۰/۱۲۱۶۲۷
کاربری	۲/۷۸۴۲	۰/۴۹۶۳	۱/۳۸۱۷۹۸	۰/۱۴۳۶۱۷
لیتولوژی	۳/۴۶۴۸	۰/۳۸۷۶	۱/۳۴۲۹۵۶	۰/۱۳۹۵۸
خاک	۲/۶۸۳۴	۰/۴۷۳۲	۱/۲۶۹۷۸۵	۰/۱۳۱۹۷۵
فاصله از غسل	۲/۶۲۴۱	۰/۳۵۶۹	۰/۹۳۶۵۴۱	۰/۰۹۷۳۴
بارش	۲/۳۹۵	۰/۴۵۶۷	۱/۰۹۱۲۸۵	۰/۱۱۳۴۲۳



شکل ۵: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان پاوه با استفاده از روش OWA.

#### پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی

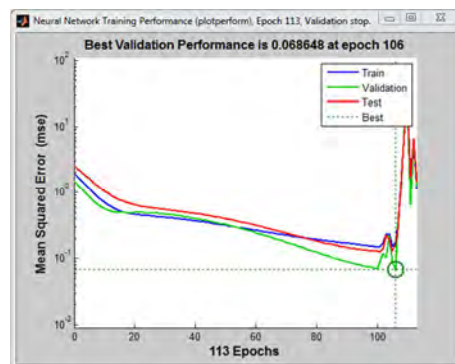
شبکه‌بندی منطقه: هر چه شبکه‌بندی منطقه با ابعاد کوچک صورت گیرد اطلاعات موجود در پایگاه داده از دقت بیشتری برخوردار می‌شوند. در این تحقیق از روش شبکه‌بندی منظم مربعی استفاده گردید و برای تغذیه این اطلاعات به شبکه عصبی مصنوعی، منطقه مورد مطالعه با واحدهای مربع شکل با اضلاع ۱۰۰ متری شبکه‌بندی گردید که با این تقسیم‌بندی منطقه به ۵۲۳۷۸ پیکسل تقسیم شد که هر پیکسل از هر لایه نقشه اطلاعات مربوط به

آن نقشه را دریافت می‌کند و در نهایت هر پیکسل دارای ۸ مشخصه اطلاعاتی مربوط به لایه‌های تأثیرگذار بر زمین- لغزش می‌گردد. سپس، هر یک از پارامترهای شبکه عصبی مصنوعی به شرح زیر تعیین شد:

تعداد تکرار: تعداد تکرار به عنوان یکی از پارامترهای شبکه عصبی مصنوعی در مرحله آموزش برای جلوگیری از آموزش بیش از حد و افزایش خطا با روش سعی و خطا تعیین شده است. در این تحقیق تعداد تکرار از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰، تغییر داده شده که با تعداد تکرار ۸۰۰۰ به کمترین مقدار خطا رسیده است.

نسبت یادگیری: جهت تعیین این پارامتر، برای دستیابی به کمترین مقدار خطا از روش سعی و خطا استفاده شده است. معمولاً الگوریتم پس‌انتشار خطا با نسبت یادگیری پایین، بهترین جواب را می‌دهد. با در نظر گرفتن این نسبت برای الگوریتم پس انتشار خطا معمولاً  $0/9$  در نظر گرفته می‌شود، نسبت یادگیری از  $0/1$  تا  $0/6$  تغییر داده شد که با نسبت  $0/1$  بهترین جواب به دست آمده است.

تعداد نرون ورودی و تعداد نرون در لایه پنهان: بستگی به تعداد پارامترهای مسئله دارد. در این تحقیق از ۸ نرون ورودی استفاده شده است که هر کدام بیانگر یکی از عوامل مؤثر در زمین‌لغزش است. برای تعیین تعداد نرون در لایه پنهان از روش سعی و خطا استفاده شده است. تعداد نرون‌ها بین ۳ تا ۳۵ تغییر داده شدند، که با ۱۳ نرون در لایه پنهان کمترین مقدار خطا به دست آمده است (شکل ۶).



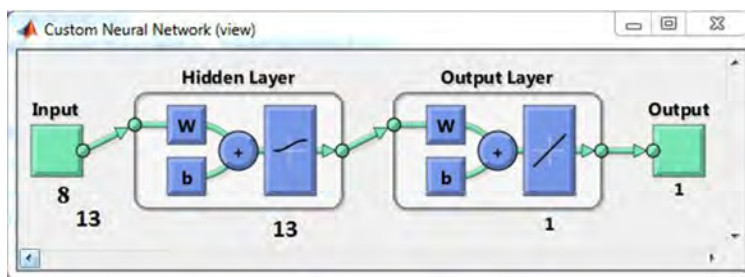
شکل ۶: کاهش خطا در طی مرحله آموزش.

تعداد نرون خروجی: با توجه به نوع مسئله متفاوت است. در این تحقیق از یک نرون خروجی استفاده شده است که با توجه به تابع فعال بکار رفته در شبکه طراحی شده، بین صفر و یک متغیر است.

تابع فعال: برای اینکه خروجی هر نرون در یک محدوده خاص (در این تحقیق محدوده  $0-1$  مد نظر بود)، قرار بگیرد از تابع فعال‌سازی استفاده می‌شود. تابعی که در این تحقیق به کار برده شد، تابع غیرخطی سیگموئید می‌باشد.

