



دوره‌ی ۳۳، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۲۹، زمستان ۱۳۹۹، صفحه‌های ۴۶-۳۰

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2020.128407.1280

پژوهش‌های آبخیزداری

اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن در آبخیز چریک‌آباد ارومیه با استفاده از مدل آنتروپی شانون

عبدالعزیز حنیفی‌نیا

دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه ارومیه

حبیب نظرزاد

(نویسنده‌ی مسئول)* دانشیار دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه

سعید نجفی

استادیار دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه

آیدینگ کرنزای

دانش‌آموخته‌ی دکترای آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: h.nazarnejad@urmia.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۰ آبان ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۲۷ اسفند ۱۳۹۸

چکیده

زمین‌لغزش‌ها از رخداد‌های طبیعی و برخی انسان‌ساخت‌اند. ایجاد یک راه‌برد برای کاهش زیان‌های ناشی از زمین‌لغزش‌ها برای حفظ منابع طبیعی و انسانی، ضروری است. هدف از این پژوهش، اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر زمین‌لغزش‌ها با مدل آنتروپی شانون و روش GIS است. با بازدیدهای میدانی و تصویرهای گوگل ارث ۹۰ نقطه‌ی لغزشی در آبخیز چریک‌آباد ارومیه شناسایی شد. لایه‌های بارش، ارتفاع، درصد شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، کاربری زمین، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی بهنجارشده (NDVI) و عناصر خطی مانند فاصله از آبراه، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از روستا عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش به کار گرفته شد و نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی تهیه و رقومی شد. اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر با روش آماری آنتروپی شانون نشان داد که به ترتیب لایه‌های کاربری زمین، فاصله از آبراه و فاصله از گسل بیش‌ترین تأثیر را بر وقوع زمین‌لغزش‌ها داشت و کم‌ترین تأثیر مربوط به لایه‌های فاصله از روستا، فاصله از جاده است. پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با مدل و ارزیابی دقت آن با منحنی عمل‌کرد نسبی سامانه (ROC) و با سطح زیر منحنی (AUC) ۰/۸۷۹ بیان‌گر دقت خیلی خوب مدل برای منطقه بود. با توجه به این‌که حدود ۳۲٪ از آبخیز در منطقه‌هایی با حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است، پیشنهاد می‌شود برای کاهش نسبی خطر لغزش در آن‌جا، از تغییر کاربری در منطقه‌های مستعد زمین‌لغزش اجتناب گردد.

واژگان کلیدی: آبخیز چریک‌آباد، آنتروپی شانون، زمین‌لغزش، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، منحنی عمل‌کرد نسبی سامانه

مقدمه

جوامع انسانی به‌طور مداوم در معرض خطر بلاهای طبیعی قرار دارند. افزایش تراکم جمعیت سبب افزایش تعرض و بهره‌گیری منابع طبیعی شده و در شکلی که اقدامات مناسب جهت پیش‌گیری از زیان‌های بلایای طبیعی ناشی از دخالت‌های انسان شکل‌نگیرد، افراد بیش‌تری تحت تأثیر این زیان‌ها قرار خواهند گرفت. از انواع بلایای طبیعی که سالانه زیان‌های زیادی به جان و مال مردم، تأسیسات و زیرساخت‌های حساس وارد می‌کند، زمین‌لغزش‌ها است (آمبروسی و همکاران ۲۰۱۸؛ ژو و همکاران ۲۰۱۸). زمین لغزش شامل حرکت تند یا کند مواد سنگی، حاکی یا مجموع هر دو روی دامنه به‌سمت پایین تحت تأثیر نیروی جاذبه است (کروستا ۲۰۰۴) که در آن سرعت حرکت مواد در همه‌ی نقاط از بالا تا پایین یکسان است (احمدی ۲۰۱۲). زمین‌لغزش، یکی از مهم‌ترین خطرهای زمین‌ریخت‌شناسی با زیان‌های بوم‌شناختی و اقتصادی فراوان است که منجر به میلیاردها دلار زیان مالی و از بین‌رفتن هزاران نفر در سال می‌شود. در کشورهای درحال توسعه هر ساله بیش از ۰/۵٪ تولید ناخالص ملی در اثر زمین‌لغزش از بین می‌رود (چن و همکاران ۲۰۱۵). زمین‌لغزش‌ها در ایران نیز از شایع‌ترین مخاطرات طبیعی دانسته شده و سالانه زیان‌های جانی و هزینه‌های مالی فراوانی را برای بازسازی منطقه‌های آسیب دیده بر بوجه کشور تحمیل می‌کنند (زارع و همکاران ۲۰۱۳). با توجه به اهمیت موضوع شناخت عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌ها، اولویت‌بندی این عامل‌ها براساس اندازه‌ی تأثیر، شناخت شرایط ایجادکننده و توسعه‌ی زمین‌لغزش‌ها و شناسایی مکان‌هایی با توان خطرپذیری زیاد ضروری به‌نظر می‌رسد (رحمان‌زندگی و همکاران ۲۰۱۸؛ انتظاری و جلیلیان ۲۰۱۹). با توجه به این‌که در اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر زمین‌لغزش‌ها و مدل‌های مختلفی به‌کاررفته‌است، در این پژوهش از مدل آنتروپی شانون در اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر زمین‌لغزش‌های آبخیز چریک‌آباد ارومیه بهره‌گرفته و تأثیر عامل‌های مؤثر در این پدیده بررسی شد.

دوکوتا و همکاران (۲۰۱۳) در کشور نپال با مدل‌های شاخص آنتروپی و وایازی پشتیبان، نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش را تهیه کردند. در این مطالعه، شیب، جهت، شیب، ارتفاع، انحنای زمین، کاربری زمین،

سنگ‌شناسی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، شاخص توان آبراه، شاخص حمل رسوب و شاخص رطوبت پستی‌وبلندی عامل‌های مؤثر در لغزش به کارگرفته شدند. نتایج اعتبارسنجی نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت به‌وسیله‌ی منحنی تشخیص عمل کرد نسبی و ۳۰٪ داده‌های آموزشی نشان داد که نقشه‌ی تهیه‌شده با شاخص آنتروپی با سطح زیر منحنی ۹۰/۱۰٪ دارای دقت زیادی است. نتیجه‌های یوسف و همکاران (۲۰۱۶) در تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش با مدل‌های نسبت فراوانی، وزن واقعه، شاخص آنتروپی و دمپستر-شیفر نشان داد که نرخ پیش‌بینی برای تمامی مدل‌های به‌کاربرده شده بیش از ۹۰٪ است. هانگ و همکاران (۲۰۱۷) با سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور و مقایسه‌ی عمل کرد کلی سه روش نسبت فراوانی (FR)^۱، ضریب اطمینان (CF)^۲ و شاخص آنتروپی (IOE)^۳ در تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت‌پذیری به زمین‌لغزش‌های ناشی از بارندگی در ناحیه‌ی چانگ‌ران چین، و ارزیابی مدل‌ها با منحنی تشخیص عمل کرد نسبی سامانه (ROC)^۴، نشان دادند که تمام مدل‌ها در هر دو روش آموزش و اعتبارسنجی خوب عمل می‌کند. نتیجه‌های محمدخان و همکاران (۲۰۱۵) در توان‌سنجی پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با مدل آنتروپی شانون در منطقه‌ی شیرپناه استان کرمانشاه نشان داد که عامل‌های فاصله از گسل، شیب، ارتفاع، سنگ‌شناسی و جهت شیب به‌ترتیب بیش‌ترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه داشته‌است. نتیجه‌های شیرانی (۲۰۱۷) در تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در آبخیز سرخون کارون با روش‌های آنتروپی شانون و تئوری بی‌زین، حاکی از دقت خوب مدل‌های نام برده‌شده در برآورد پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه‌ی بررسی‌شده است. نتیجه‌های تیموری یانسی و همکاران (۲۰۱۷) در اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر با بیشینه‌ی آنتروپی در آبخیز چهاردانگه‌ی استان مازندران نشان داد که لایه‌های ارتفاع، درجه‌ی شیب، انحنای سطح و کاربری زمین بیش‌ترین تأثیر را بر رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه داشته‌است و ۵۱/۰۵٪ منطقه‌ی بررسی‌شده در طبقه‌ی حساسیت زیاد و خیلی‌زیاد به وقوع زمین‌لغزش قرار دارد. عابدینی (۲۰۱۸) ارزیابی و مقایسه‌ی نتیجه‌های مدل‌های عامل ریسک جزئی زمین‌لغزش (L NRF)^۵ نسبت فراوانی (FR) و مدل فرآیند سلسله مراتبی (AHP)

