

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزه آبخیز چریک‌آباد ارومیه با استفاده از مدل‌های AHP و آنتروپی شانون

عبدالعزیز حنیفی نیا^۱، حبیب نظرنژاد^{۲*}، سعید نجفی^۳، آیدینگ کرنژادی^۴

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۹)

چکیده

شناخت عوامل، شرایط ایجاد و توسعه زمین‌لغزش‌ها به منظور ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع آن، امکان دستیابی به روش‌هایی که به وسیله آنان بتوان از خطرات و خسارات ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌ها جلوگیری کرد، را فراهم می‌سازد. هدف از این پژوهش تهیه نقشه پتانسیل خطر زمین‌لغزش با مدل‌های AHP و آنتروپی شانون در حوزه آبخیز چریک‌آباد ارومیه است. در ابتدا از طریق بازدیدهای میدانی و گوگل ارث، تعداد ۹۵ نقطه لغزشی با استفاده از GPS و تصویر گوگل ارث ثبت شدند. لایه‌های میانگین بارندگی سالانه، درجه شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از روستا و شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) به‌عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه انتخاب و نقشه‌های لایه‌های مذکور در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه و رقمی گردید. بعد از تلفیق لایه‌های عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش، نقشه پتانسیل خطر زمین‌لغزش برای دو مدل فرایند سلسله مراتبی و آنتروپی شانون تهیه شد. نتایج تهیه نقشه‌های خطر با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد نسبی با سطح زیر منحنی ۹۹ درصد معنی‌داری نشان داد که هر دو مدل دارای عملکرد خوبی در ارزیابی می‌باشند. مدل آنتروپی شانون با سطح زیر منحنی ۸۷/۹ درصد و عملکرد خیلی خوب نسبت به مدل فرایند سلسله مراتبی با سطح زیر منحنی ۷۰/۶ درصد با کلاس عملکرد خوب، دارای دقت بالاتری در تهیه نقشه‌های مذکور بوده است. بر اساس مدل آنتروپی شانون، ۳۲ درصد از حوضه در کلاس‌های خطر بالا و خیلی‌بالا قرار گرفته است. بدلیل خطر بالای رخداد لغزش‌ها شایسته است اجرای اقدامات تسکینی مورد توجه مسئولین ذیربط قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: خطرات طبیعی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، منحنی مشخصه نسبی سیستم، سطح زیر منحنی

حنیفی نیا، ع.، نظرنژاد، ح.، نجفی، س.، کرنژادی، آ. ۱۴۰۱. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزه آبخیز چریک‌آباد ارومیه با استفاده از مدل‌های AHP و آنتروپی شانون. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۰، شماره ۳. صفحه: ۱۳۰-۱۴۴.

۱- دانشجوی دکتری آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۲ دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۳ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

۴- دانش آموخته دکتری آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

* پست الکترونیک: h.nazarnejad@urmia.ac.ir

مقدمه

استوار بوده در حالی که روش تحلیل سلسله مراتبی مبتنی بر نظرات کارشناسی پایه‌گذاری شده است. حاتمی‌فرد و همکاران (HatamiFard *et al.*, 2012)، در ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی و شبکه عصبی مصنوعی در منطقه آذرشهر از لایه‌های اطلاعاتی درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و فاصله از جاده استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که روش شبکه عصبی مصنوعی دقت بالاتری نسبت به تحلیل شبکه دارد. ژائو و همکاران (Zhao *et al.*, 2017)، از سه روش آنتروپی شانون^۲، روش جامع ماتریکس فازی و AHP^۳ برای تعیین عوامل مؤثر در مدل‌سازی ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش استفاده کردند. پس از مشخص نمودن عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه، نتایج حاصل از شاخص‌های ارزیابی نشان داد ترکیب این مدل‌ها می‌تواند به تهیه نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش‌ها به صورت هدف‌مند منجر شود که نه‌تنها حاصل نتایج داده‌های اصلی منطقه، بلکه دانش کارشناس‌ها و نظرات تصمیم‌گیرندگان نیز تأثیر بسزایی در نتیجه تحقیق داشته است. وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2017)، برای ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در چین از مدل ترکیبی شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. شش عامل محیطی برای بررسی وقوع زمین‌لغزش انتخاب شد که مشتمل بر درجه شیب، ابعاد، ارتفاع و شکل شیب، فاصله تا رودخانه و فعالیت‌های انسانی می‌باشد. پس از تجزیه و تحلیل فضایی نتیجه گرفتند که بیش‌تر زمین‌لغزش‌ها در دامنه‌های محدب و در ارتفاع ۱۵۰-۱۰۰ متر با جهت شیب ۱۳۵ تا ۲۲۵ درجه و هم‌چنین درجه شیب ۴۰ تا ۶۰ درجه اتفاق افتاده‌اند.