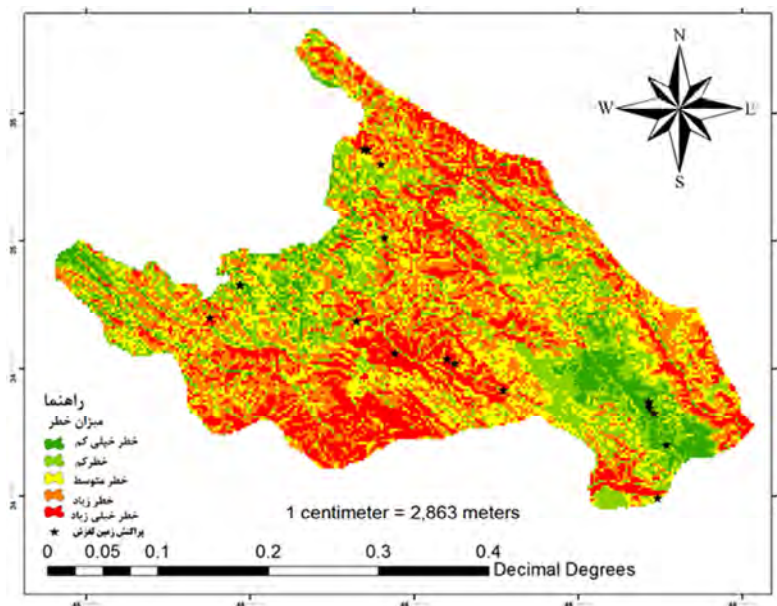
برای جلوگیری از هرگونه پیش‌داوری و دخل و تصرف در نتایج شبکه عصبی، در این تحقیق برای آموزش و آزمایش شبکه به‌طور تصادفی و مساوی داده لغزشی و غیرلغزشی انتخاب و از ۸۰ درصد این داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد برای آزمایش استفاده شد. برای انتخاب تصادفی این داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شده است. بعد از ورود داده‌ها به شبکه عصبی مصنوعی، همه عوامل به‌صورت تصادفی بین  $0/7-0/7$  وزن دهی شدند و سپس در مرحله آموزش با استفاده از برنامه نوشته شده در متلب هر عامل دارای وزن جدیدی می‌شود که این وزن‌ها برای پیش‌بینی میزان خطر در دیگر پیکسل‌ها استفاده می‌شوند. به منظور بهترین ساختار برای شبکه عصبی مصنوعی تعداد زیادی

شبکه عصبی ایجاد گردید که در تعداد تکرار، تعداد نرون های موجود در لایه پنهان و ضریب یادگیری متفاوت بودند و برای به دست آوردن مقدار بهینه هر پارامتر شبکه، شبیه سازی متعددی صورت پذیرفت که در طی آن برای تعداد معینی تکرار یک پارامتر متغیر و پارامترهای دیگر ثابت در نظر گرفته شد که در تمامی شبیه سازی صورت پذیرفته شاخص متوسط مجذور مربعات خطا به عنوان یک شاخص راهنما، بیانگر کارایی شبکه در یادگیری الگوهای موجود استفاده گردید. بعد از تعیین این پارامترها که شرح هر یک در فوق آمده است، ساختار ۱-۱۳-۸ یعنی ۸ نرون در لایه ورودی، ۱۳ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی مناسب تشخیص داده شد (شکل ۷) و بر اساس این ساختار پهنه بندی نهایی صورت گرفته است.



شکل ۷: ساختار شبکه عصبی مصنوعی برای پهنه بندی خطر زمین لغزش.

پس از مشخص کردن ساختار اصلی شبکه عصبی و فراهم آوردن اطلاعات مورد نیاز برای آموزش شبکه عصبی طراحی شده، هم چنین رسیدن به خطای قابل قبول، شبکه آماده شده است تا تحلیل منطقی در مورد اطلاعاتی که قبلاً با آن ها مواجه نشده است را انجام دهد و پیش بینی و شبیه سازی لازم صورت پذیرد. بدین منظور با استفاده از وزن های مرحله پایانی مربوط به آموزش شبکه، کل منطقه که شامل ۵۲۳۷۸ پیکسل و هرکدام از پیکسل ها دارای ۸ ویژگی مربوط به ۸ عامل تأثیرگذار بر زمین لغزش بود در اختیار شبکه قرار گرفت. پس از انجام تحلیل بر روی این داده ها توسط شبکه، برای هرکدام از پیکسل ها مقداری بین صفر و یک به دست آمد. با دسته بندی مقادیر به دست آمده از شبکه، مناطق به نواحی متفاوت از نظر خطر زمین لغزش تقسیم بندی شد. در نهایت نقشه پهنه بندی خطر با اختلاف ۰/۲ به ۵ پهنه خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم بندی گردید. شکل (۸)، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهرستان پاوه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی را نشان می دهد. برای پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ابتدا در مرحله آموزش برای جلوگیری از افزایش خطا و آموزش بیش از حد هریک از فاکتورهای شبکه عصبی با روش سعی و خطا تعیین شده است. سپس ساختار ۱-۱۳-۸ یعنی ۸ نرون در لایه ورودی، ۱۳ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی مناسب تشخیص داده و نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه تهیه شد.



شکل ۸: نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش شهرستان پابوه با استفاده از روش ANN.

### مقایسه نتایج دو روش

در نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به دست آمده از OWA، به طور عمده مناطق بسیار پرخطر و پرخطر در کاربری‌های مسکونی، زراعی و مراتع و مناطق با خطر کم و بسیار کم، در کاربری باغات و اراضی سنگلاخی قرار دارند. در روش ANN، طبقه‌ی بسیار پرخطر و پرخطر؛ در مناطق مسکونی، مراتع و اراضی بایر، می‌باشد. هم‌چنین بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته با استفاده از روش تحلیل چند معیاره، به ترتیب ۱۲/۱۵، ۲۱/۲۶، ۲۴/۴۲، ۲۶/۶۴، ۱۵/۵۳ درصد از مساحت منطقه، در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است و بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی، به ترتیب ۶/۹۸، ۲۱/۵۸، ۲۱/۷۰، ۲۹/۸۲، ۱۹/۸۸ درصد از مساحت منطقه، در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است (جدول ۲).

جدول ۲: درصد مساحت پهنه‌های لغزشی با استفاده از مدل‌های ANN و OWA.