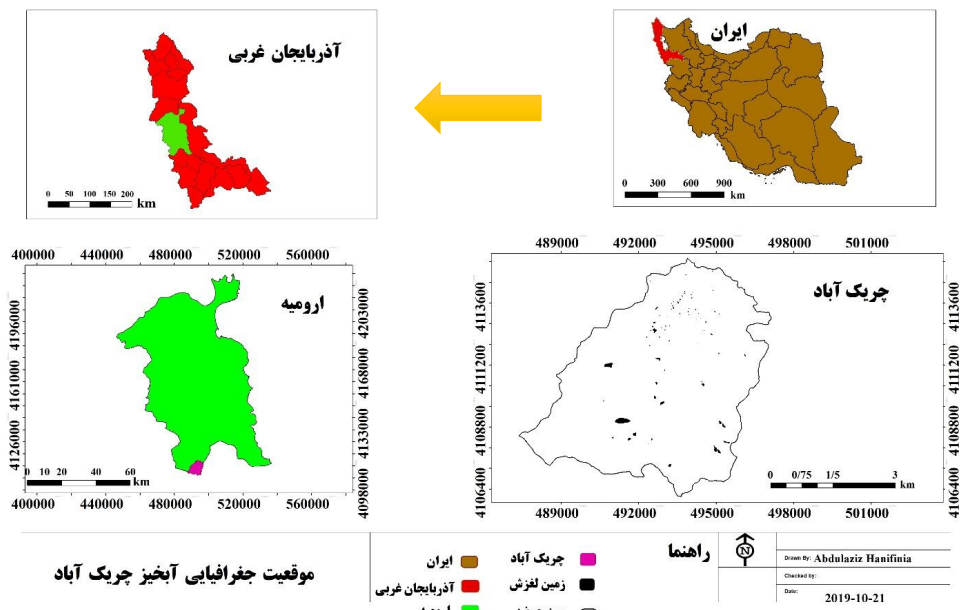
- 1-Frequency Ratio
- 2-Certainty Factor
- 3-Index Of Entropy
- 4-Receiver Operating Characteristic
- 5-Landslide Numerical Risk Factor

محدوده‌ی مطالعاتی فراسرد یا ارتفاعی نیمه‌مرطوب سرد و متوسط بارندگی سالانه براساس داده‌ی ایستگاه‌های مجاور ۵۳۰ میلی‌متر برآورد شده است. از نظر زمین‌شناسی آبخیز در ناحیه‌ی سنج-سیرجان است. از مهم‌ترین سازندهای موجود در آبخیز واحد سنگی آهکی پرمین، همتافت سیلوانا و سازندهای سلطانیه باروت است. تنوع واحدهای سنگی-رسوبی در منطقه بسیار زیاد است به طوری که مجموعه‌ی از سنگ‌های نفوذی، دگرگونی و رسوبی به همراه واحدهای آبرفتی در کنار هم قرار گرفته‌اند. سنگ‌شناسی غالب آبخیز شامل سنگ‌های افیولیتی، بازی و فوق بازی، سنگ‌های آهکی، دولومیت‌ها، شیل‌ها، کنگلومراها و در دشت‌ها از رسوبات کواترنری تشکیل شده است که بیش‌تر آن‌ها مربوط به اواخر دوره‌ی کرتاسه از دوران مزوزویک تا عصر حاضر است که با روند عمومی شمال غربی-جنوب شرقی رخ‌نمون دارند. در این آبخیز ناهمواری‌ها، زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی، فعالیت‌های انسانی و پوشش گیاهی شرایط مناسبی را برای وقوع پدیده‌های زمین‌ریخت‌شناسی مختلف ایجاد کرده است. در شکل‌گیری ساختارهای موجود در این منطقه عامل‌هایی مانند برخورد صفحه‌ی ایران و توران، عمل‌کرد گسل‌راندگی و سرانجام عمل‌کرد گسل‌های امتداد لغز شمال غربی-جنوب شرقی نقش بسیار مهمی داشته‌اند. هوازگی شدید باعث افزایش خاک در سطح سنگ‌شناسی منطقه شده است. به همین دلیل خاک حاصل از فرسایش این سنگ‌ها زمین‌های حاصل‌خیزی را برای کشاورزی این منطقه ساخته است (محمدنژاد آروق و اصغری سراسکانرود ۲۰۱۸). اغلب کاربری زمین آبخیز مرتع است اما در قسمت‌های پایین‌دست آبخیز و نزدیک به روستا افزایش تغییر کاربری سبب افزایش اهمیت این عامل شده است.

را برای تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت‌پذیری به زمین‌لغزش در آبخیز نجیان استان لرستان به کار برد. نتیجه‌ها بعد از ارزیابی با شاخص کیفیت جمع (Qs) نشان داد که نسبت فراوانی و مدل فرایند سلسله‌مراتبی تحلیلی از LNRF دارای عمل‌کرد بهتری بود. به‌طور کلی برای ارزیابی و تهیه‌ی نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش‌ها با روش‌های مختلف می‌توان نقشه‌ی حساسیت به زمین‌لغزش را تهیه کرد. در این پژوهش برای پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش از روش آنتروپی‌شانون بهره‌گرفته شد. ارزیابی مدل آنتروپی‌شانون با محققان مختلف از جمله (تیموری‌یانسری و همکاران ۲۰۱۷؛ عرب‌عامری و همکاران ۲۰۱۸؛ شیک و همکاران ۲۰۱۹) نشان داد که این مدل دارای عمل‌کرد خیلی خوب در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش‌ها است. تهیه‌ی نقشه‌ی خطر وقوع لغزش در آبخیز برای انتخاب محل و کاهش زیان‌های ناشی از زمین‌لغزش‌ها در آبخیزهای مشابه این آبخیز کارآمد است.

مواد و روش‌ها

آبخیز چریک‌آباد با مساحت ۵۱۸۰ هکتار و موقعیت جغرافیایی $51^{\circ}44'18''$ تا $51^{\circ}44'18''$ طول شرقی و $37^{\circ}06'07''$ تا $37^{\circ}11'03''$ عرض شمالی در جنوب غربی شهرستان ارومیه از توابع استان آذربایجان غربی است (شکل ۱). آبخیز چریک‌آباد آبخیز مرزی مشترک بین سه کشور ایران عراق و ترکیه است. رسوبات خروجی از آبخیز وارد رودخانه‌ی باراندوزچای می‌شود که از مهم‌ترین منابع تغذیه‌کننده‌ی دریاچه‌ی ارومیه است؛ بنابراین شناخت زمین‌لغزش‌ها در این آبخیز برای مدیریت بهتر آبخیز و در نهایت مدیریت دریاچه‌ی ارومیه ضروری است. حداکثر ارتفاع آبخیز از سطح دریا ۳۴۷۳ متر، و حداقل ارتفاع آن ۱۶۲۸ متر است. شیب متوسط آبخیز ۱۷/۶٪ است. براساس روش دومارتن اقلیم



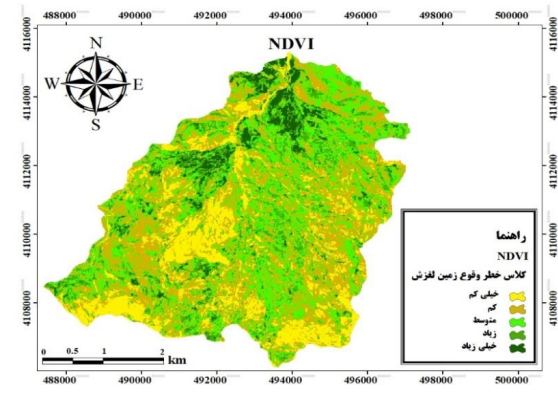
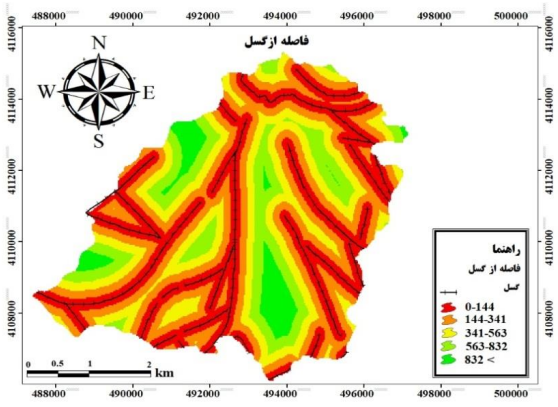
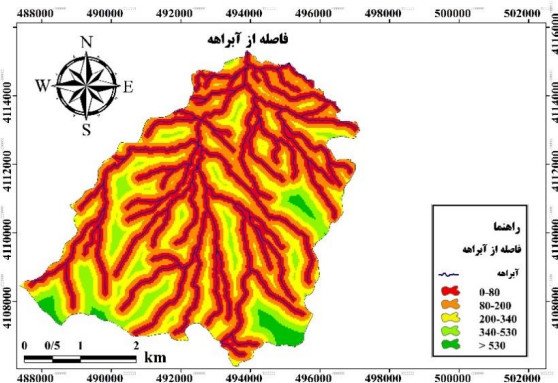
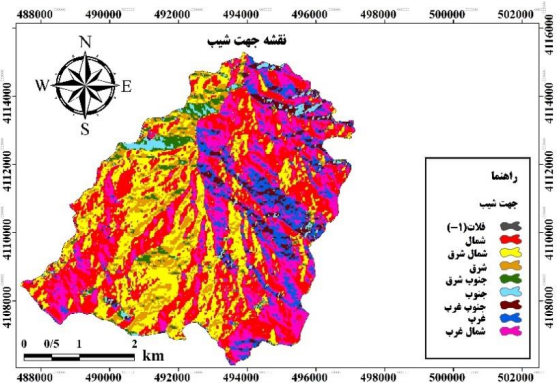
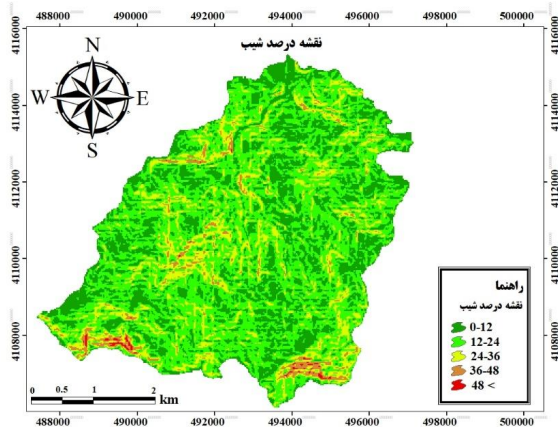
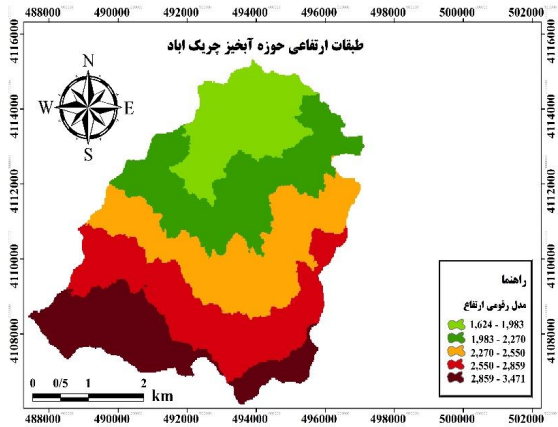
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخیز چریک‌آباد در ایران، استان آذربایجان غربی و شهرستان ارومیه به همراه نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها.

