

## صحت‌سنجی روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و رگرسیون چندمتغیره (MR) در پهنه‌بندی زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ولی عصر استان اردبیل)

محمدحسین قویمی پناه<sup>۱</sup>، عبدالواحد خالدی درویشان<sup>۲\*</sup> و محمدرضا قویمی پناه<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۲. استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۳. دکتری تکنیک- زمین‌شناسی، کارشناس زمین‌شناسی شرکت طه (قرارگاه خاتم‌الانبیاء)

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۱۱/۱۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۲/۰۶)

### چکیده

ارائه راه‌کارهای مفید برای پیشگیری و کاهش خسارت‌های ناشی از زمین‌لغزش امری اجتناب‌ناپذیر است. از جمله این راه‌کارها، پیش‌بینی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع این حرکات است. بر همین اساس پژوهش حاضر به مقایسه و ارزیابی صحت دو روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و رگرسیون چندمتغیره (MR) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز ولی عصر با مساحت ۱۹۸ کیلومتر مربع واقع در استان اردبیل پرداخت. شش عامل جهت جغرافیایی، شیب، ارتفاع، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه شناخته شدند. در گام بعدی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با هر دو روش AHP و MR در پنج طبقه تهیه شد. در نهایت، به‌منظور صحت‌سنجی دو روش استفاده‌شده، نقشه‌های تهیه‌شده با شاخص‌های نسبت تراکم (Dr) و شاخص مجموع کیفیت (Qs) مقایسه و ارزیابی شدند. نتایج نشان داد عوامل فاصله از رودخانه، جهت، شیب، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی و ارتفاع به‌ترتیب با مقادیر ۰/۴۲۶، ۰/۱۷۳، ۰/۱۴۵، ۰/۱۳۴، ۰/۰۸۹ و ۰/۰۳۳ در روش تحلیل سلسله‌مراتبی و ۰/۵۳۱، ۰/۱۰۹، ۰/۳۴۴، ۰/۲۷۳، ۰/۱۲۳ و ۰/۰۶۱ در روش رگرسیون چندمتغیره وزن‌دهی شدند. مقدار شاخص نسبت تراکم و شاخص مجموع کیفیت به‌ترتیب، ۵/۵۱ و ۰/۴۴ برای روش تحلیل سلسله‌مراتبی و ۶/۴۵ و ۰/۷۲ برای روش رگرسیون چندمتغیره برآورد شد که نشان داد روش رگرسیون چندمتغیره با میزان ۲۸ درصد مغایرت با واقعیت صحت بیشتری نسبت به روش تحلیل سلسله‌مراتبی با ۵۶ درصد مغایرت با واقعیت برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مطالعه‌شده دارد.

**کلیدواژگان:** حرکات توده‌ای، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، شاخص نسبت تراکم، شاخص مجموع کیفیت.

## مقدمه

حرکت توده‌ای به حرکت حجم نسبتاً زیادی از مواد شامل سنگ و خاک روی یک زیربنای ثابت به دلایل مختلف گفته می‌شود که بر اساس شکل و عامل ایجادکننده آن به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند که از مهم‌ترین و خطرناک‌ترین نوع حرکات توده‌ای زمین‌لغزش است. بنا به تعریف زمین‌لغزش به نوعی از حرکات توده‌ای گفته می‌شود که در آن توده‌ای از سنگ، واریزه‌ها یا خاک در نتیجه نیروی جاذبه به طرف پایین شیب به حرکت درمی‌آیند. از عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش‌ها می‌توان به پارامترهای مربوط به عوامل هیدرولوژی، اقلیم، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، خاک، پوشش گیاهی و دخالت انسان اشاره کرد [۱] که سالانه خسارت‌های جانی و مالی زیادی را بر کشورهای تحمیل می‌کند. بدین منظور براساس پژوهش‌های صورت‌گرفته توسط شبکه موضوعی ژئوتکنیک اروپا (European Geotechnical Thematic Network) زمین‌لغزش به تنهایی ۱۷ درصد از بلایای طبیعی جهان را به خود اختصاص داده است [۲]. کشور ایران نیز به علت موقعیت جغرافیایی، شرایط اقلیمی، وسعت و تغییرات فراوان زمین‌شناختی و ژئومورفولوژی هر ساله بر اثر این پدیده خسارت‌های زیادی را متحمل می‌شود. براساس آمار اولیه بانک اطلاعاتی زمین‌لغزش‌های کشور خسارت ناشی از ۲۵۶۸ زمین‌لغزش بالغ بر ۱۰۷ کشته و ۳۸۶ میلیارد ریال بوده است [۳]. بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع از مهم‌ترین اهداف مدیریتی هم‌سو با توسعه پایدار در حوضه‌های آبخیز و مدیریت شهری پیش‌بینی و کنترل زمین‌لغزش با هدف کاهش خطرات آن است بدین منظور برای رسیدن به هدف یادشده با استفاده از تحلیل‌های هیدرولوژیکی و آماری، نرم‌افزارهای مختلفی برای پیش‌بینی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ارائه شده است [۴]. بر همین اساس به منظور امکان دست‌یابی به روش‌های پیش‌بینی خطرات و شناخت استعداد منطقه برای برنامه‌ریزی و مدیریت فعالیت‌های توسعه‌ای، شناخت ویژگی‌ها و عوامل ایجاد و گسترش زمین‌لغزش‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است [۵]. بر همین اساس تا کنون مطالعات فراوانی درباره زمین‌لغزش‌ها در کشور [۶-۸] و جهان [۹-۱۳] صورت گرفته است. بدین منظور چنگ و همکارانش [۱۴] به بررسی عوامل مؤثر در ایجاد یک زمین‌لغزش بزرگ در منطقه هانگ‌شیانگ

چین پرداختند. نتایج بررسی آنها نشان داد از جمله عوامل مؤثر بر ایجاد این زمین‌لغزش بزرگ ایجاد زیرشویی توسط رودخانه، خاک با ساختمان ضعیف در منطقه، هوازدگی سنگ‌ها و وجود گسل در منطقه بود که طی یک زمین‌لرزه این دامنه به حرکت درآمده است. میا و همکارانش [۱۵] در منطقه چیتاگونگ بنگلادش به بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد زمین‌لغزش‌های منطقه و تأثیر آن بر مسائل اجتماعی، اقتصادی مردم محلی آن منطقه پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد علت اصلی زمین‌لغزش در منطقه به ترتیب ایجاد ترانشه و زیرشویی، وجود ساختمان ضعیف خاک و تغییر کاربری اراضی است. پورقاسمی و همکارانش [۱۶] در پژوهشی به عملکرد سه روش رگرسیون لجستیک، تحلیل سلسله‌مراتبی و روش شاخص آماری در پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های شمال تهران پرداختند که نتایج این مطالعه نشان داد روش رگرسیون لجستیک عملکرد بهتری نسبت به دو روش مطالعه‌شده برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های منطقه داشت. متولی و همکارانش [۱۷] در پژوهشی صحت چهار روش رگرسیون چندمتغیره، منطق فازی، تحلیل سلسله‌مراتبی و رگرسیون لجستیک را در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز طالقان مقایسه کردند که نتایج این پژوهش نشان داد روش رگرسیون لجستیک از نظر صحت مطلوبیت بیشتری نسبت به سایر روش‌های استفاده‌شده در پژوهش برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش برای منطقه مطالعه‌شده داشت. شیران و همکارانش [۱۸] در مطالعه‌ای دو روش رگرسیون چندمتغیره و روش تحلیل سلسله‌مراتبی در پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های حوضه آبخیز کارون را صحت‌سنجی کردند که نتایج این پژوهش نشان داد روش تحلیل سلسله‌مراتبی با داشتن شاخص مجموع کیفیت بیشتر نسبت به روش رگرسیون چندمتغیره مطلوبیت بیشتری برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش در منطقه مطالعه‌شده دارد.