درصد مساحت با مدل OWA	درصد مساحت با مدل ANN	کلاس‌های خطر
۱۲/۱۵	۶/۹۸	خیلی کم
۲۱/۲۶	۲۱/۵۸	کم
۲۴/۴۲	۲۱/۷۰	متوسط
۲۶/۶۴	۲۹/۸۲	زیاد
۱۵/۵۳	۱۹/۸۸	خیلی زیاد

روش های مختلفی برای ارزیابی مدل های پهنه بندی خطر زمین لغزش توسط محققین ارائه شده است، در این تحقیق برای ارزیابی و صحت سنجی نتایج خروجی مدل های مورد استفاده در برآورد خطر زمین لغزش از نقاط GPS شده توسط محققان استفاده شد. در فصل اردیبهشت ۹۸ محققان با توجه به شناسایی و تعیین موقعیت مکانی زمین لغزش های به وقوع پیوسته در منطقه مورد مطالعه، لغزش های اتفاق افتاده در محل مورد بررسی جمعاً ۱۷ مورد برداشت شدند. نتایج حاصل از هم پوشانی خروجی حاصل از دو مدل مورد مطالعه، با پراکنش حاصل از برداشت میدانی، نشان داد که ۲۹/۴۲ و ۲۹/۴۱ درصد از نقاط پراکنش لغزش ها در سطح شهرستان، در طبقات بسیار پر خطر و پر خطر معرفی شده توسط روش OWA، قرار دارند و ۲۹/۴۱ درصد از نقاط لغزشی در طبقه با خطر متوسط و فقط ۵/۸۸، ۵/۵۵ درصد از نقاط پراکنش لغزشی، در طبقات کم خطر و بسیار کم خطر قرار دارند. لذا نقشه ی پهنه بندی حاصل از روش OWA با تلفیق نقاط پراکنش لغزشی، نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی از هم خوانی بالایی برخوردار است. به عبارت دیگر، می توان اذعان داشت که روش OWA به واقعیات حاصل از برداشت میدانی نزدیک می باشد. هر یک از روش های پهنه بندی زمین لغزش ها به نوبه خود دارای مزایا و معایبی می باشند. این امر که یک روش در یک منطقه تا چه حد از کارایی برخوردار است به شرایط بسیاری از جمله اقلیم و توپوگرافی و دیگر عوامل بستگی دارد. با توجه به نقشه های پهنه بندی حاصل از مطالعه، بررسی مناطق پرخطر در خروجی حاصل از روش تحقیق و مقایسه ی آن با نقشه پراکنش حاصل از پیمایش های میدانی و همچنین شرایط اقلیمی، توپوگرافی، زمین شناسی، هیدرولوژی و انسانی حاکم بر منطقه می توان نتیجه گرفت که روش OWA از دقت نسبی بالایی جهت مطالعه ی زمین لغزش برخوردار است. نمونه هایی از لغزش های رخ داده در سطح شهرستان پاوه، در شکل ۹، نمایش داده شده است.



شکل ۹: نمونه هایی از لغزش های رخ داده در سطح شهرستان پاوه.

در نهایت بررسی‌های انجام‌گرفته در این تحلیل نشان دهنده‌ی این است که در شهرستان پاوه به دلیل کوهستانی بودن، وجود خاک‌های عمیق بر روی دامنه‌های پرشیب و نفوذ آب به لایه‌های زیرین خاک در هنگام ذوب تدریجی برف‌ها، زمینه‌ای مناسبی برای شکل‌گیری پدیده‌ی زمین‌لغزش به وجود آمده و خسارات زیادی را به دنبال خواهد داشت. نتایج مطالعه نشان داد عوامل شیب، کاربری اراضی، بارش و لیتولوژی از مهم‌ترین عوامل در وقوع زمین‌لغزش در محدوده می‌باشند. مناطق بسیار پرخطر و پرخطر، به‌طور عمده در شیب ۱۵-۳۰ درصد، قرار دارند و در این مقدار شیب، مواد سطحی و اصولاً ریزدانه که مستعد برای لغزش هستند، با جذب آب و افزایش رطوبت به حد سیلانی رسیده و با بالا رفتن تنش‌های برشی و گسیختگی مواد دامنه، شروع به حرکت می‌کنند. مددی و همکاران (۱۳۹۷)، نیز در مطالعه‌ی خود، این مقدار از شیب را به عنوان نواحی پرخطر جهت ایجاد زمین‌لغزش معرفی کرده‌اند. از لحاظ عامل لیتولوژی، شهرستان پاوه از لیتولوژی متنوع و از سازندهای حاوی آهک، مارن میان لایه‌هایی از کنگلومرا، ماسه‌سنگ، گدازه‌های بازالتی و خاکسترهای آتشفشانی برخوردار بوده و سازندهای نامقاوم و نیمه‌مقاوم که عمدتاً سازندهای سست کواترنری هستند، به دلیل حساسیت در مقابل رطوبت نسبت به لغزش حساس می‌باشد و به علاوه خاک‌هایی با درصد زیاد رس و سیلت و مارن نسبت به ایجاد زمین‌لغزش دارای پتانسیل زیادی هستند. هم‌چنین، عامل فاصله از گسل با وقوع زمین‌لغزش در منطقه رابطه مستقیم دارد، چرا که شهرستان پاوه بین گسل‌های پیشانی زاگرس، گسل زاگرس مرتفع، گسل اصلی زاگرس، گسل جوان زاگرس، گسل مروارید و گسل صحنه قرار دارد و دو گسل (پیشانی زاگرس و زاگرس مرتفع) از نزدیک‌ترین گسل‌ها به این منطقه هستند. به‌علاوه نتایج مطالعه، نشان می‌دهد که اراضی پرخطر به‌طور نسبی، در فواصل نزدیک از رودخانه قرار دارند و با توجه به انطباق نقاط زمین‌لغزش‌ها با لایه رودخانه‌ها، لغزش‌ها در محدوده مطالعاتی، در آبراهه‌هایی با رتبه ۲ و ۳ و در فاصله صفر الی ۴۰۰ متری از رودخانه رخ داده‌اند. در منطقه مطالعاتی با توجه توپوگرافی کوهستانی، شیب زیاد حاکم بر منطقه، بارش زیاد و نیز وجود رودهای دائمی و پرآب (مانند: رود سیروان)، رودهای پرآب در مسیر خود، از میان سنگ‌ها عبور کرده و در بخش‌های نامقاوم و فرسایش-پذیری رسوبات آذرآواری را دچار آب‌بردگی کرده و با زیرشویی دامنه‌ها و نفوذ دادن آب به خاک و سنگ موجب تشدید لغزش می‌گردد. هم‌چنین با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی لغزش شهرستان پاوه، مناطق پرخطر، به‌طور عمده در مناطق با بارش زیاد قرار دارند. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی کاربری اراضی نشان داد که بیش‌ترین حساسیت به لغزش در اراضی کشاورزی وجود دارد؛ که علت آن را می‌توان در نقش انسان در تخریب اکوسیستم‌های طبیعی جستجو کرد. گسترش فعالیت‌های کشاورزی برای رفع نیازهای مردم ضروری هست و در زمین‌های کشاورزی به‌ویژه در مناطق پرشیب کوهستانی، علاوه بر فرسایش خاک و زمین‌لغزش، به جاری شدن سیل نیز منجر خواهد شد و کیفیت پویای خاک را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. این بخش از نتایج مطالعه با نتایج مددی و همکاران (۱۳۹۷)، عابدی قشلاقی و همکاران (۱۳۹۵)، همخوانی دارد و در این مطالعات نیز کاربری‌های زراعی به عنوان پرخطرترین مناطق، معرفی شده‌اند. به علاوه می‌توان گفت که در شهرستان پاوه، با توجه به مطالعات میدانی، بهره‌برداری غیراصولی از مراتع، تخریب پوشش گیاهی در اثر تبدیل اراضی مرتعی به زراعی، کشت باغات در اراضی شیب‌دار و حتی بر روی واریزه‌ها، چرای بی‌رویه و بیش از ظرفیت دام‌ها، عبور دادن آبراهه از روی دامنه جهت آبیاری اراضی و باغات کشاورزی، افزایش مناطق مسکونی در حاشیه و بستر رودخانه با رعایت نکردن حریم آن، افزایش خطوط ارتباطی، تبدیل مناطق بایر به مناطق مسکونی و به تبع آن دخالت انسان در محیط، منجر به ایجاد و تشدید حرکات لغزشی می‌شود.