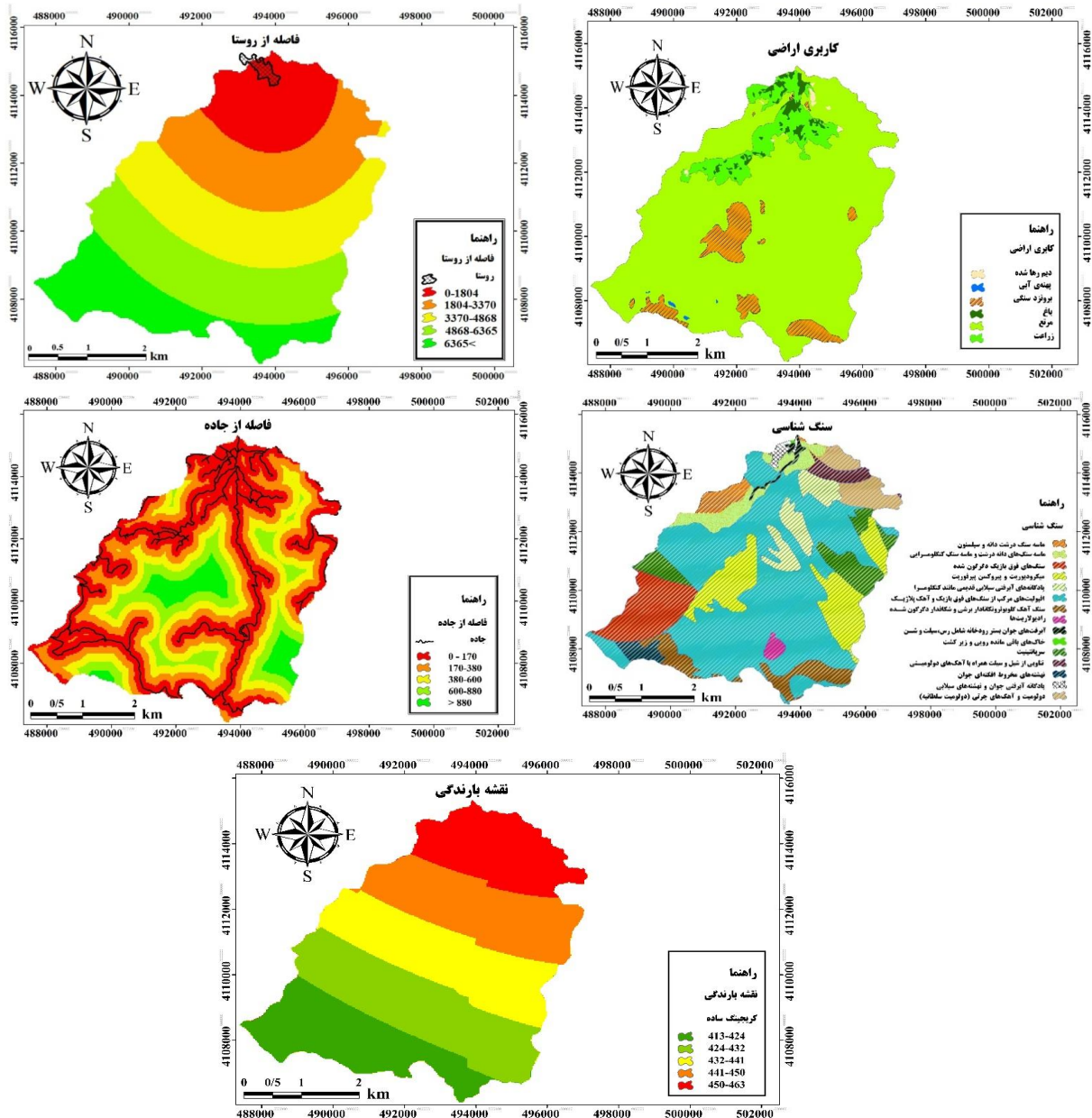
روستا بهره‌گرفته‌شد. پس از تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری زمین، با بازدید میدانی و تصویرهای گوگل ارث سال ۲۰۱۸ اصلاح و تدقیق شد. نقشه‌ی شاخص پوشش گیاهی تفاضلی بهنجارشده (NDVI) با تصویر ماهواره‌ی Sentinel-2 و از رابطه‌ی ۱ محاسبه شد. IR باند مادون قرمز و R باند قرمز طیف الکترومغناطیسی است. از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه‌ی سیلوانه برای تهیه‌ی لایه‌های فاصله از گسل و سنگ‌شناسی بهره‌گرفته‌شد.

$$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R} \quad 1$$

در آبخیز انتخابی ایستگاه هواشناسی نیست، بنابراین از داده‌های بارش ایستگاه‌های مجاور در آبخیزهای روضه‌چای، اشنویه و باراندوزچای بهره‌گرفته و متوسط بارندگی آبخیز ۵۳۰ میلی‌متر برآورد شد.

برای گردآوری اطلاعات بازدیدهای میدانی گسترده در منطقه، مطالعات کتابخانه‌یی و مراجعه به اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری و سازمان آب منطقه‌یی استان آذربایجان غربی انجام شد. برای تهیه‌ی نقشه‌ی پراکنش از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) برای ثبت نقاط لغزشی در بازدیدهای میدانی و گوگل ارث (Google Earth) برای بستن مرز آبخیز و ثبت نقاط لغزشی که به علت صعب‌العبور بودن منطقه دسترسی به آنان مشکل بود، به کاررفته‌است. لایه‌های بارش، ارتفاع، درصد شیب، جهت شیب، کاربری زمین، NDVI، سنگ‌شناسی، فاصله از آبراه، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از روستا یازده عامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های آبخیز شناسایی و نقشه‌ی لایه‌ها در ArcGIS تهیه و رقومی شد. از نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک (۱۲/۵×۱۲/۵) برای تهیه‌ی لایه‌های طبقه‌های ارتفاعی، درصد شیب، جهت شیب، و عناصر خطی فاصله از آبراه، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از





شکل ۲- نقشه‌های عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌ها در آبخیز چریک‌آباد ارومیه.

عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش وزن یکسانی دارند، اگر یکی از عامل‌ها تأثیر بیشتری داشته است اندازه‌ی اثر آن نادیده گرفته می‌شود (راماکیشنا و همکاران ۲۰۰۵). بنابراین این نظریه می‌تواند همچون رویکرد مدیریتی تأثیر بسزایی در شناسایی عامل‌های مؤثر و اندازه‌ی تأثیرگذاری آن‌ها داشته باشد (شارما و همکاران ۲۰۱۰). در این پژوهش، نسبت فراوانی برای تعیین ارتباط بین زمین‌لغزش‌ها و اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌ها به کار گرفته شد. روش نسبت فراوانی روشی احتمالاتی بر پایه‌ی رابطه‌ی ۲ است که رابطه‌ی بین توزیع زمین‌لغزش‌ها و هریک از عامل‌های مؤثر

آنتروپی یکی از رویکردهای مدیریتی است که در یک سامانه برای برخورد با بی‌نظمی، بی‌ثباتی، اغتشاش و نبود یقین به کار برده می‌شود (شانون ۱۹۴۸، یوفنگ و فنگ‌ژیانگ ۲۰۰۹). آنتروپی بیان‌گر آن است که چگونه از بین عامل‌های مؤثر هدف می‌توان مهم‌ترین عامل‌ها را تخمین زد، و متغیرهایی را که بیش‌ترین تأثیر را در رخداد لغزش دارند مشخص می‌کند. از آن‌جا که در پهنه بندی حساسیت زمین‌لغزش، بسته به شرایط منطقه معمولاً عامل‌های مختلفی تأثیرگذار است و در تعیین اندازه‌ی خطر با مدل‌های آماری دو متغیره و احتمالاتی نظیر بیزین همی