بنابراین، با مرور سوابق پژوهشی در این زمینه و با توجه به اینکه بسیاری از خسارت‌های ناشی از زمین‌لغزش به دلیل رعایت نکردن اصول صحیح در گسترش مناطق مسکونی، ساخت سدها، احداث راه‌ها و تأسیسات و غیره به وجود آمده‌اند، لزوم شناخت مناطق حساس به زمین‌لغزش برای دستگاه‌های اجرایی اهمیت زیادی دارد. در صورتی که دستگاه‌های یادشده از موقعیت این مناطق مطلع شوند،

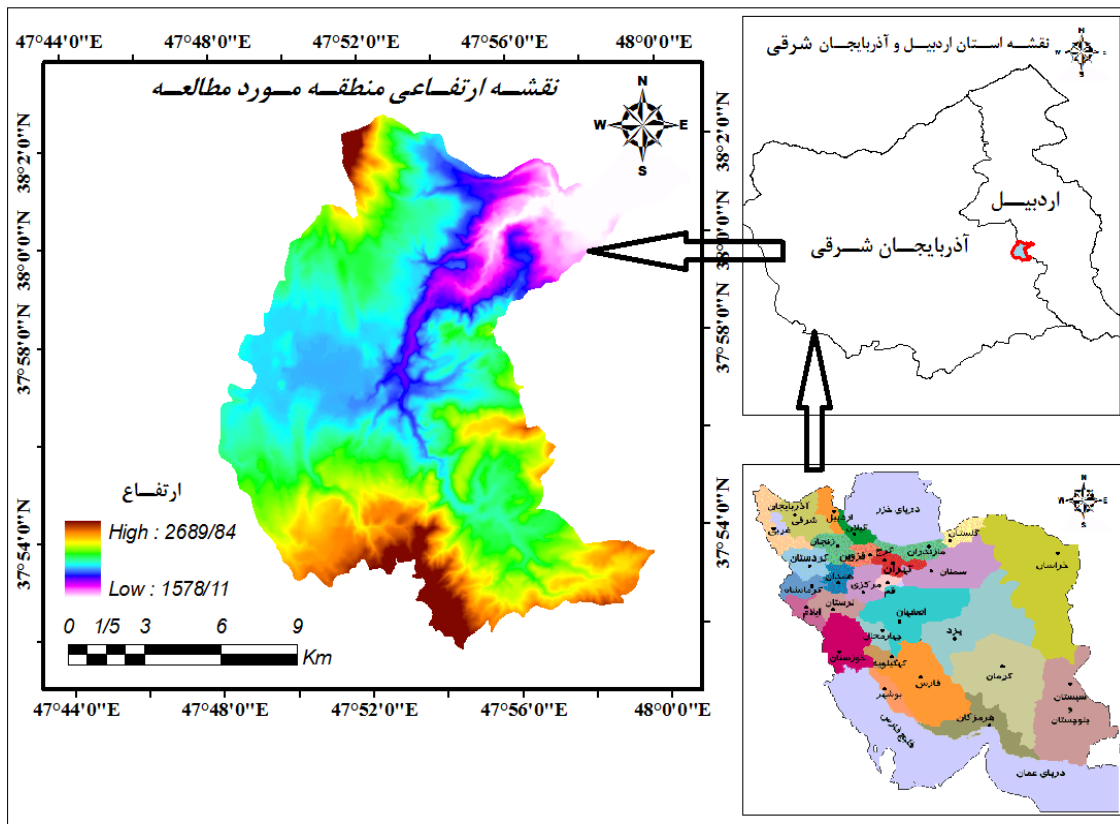
پهنه‌بندی زمین‌لغزش حوضه ولی‌عصر، روشی که بیشترین صحت را در برآورد هدف مد نظر برای منطقه مطالعه‌شده را دارد شناسایی و معرفی کند. کارکرد این دو روش از نظر استفاده کاملاً با هم متفاوت است. به‌بیانی، در جایی که داده‌ها کیفی هستند و نمی‌توان به‌راحتی کمی کرد برای اولویت‌بندی آنها از تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده می‌شود، اما در رگرسیون چندمتغیره باید داده‌ها کمی باشند.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مطالعه‌شده

پژوهش حاضر در حوضه آبخیز ولی‌عصر با مساحت ۱۹۸ کیلومترمربع صورت گرفت که در عرض جغرافیایی ۵۳' ۳۷° تا ۲' ۳۸° شمالی و طول جغرافیایی ۴۸' ۴۷° تا ۵۶' ۴۷° شرقی، در بین استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی (بین شهرستان‌های نیر و سراب) واقع شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه‌شده را در ایران نشان می‌دهد.

مسلماً برای توسعه سازه‌ها در حد امکان از آنها اجتناب می‌کنند یا در صورت اجبار، تمهیدات و نکات فنی لازم را با دقت بیشتری مد نظر قرار می‌دهند. با توجه به این واقعیت‌ها، می‌توان طراحی و به‌کارگیری سیستم‌های هشداردهنده در مناطق لغزش خیز کشور را ضرورتی اجتناب‌ناپذیر دانست. راه‌اندازی چنین سیستم‌هایی در ایران بی‌شک گامی بلند به‌منظور به حداقل رساندن خسارت‌های ناشی از زمین‌لغزش‌ها و نقطه عطفی در مدیریت پایدار این بلای طبیعی خواهد بود. نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش این امکان را برای دستگاه‌های اجرایی مهیا می‌کند که مناطق حساس به زمین‌لغزش را شناسایی کرده و دربارهٔ احداث یا تغییر محل سازه‌های مد نظر تصمیم‌گیری کنند. بدیهی است که روش‌های پهنه‌بندی با توجه به خصوصیات منطقه مطالعه‌شده انتخاب شده و برای مناطق دیگر اعتبار لازم را ندارند. بنابراین، با توجه به اهمیت مسئله، در پژوهش حاضر سعی شده است که با مقایسه صحت دو روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و رگرسیون چندمتغیره (MR)، در



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه‌شده

توجه به اینکه نوع خاک منطقه بیشتر از نوع رس و مارن و شیب آن نیز بین ۱۵ تا ۳۰ درجه است، از این‌رو، این عامل می‌تواند پتانسیل لغزش منطقه را افزایش دهد و به وقوع آن کمک کند. شکل ۲ طبقه‌بندی شیب منطقه مطالعه‌شده را نشان می‌دهد.

## ۲. سنگ‌شناسی

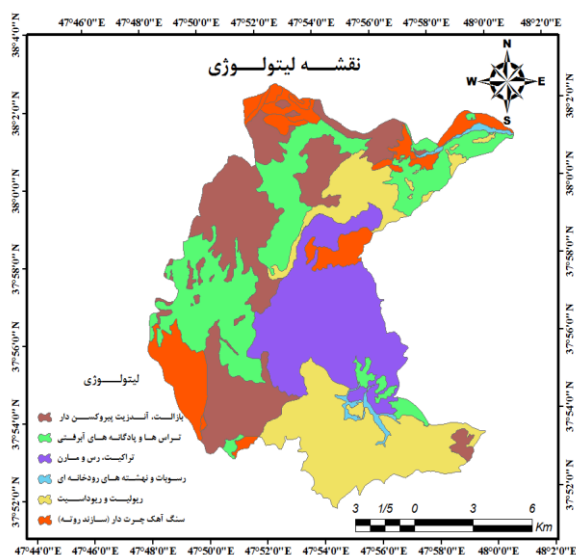
از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش، سنگ‌شناسی مربوط به منطقه است [۲۰]. برای بررسی این عامل نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ برای شناخت وضعیت زمین‌شناسی کلی منطقه تهیه و بررسی شد. در ادامه، براساس تفسیر فتوژئولوژیکی عکس‌های هوایی و پردازش داده‌های ماهواره‌ای در نرم‌افزار Er-Maper و نیز انجام پیمایش‌ها و بررسی‌های دقیق، نقشه زمین‌شناسی منطقه تهیه شد. به‌طور کلی، منطقه مطالعه‌شده از نظر زمین‌شناسی واحدهای متنوعی دارد که بیشتر واحدهای تشکیل‌دهنده آن مربوط به دوران کواترنر و میوسن است. از نظر زمین‌شناسی منطقه مطالعه‌شده بیشتر از سنگ‌هایی مانند بازالت، تراکیت، رس و مارن تشکیل شده است. شکل ۳ و جدول ۱ به‌ترتیب نقشه و ویژگی‌های سنگ‌شناسی منطقه مطالعه‌شده را نشان می‌دهند.