### نتیجه گیری

زمین لغزش یک از پدیده های مهم و قابل توجه در مسائل زیست محیطی، آبخیزداری و منابع طبیعی می باشد و زمانی که جوامع انسانی را تحت تأثیر قرار دهد، تبدیل به مخاطره خواهد شد. به منظور پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهرستان پاوه، در این مطالعه ۸ عامل مورد بررسی قرار گرفته است و این عوامل شامل: شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارندگی، خاک، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه می باشند. ابتدا، نقشه ها بر اساس تأثیر و اهمیت آن ها در پهنه بندی خطر زمین لغزش رتبه بندی شدند و سپس برای هر عامل رتبه و کلاس خاصی مشخص شد. تمامی داده ها با فرمتی مشابه، به عنوان داده های ورودی وارد نرم افزار شدند. در نهایت به پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهرستان پاوه با دو روش تحلیل چند معیاره (OWA) و روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) پرداخته شد. در نهایت، به منظور ارزیابی مدل های مورد استفاده، نقشه پراکنش زمین لغزش ها، با نقشه های پهنه بندی به دست آمده از هر دو مدل مقایسه شد.

با توجه به نتایج مطالعه با استفاده از مدل OWA، به ترتیب ۱۵/۵۳، ۲۶/۶۴، ۲۴/۴۲، ۲۱/۲۶، ۱۲/۱۵ درصد از مساحت منطقه در کلاس های بسیار پرخطر، پرخطر، خطر متوسط، کم خطر، بسیار کم خطر قرار گرفته اند. بر اساس پهنه بندی صورت گرفته با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۶/۹۸، ۲۱/۵۸، ۲۱/۷۰، ۲۹/۸۲، ۱۹/۸۸ درصد از مساحت منطقه در کلاس های بسیار کم خطر، کم خطر، خطر متوسط، پرخطر و بسیار پرخطر قرار دارد. نتایج به دست آمده از بررسی هم پوشانی نقشه پراکنش زمین لغزش ها با نقشه های پهنه بندی هر دو مدل مقایسه شد و چنین استنباط شد که در روش OWA، ۲۹/۴۲ و ۲۹/۴۱ درصد از نقاط لغزشی در طبقات بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند و ۲۹/۴۱، ۵/۸۸، ۵/۵۵ درصد در طبقات خطر متوسط، کم خطر و بسیار کم خطر قرار دارند. لذا نقشه ی پهنه بندی حاصل از روش OWA با تلفیق نقاط پراکنش لغزشی، نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی از هم خوانی بالایی برخوردار است؛ به عبارت دیگر، می توان اذعان داشت که روش OWA به واقعیات حاصل از برداشت میدانی نزدیک می باشد و این بخش از نتایج مطالعه نیز با نتایج پژوهش های افرادی چون مددی و همکاران (۱۳۹۷)، انتظاری و همکاران (۱۳۹۸)، تاج الدین و همکاران (۲۰۱۸)، گیگووایس و همکاران (۲۰۱۹)، مطابقت دارد؛ بدین صورت که آن ها نیز معتقدند که برای شناسایی مناطق دارای زمین لغزش، روش های تحلیل چند معیاره، از کارایی بهتری برخوردار است و نقاط زمین لغزش را به خوبی برآورد می کنند.

همچنین، می توان گفت که نتایج حاصل از این مطالعه، همانند نتایج حاصل از مطالعه ی مرادی (۱۳۹۶)، حاکی از توان بالای شهرستان پاوه از لحاظ رخداد حرکات لغزشی هست، لذا اراضی بسیار پرخطر و پرخطر، مناطقی هستند که باید اقدامات حفاظتی و مدیریتی در آن انجام گیرد. هم چنین نباید تخریب و کارهای غیر اصولی از قبیل تخریب پوشش گیاهی در اثر تبدیل اراضی مرتعی به زراعی و کاهش کمی و کیفی پوشش گیاهی در اثر چرای بی رویه دام ها، کشت باغات در اراضی شیب دار، عدم رعایت تناوب زراعی و احداث غیر اصولی جاده انجام گیرد. بنابراین، پیشنهاد می گردد، سازمان ها و ارگان های ذیربط از جمله اداره ی کل منابع طبیعی، اداره ی راه و ترابری، بنیاد مسکن، سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه ای و غیره در طراحی پروژه ها، مدیریت های محیطی، اجرای برنامه ها، طرح های عمرانی و

هرگونه ساخت‌وسازها و فعالیت‌های زیربنایی در شهرستان پاوه، به‌منظور انتخاب استراتژی صحیح و مناسب و دوری از مناطق خطرناک، نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش منطقه را نیز مد نظر قرار دهند.