تفاوت پوشش گیاهی، سنگ‌شناسی، فاصله از آبراه، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از روستا مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های آبخیز شناسایی و نقشه‌ی لایه‌های آن تهیه و به‌حالت رستر درآورده شد. براساس فراوانی وقوع زمین‌لغزش‌ها در آبخیز مطالعاتی زیرگروه‌هایی برای این عامل‌ها در نظر گرفته شد. با نسبت فراوانی و روش شاخص آنتروپی وزن‌نهایی هر یک از لایه‌های اطلاعاتی و زیرمعیارها مشخص شد (روابط ۳ تا ۸). نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش تهیه و با روش شکست‌های طبیعی به پنج طبقه با خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد. منحنی ROC نموداری است با نسبت پیکسل‌هایی که به اشتباه با مدل زمین‌لغزش شناسایی شد، با نقاطی که در واقعیت فاقد زمین‌لغزش بود. روی محور افقی (حضور کاذب یا ۱-Specificity) و در مقابل آن نسبت پیکسل‌هایی که به درستی با مدل دارای زمین‌لغزش شناسایی شد (حضور واقعی یا Sensitivity) روی محور عمودی ترسیم می‌گردد (کرندادی و همکاران ۲۰۱۸). مساحت زیر این منحنی AUC است و اندازه‌ی ۰/۵ آن معادل مدل خنثی (نتیجه‌های ناشی از تصادف) بوده‌است و هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر شود کارایی مدل افزایش می‌یابد (پونیتوس و شناپدر ۲۰۰۱). منحنی ROC با افزونه PMT در محیط ArcGIS 10.4 ترسیم شد. مقادیر AUC از ۰/۵ تا ۱ متغیر بود. طبقه‌بندی و ارزیابی کیفیت مدل برای تعیین اندازه‌ی دقت آن با مساحت سطح زیر منحنی به شکل (۰/۹-۱، عالی؛ ۰/۸-۰/۹، خیلی خوب؛ ۰/۷-۰/۸، خوب؛ ۰/۶-۰/۷، ضعیف) تعیین کننده است (هاسمر و لمسهوف ۲۰۰۰).

نتایج و بحث

وزن عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در جدول ۱ آورده شده است.

برخداد زمین‌لغزش است (تای و همکاران ۲۰۱۴).

$$FR = \frac{A_i}{A_{ci}} \quad 2$$

A_i درصد در هر طبقه از عامل‌های مؤثر، A_{ci} درصد مساحت همان طبقه از عامل‌های مؤثر، و FR نسبت فراوانی است. سایر روابط به‌کارگرفته‌شده در اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های آبخیز چریک‌آباد با مدل آنتروپی‌شانون شامل رابطه‌های ۳ تا ۸ است که در آن FR نسبت فراوانی هر طبقه، E_{ij} ارزش آنتروپی هر عامل و گروه‌های مرتبط با آن، H_j و H_{jmax} مقادیر آنتروپی و ماکزیمم آنتروپی، J ضریب اطلاعات، V_{ji} درجه‌ی انحراف عدم اطمینان است و سرانجام وزن نهایی V_j هر عامل از رابطه‌ی ۸ محاسبه شد.

$$E_{ji} = \frac{FR}{\sum_{j=1}^m FR} \quad 3$$

$$H_j = -\sum_{i=1}^{S_j} E_{ji} \times \log_2 E_{ji}, \quad j = 1 \dots n \quad 4$$

$$H_{jmax} = \log_2 S_j, \quad S_j - \text{number of classes} \quad 5$$

$$I_j = \frac{H_{max} - H_j}{H_{max}} \quad I = (0 - 1), \quad j = 1 \dots n \quad 6$$

$$V_{ji} = I_j FR \quad 7$$

$$V_j = \sum_{i=1}^m V_{ji}, \quad m - \text{number of landslide} \quad 8$$

در این پژوهش ابتدا یازده عامل بارش، ارتفاع، درصد شیب، جهت شیب، کاربری زمین، شاخص پهنجارشده‌ی

7 -False positive

8 -True positive

جدول ۱- وزن عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در روش آنتروپی شانون در آبخیز چریک آباد ارومیه.

عامل	طبقه	FR	Eij	Hj	Hjmax	Ij	Vij	VJ
جهت	فلات	۰	۰				۰	
	شمال	۰/۶۶۰	۰/۱۰۱				۰/۰۹۶	
	شمال‌شرق	۱/۷۲۹	۰/۲۶۴				۰/۲۵۲	
	شرق	۱/۱۸۵	۰/۱۸۱				۰/۱۷۴	۰/۱۰۶
	جنوب‌شرق	۰/۴۳۰	۰/۰۶۶	۲/۷۰۴	۳/۱۶۹	۰/۱۴۶	۰/۰۶۳	
	جنوب	۰/۱۲۸	۰/۰۱۹				۰/۰۱۸	
	جنوب‌غرب	۰/۲۹۳	۰/۰۴۴				۰/۰۴۳	
	غرب	۱/۱۸۵	۰/۱۸۱				۰/۱۷۴	
ارتفاع (متر)	شمال‌غرب	۰/۹۲۳	۰/۱۴۱				۰/۱۳۶	
	۱۶۲۴-۱۹۸۳	۱/۱۸	۰/۲۳۵				۰/۱۰۲	
	۱۹۸۳-۲۲۷۰	۰/۲۰۶	۰/۰۴۱	۲/۱۲	۲/۳۲۱	۰/۰۸۶	۰/۰۱۷	۰/۰۸۶
	۲۲۷۰-۲۵۵۰	۱/۱۸۷	۰/۲۳۶				۰/۱۰۲	
فاصله از گسل (متر)	۲۵۵۰-۲۸۵۹	۱/۶۵۳	۰/۳۲۹				۰/۱۴۳	
	>۲۸۵۹	۰/۷۹۴	۰/۰۵۸				۰/۰۸۶	
	۰-۱۴۴	۱/۰۲۵	۰/۲۳۴				۰/۳۱۵	
	۱۴۴-۳۴۱	۱/۲۵۰	۰/۲۸۷	۶۰۷	۲/۳۲۱	۲/۳۰۷	۰/۴۰۴	۰/۰۲۷۸
فاصله از آبراه (متر)	۳۴۱-۵۶۳	۰/۷۷۶	۰/۱۷۷	۱/			۰/۲۴۹	
	۵۶۳-۸۳۲	۱/۳۰۶	۰/۲۹۹				۰/۴۲۰	
	>۸۳۲	۰	۰				۰	
	۰-۸۰	۱/۰۳۱	۰/۲۲۶	۰/۶۰۶	۲/۳۲۱	۰/۲۸۲	۰/۳۱۹	۰/۲۸۱
فاصله از روستا (متر)	۸۰-۲۰۰	۰/۷۸۹	۰/۱۷۳				۰/۲۴۴	
	۲۰۰-۳۴۰	۱/۶۳۱	۰/۳۵۸				۰/۵۰۴	
	۳۴۰-۵۳۰	۱/۰۹۷	۰/۲۴۱				۰/۳۳۹	
	>۵۳۰	۰	۰				۰	
فاصله از جاده (متر)	۰-۱۸۰۴	۰/۷۹۴	۰/۱۶۴	۲/۲۵۶	۲/۳۲۱	۰/۰۲۸۲	۰/۰۲۲	۰/۰۲۷
	۱۸۰۴-۳۳۷۰	۰/۶۵۷	۰/۱۳۵				۰/۰۱۸	
	۳۳۷۰-۴۸۶۸	۱/۱۱۹	۰/۲۳۱				۰/۰۳۱	
	۴۸۶۸-۶۳۶۵	۱/۴۸۴	۰/۳۰۵				۰/۰۴۱	
فاصله از جاده (متر)	>۶۳۶۵	۰/۷۸۹	۰/۱۶۲				۰/۰۲۲	
	۰-۱۷۷	۰/۶۹۲	۰/۱۲۸	۲/۲۵۶	۰/۳۲۱	۰/۰۲۸۳	۰/۰۱۹	۰/۰۳۰
	۱۷۷-۳۸۰	۱/۰۵۹	۰/۱۹۷				۰/۰۲۹	
	۳۸۰-۶۰۰	۱/۱۸۱	۰/۲۱۹				۰/۰۳۳	
فاصله از جاده (متر)	۶۰۰-۸۸۰	۱/۸۰۷	۰/۱۵۰				۰/۰۲۲	
	>۸۸۰	۱/۶۳۳	۰/۳۰۳				۰/۰۴۶	

جدول ۱ (ادامه) - وزن عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در روش آنتروپی شانون در آبخیز چریک آباد ارومیه.