## تعیین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش‌های منطقه

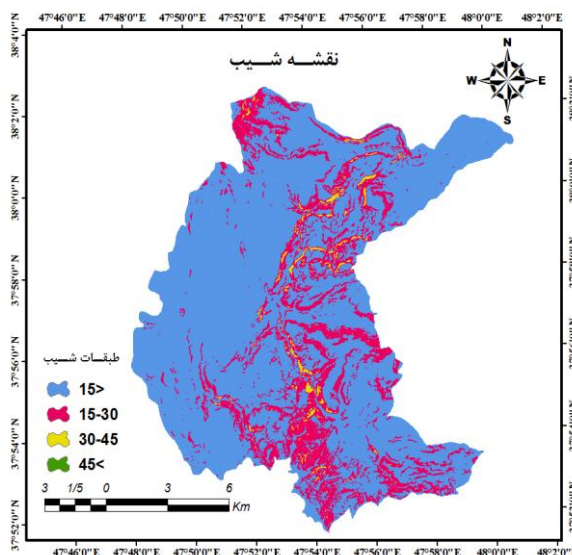
در پژوهش حاضر ابتدا به جمع‌آوری و مطالعه منابع کتابخانه‌ای، مطالب و گزارش‌های مربوط به منطقه مطالعه‌شده اقدام شد. در گام بعد با توجه به موقعیت منطقه، مورفومتری حوزه و مرور پژوهش‌های صورت‌گرفته در مناطق مشابه به منطقه مطالعه‌شده، با پیمایش میدانی و تصاویر ماهواره‌ای عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش‌های منطقه مشخص و نقشه پهنه‌های لغزشی منطقه تهیه شد. سپس با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه به تولید نقشه شیب، ارتفاع و جهت جغرافیایی اقدام شد. نقشه‌های سنگ‌شناسی، فاصله از رودخانه و کاربری اراضی بعد از مشاهدات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزارهای گوگل ارث و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. عواملی مثل بهره‌برداری از اراضی، میزان بارش، وضعیت نفوذپذیری خاک، نوع خاک و رواناب و... نیز در زمین‌لغزش تأثیر دارند.

## ۱. شیب

یکی از علل وقوع زمین‌لغزش، شیب زیاد دامنه است که در خاک‌های رسی بیشترین لغزش در شیب‌های بیش از ۲۰ درصد روی می‌دهد. این خاک‌ها در مقابل این مقدار شیب حساسیت نشان می‌دهند و ناپایدارند [۱۹]. بنابراین، با



شکل ۳. نقشه سنگ‌شناسی منطقه مطالعه‌شده



شکل ۲. نقشه شیب منطقه مطالعه‌شده

جدول ۱. ویژگی‌های سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی

سنگ‌شناسی	زمان تشکیل	سنگ‌شناسی	زمان تشکیل
ریولیت و ریوداسیت	میوسن	تراس‌ها و پادگانه‌های آبرفتی	کواترنری
تراورتن	کواترنری	الوین بازالت، آندزیت پیروکسن‌دار	کواترنری
پیروکلاسیک، عمدتاً پیومیس	کواترنری	تراکیت	میوسن
تراکیت پیروفیبری	میوسن	رسوبات و نهشته‌های رودخانه‌ای	کواترنری

۳. کاربری اراضی

کاربری اراضی و پوشش گیاهی در ایجاد زمین‌لغزش هم‌کارکرد مثبت و هم‌کارکرد منفی دارد [۲۱]. در منطقه مطالعه‌شده با توجه به تخریب شدید پوشش گیاهی بومی، که خود به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم توسط انسان صورت می‌گیرد و با تغییر کاربری اراضی سبب افزایش رطوبت خاک شده و در نتیجه موجب رسیدن خاک منطقه به حد خمیریایی و روانی می‌شود و سرعت حرکت توده خاک را در امتداد دامنه افزایش می‌دهد [۲۱]. شکل ۴ نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی منطقه مطالعه‌شده را نشان می‌دهد.

۴. فاصله از آبراهه‌های اصلی

زیرشویی مواد سبب ایجاد شکستگی کششی در پشت توده شده و به واژگونی توده منجر می‌شود [۲۳]. این پدیده در صخره‌های دریایی یا در دیواره سنگی کناره رودخانه‌ها در مناطق کوهستانی اتفاق می‌افتد که در معرض زیرشویی قرار دارند. بنابراین، با توجه به وجود جریان دائمی در منطقه مد نظر، این امر موجب زیرشویی در پای دامنه می‌شود و به تدریج سبب کاهش وزن توده خاک در پایین‌دست و غلبه نیروی برشی بر مقاومت برشی و سبب تسریع حرکت توده

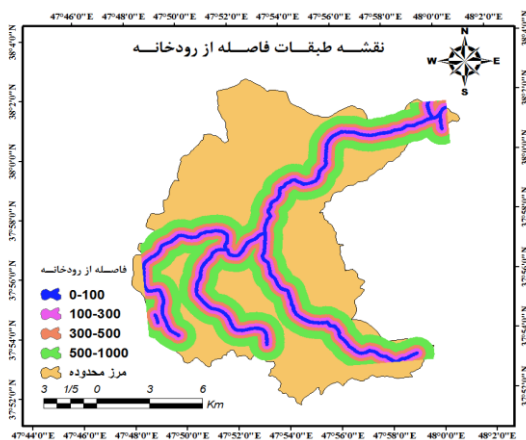
در جهت شیب می‌شود. شکل ۵ نقشه رودخانه و آبراهه‌های اصلی منطقه مطالعه‌شده را نشان می‌دهد.

۵. ارتفاع

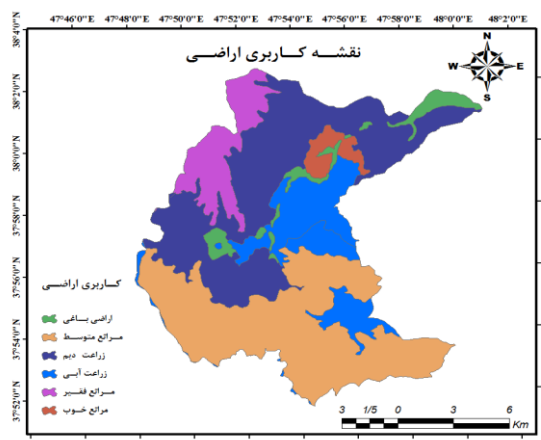
میزان بارندگی، نوع بارندگی و میزان تغییرات دما تأثیر بسزایی در ایجاد زمین‌لغزش ایفا دارند. بنابراین، با توجه به اینکه عوامل یادشده به‌صورت مستقیم به ارتفاع منطقه بستگی دارند و علاوه بر این، با افزایش ارتفاع میزان مقاومت برشی کاهش می‌یابد و سبب افزایش ناپایداری دامنه می‌شود [۲۴]. شکل ۶ نقشه طبقات ارتفاعی منطقه مطالعه‌شده را نشان می‌دهد.

۶. جهت‌های جغرافیایی

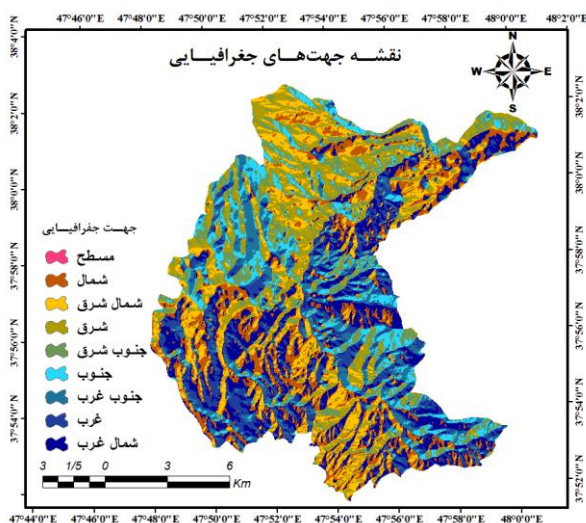
دامنه‌های شمالی و یا دامنه‌های رو به شمال به‌دلیل اینکه مدت کمتری از نور خورشید بهره‌مند می‌شوند، دمای کمتری دارند و چنین امری سبب کاهش تبخیر و افزایش رطوبت خاک می‌شود. بنابراین، آب به تدریج در زمین نفوذ می‌کند و همین امر سبب آب‌گیری مارن یا رس می‌شود و موجب رسیدن به حد خمیریایی و سیلان و افزایش نیروی ثقل و حرکت در روی دامنه خواهد شد [۲۵]. شکل ۷ نقشه جهت‌های جغرافیایی منطقه مطالعه‌شده را نشان می‌دهد.