## منابع

- احمدی، حسن، (۱۳۹۰)؛ ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول، فرسایش آبی، چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه تهران، ۷۱۴ صفحه.
- آشور، حدیثه، (۱۳۹۰)؛ بررسی و تحلیل تناسب و جاذبه‌های شهرک صنعتی آمل در مکان‌گزینی واحدهای صنعتی (صنایع کوچک و متوسط)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری و روستایی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
- آقاجانی، حسین، رهنما، محمدرحیم، فتاحی، مهدی، (۱۳۹۱)؛ مکان‌یابی دفن زباله با ترکیب روش میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA) و GIS در مشهد، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۳، صص: ۸۷-۱۰۵. [10.22067/geo.v1i3.16943](http://10.22067/geo.v1i3.16943)
- انتظاری، مژگان، خدادادی، فاطمه، ساسان‌پور، فرزانه، (۱۳۹۸)؛ تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفولوژیک (لغزش و سیل) استان البرز با استفاده از مدل‌های AHP-VIKOR و FR، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۱، شماره ۱، صص: ۱۹۹-۱۸۳. [10.22059/jphgr.2019.261347.1007250](http://10.22059/jphgr.2019.261347.1007250)
- بهاروند، سیامک، سوری، سلمان، (۱۳۹۴)؛ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: حوزه سپید دشت، لرستان)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، سال ۶، شماره ۴، صص: ۳۱-۱۵. [http://girs.iaubushehr.ac.ir/article\\_518870.html](http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_518870.html)
- حسینی، عطاله، دلجویی، آزاده، صادقی، محمدمعین، (۱۳۹۵)؛ ارزیابی روش‌های مختلف پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در اکوسیستم‌های جنگلی، ترویج و توسعه آبخیزداری، سال ۴، شماره ۱۳، صص: ۱۴-۷. <http://wmji.ir/fa/ManuscriptDetail?mid=5433>
- خامه‌چیان، ماشالله، راکعی، بابک، عبدالملکی پرویز، گیاهی پانته‌آ، (۱۳۸۶)؛ کاربرد سیستم شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مطالعه موردی: ناحیه سفیدار گله در استان سمنان، مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۳(۱)، صص: ۵۷-۶۴. [https://journals.ut.ac.ir/article\\_27051.html](https://journals.ut.ac.ir/article_27051.html)
- خسروی، محسن، جمالی، علی‌اکبر، (۱۳۹۷)؛ پیش‌بینی روند تغییرات زمین‌لغزش منطقه شمال قوچان با توجه به عوامل مؤثر بر لغزش به روش شبکه عصبی، اتوماتای سلولی-مارکوف و رگرسیون لجستیک، جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال ۷، شماره ۲۷، صص: ۱۷-۱. [10.22067/geo.v0i0.71520](http://10.22067/geo.v0i0.71520)
- رجایی، عبدالحمید. (۱۳۸۲)؛ کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی شهری و روستایی، چاپ اول، انتشارات سمت، ۴۰۶ صفحه.
- روزبهانی، حبیبه، ایلدرمی، علیرضا، دشتی، مریم، (۱۳۸۹)؛ بررسی عوامل وقوع حرکات توده‌ای با مدل INRF (مطالعه موردی: حوضه سد کلان ملایر)، همایش کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه آزاد اسلامی خرم‌آباد، صص: ۱۰۱. <https://civilica.com/doc/117937/>
- سایت باشگاه خبرنگاران جوان، (۱۳۹۸). <http://www.yjc.ir>
- سایت خبری سلام پاوه، (۱۳۹۵). <http://www.salampaveh.ir>
- سلمان ماهینی، عبدالرسول، ریاضی، برهان، نعیمی، بابک، بابایی کفکایی، ساسان، جوادی لاریجانی، عظیمه، (۱۳۸۷)؛ ارزیابی توان طبیعت‌گردی شهرستان بهشهر بر مبنای روش ارزیابی چند معیاره با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، علوم و تکنولوژی محیط-زیست، ۱۱(۱)، صص: ۱۸۹-۱۷۸. <http://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=144039>
- شادفر، صمد، یمانی، جنبی، (۱۳۸۶)؛ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز جلیسان با استفاده از مدل L.NRF. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۲، صص: ۲۳-۱۱. [https://journals.ut.ac.ir/article\\_19186.html](https://journals.ut.ac.ir/article_19186.html)
- عابدی قشلاقی، حسن، (۱۳۹۴)؛ کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش مطالعه موردی: حوضه آذرشهرچای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز، تبریز.
- عابدی قشلاقی، حسن، ولیزاده کامران، خلیل، رجبی، معصومه، (۱۳۹۵)؛ ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تحلیل شبکه و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: حوضه آذرشهرچای)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۱، صص: ۷۴-۶۰. [http://www.geomorphologyjournal.ir/article\\_78031.html](http://www.geomorphologyjournal.ir/article_78031.html)