عامل	طبقه	FR	Eij	Hj	Hjmax	Ij	Vij	VJ
بارش (میلی‌متر)	۴۱۳-۴۲۴	۱/۰۴۳	۰/۲۱۵	۲/۲۲۵	۲/۳۲۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۳	۰/۰۴۰
	۴۲۴-۴۳۲	۱/۰۸۰	۰/۲۲۳				۰/۰۴۴	
	۴۳۲-۴۴۱	۱/۵۲۱	۰/۳۱۴				۰/۰۶۳	
	۴۴۱-۴۵۰	۰/۶۹۷	۰/۱۴۳				۰/۰۲۸	
	>۴۵۰	۰/۴۹۹	۰/۱۰۳				۰/۰۲۰	
NDVI	-۰/۱۲-۰/۱۵	۶/۷۹۴	۰/۶۵۸	۲/۰۸۸	۲/۳۲۱	۰/۱۰۰	۰/۶۸۱	۰/۲۰۶
	۰/۱۵-۰/۲۵	۲/۰۶۴	۰/۲۰۰				۱/۲۰۷	
	۰/۲۵-۰/۳۲	۰/۸۴۰	۰/۰۸۱				۰/۰۸۴	
	۰/۳۲-۰/۴۵	۰/۳۸۶	۰/۰۳۷				۰/۰۳۸	
	>۰/۴۵	۰/۲۲۸	۰/۰۲۲				۰/۰۲۲	
سنگ شناسی	Ms	.	.	۲/۳۵۴	۲/۹۰۶	۰/۳۹۷	.	۰/۲۵۶
	PC-Cs	.	.					
	Cbt	۱/۸۳۸	۰/۳۹۶				۰/۵۲۵	
	Msc	۱/۴۵۸	۰/۱۵۳				۰/۵۹۰	
	Qt2	.	.				.	
	Qal	.	.				.	
	Qt	.	.				.	
	om	.	.				.	
	Qt1	.	.				.	
	I	۱/۱۳۷	۰/۱۱۷				۰/۴۵۲	
	Qf2	۱/۱۷۴	۰/۱۲۱				۰/۴۶۶	
	ubmt	.	.				.	
	sr	.	.				.	
di	.	.	.					
r	۰/۸۲۰	۰/۰۸۴	۰/۳۲۵					
.	.	.	.					
۰/۱۲۱	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۴۸۲					
شیب (/)	۰-۱۲	۰/۴۷۹	۰/۱۱۴	۱/۸۸۳	۲/۳۲۱	۰/۱۸۸	۰/۰۹۰	۰/۱۳۲
	۱۲-۲۴	۰/۱۰۳	۰/۲۶۲				۰/۲۰۸	
	۲۴-۳۶	۱/۶۳۷	۰/۳۹۰				۰/۳۰۹	
	۳۶-۴۸	۰/۹۷۶	۰/۲۳۲				۰/۱۸۴	
	>۴۸	.	.				.	
کاربری زمین	مرتع	۱/۲۳۵	۰/۱۵۱	۱/۴۲۶	۲/۵۸۴	۰/۴۴۸	۰/۵۵۳	۰/۶۰۸
	باغ	۲/۶۲۶	۰/۳۲۲				۱/۱۷۷	
	زراعت	۴/۲۸۹	۰/۵۲۶				۱/۹۲۲	
	توده سنگی	.	.				.	
	دیم رها شده	.	.				.	
پهنه آبی	.	.	.					

عامل‌های مؤثر بوده است. وقوع لغزش‌های جدید و باز رخداد زمین‌لغزش‌های قدیمی در منطقه‌ها مشرف بر سکونت‌گاه‌های روستایی بسیار محتمل است. در آبخیز بیش‌تر منطقه در شیب‌های ملایم و متوسط است. بنابراین هم از نظر ارتفاع و هم از نظر شیب برای تغییر کاربری تا فواصل دوردست روستا تقریباً محدودیتی وجود ندارد. در نتیجه تا فواصل دوردست روستا نیز می‌توان شاهد تغییر کاربری بود. نتیجه‌های بررسی لایه‌ی فاصله از روستا نشان داد که با افزایش فاصله از سکونت‌گاه از تعداد وقوع لغزش‌ها کاسته می‌شود زیرا مداخله‌ی انسان بر منطقه‌های دوردست روستا برای آبخیزنشینیان کم‌تر امکان‌پذیر است. اگر چه تأثیر این عامل در رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه اندک بود (جدول ۱ و شکل ۲).

انتظار می‌رود که در محدوده‌های اطراف جاده زمین‌لغزش بیش‌تر اتفاق افتاده باشد، اما فاصله گرفتن از جاده باعث افزایش وقوع لغزش‌ها شده است؛ به‌طوری‌که در فواصل ۴۰۰-۳۸۰ متر به حداکثر وزن خود رسیده است که با نتیجه‌های (رگمی و همکاران ۲۰۱۰) هم‌راستا است. به‌دلیل این‌که جاده‌های محدوده آسفالت نبود و بیش‌تر شوسه و مال‌رو بود، جاده تأثیر زیادی در ناپایداری و وقوع زمین‌لغزش در آبخیز نداشت (جدول ۱ و شکل ۲).

بارش یکی از عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌ها است. افزایش مقدار بارندگی معمولاً سبب افزایش وقوع زمین‌لغزش‌ها می‌شود. عامل بارش در منطقه نشان می‌دهد که پهنه‌های بارشی بیش از ۴۵۰ میلی‌متر به‌علت افزایش سنگینی سطح دامنه در اثر افزایش دریافت اندازه‌ی رطوبت و همراه‌شدن با عامل‌هایی مانند نزدیکی به روستا به‌دلیل وجود شیب معکوس بارش و قرارگیری بارش‌های بیش‌تر در ارتفاعات پایین تأثیر بیش‌تری در وقوع زمین‌لغزش داشته است (جدول ۱). وزن نهایی عامل بارش ۰/۰۴ است که نشان‌دهنده‌ی تأثیر خیلی کم این عامل در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه است. وجود گرادیان معکوس بارش روی آبخیز می‌تواند این وضعیت را توجیه کند.

براساس شاخص بهنجارشده‌ی پوشش گیاهی بیش‌تر منطقه‌های آبخیز دارای پوشش گیاهی تنک و پراکنده است. کاهش فشار چرا می‌تواند سبب بهبود پوشش گیاهی و در نهایت کاهش رخداد لغزش شود. علاوه‌بر آن جلوگیری از مداخله‌ی آبخیزنشینیان در تغییر کابری زمین از مرتع به دیم‌زارهای کم‌بازده، و حفاظت کناره‌های رودخانه با روش‌های اصولی می‌تواند سبب کاهش رخداد زمین‌لغزش‌ها در منطقه شود. منطقه‌هایی با پوشش گیاهی تنک و پراکنده و خاک‌های لخت دارای بیش‌ترین احتمال رخداد لغزش و

جهت دامنه یکی از عامل‌های مؤثر بر وقوع لغزش‌ها است که می‌تواند منجر به افزایش سرعت رخداد لغزش شود. دامنه‌های پشت به آفتاب موجب تجمع برف و رطوبت بیش‌تر می‌شود و ممکن است باعث تشدید حرکات دامنه‌یی شود. با توجه به این‌که این آبخیز از نظر موقعیت جغرافیایی در نیمکره‌ی شمالی واقع شده است، براساس فرضیه‌های اولیه در جهت‌های شمالی باید نقطه‌های لغزشی بیش‌تری رخ داده باشد. بعد از بررسی عامل جهت شیب مشاهده شد که جهت‌های شمال‌شرق، شرق و غرب دارای بیش‌ترین رخداد زمین‌لغزش است (جدول ۱ و شکل ۲) که با نتیجه‌های مطالعات (زانگ و همکاران ۲۰۱۹) هم‌خوانی دارد.

محدوده از نظر طبقه‌های ارتفاعی به پنج گروه تقسیم شد (شکل ۲). بررسی ارتباط بین لغزش‌های رخ داده و طبقه‌های ارتفاعی نشان می‌دهد که پایین‌ترین ارتفاعات آبخیز نیز توان وقوع زمین‌لغزش را دارند؛ برخلاف نتیجه‌هایی که در بیش‌تر پژوهش‌ها بیان داشتند که در ارتفاعات پایین توان وقوع زمین‌لغزش به صفر می‌رسد (زندگی و همکاران ۲۰۱۸). در حالت کلی روند افزایش ارتفاع، نشان‌گر افزایش میزان لغزش‌ها است. با افزایش ارتفاع شرایط برای عامل‌های دیگر نظیر افزایش بارش و یا حتی تغییر در اندازه‌ی درجه‌ی حرارت که با انقباض و انبساط مواد دامنه‌ی شرایط را برای رخداد زمین‌لغزش‌ها مهیا می‌سازد، ایجاد می‌شود. بیش‌ترین وزن تخصیصی در طبقه‌ی ۲۵۵۰-۲۲۷۰ متر و در ارتفاعات متوسط آبخیز است.

تراکم گسل‌ها در منطقه علاوه بر افزایش فرسایش‌پذیری و کاهش مقاومت سازنده‌ها، سبب افزایش اندازه‌ی نفوذپذیری و در نهایت افزایش رطوبت در دامنه‌ها می‌شود. مقاومت برشی سنگ‌ها و خاک‌های واجد کانی‌های رسی با افزایش درصد رطوبت به‌شدت کاهش می‌یابد که می‌تواند توان وقوع زمین‌لغزش‌ها را بیش‌تر کند (عبادی و همکاران ۲۰۱۹). در آبخیز با وجود روند کاهش رخداد لغزش با افزایش فاصله از گسل، زیرگروه ۸۳۲-۵۶۳ متر دارای بیش‌ترین رخداد زمین‌لغزش بود (جدول ۱ و شکل ۲).