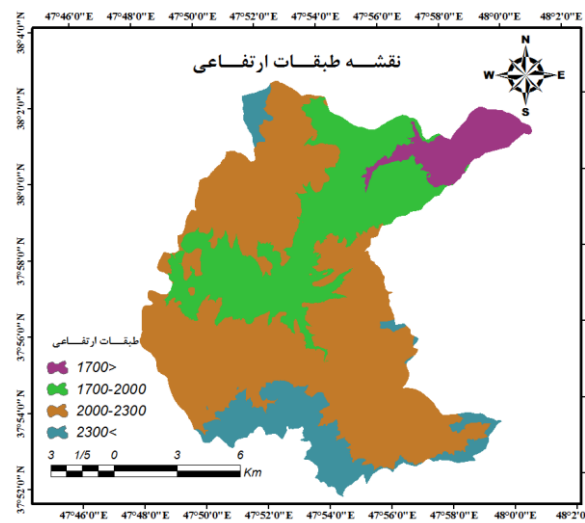
شکل ۵. نقشه فاصله از رودخانه و آبراهه‌های اصلی منطقه



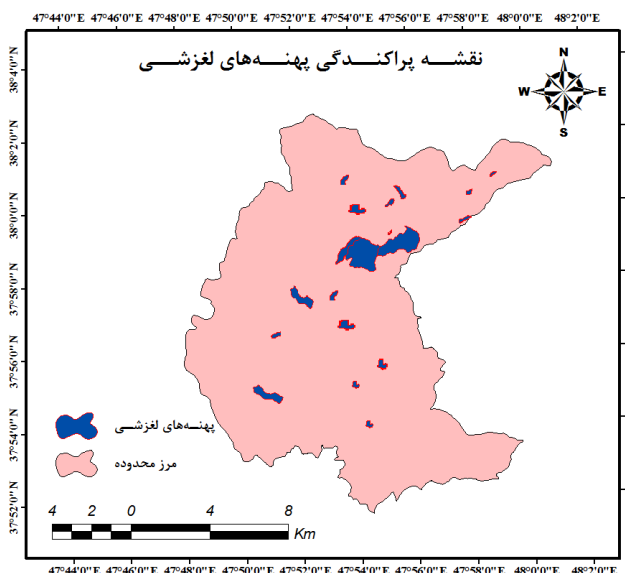
شکل ۴. نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی منطقه



شکل ۷. نقشه جهت‌های جغرافیایی منطقه مطالعه‌شده



شکل ۶. نقشه طبقات ارتفاعی منطقه مطالعه‌شده



شکل ۸. نقشه پهنه‌های لغزشی منطقه مطالعه‌شده

### نقشه پراکنش زمین لغزش

نقشه پراکنش زمین لغزش در همه مطالعات مربوط به زمین لغزش اعم از شناسایی، پایش پهنه‌بندی حساسیت و به‌خصوص ارزیابی و تحلیل خطر و ریسک زمین لغزش به‌عنوان لایه مبنایی و مهم است. بدیهی است صحت و دقت هرچه بیشتر این نقشه موجب تهیه نقشه‌های حساسیت، خطر و ریسک دقیق‌تر و در نتیجه به ارزیابی درست و واقعی از این نقشه‌ها منجر می‌شود. به‌منظور تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها، ابتدا داده‌های لغزشی

به‌صورت نقطه‌ای از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه شد. سپس با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی پهنه‌های لغزشی به تعداد ۲۰ پلی‌گون ثبت شد و در گام بعدی با استفاده از نرم‌افزارهای GIS و Google Earth نقشه مد نظر به‌صورت رقومی تهیه شد. شکل‌های ۸ و ۹ به‌ترتیب نقشه پهنه‌های لغزشی و تصاویری از برخی زمین لغزش‌های بزرگ منطقه مطالعه‌شده را نشان می‌دهند.



شکل ۹. تصاویری از بزرگ‌ترین لغزش‌های منطقه مطالعه‌شده

تأثیر هر یک از زیرمجموعه‌های لایه‌های مختلف محاسبه شد [۲۶]. به‌طور مثال، برای تعیین ضرایب طبقات لایه شیب، با توجه به شرایط منطقه شیب به چهار طبقه تقسیم شد و سپس در هر واحد همگن با ثابت فرض کردن تأثیر سایر عوامل مانند سنگ‌شناسی، جهت و ارتفاع و غیره، لایه واحدهای همگن با لایه پهنه لغزشی منطقه تلفیق شد و مقدار تعداد پیکسل‌های لغزشی و غیرلغزشی در هر طبقه از لایه شیب به‌دست آمد. سپس از تقسیم درصد پیکسل‌های لغزشی قرار گرفته در هر طبقه از لایه شیب به درصد پیکسل‌های غیرلغزشی در همان طبقه میزان ضرایب هر یک از طبقات لایه مد نظر محاسبه شد. سپس برای تعیین وزن هر یک از لایه‌های اصلی با دو روش تحلیل سلسله‌مراتبی و رگرسیون چندمتغیره اقدام شد و نتایج به‌منظور ارزیابی کارایی و دقت مدل در منطقه

### روش پژوهش

برای تعیین ضرایب طبقات هر یک از لایه‌های عوامل مؤثر در زمین‌لغزش منطقه، ابتدا لایه واحدهای همگن تهیه شد. واحدهای همگن واحدهایی هستند که ویژگی‌های مشترکی از نظر همه عوامل مؤثر در زمین‌لغزش منطقه مطالعه‌شده دارند که به واسطه اختلاف حداقل یکی از عوامل یادشده از واحدهای مجاور خود متمایز می‌شوند. بدین‌منظور برای تهیه نقشه واحدهای همگن همه عوامل در محیط نرم‌افزار GIS روی‌هم‌گذاری شد (با دستور Union) و لایه واحدهای همگن به‌دست آمد. سپس برای کمی کردن تأثیر هر یک از عوامل، لایه واحدهای همگن با لایه پهنه‌های لغزشی منطقه در محیط نرم‌افزار GIS روی‌هم‌گذاری شد (Overlay) و با محاسبه نسبت پیکسل‌های لغزشی قرارگرفته در هر یک از واحدهای همگن به پیکسل‌های غیرلغزشی در همان واحد ضرایب

ارزش‌گذاری همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، از یک مقیاس فاصله‌ای بین یک تا نه امتیازدهی شدند.

در نهایت، برای محاسبه وزن هر گزینه از ماتریس مقایسه زوجی استفاده شد. بدین‌صورت که ابتدا مقادیر هر یک از ستون‌ها با هم جمع شد و سپس مقادیر هر عنصر از ماتریس به جمع کل ستون‌های همان عنصر تقسیم شد و در مرحله آخر میانگین عناصر در هر ستون محاسبه شد [۲۷]. بنابراین، اولویت هر یک از عوامل بر اساس مقادیر وزن دریافتی درباره خطر زمین‌لغزش‌ها در منطقه مطالعه شده به دست آمد.

مطالعه‌شده با روش شاخص مجموع کیفیت (QS) به شرح ارائه‌شده در زیر مقایسه شدند.

#### روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

در این روش عناصر هر سطح نسبت به یکدیگر به‌صورت زوجی مقایسه و وزن‌دهی شدند. برای مقایسه و وزن‌دهی به عناصر با توجه به عوامل مؤثر در زمین‌لغزش‌های منطقه مطالعه‌شده به‌صورت یک ماتریس ۶\*۶ ثبت شد. در مرحله بعد ۱۸ پرسشنامه توسط کارشناسان متخصص به‌صورت ارزش‌گذاری عنصر سطر به ستون تکمیل شد که رده‌های

جدول ۲. چگونگی ارزش‌گذاری ارجحیت در ماتریس مقایسه زوجی

مقدار عددی	ترجیحات	مقدار عددی	ترجیحات
۳	کمی مهم	۹	کاملاً مهم‌تر
۱	یکسان	۷	مهم‌تر
۲، ۴، ۶ و ۸	ترجیحات بین فواصل فوق	۵	مهم

#### ارزیابی صحت مدل‌های پژوهش

در این مرحله برای مقایسه و ارزیابی صحت هر یک از روش‌های استفاده‌شده در پژوهش، نقشه‌های پهنه‌بندی‌شده با دو روش تحلیل سلسله‌مراتبی و رگرسیون چندمتغیره با نقشه پراکنش پهنه‌های زمین‌لغزش در محیط نرم‌افزار GIS، با استفاده از شاخص‌های نسبت تراکم (Dr) و شاخص مجموع کیفیت (QS) روی هم‌گذاری شد. به‌همین منظور ابتدا نسبت تراکم با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (۱۲).

$$Dr = \frac{\sum_i^n Si / Ai}{\sum_i^n Ai} \quad (2)$$

در این رابطه  $Si$  = مجموع مساحت زمین‌لغزش‌های واقع در هر رده خطر،  $Ai$  = مساحت i امین رده خطر در نقشه پهنه‌بندی و  $n$  = تعداد رده‌های خطر هستند.