- فاطمی، باقر، رضایی، یوسف، (۱۳۹۳)؛ انتشارات آزاده، چاپ سوم، تهران، ۲۹۶ صفحه.
- کورکی نژاد، مسعود، (۱۳۸۴)؛ پهنه بندی خطر زمین لغزش، مجله زمین شناسی، (۳) ۱۰، صص: ۲۴-۳۰.
- محمدی مطلق، احمد (۱۳۹۴)؛ افزایش ناپایداری دامنه ها در پناه، تاریخ دسترسی، ۲۱ دی ۱۳۹۴. <http://tapo.blogfa.com>
- مددی، عقیل، پیروزی، الناز، شکرزاده فرد، الهام. (۱۳۹۷)؛ پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز آق لاقان چای، با استفاده از مدل ELECTRE، فصلنامه فضای جغرافیایی، سال هجدهم، شماره ۶۴، صص: ۱۷۷-۱۹۹. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2048-fa.html>
- مرادی، نادر، (۱۳۹۶)؛ پهنه بندی مناطق مستعد لغزش با استفاده از مدل فازی (مطالعه موردی: شهرستان پناه)، سومین کنفرانس ملی جغرافیا و برنامه ریزی، معماری و شهرسازی نوین، قم، صص: ۱-۹. <https://civilica.com/doc/739379/>
- مقیم، ابراهیم، یمانی، مجتبی، رحیمی، سعید، (۱۳۹۲)؛ ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه ای، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، صص: ۱۱۸-۱۰۳. [http://www.geomorphologyjournal.ir/article\\_77893.html](http://www.geomorphologyjournal.ir/article_77893.html)
- منهاج، محمد باقر، (۱۳۸۱). مبانی شبکه های عصبی، انتشارات صنعتی امیرکبیر پلی تکنیک تهران، ۷۱۵ صفحه.
- میرآبادی، مصطفی، هاشمی، هدایت، امینی، جمال، (۱۳۹۶)؛ کاربرد مدل AHP و روش میانگین گیری وزن دار ترتیبی (OWA) در مکان یابی محل دفن مواد زاید شهرستان بوکان با استفاده از Arc GIS و IDRISI، فضای جغرافیایی، جلد ۱۷، شماره ۶۰، صص: ۵۴-۳۹. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-1431-fa.html>
- Abedi Gheshlaghi, H., Feizizadeh, B. (2017); An integrated approach of analytical network process and fuzzy-based spatial decision making systems applied to landslide risk mapping, Journal of African Earth Sciences, 133: 15-24. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.05.007>
- Anbalagan, R., Kumar, R., Lakshmanan, K., Parida, S., Sasidharan, N. (2015); Landslide hazard zonation mapping using frequency ratio and fuzzy logic approach, a case study of Lachung Valley, Sikkim, Geoenvironmental Disasters, 2 (6): 1-17. <https://doi.org/10.1186/s40677-014-0009-y>
- Bhari, F.E., Theilen-Willige, B., Ait Malek, H. (2019); Landslide hazard zonation assessment using GIS analysis at the coastal area of Safi (Morocco), Proceedings of the International Cartographic Association, 2, 29th International Cartographic Conference (ICC 2019), 15–20 July 2019, Tokyo, Japan: 1-7. [10.5194/ica-proc-2-24-2019](https://doi.org/10.5194/ica-proc-2-24-2019)
- Bragagnolo, L., daSilva, R.V., Grzybowski, J.M.V. (2020); Artificial neural network ensembles applied to the mapping of landslide susceptibility, CATENA, Vol 184, 10424: 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104240>
- Caniani D., Pascale S., Sdao F., Sole A. (2008); Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza, Natural Hazards, 45:55–72. <https://doi.org/10.1007/s11069-007-9169-3>
- Colkesen, I., Sahin, E., Kavzoglu, T. (2016); Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression, Journal of African Earth Sciences 118: 53-64. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.02.019>
- Crosta, B. G. (2009); Dating, triggering, modeling, and hazard assessment of large landslides, Geomorphology, Vol 103: 1-4. DOI: [10.1016/j.geomorph.2008.04.007](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.04.007)
- Dai, F. C., Lee, C. F. (2002); Landslide Characteristics and Slope in Stability Modeling using GIS Lantau Island Hong Kong. Geomorphology, 42: 213-228. DOI: [10.1016/S0169-555X\(01\)00087-3](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00087-3)
- Diakoulaki, D.; Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995); Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method, Computers and Operations Research, 22 (7): 763-770. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(94\)00059-H](https://doi.org/10.1016/0305-0548(94)00059-H)
- Gigovic, L., Drobnjak, S., Pamucar, D. (2019); The Application of the Hybrid GIS Spatial Multi-Criteria Decision Analysis Best–Worst Methodology for Landslide Susceptibility Mapping, International Journal of Geo-Information, 8 (79): 1-29. DOI: [10.3390/ijgi8020079](https://doi.org/10.3390/ijgi8020079)
- Gomez, H., Kavzoglu, T. (2005); Assessment of shallow landslide susceptibility using the artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela, Engineering Geology, Graupe, Daniel, Principles of artificial neural network, 78: 11-27. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.10.004>
- Haque, U., Paula, F. d., Silva Graziella, Devoli., Pilz, J., Zhao, B., Khaloua, A., Wilopoi, W., Andersen, P., Luk, P., Lee, J., Yamamoto, T., Keellings, D. Wuo, J.H. (2019); The human cost of global warming: Deadly landslides and their triggers (1995–2014), Science of The Total Environment, Vol 682: 673-684. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.415>
- Highland, L., Bobrowsky, P. T. (2008); The landslide handbook: a guide to understanding landslides. VA, USA: US Geological Survey Reston. [http://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/C1325\\_508.pdf](http://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/C1325_508.pdf)
- Kerekes, A., Poszet, S., Gal, A. (2018); Landslide susceptibility assessment using the maximum entropy model in a sector of the Cluj–Napoca Municipality, Romania. Revista de geomorfologic (2018) 20: 130-146. DOI: [10.21094/rg.2018.039](https://doi.org/10.21094/rg.2018.039)
- Rossi, M., Guzzetti, F., Salvati, P., Donnini, M., Napolitano, E., Bianchi, C. (2019); A predictive model of societal landslide risk in Italy, Earth-Science Reviews Volu 196, 102849: pp 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.021>

- Tajudin, N., Yaacob, N., mohdali, D., Adnan, N. (2018); Rainfall – landslide potential mapping using remote sensing and GIS at Ulu Kelang, Selangor, Malaysia, Conference Series Earth and Environmental Science 169(1):1-8. DOI: [10.1088/1755-1315/169/1/012080](https://doi.org/10.1088/1755-1315/169/1/012080)
- Tanyas, H., Lombardo, L. (2019); Variation in the landslide-affected area under the control of ground motion and topography, Engineering Geology, Vol 260: pp 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105229>
- Yilmaz, I. (2009); A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by artificial neural networks. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 68(3), 297-306. <https://doi.org/10.1007/s10064-009-0185-2>.