فاصله از آبراه یکی از عامل‌های مهم در ایجاد ناپایداری‌های دامنه‌یی است. وجود آبراه‌ها سبب ایجاد اختلاف بین دیواره‌ها و کف بستر می‌شود که اختلاف ایجاد شده با افزایش شیب همراه است. افزایش شیب در نهایت سبب برهم‌خوردن تعادل و ناپایداری دامنه می‌شود. بیش‌ترین زمین‌لغزش‌های آبخیز در فاصله‌ی ۳۴۰-۲۰۰ متری از آبراه رخ داده‌اند (جدول ۱ و شکل ۲). وجود شیب‌های تند و سازنده‌های حساس به زمین‌لغزش‌ها در این محدوده جزء

افزایش مقدار پوشش گیاهی باعث کاهش رخداد زمین‌لغزش شده است. پوشش گیاهی در حالی که می‌تواند نتیجه‌های مثبت (کاهش رخداد زمین‌لغزش) بدهد که اختلاف تأثیر سایر عامل‌های مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش زیاد نباشد. تحلیل لایه‌ی کاربری زمین آبخیز نشان داد که منطقه‌های زراعی و باغی دارای بیش‌ترین حساسیت به وقوع زمین‌لغزش‌ها اند. رخداد لغزش‌ها در زمین باغی را می‌توان چونین استدلال کرد که وجود پوشش گیاهی درختی در منطقه‌های پرشیب سبب سنگینی دامنه، افزایش نفوذپذیری و آب‌گذری کم‌تر در آبخیز شده است. تغییر زمین از مرتع به زراعت که در این منطقه برخلاف بعضی از آبخیزها که کشت دیم است، در این آبخیز به‌علت فراوانی آب، در اغلب منطقه‌هایی که قابلیت آبیاری دارند، تغییر کاربری ایجاد شده است. بنابراین تأثیر آب به‌همراه سایر عامل‌های نظیر حساسیت سازند و شیب مناسب سبب افزایش رخداد زمین‌لغزش در این زمین‌ها شده است (جدول ۱ و شکل ۲).

تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش، پیش‌زمینه‌ی در شناخت عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش، رخداد آن، مدیریت خطر و روش‌های پیشگیری از خطر است. برای پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش ۱۱ عامل به‌کاررفته است؛ به‌این شکل که بعد از تعیین وزن نهایی هر عامل و ضرب آن در گروه‌های عامل نام برده شده، نقشه‌های وزنی با هم جمع شده و نقشه‌ی نهایی حساسیت زمین‌لغزش به‌دست آمد (شکل ۱۳). عامل‌های کاربری زمین، فاصله از آبراه و فاصله از گسل به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۶۰۸، ۰/۲۸۱ و ۰/۲۷۸ بیش‌ترین وزن را گرفت و مؤثرترین عامل‌ها در وقوع زمین‌لغزش منطقه شناخته شد. نقشه‌ی تهیه شده در پنج گروه خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد بررسی شد. در نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی شده حدود ۳۲٪ از محدوده در منطقه‌های با خطر زیاد و خیلی‌زیاد بود. پهنه‌های با خطر زیاد و خیلی‌زیاد بیش‌تر در محدوده‌هایی از کاربری زمین اتفاق افتاده‌اند که در آن‌ها تغییر کاربری از مرتع به زمین‌های زراعی و باغی اتفاق افتاده بود که منطبق بر نتیجه‌های (جویباری و همکاران ۲۰۱۷؛ محمدنیا و همکاران ۲۰۱۸؛ شارما و مهاجان ۲۰۱۹) است. در حالت کلی به‌جز در طبقه‌ی ۲۰۰-۸۰ متر با افزایش اندازه‌ی فاصله از آبراه از تعداد لغزش‌ها کاسته شده است. در منطقه‌های نزدیک به آبراه به‌دلیل اختلاف زیادی که بین دره و ارتفاعات و برش پای دیواره‌ها هست بیش‌ترین رخداد زمین‌لغزش‌ها هست که با نتیجه‌های (غلامی و همکاران ۲۰۱۹؛ شیرزادی و همکاران ۲۰۱۷)

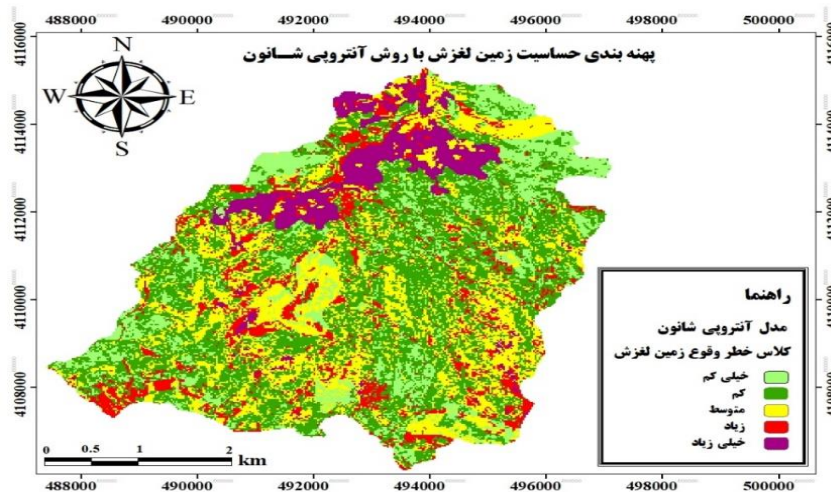
منطقه‌ها با پوشش گیاهی متراکم و جنگلی دارای کم‌ترین احتمال وقوع زمین‌لغزش است (سونگ و همکاران ۲۰۱۲)، که با نتیجه‌های این پژوهش مطابقت دارد، به‌طوری که طبقه‌ی >۰ دارای بیش‌ترین وزن و حساسیت به وقوع زمین‌لغزش‌ها است (جدول ۱ و شکل ۲).

آهک یکی عامل‌هایی است که به‌علت مقاومت کم به فرسایش تشدیدکننده‌ی وقوع زمین‌لغزش‌ها است. از آن‌جا که بخش اعظمی از آبخیز چریک‌آباد از انواع سازنده‌های آهکی تشکیل شده است؛ این عامل بر وقوع لغزش‌های آبخیز مؤثر است که با نتیجه‌های (لیو و همکاران ۲۰۱۹) مطابقت دارد. تنوع جنس سنگ یا خاک دامنه حالت‌های گوناگونی از لغزش را موجب می‌شود که بسته به اندازه‌ی درصد شیب، رطوبت خاک، اندازه‌ی بارندگی سالانه، شدت هوازدگی، وضعیت زمین‌ساختی (گسل‌ها و تراکم درز و ترک‌ها) متغیر است. ویژگی‌هایی نظیر شیب دامنه، جنس لایه‌ها، فاصله از گسل‌های جدید و قدیمی و زمین‌ریخت‌شناختی، عمق آب‌های زیرزمینی، فعالیت فرسایش آبراه‌ها و تأسیسات انسانی نظیر بندها و سد‌های کوچک، نهرهای آبیاری و راه‌سازی نقش بسزایی را در کاهش پایداری دامنه دارند. در این بین وقوع زمین‌لغزش‌ها به‌عنوان یک عامل تحریک‌کننده‌ی اولیه نقش زیادی در افزایش آمار پدیده‌ی زمین‌لغزش‌ها دارد. بیش‌ترین زمین‌لغزش‌های رخ داده در آبخیز در سنگ‌های آهکی، مارنی و شیل‌ها اتفاق افتاده‌اند (جدول ۱ و شکل ۲) که عامل‌های تحریک‌کننده مانند جاده‌سازی و تغییر کاربری در حاصل‌شدن چنین نتیجه‌ی بی‌تأثیر نبوده‌اند.

در اغلب پژوهش‌ها شیب یکی از مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در نظر گرفته می‌شود. با افزایش مقدار شیب بر مقدار نیروی جاذبه افزوده می‌شود که در نتیجه نیروی محرکه بر نیروی مقاومت غلبه می‌کند و بر توان وقوع زمین‌لغزش‌ها افزوده می‌شود. در آبخیز بیش‌تر زمین‌لغزش‌ها در شیب بیش‌تر از ۱۲٪ اتفاق افتاده‌اند (شکل ۲). در شیب‌های بیش‌تر از ۳۶٪ از تعداد وقوع لغزش‌ها کاسته شده است زیرا در این ارتفاعات فرآیندهای فرسایشی دیگر غالب بوده است و خاک کافی برای وقوع زمین‌لغزش تحت این شرایط وجود ندارد (جدول ۱). در نتیجه احتمال وقوع زمین‌لغزش‌ها کاهش می‌یابد که با نتیجه‌های صابری چناری و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. مداخله‌ی انسان در منطقه‌هایی از آبخیز که زمین مرتعی است و تبدیل آن به منطقه‌های کشاورزی و باغی سبب افزایش حساسیت به وقوع لغزش‌ها شده است؛ به‌طوری‌که

شکستگی‌ها سبب کاهش مقاومت دامنه و افزایش تعداد وقوع زمین‌لغزش‌ها می‌گردد که با نتیجه‌های پورقاسمی و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد (شکل ۳).