در یک نقشه پهنه‌بندی،  $Dr=1$  معادل است با میانگین تراکم لغزش در کل منطقه و  $Dr=2$  معادل است با دو برابر تراکم لغزش در منطقه، بنابراین هرچه تفکیک بین رده‌های خطر توسط این شاخص بهتر صورت گرفته شده باشد، روش استفاده‌شده برای پهنه‌بندی مطلوبیت و صحت بیشتری دارد. بعد از محاسبه شاخص نسبت تراکم با

#### روش رگرسیون چندمتغیره (MR)

به‌منظور انجام رگرسیون چندمتغیره بین عوامل مؤثر، پس از دستیابی به وزن‌های مربوط به هر یک از عوامل، این اطلاعات برای واحدهای همگن، به‌صورت تعداد تکراری برابر با تعداد واحدهای همگن و به تعداد تیماری برابر با تعداد عوامل مؤثر نهایی به محیط نرم‌افزار SPSS18 منتقل شد و برای ایجاد رگرسیون چندمتغیره از روش گام‌به‌گام استفاده شد [۲۸]. در نهایت، پس از به‌دست‌آوردن مدل در نرم‌افزار SPSS18 این مدل در کلیه لایه‌ها با توجه به وزن آنها اعمال شده و نقشه پهنه‌بندی تهیه شد. نتایج اعمال این روش با درصد اطمینان بیش از ۹۵ درصد تعیین شد. مدل به‌دست‌آمده به‌صورت رابطه ۱ است:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n \quad (1)$$

که در این رابطه  $Y$  = متغیر وابسته (رخداد زمین‌لغزش واحد همگن)،  $B_0$  = ضریب یا مقدار ثابت در معادله رگرسیون خطی،  $B_1$  تا  $B_n$  = ضریب یکم تا  $n$  ام متغیرهای مستقل (عوامل مؤثر در زمین‌لغزش) معادله رگرسیونی و  $X_1$  تا  $X_n$  = متغیرهای مستقل (عوامل مؤثر در زمین‌لغزش) معادله رگرسیونی هستند.



۳۰-۴۵، ۱۷۰۰-۲۳۰۰ و جهت جغرافیایی غرب بیشترین وزن نسبی را در میان طبقات به خود اختصاص دادند. در بین عوامل سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه نیز به ترتیب، زیرلایه‌های رس و مارن، مراتع فقیر و طبقه ۰-۱۰۰ بیشترین وزن نسبی را به خود اختصاص دادند.

#### پهنه‌بندی با روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

در این مرحله نتایج ۱۸ پرسشنامه تکمیل شده با نظرهای کارشناسی، طبق شرح ارائه شده در قسمت روش پژوهش محاسبه شد. نتایج این پرسشنامه‌ها به صورت نهایی در جدول ۴ نشان داده شده است.

نتایج جدول ۴ نشان داد عوامل فاصله از رودخانه، جهت، شیب، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی و ارتفاع به ترتیب با اوزان ۰/۴۲۶، ۰/۱۷۳، ۰/۱۴۵، ۰/۱۳۴، ۰/۰۸۹ و ۰/۰۳۳ در اولویت‌های اول تا ششم قرار گرفتند. بنابراین، در نهایت با توجه به وزن محاسبه شده برای هر یک از لایه‌های مختلف نقشه پهنه‌بندی خطر برای حوضه مطالعه شده در محیط نرم‌افزار GIS تهیه شد.

در نهایت، بر اساس وزن‌های به دست آمده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای لایه‌های عوامل مؤثر، نقشه پهنه خطر برای منطقه مطالعه شده در پنج طبقه پهنه بی‌خطر، خطرپذیری کم، خطرپذیری متوسط، خطرپذیری زیاد و خطرپذیری خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. با توجه به شرح روش کار میزان صحت نقشه تهیه شده با استفاده از شاخص‌های تراکم نسبی (Dr) و شاخص مجموع کیفیت (Qs) ارزیابی شد.

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۵ پهنه با خطرپذیری متوسط با مساحت ۶۵/۴۵ کیلومتر مربع دارای بیشترین پهنه، پهنه با خطرپذیری خیلی زیاد با نسبت تراکمی ۲/۱۳ دارای بیشترین نسبت تراکم در منطقه و پهنه خطرپذیری زیاد با میزان شاخص کیفیت ۰/۱۹۳ دارای بیشترین شاخص کیفیت در نقشه پهنه‌بندی شده با روش تحلیل سلسله‌مراتبی هستند. در نهایت، مقدار شاخص مجموع کیفیت برای ارزیابی صحت روش در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ۰/۴۴ برآورد شد.

استفاده از رابطه ۳ مقدار شاخص مجموع کیفیت (Qs)، محاسبه شد که نشان‌دهنده صحت یا مطلوبیت عملکرد روش مد نظر در پیش‌بینی خطر زمین لغزش منطقه است [۲۹].

$$Qs = \sum_{i=1}^n \left( (Dr - 1)^i \times S \right) \quad (3)$$

در این رابطه Qs = شاخص مجموع کیفیت، Dr = شاخص نسبت تراکم، S = نسبت مساحت خطر به مساحت کل منطقه و n = تعداد طبقه‌های خطر هستند.

مقادیر این شاخص معمولاً بین اعداد یک تا هفت متغیر است. اختلاف بین مقادیر Qs، کمتر از ۰/۱ در نظر گرفته می‌شود. به بیانی، مقادیر با اختلاف کمتر از ۰/۱ تقریباً یکسان در نظر گرفته می‌شوند. در این شاخص هر چه مقدار مجموع کیفیت (Qs) بیشتر باشد، آن روش صحت یا مطلوبیت بیشتری در تفکیک رده‌های خطر دارد و در مجموع نقشه با صحت بیشتری برای پیش‌بینی خطر زمین لغزش در منطقه مطالعه شده ارائه خواهد کرد.

روش تحقیق ابراردی اساسی دارد. دو روش مورد استفاده هر یک به شرایط خاص و داده‌های ویژه‌ای نیاز دارند. وقتی ورودی متفاوت است، بدیهی است که کارایی متفاوت باشد. در ضمن در پهنه‌بندی زمین لغزش بهترین روش رگرسیون لجستیک است که در این زمینه نیز تحقیقاتی انجام شده است.

#### یافته‌ها

پژوهش حاضر با هدف صحت‌سنجی و ارزیابی مطلوبیت دو مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و رگرسیون چندمتغیره به منظور پهنه‌بندی زمین لغزش در حوضه آبخیز ولی‌عصر صورت گرفت. بر این اساس به منظور جمع‌بندی و مقایسه دقیق‌تر، نتایج به دست آمده در زیرمجموعه‌های زیر بحث و بررسی شد.

#### وزن نسبی زیرلایه‌های عوامل مؤثر

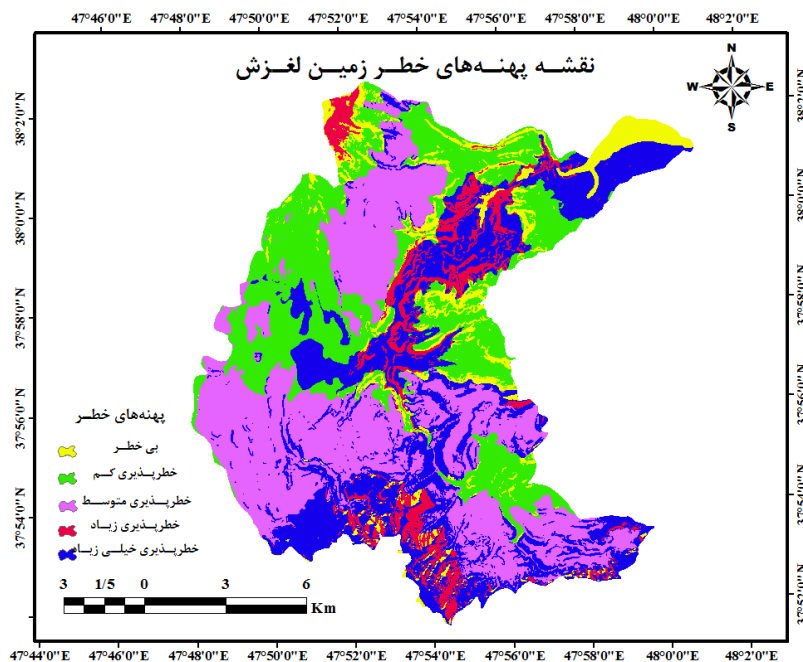
با توجه به شرح ارائه شده در روش پژوهش نتایج مقادیر وزن نسبی زیرلایه‌های عوامل مؤثر در زمین لغزش‌های منطقه مطالعه شده و زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه در جدول ۳ مشاهده می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد در بین عوامل توپوگرافی در لایه‌های شیب، ارتفاع و جهت به ترتیب، طبقات