Research Article

## Evaluation and zonation of Landslide hazard with using OWA and ANN methods (case study: Paveh Township)

Sayyad Asghari Saraskanrood<sup>1\*</sup>, Rashed Emami<sup>2</sup>, Elnaz Piroozi<sup>3</sup>

1\*. Associate professor of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

2. MS.c in RS and GIS, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

3. PhD Student of Geomorphology, University of Mohaghegh, Iran

Received: 24-03-2020

Final Revised: 11-02-2021

Accepted: 11-03-2021

### Abstract

Paveh Township has long been affected by landslides due to specific geological and geomorphologic features and anthropic activities. This study aimed to map landslide risk and its relationship with factors affecting their occurrence and compare the ANN model with (OWA) method to assess landslide risk in Paveh Township. Therefore, landslides in the area were first identified using extensive field surveys. Maps of factors affecting landslide occurrence (lithology, slope, slope direction, elevation, precipitation, land use, distance from the waterway, distance from the road, distance from the fault, soil) in GIS software then extract the relevant layers Was done. To perform the OWA model, weighting was performed by the fuzzy method using the Critical and Evaluation and Standardization of benchmark maps and to perform an artificial neural network (MATLAB) software. Each neural network parameter was determined by trial and error method. Then with the final structure of the network with 8 neurons in the input layer, 13 neurons in the hidden layer, and 1 neuron in the output layer. According to the results of the study of slope factors, land use, lithology, and soil, respectively, by weight factor; 0.156, 0.143, 0.139, and 0.131, received the most importance. Which according to the model output (OWA) was 15.53 and 26.64%, respectively, in two very high and high-risk classes, respectively. Due to the output of the neural network 19.88% and 29.82% of the area is located on the high-risk floor. Very high-risk and high-risk areas are mainly located in 15-30% slope, agricultural use, unbearable and weak quaternary structures, and in soils with a high percentage of clay, silt, and marl. The two models were compared and the OWA model had higher accuracy.

**Keywords:** Zonation, Landslide, OWA, ANN, Paveh Township.

\* Corresponding Author Email: asghari@uma.ac.ir

## References

### References (in Persian)

- Abedi Gheshlaghi, H. (2015); Application of Long Distance Measurement and GIS Techniques in Landslide Sensitivity Assessment Case Study: Azarshahr Tea Basin, MSc Thesis, Faculty of Geography and Planning, Tabriz University, Tabriz. [http://www.geomorphologyjournal.ir/article\\_78031.html](http://www.geomorphologyjournal.ir/article_78031.html) [In Persian]
- Abedi Gheshlaghi, H., Valizadeh Kamran, Kh., Rajabi, M. (2016); Evaluation and zoning landslide hazard by using the analysis network process and artificial neural network (case study Azarshahr Chay basin), Quantitative Geomorphological Research, 5 (1): pp 74-60. [In Persian]
- Aghajani, H., Rahnama, M.R., Fattahi, M. (2012); Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average in Mashhad. Geography and Environmental Hazards, 1 (3): 87- 105. [10.22067/geo.v1i3.16943](http://dx.doi.org/10.22067/geo.v1i3.16943) [In Persian]
- Ahmadi, H. (2011); Applied Geomorphology. Vol I. Water Erosion. seventh Edition. University of Tehran Publications, 714 p. [In Persian]
- Ashour, H. (2011); Investigating the Relevance and Attractions of Amol Industrial Town in the Placement of Industrial Units (Small and Medium Industries), Master's Degree in Geography and Urban and Rural Planning, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil. [In Persian]
- Baharvand, S., Syrian, S. (2016); Landslide hazard zonation using artificial neural network (Case study: Sepiddasht-Lorestan, Iran), Journal of Rs and Gis for natural Resources, Volume 6, Number 4: pp. 31-31. [http://girs.iaubushehr.ac.ir/article\\_518870.html](http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_518870.html) [In Persian]
- Entezari, M., Khodadai, F., Sasanpour, F. (2019); Analysis and zonation of geomorphologic hazards (landslide and flood) in the Alborz Province by VIKOR-AHP and Fr models, Physical Geography Research Quarterly, 51 (1): 199-183. [10.22059/jphgr.2019.261347.1007250](http://dx.doi.org/10.22059/jphgr.2019.261347.1007250) [In Persian]
- Fatemi, B., Rezaei, Y. (2015); Azadeh Publications, Third Edition. Tehran, 296 p. [In Persian]
- Hosseini, A., Deljavi, A., Sadeghi, M.M. (2016); Evaluation of different methods of landslide risk zonation in forest ecosystems, Journal of Extension and Development of Watershed Management, 4 (13): pp 14-7. <http://wmji.ir/fa/ManuscriptDetail?mid=5433> [In Persian]
- Khamechian, M., Rakei, B., Abdolmaleki, P., Gahichi, P. (2007); Application of Artificial Neural Network System in Landslide Risk Mapping, Case Study: Sefidar Flock Area in Semnan Province, Journal of Science, Tehran University, 33 (1): pp 57-64. [https://journals.ut.ac.ir/article\\_27051.html](https://journals.ut.ac.ir/article_27051.html) [In Persian]
- Khosravi, M., Jamali, A. (2018); Prediction of landslide change trends in the north of Quchan with regard to factors affecting landslide by neural network method. Cellular-Markov Automation and Logistic Regression, Geography and Environmental Hazards, 7 (27): 17-1. [10.22067/geo.v0i0.71520](http://dx.doi.org/10.22067/geo.v0i0.71520) [In Persian]
- Koraki Nejad, M. (2005); Landslide hazard zonation. Geological Journal, 10 (3): 30-24. [In Persian]
- Madadi, A., piroozi, E., Shirdzadeh Fard, E. (2019); Landslide hazard Zonation in the Aghlaghan chay water shade using ELECTRE model, Geographic Space, 18 (64): pp 177-199. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2048-fa.html> [In Persian]
- Manhaj, M. B. (2002); Fundamentals of Neural Networks, Amirkabir Industrial Press, Tehran Polytechnic, 715 p. [In Persian]
- Mirabadi, M., Hashemi, H., Amini, J. (2018); Applying the AHP model and the Ordered Weighted Average method in Locating Waste Disposal Site of bookan city by using Arc GIS and IDRISI, Geographic Space, 17 (60): 54-39. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-1431-fa.html> [In Persian]
- Moghimi, E., Yamani, M., Rahimi, S. (2013); Assessment and Zoning of Landslide Risk in Roodbar City Using Network Analysis Process, Quantitative Geomorphological Research, N 1: pp 118-103. [http://www.geomorphologyjournal.ir/article\\_77893.html](http://www.geomorphologyjournal.ir/article_77893.html) [In Persian]
- Mohammadi Motlagh, A., (2015). Increasing the instability of domains in Paveh, Access Date, December 12, 2015. <http://tapo.blogfa.com> [In Persian]
- Moradi, N. (2018); Zoning of landslide prone areas using fuzzy model (Case study: Paveh city), 3rd National Conference on Geography and Planning, Modern Architecture and Urban Planning, Qom, pp: 1-9. <https://civilica.com/doc/739379/> [In Persian]
- Rajai, A.H. (2003); Application of Natural Geography in Urban and Rural Planning. First Edition. Home Publications, 406 p. [In Persian]
- Roosbehani, H., Elderemi, A., Dashti, M. (2010); Investigating the Factors of Mass Movement Using the INRF Model (Case Study; Malayer Grand Dam Basin), Conference on the Use of Natural Geography in Environmental Planning, Islamic Azad University of Khorramabad, pp: 1-10. <https://civilica.com/doc/117937/> [In Persian]