هم‌خوانی دارد. در فاصله‌ی کم‌تر از ۶۰۰ متر از گسل‌ها بر تعداد لغزش‌ها افزوده شده است؛ با این حال، زیرگروه ۸۳۲-۵۶۳ متر دارای بیش‌ترین رخداد زمین‌لغزش بوده است. وجود گسل‌ها در داخل لایه‌های زمین‌شناسی با ایجاد

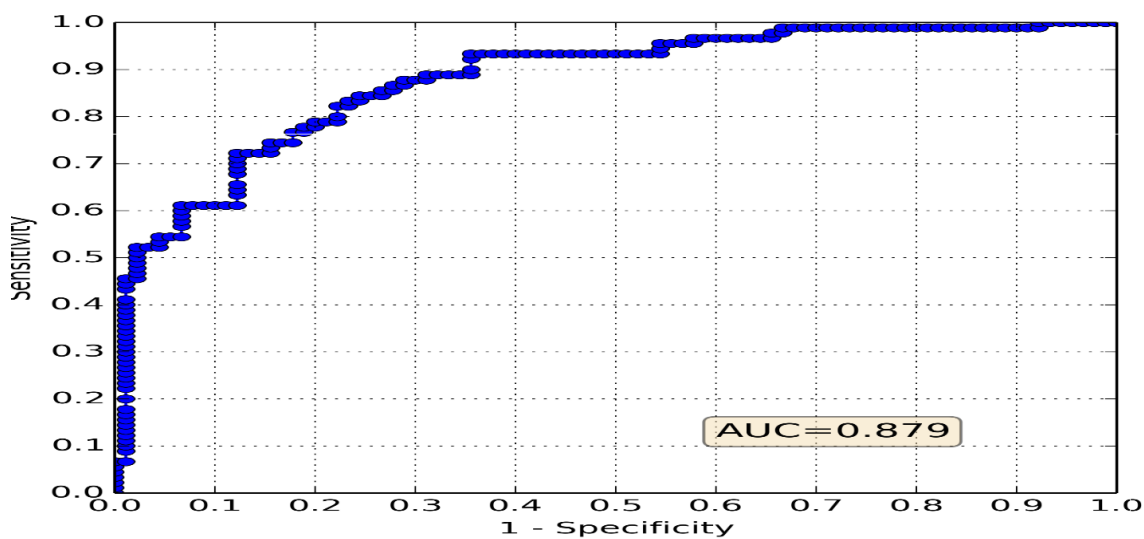


شکل ۳- نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها با روش آنتروپی شانون در آبخیز چریک‌آباد (ارومیه).

زیاده بودت به‌طوری‌که بیش از ۵۰٪ زمین‌لغزش‌ها در این عامل رخ داده‌اند. براساس نتیجه‌های فوق تأیید شد که نشان دهنده‌ی عمل‌کرد خیلی‌خوب مدل آنتروپی شانون در شناسایی عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی حساسیت آن در آبخیز است که با نتیجه‌های تیموری یانسری و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد.

منحنی تشخیص عملکرد سامانه (ROC)

براساس نتیجه‌های حاصل از منحنی ROC، مقدار سطح زیر منحنی (AUC) برای مدل آنتروپی شانون با ۳۰٪ داده‌های اعتبارسنجی ۰/۸۷۹ بود (شکل ۴). درصد تراکم زمین‌لغزش‌های رخ داده در آبخیز قبل از مدل نشان داد که در بخش کاربری زمین تعداد وقوع زمین‌لغزش‌ها بسیار



شکل ۴- نقشه‌ی منحنی ROC با افزونه‌ی PMT برای مدل آنتروپی شانون.

نتیجه‌گیری

شناخت عامل‌ها و شرایط ایجاد و توسعه، اولویت‌بندی و تعیین منطقه‌های حساس به زمین‌لغزش‌ها امکان‌دستی به روش‌هایی که با آن‌ها بتوان از خطر و زیان‌های ناشی از گسترش زمین‌لغزش‌ها جلوگیری کرد را فراهم می‌کند. بعد از شناسایی عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های آبخیز، اقدام به اولویت‌بندی این عامل‌ها با روش آنتروپی شانون و روش سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی شد. نتیجه‌های حاصل از روی هم انداختن لایه‌های عامل‌های مؤثر با نقشه‌ی لایه‌ی زمین‌لغزش‌های رخ‌داده نشان داد که عامل کاربری زمین و عناصر خطی فاصله از آبراه و فاصله از گسل دارای بیش‌ترین تأثیر بر وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه بوده‌اند.

از دیدگاه اهمیت عامل‌ها در ایجاد زمین‌لغزش، کاربری زمین دارای تأثیر زیادی بود. بیش‌تر تغییر ایجاد شده در کاربری زمین به شکل تغییر کاربری از مرتع به زمین‌های زراعت آبی-دیم و باغی بوده است. در حالت معمول افزایش مقدار پوشش گیاهی باعث کاهش رخداد زمین‌لغزش شد و پوشش گیاهی در حالی نتیجه‌های مثبت (کاهش رخداد زمین‌لغزش) دارد که اختلاف تأثیر سایر عامل‌های مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش زیاد نیست (شارما و ماهاجان ۲۰۱۹)، در این آبخیز اگرچه با تغییر کاربری از مرتع به زمین زراعی و باغی بر مقدار پوشش افزوده شده است، منتهی بیش‌تر منطقه‌هایی که در آن‌ها تغییر کاربری ایجاد شده در محدوده‌ی سازندهای حساس به فرسایش (انواع سنگ‌های آهکی) قرار گرفته است. وجود بعضی از سازندهای آهکی و حساس به فرسایش آبی سبب افزایش رخداد لغزش

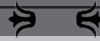
می‌شود (فام و همکاران ۲۰۱۹)، آبیاری به شیوه‌های مرسوم (آبیاری غرقابی) سبب زیرشویی سازندهای حساس به فرسایش به‌علت وجود آهک پلاژیک و آمیزه‌ی افیولیتی فراوان در این آبخیز شده و در نهایت بر رخداد زمین‌لغزش افزوده شده است.

آبخیز از لحاظ شکل (خصوصیات فیزیکی آبخیزها) تقریباً گرد دانسته می‌شود. در آبخیز گرد، رواناب ناشی از رگبار تقریباً به‌شکل هم‌زمان از آبراه‌های فرعی وارد آبراه‌های اصلی می‌شود و به‌شدت بر اندازه‌ی حجم و نیروی رواناب افزوده می‌شود (بینش و سارنگ ۲۰۱۵)، از آن‌جا که بیش‌تر لغزش‌های رخ داده در آبخیز در اطراف آبراه‌های اصلی بوده‌اند، در نتیجه شکل آبخیز تحت تأثیر عامل بارندگی، عامل فاصله از آبراه را به یک عامل با اهمیت زیاد از لحاظ رخداد زمین‌لغزش‌ها تبدیل کرده است. علاوه‌بر آن قرارگیری بیش‌تر آبراه‌ها در امتداد شکستگی‌ها به‌ویژه گسل‌ها در این آبخیز سبب هم‌سو شدن تأثیر دو عامل فاصله از آبراه و فاصله از گسل بر رخداد لغزش‌ها شده و در نهایت بر تعداد رخداد افزوده شده است که نتیجه‌های (جعفری ۲۰۱۷) نیز این مسئله را تأیید می‌کند. مدل به کاربرده شده با منحنی ROC، سطح زیر منحنی (AUC) با افزونه‌ی PMT در محیط ArcGIS ارزیابی شد. نتیجه‌ی ارزیابی گویای عمل کرد زیاد مدل با سطح زیر منحنی ۰/۸۷۹ برای هدفی است که در نظر گرفته شده است. نقشه‌های ایجاد شده در این پژوهش می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های آینده برای مدیریت دامنه‌های خطرناک و آمایش سرزمین در منطقه نقش بسزایی داشته باشد.