جدول ۳. وزن نسبی به دست آمده برای زیرلایه‌های عوامل مؤثر در زمین‌لغزش‌های منطقه مطالعه شده

عامل	طبقات	تعداد پیکسل	تعداد پیکسل لغزشی	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های غیرلغزشی	درصد پیکسل‌های غیرلغزشی	نسبت فراوانی	وزن نسبی
شیب	>۱۵	۱۵۵۶۳۹۳	۱۸۵۶۹۳	۴۵/۷۴	۱۳۷۰۷۰۰	۸۷	۰/۵۳	۰/۱۰
	۱۵-۳۰	۴۰۰۳۳۲	۲۰۵۷۸۴	۵۰/۶۹	۱۹۴۵۴۸	۱۲/۳۵	۴/۱۰	۰/۷۵
	۳۰-۴۵	۲۴۸۴۶	۱۴۵۲۷	۳/۵۸	۱۰۳۱۹	۰/۶۵	۵/۴۶	۱
	<۴۵	۱۴	۰	۰	۱۴	۰	۰	۰
سنگ‌شناسی	بازالت	۴۵۴۲۴۵	۷۹۱۲۴	۱۹/۴۹	۳۵۷۱۲۱	۲۳/۸۱	۰/۸۲	۰/۳۳
	پادگانه‌های آبرفتی رس و مارن نهشته رودخانه‌ای ریولیت و ریوداسیت	۴۰۵۲۵۹	۶۰۹۴۲	۱۵/۰۱	۳۴۴۳۱۷	۲۱/۸۵	۰/۶۹	۰/۲۸
	سنگ آهک	۴۱۳۷۶۲	۱۶۰۲۵۶	۳۹/۴۷	۲۵۳۵۰۶	۱۶/۰۹	۲/۴۵	۱
		۲۰۳	۰	۰	۲۰۳	۰/۰۱	۰	۰
		۳۷۷۳۶۷	۵۴۷۹۶	۱۳/۵۰	۳۲۲۵۲۷۱	۲۰/۴۷	۰/۶۶	۰/۲۷
کاربری اراضی	اراضی باغی	۳۳۰۷۴۹	۵۰۸۸۶	۱۲/۵۳	۲۷۹۸۶۳	۱۷/۷۶	۰/۷۱	۰/۲۹
	مراعات متوسط	۱۰۸۵۱۲	۱۵۸۴۸	۳/۹۰	۹۲۶۶۴	۵/۸۸	۰/۶۶	۰/۱۸
	زراعت دیم	۵۰۵۴۱۵	۱۰۴۵۸۷	۲۵/۷۶	۴۰۰۸۲۸	۲۵/۴۴	۱/۰۱	۰/۲۷
	زراعت آبی	۶۰۳۴۸۱	۱۵۴۷۷۲	۳۸/۱۲	۴۴۸۶۹۹	۲۸/۴۸	۱/۳۴	۰/۳۶
	مراعات فقیر	۴۹۱۵۴۷	۱۱۴۵۲	۲/۸۲	۴۸۰۰۹۸	۳۰/۴۷	۰/۰۹	۰/۰۲
فاصله از رودخانه	مراعات خوب	۲۰۲۱۶۷	۹۸۹۷۶	۲۴/۳۸	۱۰۳۱۹۲	۶/۵۵	۳/۷۲	۱
	۱۰۰-۰	۷۰۴۶۲	۲۰۳۵۹	۵/۰۱	۵۰۱۰۳	۳/۱۸	۱/۵۸	۰/۴۲
	۳۰۰-۱۰۰	۲۹۲۶۴۸	۱۳۴۴۸۷	۳۳/۱۲	۱۵۸۱۶۱	۱۶/۳۸	۲/۰۲	۱
	۵۰۰-۳۰۰	۳۵۸۶۵۷	۱۱۱۲۷۰	۲۷/۴۱	۲۴۷۳۸۷	۲۵/۶۳	۱/۰۷	۰/۵۳
	۱۰۰۰-۵۰۰	۳۲۱۳۵۹	۹۵۸۲۶	۲۳/۶۰	۲۲۵۵۳۳	۲۳/۳۶	۱/۰۱	۰/۵۰
ارتفاع	>۱۷۰۰	۳۹۱۷۵۲	۶۴۴۲۱	۱۵/۸۷	۳۳۴۳۱	۳۴/۶۳	۰/۴۶	۰/۲۳
	۲۰۰۰-۱۷۰۰	۱۱۸۹۱۲	۱۰۴۸۲	۲/۵۸	۱۰۸۴۳۰	۶/۸۸	۰/۳۸	۰/۱۸
	۲۳۰۰-۲۰۰۰	۵۱۰۶۳۳	۱۸۰۵۵۴	۴۴/۴۷	۳۳۰۰۷۹	۲۰/۹۵	۲/۱۲	۱
	۲۳۰۰<	۱۱۲۵۹۲۳	۲۰۴۵۰۸	۵۰/۳۷	۹۲۱۴۱۵	۵۸/۴۸	۰/۸۶	۰/۴۱
	مسطح	۲۲۶۱۱۷	۱۰۴۶۰	۲/۵۸	۲۱۵۶۵۷	۱۳/۶۹	۰/۱۹	۰/۰۹
جهت‌های جغرافیایی	شمال	۱۵	۰	۰	۱۵	۰	۰	۰
	شمال شرق	۲۸۳۶۵۶	۷۸۸۷۸	۱۹/۴۳	۲۰۴۷۸۷	۱۳	۱/۴۹	۰/۸۹
	شرق	۲۷۴۷۶۹	۶۵۵۴۷	۱۶/۱۴	۲۰۹۲۲۲	۱۳/۲۸	۱/۲۲	۰/۷۲
	جنوب شرق	۲۸۶۰۰۴	۴۴۵۲۴	۱۰/۹۷	۲۴۱۴۸۰	۱۵/۳۳	۰/۷۲	۰/۴۲
	جنوب	۲۲۴۵۵۵	۱۹۵۴۱	۴/۸۱	۲۰۵۰۱۴	۱۳/۰۱	۰/۳۷	۰/۲۲
	جنوب غرب	۱۷۱۸۴۰	۱۲۸۳۷	۳/۱۶	۱۵۹۰۰۳	۱۰/۰۹	۰/۳۱	۰/۱۹
	غرب	۱۸۰۴۸۳	۲۰۲۱۵	۴/۹۸	۱۶۰۲۶۸	۱۰/۱۷	۰/۴۹	۰/۲۹
	شمال غرب	۲۳۵۹۰۳	۷۱۵۰۸	۱۷/۶۱	۱۶۴۳۹۵	۱۰/۴۳	۱/۶۹	۱

جدول ۴. نتایج وزن نهایی عوامل مؤثر در زمین‌لغزش‌های منطقه با روش تحلیل سلسله‌مراتبی

شرح	فاصله از رودخانه	شیب	جهت	کاربری اراضی	سنگ‌شناسی	ارتفاع	وزن نهایی
فاصله از رودخانه	۰/۴۹۰	۰/۴۹۸	۰/۳۰۱	۰/۵۱۱	۰/۴۲۳	۰/۳۳۳	۰/۴۲۶
شیب	۰/۱۲۳	۰/۱۲۵	۰/۰۵۰	۰/۲۱۹	۰/۱۶۹	۰/۱۸۵	۰/۱۴۵
جهت	۰/۱۶۲	۰/۲۴۹	۰/۱۰۰	۰/۰۱۵	۰/۲۵۴	۰/۲۵۹	۰/۱۷۳
کاربری اراضی	۰/۰۷۴	۰/۰۴۱	۰/۵۰۱	۰/۰۷۳	۰/۰۴۲	۰/۰۷۴	۰/۱۳۴
سنگ‌شناسی	۰/۰۹۸	۰/۰۶۲	۰/۰۳۳	۰/۱۴۶	۰/۰۸۵	۰/۱۱۱	۰/۰۸۹
ارتفاع	۰/۰۵۴	۰/۰۲۵	۰/۰۱۵	۰/۰۳۶	۰/۰۲۸	۰/۰۳۷	۰/۰۳۳



شکل ۱۰. نقشه پهنه‌های خطر زمین لغزش با روش تحلیل سلسله‌مراتبی در منطقه مطالعه‌شده