Salam Paveh news site., (2016). <http://www.salampaveh.ir> [In Persian]

Salman Mahini, A.R., Math, B., Naimi, B., Babaei Kafakai, S., Javadi Larijani, A. (2008); Ecotourism capability assessment of the Behshahr area using multi-criteria evaluation by using GIS, Journal of environmental science and technology, 11 (1): 189-178. <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=144039> [In Persian]

Shadfar, S., Yamani, M., Namaki, M. (2005); Landslide hazard zonation using information value models and surface density in Chalkarood area, Water and Watershed Journal, 3(1): 62-62. [https://journals.ut.ac.ir/article\\_19186.html](https://journals.ut.ac.ir/article_19186.html) [In Persian]

Young Journalists Club site., (2019). <https://www.yjc.ir> [In Persian]

### References (in English)

Abedi Gheshlaghi, H., Feizizadeh, B. (2017); An integrated approach of analytical network process and fuzzy-based spatial decision making systems applied to landslide risk mapping, Journal of African Earth Sciences, 133: 15-24. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.05.007>

Anbalagan, R., Kumar, R., Lakshmanan, K., Parida, S., Sasidharan, N. (2015); Landslide hazard zonation mapping using frequency ratio and fuzzy logic approach, a case study of Lachung Valley, Sikkim, Geoenvironmental Disasters, 2 (6): 1-17. <https://doi.org/10.1186/s40677-014-0009-y>

Bchari, F.E., Theilen-Willige, B., Ait Malek, H. (2019); Landslide hazard zonation assessment using GIS analysis at the coastal area of Safi (Morocco), Proceedings of the International Cartographic Association, 2, 29th International Cartographic Conference (ICC 2019), 15–20 July 2019, Tokyo, Japan: 1-7. [10.5194/ica-proc-2-24-2019](https://doi.org/10.5194/ica-proc-2-24-2019)

Bragagnolo, L., daSilva, R.V., Grzybowski, J.M.V. (2020); Artificial neural network ensembles applied to the mapping of landslide susceptibility, CATENA, Vol 184, 10424: 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104240>

Caniani D., Pascale S., Sdao F., Sole A. (2008); Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza, Natural Hazards, 45:55–72. <https://doi.org/10.1007/s11069-007-9169-3>

Colkesen, I., Sahin, E., Kavzoglu, T. (2016); Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression, Journal of African Earth Sciences 118: 53-64. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.02.019>

Crosta, B. G. (2009); Dating, triggering, modeling, and hazard assessment of large landslides, Geomorphology, Vol 103: 1-4. DOI: [10.1016/j.geomorph.2008.04.007](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.04.007)

Dai, F. C., Lee, C. F. (2002); Landslide Characteristics and Slope in Stability Modeling using GIS Lantau Island Hong Kong. Geomorphology, 42: 213-228. DOI: [10.1016/S0169-555X\(01\)00087-3](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00087-3)

Diakoulaki, D.; Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995); Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method, Computers and Operations Research, 22 (7): 763-770. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(94\)00059-H](https://doi.org/10.1016/0305-0548(94)00059-H)

Gigovic, L., Drobnjak, S., Pamucar, D. (2019); The Application of the Hybrid GIS Spatial Multi-Criteria Decision Analysis Best–Worst Methodology for Landslide Susceptibility Mapping, International Journal of Geo-Information, 8 (79): 1-29. DOI: [10.3390/ijgi8020079](https://doi.org/10.3390/ijgi8020079)

Gomez, H., Kavzoglu, T. (2005); Assessment of shallow landslide susceptibility using the artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela, Engineering Geology, Graupe, Daniel, Principles of artificial neural network, 78: 11-27. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.10.004>

Haque, U., Paula, F. d., Silva Graziella, Devoli., Pilz, J., Zhao, B., Khaloua, A., Wilopoi, W., Andersen, P., Luk, P., Lee, J., Yamamoto, T., Keellings, D. Wuo, J.H. (2019); The human cost of global warming: Deadly landslides and their triggers (1995–2014), Science of The Total Environment, Vol 682: 673-684. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.415>

Highland, L., Bobrowsky, P. T. (2008); The landslide handbook: a guide to understanding landslides. VA, USA: US Geological Survey Reston. [http://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/C1325\\_508.pdf](http://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/C1325_508.pdf)

Kerekes, A., Poszet, S., Gal, A. (2018); Landslide susceptibility assessment using the maximum entropy model in a sector of the Cluj–Napoca Municipality, Romania. Revista de geomorphologic (2018) 20: 130-146 DOI: [10.21094/rg.2018.039](https://doi.org/10.21094/rg.2018.039).

Rossi, M., Guzzetti, F., Salvati, P., Donini, M., Napolitano, E., Bianchi, C. (2019); A predictive model of societal landslide risk in Italy, Earth-Science Reviews Vol 196, 102849: pp 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.021>

Tajudin, N., Yaacob, N., mohdali, D., Adnan, N. (2018); Rainfall – landslide potential mapping using remote sensing and GIS at Ulu Kelang, Selangor, Malaysia, Conference Series Earth and Environmental Science 169(1):1-8. DOI: [10.1088/1755-1315/169/1/012080](https://doi.org/10.1088/1755-1315/169/1/012080)

Tanyas, H., Lombardo, L. (2019); Variation in the landslide-affected area under the control of ground motion and topography, Engineering Geology, Vol 260: pp 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105229>

Yilmaz, I. (2009); A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by artificial neural networks. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 68(3), 297-306. <https://doi.org/10.1007/s10064-009-0185-2>.