- Abedini M, Tulabi S. 2018. Assessing LNRF, FR, and AHP models in landslide susceptibility mapping index: A comparative study of Nojjan watershed in Lorestan province, Iran. *Environmental Earth Sciences*. 77(11): 1–13.
- Ahmadi H. 2012. *Applied geomorphology*. University of Tehran, 688 p. (In Persian).
- Ambrosi C, Strozzi T, Scapozza C, Wegmüller, U. 2018. Landslide hazard assessment in the Himalayas (Nepal and Bhutan) based on earth-observation data. *Engineering Geology*. 237(1): 217–228.
- Arabameri A, Rezaei K, Shirani K, Mojtaba M. 2000. Identify areas susceptible to landslides using new synthetic method Shannon's entropy index-information value (Case study: Sarkhon watershed). *Journal of Watershed Management Research*. 9 (17):132–144. (In Persian).
- Binesh N, Sarang A. 2014. Effect of physiographic characteristics of flood basin on flood hydrograph; Comparison of three damavand, Verdij and Casilian basins. *Water Management*. 3(3):65 (In Persian).
- Chen HX, Zhang LM, Gao L, Zhu H, Zhang S. 2015. Presenting regional shallow landslide movement on three-dimensional digital terrain. *Engineering Geology*. 195(1): 122–134.
- Crosta G.B. 2004. Introduction to the special issue on rainfall-triggered landslides and debris flows. *Engineering Geology*. 73: 191–192.
- Devkota KC, Regmi AD, Pourghasemi HR, Yoshida K, Pradhan B, Ryu IC, Dhital MR, Althuwaynee OF. 2013. 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. *National Hazards*. 65(1):135–165.
- Ebadi F, Ildoromi AR, Nouri H, Babaei Kh. 2019. Landslide hazard zoning at the Cheragh Veis Dam watershed of Kurdestan using the IRAT and LNRF models. *Watershed Management Researches Journal*. 32(3):37–52. (In Persian).
- Entezari M, Jalilian T. 2019. Ranking sub watersheds based on landside hazard in Kermanshah Province (Iran) using ELECTRE I. *Hydrology journal*. 5(18): 19–38. (In Persian).
- Gholami M, Ghanavati E, Ahmadabadi A. 2019. Landslide susceptibility mapping of Kan using index of entropy and LSM. *Quantitative Geomorphological Research*. 8(1):16–33 (In Persian).
- Hong H, Chen W, Xu C, Youssef A.M, Pradhan, B, Tien Bui D. 2017. Rainfall-induced landslide susceptibility assessment at the Chongren area (China) using frequency ratio, certainty factor, and index of entropy. *Geocarto International*. 32(2): 139–154.
- Hosmer DW, Lemeshow S. 2000. *Applied logistic regression*, 2nd edn. Wiley, New York, 373 pp
- Hung O 1997 some methods of landslides hazard intensity mapping. In: Cruden D, Fell R (eds) *Landslide risk assessment*. Balkema, Rotterdam. 215–226 p.
- jafari H. 2017. Investigating the role of faults in the morphology of the northern plains of Zanjanrood. *Geography and Environmental Planning*. 28(1): 35–48. (In Persian).
- Joybari J, Kaviani A, Mosaffaie J. 2017. Effect of land use on landslide movement in the Tavan District, Qazvin. *Watershed Management Researches Journal*. 30(3):29–39. (In Persian).
- Kornejady A, Ownegh M, Rahmati O, Bahremand A. 2018. Landslide susceptibility assessment using three bivariate models considering the new topo-hydrological factor: HAND. *Geocarto International*. 33(11): 1155–1185.
- Liu X, Zhao C, Zhang Q, Peng J, Zhu W, Lu Z.

2018. Multi-Temporal loess landslide inventory mapping with C-, X-and L-Band SAR Datasets- A case study of Heifangtai loess landslides, China. *Remote Sensing*. 10(11): 1756–1765.
- Mohammadkhan Sh, Veisi A, Bagheri K. 2015. Feasibility of landslide risk using entropy model, Case study: (Shirpna mountainous region in south west Kermanshah Province). *Geographical Journal of Territory*. 11(44): 89–103. (In Persian).
- Mohammadnejad Arough V, Asghari Sereskanrood S. 2018. Landslide risk assessment using statistical methods in Barandoz Chai basin. *Quantitative Geomorphological Research*. 4(4): 181–191. (In Persian).
- Mohammadnia M, Fallah G. 2018. Landslides susceptibility mapping using fuzzy logic and AHP. *Researches in Geographical Sciences*. 18(48): 115–130. (In Persian).
- Pham, BT, Jaafari A, Prakash, I, Bui, DT. 2019. A novel hybrid intelligent model of support vector machines and the MultiBoost ensemble for landslide susceptibility modeling. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 78(4): 2865–2886.
- Pontius Jr RG, Schneider LC. 2001. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 85(1–3): 239–248.
- Pourghasemi HR, Pradhan B, Gokceoglu C. 2012. Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Natural Hazards*. 63(2): 965–996.
- RahmanZandi R, Amirahmadi A, Mohamadnia M. 2018. Use of entropy model to assess the risk of landslide in the proposed road route of Torqabeh-Dorood (Mashhad-Neyshabur). *Geography and Human Relationships*. 1(2): 37–58. (In Persian).
- Ramakrishna D, Ghose MK, Chandra RV, Jeyaram A. 2005. Probabilistic techniques, GIS and remote sensing in landslide hazard mitigation: a case study from Sikkim Himalayas, India. *Geocartography Int*. 20 (4): 53–58.
- Regmi NR, Giardino JR, Vitek JD, Dangol V. 2010. Mapping landslide hazards in Western Nepal: Comparing qualitative and quantitative approaches. *Environmental & Engineering Geoscience*. 16(2): 127–142.
- Saber Chenari K, Sheikh VB, Salmani H. 2016. Assessment of LNRF model in landslide Hazard mapping using GIS at Ziarat watershed, Gorgan. *Watershed Management Researches Journal*. 29(3): 14–23. (In Persian).
- Shaik I, Rao SK, Penta B. 2019. Detection of landslide using high resolution satellite data and analysis using entropy. In proceedings of international conference on remote sensing for disaster management. Springer, Cham. pp. 243–250.
- Shannon CE. 1948. A mathematical theory of communication. *Bulletin System Technol*. pp. 379–423.
- Sharma LP, Patel N, Ghose MK, Debnath P. 2010. Influence of Shannon's entropy on landslide-causing parameters for vulnerability study and zonation-a case study in Sikkim, India. *Arabian Journal of Geosciences*. 5(3): 421–431.
- Sharma S, Mahajan, AK. 2019. A comparative assessment of information value, frequency ratio and analytical hierarchy process models for landslide susceptibility mapping of a Himalayan watershed, India. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 78(4): 2431–2448.
- shirani K. 2017. Modelling of landslide susceptibility zonation using shannon's entropy index and weight of evidence model (Case study: Sarkhoon's Karoon). *Journal of Water and Soil Science*. 21(1): 51–68. (In Persian).
- Shirzadi A, Bui DT, Pham BT, Solaimani K, Chapi

- K, Kavian A, ... & Revhaug I. 2017. Shallow landslide susceptibility assessment using a novel hybrid intelligence approach. *Environmental Earth Sciences*. 76(2): 60–74.
- Song Y, Gong J, Gao S, Wang D, Cui T, Li Y, Wei B. 2012. Susceptibility assessment of earthquake-induced landslides using Bayesian network: a case study in Beichuan, China. *Computers & Geosciences*. 42(1): 189–199.
- Tay LT, Latch H, Hossain MK, Kamil AA. 2014. Landslide hazard mapping using a poison distribution: a case study in Penang Island, Malaysia. In *Landslide Science for a Safer Geoenvironment*, Springer Cham. 521–525.
- Teimoori Yansari Z, Hosseinzadeh SR, Kavian A, Pourghasemi HR. 2017. Determination of sensitive areas to Landslide Occurrence Using Shannon Entropy Model (Case study: Chahardangeh Basin, Mazandaran Province). *Geography and Environmental Hazards*. 6(22): 183–204. (In Persian).
- Youssef A, Pourghasemi HR, El-Hadad BA, Dhahry BK. 2016. Landslide susceptibility maps using different probabilistic and bivariate statistical models and comparison of their performance at Wadi It wad Basin, Asir Region, Saudi Arabia. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 75(1): 63–87.
- Yufeng S, Fengxiant J. 2009. Landslide Stability Analysis Based on Generalized Information Entropy. *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*. pp. 83–85.
- Zare M, Pourghasemi HR, Vafakhah M, Pradhan B. 2013. Landslide susceptibility mapping at Vaz Watershed (Iran) using an artificial neural network model: a comparison between multi-layer perceptron (MLP) and radial basic function (RBF) algorithms. *Arabian Journal of Geosciences*. 6(8): 2873–2888.
- Zho C, Yin K, Cao Y, Ahmed B, Li Y, Catani F, Pourghasemi HR. 2018. Landslide susceptibility modeling applying machine learning methods: A case study from Longju in the Three Gorges Reservoir area, China. *Computers & Geosciences*. 112(1): 23–37.



Watershed Management Research

VOL. 33, No. 4, Ser. No: 129, Winter 2021, pp. 30-46
DOI: 10.22092/wmej.2020.128407.1280

Prioritization of Effective Factors on Landslide Occurrence and Mapping of its Sensitivity in CherikAbad Watershed, Urmia Using Shannon Entropy Model

Abdulaziz Hanifinia

M.Sc. Student of Watershed Management, Urmia University

Habib Nazarnejad

(Corresponding Author)* Associate Professor, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Urmia University

Saeed Najafi

Assistant Professor, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Urmia University

Aiding Kornejady

Ph.D. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

Corresponding Author Email: h.nazarnejad@urmia.ac.ir

Received: 11 November 2019

Accepted: 17 March 2020

Abstract

Landslides are natural and incidentally man-made phenomena. Developing landslide risk reduction plans in order to preserve the natural and human resources are pivotal. This study sets out to prioritize landslide-controlling factors by using the Shannon's entropy model and the GIS techniques. A total of 90 landslides were identified using extensive field surveys and interpreting the Google Earth images. A Landslide inventory map was prepared in the GIS environment together with eleven controlling factors as inputs, namely precipitation, elevation, slope percentage, slope aspect, lithology, land use/land cover, the normalized difference vegetation index (NDVI), and the distance to streams/faults/roads/villages. The results revealed that the land use/land cover, the distance to streams, and the distance to faults were the top-ranked factors of the highest importance in landslide occurrence, while the distance to villages, and the distance to roads were of the least importance. Further, the model validation results attested to the great performance of the adopted model where the area under the receiver operating characteristic curve (AUROC) was 0.879. Considering that about 32% of the watershed is located in the high and very high sensitive area, it is recommended to avoid land use change in landslide-prone areas to reduce relative risk of landslide.

■ **Keywords:** Cherikabad watershed, GIS, landslide, ROC curve, Shannon's entropy ■