جدول ۵. صحت نقشه پهنه‌بندی با روش تحلیل سلسله‌مراتبی در منطقه مطالعه‌شده

طبقات	مساحت (Km <sup>2</sup> )	مساحت نسبی (S)	نسبت تراکمی (Dr)	شاخص کیفیت (Qs)
بی خطر	۱۵/۵۰	۰/۰۷۸	۰/۲۸	۰/۰۴۱
خطرپذیری کم	۴۹/۶۰	۰/۲۵۰	۰/۳۵	۰/۱۰۶
خطرپذیری متوسط	۶۵/۴۵	۰/۳۳۰	۰/۸۹	۰/۰۰۴
خطرپذیری زیاد	۱۵/۶۲	۰/۲۶۲	۱/۸۶	۰/۱۹۳
خطرپذیری خیلی زیاد	۵۱/۸۳	۰/۰۷۹	۲/۱۳	۰/۱۰۱
مجموع	۱۹۸	۱/۰۰	۵/۵۱	۰/۴۴

جدول ۶. وزن نهایی عوامل مؤثر در زمین لغزش‌های منطقه مطالعه‌شده با روش رگرسیون چندمتغیره

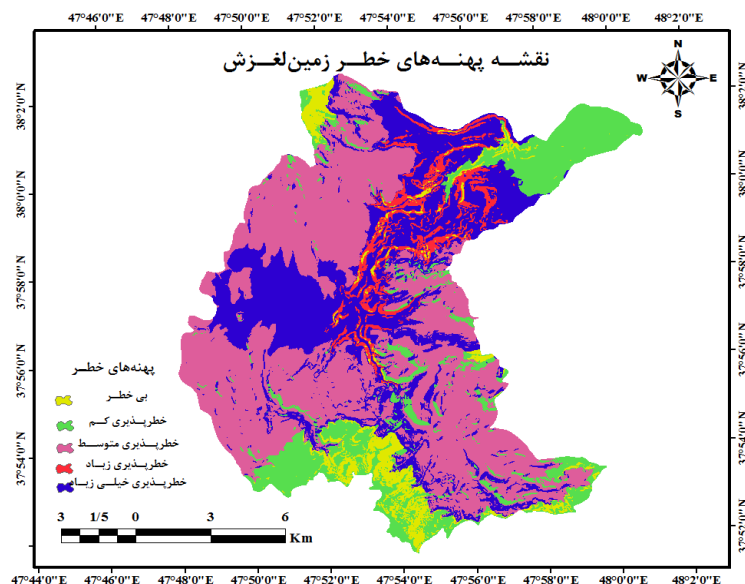
عامل	ضریب رگرسیونی (β)	عامل	ضریب رگرسیونی (β)
شیب	۰/۳۴۴	فاصله از رودخانه	۰/۵۳۱
جهت	۰/۱۰۹	سنگ‌شناسی	۰/۱۲۳
ارتفاع	۰/۰۶۱	کاربری اراضی	۰/۲۷۳

رگرسیون از میان ۳۳ زیرلایه، تعداد هشت طبقه به‌دلیل داشتن سطح اطمینان کمتر از ۹۵ درصد و نداشتن رابطه آماری قوی با سطح لغزش‌های اتفاق‌افتاده در منطقه مطالعه‌شده، حذف شدند. در نهایت، با توجه به ۲۵ زیرلایه باقی‌مانده با سطح اطمینان بیش از ۹۵ درصد و ضریب همبستگی ۰/۸۸، ضرایب مدل رگرسیونی (β) به‌دست آمدند.

**پهنه‌بندی با روش رگرسیون چندمتغیره (MR)**  
 به‌منظور انجام روش رگرسیون چندمتغیره بعد از محاسبات وزن نسبی مربوط به زیرلایه‌های هریک از عوامل مؤثر در زمین لغزش‌های منطقه، اطلاعات مربوط به آن به محیط نرم‌افزار SPSS18 وارد شد که در آن ۳۳ طبقه از شش عامل مؤثر در زمین لغزش‌ها به تعداد تکرار واحدهای همگن در نظر گرفته شد. پس از انجام عملیات

رگرسیون چندمتغیره، نقشه پهنه‌بندی خطر در پنج طبقه با استفاده از نرم‌افزار GIS برای منطقه تهیه شد. سپس صحت و مطلوبیت نقشه تهیه‌شده با روش رگرسیون چندمتغیره، طبق شرح ارائه‌شده در روش پژوهش ارزیابی شد.

با توجه به نتایج جدول ۶ عوامل فاصله از رودخانه، شیب، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی، جهت و ارتفاع به ترتیب با داشتن بیشترین وزن در اولویت‌های اول تا ششم قرار گرفتند و در نهایت با توجه به وزن‌های به‌دست‌آمده از روش



شکل ۱۱. نقشه پهنه‌های خطر زمین‌لغزش با روش رگرسیون چندمتغیره در منطقه مطالعه‌شده

جدول ۷. صحت نقشه پهنه‌بندی با روش تحلیل سلسله‌مراتبی در منطقه مطالعه‌شده

طبقات	مساحت (Km <sup>2</sup> )	مساحت نسبی (S)	نسبت تراکمی (Dr)	شاخص کیفیت (QS)
بی خطر	۱۰/۵۷	۰/۰۵۳	۰/۳۴	۰/۰۲۳
خطرپذیری کم	۳۱/۹۲	۰/۱۶۱	۰/۳۷	۰/۰۶۴
خطرپذیری متوسط	۹۱/۲۵	۰/۴۶۱	۱/۲۴	۰/۰۲۷
خطرپذیری زیاد	۱۰/۵۰	۰/۰۵۴	۲/۰۹	۰/۰۶۴
خطرپذیری خیلی زیاد	۵۳/۸۱	۰/۲۷۲	۲/۴۱	۰/۵۴۰
مجموع	۱۹۸	۱/۰۰	۶/۴۵	۰/۷۲

کشورمان تحمیل می‌کند که از جمله راه‌های کاهش این خسارت‌ها، شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش با روش‌های پیش‌بینی و پهنه‌بندی و ارائه راه‌کارهای اجرایی است. بنابراین، با توجه به اینکه روش‌های مختلف پیش‌بینی و پهنه‌بندی، براساس شرایط خاص مناطق، صحت و مطلوبیت متفاوتی دارند، انتخاب روش مناسب پهنه‌بندی برای منطقه، سبب ارائه راه‌کارهای دقیق‌تر و به‌مراتب کاهش هزینه‌های محسوس و نامحسوس اجرای راه‌کارهای پیشنهادی خواهد شد. بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف صحت‌سنجی روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و رگرسیون

با توجه به نتایج جدول ۷ در این روش پهنه‌بندی نیز پهنه با خطرپذیری متوسط، همانند روش تحلیل سلسله‌مراتبی بیشترین مساحت را نسبت به دیگر پهنه‌ها دربرگرفت و پهنه با خطر خیلی زیاد با بیشترین میزان شاخص نسبت تراکم و شاخص کیفیت، بیشترین مطلوبیت را به خود اختصاص داد. میزان شاخص مجموع کیفیت (QS) نیز برای این روش ۰/۷۲ برآورد شد.

### بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به موقعیت جغرافیایی خاص کشور ایران، هر ساله پدیده زمین‌لغزش خسارت‌های جانی و مالی زیادی را بر

حوضه آبخیز ولی‌عصر و مناطق مشابه به این حوضه را دارد. در نهایت، پیشنهاد می‌شود عملکرد دیگر روش‌های موجود برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این منطقه ارزیابی شده و با پژوهش‌های صورت‌گرفته در این زمینه جمع‌بندی شود و امکان ارائه راه‌کارهای اجرایی بهتر را فراهم آورد.

#### منابع

- [1]. Petschko H, Brenning A, Bell R, Goetz J, Glade T. Assessing the quality of landslide susceptibility maps—case study Lower Austria. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2014; 14(1): 95-118.
- [2]. Oehorst BANO, Kjekstad D, Patel Z, Lubkowski JG, Knoeff G, Akkerman J. Determination of Socio-Economic Impact of Natural Disasters, Assessing socio-economic Impact in Europe, 2005; 173 p.
- [3]. Agricultural Jihad Ministry. Landslide Study Group, Watershed, Ranges and Forests Organization. Report of Nation Landslide Database. 2004.
- [4]. Gaprindashvili G, Van Westen CJ. Generation of a national landslide hazard and risk map for the country of Georgia. *Nat. Hazards.* 2016; 80(1): 69-101.
- [5]. Pradhan B. An assessment of the use of an advanced neural network model with five different training strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *J. Data Sci.* 2011; 9(1): 65-81.
- [6]. Pourghasemi HR, Moradi HR, Aghda SF, Gokceoglu C, Pradhan B. GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran). *Arabian J. Geosciences.* 2014; 7(5): 1857-1878.
- [7]. Shahabi H, Khezri S, Ahmad BB, Hashim M. Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: A comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models. *Catena.* 2014; 115: 55-70.
- [8]. Sangchini EK, Emami SN, Tahmasebipour N, Pourghasemi HR, Naghibi SA, Arami SA, Pradhan B. Assessment and comparison of combined bivariate and AHP models with logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Chaharmahal-e-Bakhtiari Province, Iran. *Arabian J. Geosciences.* 2016; 9(3): 1-15.

چندمتغیره (MR) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز ولی‌عصر به‌سبب وجود زمین‌لغزش‌های بزرگ و خسارت‌های واردشده توسط این پدیده، صورت گرفت. همان‌طور که نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد در بین زیرلایه‌های عوامل مؤثر، در عامل سنگ‌شناسی بیشترین وزن به طبقه رس و مارن، در زیرلایه‌های عامل شیب به طبقه ۳۰-۴۵، در زیرلایه‌های عامل جهت‌های جغرافیایی بیشترین وزن نسبی به جهت جغرافیایی غرب، در زیرلایه‌های عامل فاصله از رودخانه به طبقه ۰-۱۰۰، در عامل کاربری اراضی به طبقه مراتع فقیر و در عامل ارتفاع بیشترین وزن نسبی به طبقه ۱۷۰۰-۲۰۰۰، اختصاص داده شد. نتایج جدول ۴ نشان داد براساس مقایسات زوجی بین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش‌های منطقه توسط کارشناسان، عامل فاصله از رودخانه با وزن نهایی ۰/۴۲۶ در اولویت اول و عامل ارتفاع با وزن نهایی ۰/۰۳۳ در میان شش عامل مؤثر در زمین‌لغزش‌های منطقه مطالعه‌شده اولویت آخر را به خود اختصاص دادند که نتایج به‌دست‌آمده با یافته پژوهش میا و همکارانش [۱۵] همسو بود. بدین‌منظور همان‌طور که جدول ۶ نشان می‌دهد نتایج پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های منطقه با روش رگرسیون چندمتغیره بیان می‌کرد که عامل فاصله از رودخانه با وزن نهایی ۰/۵۳۱ و عامل طبقات ارتفاعی با وزن نهایی ۰/۰۶۱ به‌ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را در رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه در پی داشته‌اند که این نتایج با نتایج پژوهش متولی و همکارانش [۱۷] همسو بوده است. بر همین اساس به‌منظور ارزیابی و مقایسه صحت و مطلوبیت روش‌های مطالعه‌شده مقدار شاخص نسبت تراکم (Dr) و شاخص مجموع کیفیت (Qs) محاسبه شدند. نتایج بیان می‌کرد مقدار شاخص نسبت تراکم (Dr) و شاخص مجموع کیفیت (Qs) به‌ترتیب، ۵/۵۱ و ۰/۴۴ برای روش تحلیل سلسله‌مراتبی و ۶/۴۵ و ۰/۷۲ برای روش رگرسیون چندمتغیره برآورد شد. بر همین اساس روش رگرسیون چندمتغیره با میزان ۲۸ درصد مغایرت بیشترین صحت و روش تحلیل سلسله‌مراتبی با ۵۶ درصد مغایرت نسبت به واقعیت کمترین صحت را برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مطالعه‌شده را دارد. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان داد روش رگرسیون چندمتغیره با داشتن شاخص مجموع کیفیت (Qs) بیشتر نسبت به روش تحلیل سلسله‌مراتبی صحت و مطلوبیت بیشتری برای پهنه‌بندی و پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در

- [9]. Das I, Sahoo S, Van Westen C, Stein A, Hack R. Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India). *Geomorphology*. 2010; 114(4): 627-637.
- [10]. Hyun-Joo O, Saro L. Cross-validation of logistic regression model for landslide susceptibility mapping at Ganeoung areas, Korea. *Disaster Advances*. 2010; 3(2): 44-55.
- [11]. Bai S, Lü G, Wang J, Zhou P, Ding L. GIS-based rare events logistic regression for landslide-susceptibility mapping of Lianyungang, China. *Environ. Earth Sci*. 2011; 62(1): 139-149.
- [12]. Yalcin A, Reis S, Aydinoglu AC, Yomralioglu T. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena*. 2011; 85(3): 274-287.
- [13]. Vasudevan N, Ramanathan K. Geological factors contributing to landslides: case studies of a few landslides in different regions of India. *Earth Environ. Sci*. 2016; 30(1): 012011.
- [14]. Chang ZF, Chen XL, An XW, Cui JW. Contributing factors to the failure of an unusually large landslide triggered by the 2014 Ludian, Yunnan, China, Ms= 6.5 earthquake. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*. 2016; 16: 497-507.
- [15]. Mia MT, Sultana N, Paul A. Studies on the Causes, Impacts and Mitigation Strategies of Landslide in Chittagong city, Bangladesh. *J. Environ. Sci. Nat. Resour*. 2016; 8(2): 1-5.
- [16]. Pourghasemi HR, Moradi HR, Aghda SF. Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Nat. Hazards*. 2013; 69(1): 749-779.
- [17]. Motavali SA, Hosseinzade MM, Esmaili R, Derafshi Kh. Landslide risk zoning assessment using Multivariate Regression (MR), logistic regression (LR), Analytical Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy Logic (FL) (Case Study: Taleghan Watershed). *Quantitative Geomorph. Res*. 2014; 4(1): 1-20. (Persian)
- [18]. Shiran k, Hajihashemijazi MR, Niknezhad SA, Rakhsha S. Landslide Risk Zoning Potential by Analytical Hierarchy Process (AHP) and Multivariate Regression (MR) (Case Study: Upstream of North Karoon Basin). *Journal of Range and Watershed Management, Iranian J. Nat. Res*. 2012; 65(3): 395-409. (Persian).
- [19]. Alkhasawneh MS, Ngah UK, Tay LT, Isa NAM. Determination of importance for comprehensive topographic factors on landslide hazard mapping using artificial neural network. *Environ. Earth Sci*. 2014; 72(3): 787-799.
- [20]. Pourghasemi HR, Pradhan B, Gokceoglu C, Mohammadi M, Moradi HR. Application of weights-of-evidence and certainty factor models and their comparison in landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Arabian J. Geosciences*. 2013; 6(7): 2351-2365.
- [21]. Yalcin A. GIS-based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Catena*. 2008; 72: 1-12.
- [22]. Sharir K, Simon N, Roslee R. Regional assessment on the influence of land use related factor on landslide occurrences in Kundasang, Sabah. In: *Proceedings of the Universiti Kebangsaan Malaysia. Sci. Technol*. 2016; 1784(1): 0600151-5.
- [23]. Giuseppe F, Simoni S, Godt JW, Lu N, Rigon R. Geomorphological control on variably saturated hillslope hydrology and slope instability. *Water Resources Res*. 2016; 52(6): 4590-4607.
- [24]. Alkhasawneh MS, Ngah UK, Tay LT, Mat Isa NA, Al-batah MS. Determination of important topographic factors for landslide mapping analysis using MLP network. *Scientific World J*. 2013. 1-12.
- [25]. Park S, Choi C, Kim B, Kim J. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, analytic hierarchy process, logistic regression, and artificial neural network methods at the Inje area, Korea. *Environ. Earth Sci*. 2013; 68(5): 1443-1464.
- [26]. Regmi AD, Yoshida K, Pourghasemi HR, Dhital MR, Pradhan B. Landslide susceptibility mapping along Bhalubang—Shiwapur area of mid-Western Nepal using frequency ratio and conditional probability models. *J. Mountain Sci*. 2014; 11(5): 1266-1285.

- [27]. Kayastha P, Dhital MR, De Smedt F. Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: a case study from the Tinau watershed, west Nepal. *Comp. Geosciences*. 2013; 52: 398-408.
- [28]. Devkota KC, Regmi AD, Pourghasemi HR, Yoshida K, Pradhan B, Ryu IC, Althuwaynee OF. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling–Narayanghat road section in Nepal Himalaya. *Nat. Hazards*. 2013; 65(1): 135-165.
- [29]. Gee MD. Classification of landslides hazard Zonation methods and a test of predictive capability. Bell, Davi, H (Eds.), *Proceedings 6<sup>th</sup> International Symposium on Landslide*. 1992; 48-56.