حوزه آبخیز چریک‌آباد در جنوب غربی شهرستان ارومیه قرار گرفته است. این محدوده یکی از زیرحوضه‌های فرعی دریاچه ارومیه بوده که به واسطه دارا بودن بارندگی بالا، تراکم زهکشی بالا و کوهستانی بودن دارای پتانسیل سیل‌خیزی بالا می‌باشد؛ لذا اگر وقوع سیل همراه با رخداد زمین‌لغزش‌های کنار رودخانه‌ای باشد، خسارات ناشی از سیل چند برابر خواهد شد. شغل اصلی حوزه‌نشینان

زمین‌لغزش‌ها یکی از شایع‌ترین خطرات طبیعی مخرب در جهان محسوب می‌شوند که خسارت گسترده‌ای به جان و مال مردم، منابع طبیعی، تأسیسات حساس و زیرساخت‌ها وارد می‌کنند (Samodra *et al.*, 2018؛ Zhuang *et al.*, 2018) بطوری که بر اساس گزارش مرکز عملیات حوادث اضطراری^۱، زمین‌لغزش‌ها باعث ایجاد خسارت جانی و کشته شدن ۶۶۴۳۸ نفر و خسارت اقتصادی با ارزش تقریباً ۱۰/۸ میلیارد دلاری از ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۰ شده است. (Guha-Sapir *et al.*, 2020). یکی از دلایل اصلی بالا بودن تعداد رخداد لغزش در کشور ایران مهیا بودن شرایط طبیعی از جمله توپوگرافی کوهستانی، فعالیت دوره‌های زمین‌ساختی مختلف و توان لرزه‌خیزی بالا، تنوع اقلیمی، و تأثیر عوامل انسانی مانند افزایش جمعیت و فشار بی‌رویه بر منابع طبیعی و تغییرات کاربری اراضی در دهه‌های اخیر می‌باشد (Ariapour *et al.*, 2019; Gholami *et al.*, 2017). آگاهی از میزان تأثیر یک عامل خاص بر روی ایجاد ناپایداری‌های دامنه‌ای در جهت کاهش تعداد وقوع و حساسیت زمین‌لغزش‌ها امر بسیار ضروری است (Capitani *et al.*, 2011). در سراسر جهان استاندارد برای تعیین تعداد عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش وجود ندارد و تنها شرایط موجود در هر منطقه تعیین‌کننده نوع و تعداد عوامل مؤثر بر وقوع می‌باشد. انجام اقداماتی از جمله شناسایی و تعیین عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌ها، تخمین نواحی مستعد زمین‌لغزش و تهیه نقشه خطر وقوع زمین‌لغزش در جهت کاهش خسارات ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌ها ضروری می‌باشد (Wang *et al.*, 2016). از آنجایی که زمین‌لغزش‌ها در زمره بلایای طبیعی ویرانگر قرار دارند، محققان زیادی در سراسر جهان از روش‌های مختلفی جهت ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش استفاده نموده‌اند. از میان مدل‌های ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش، دو روش آنتروپی شانون و تحلیل سلسله مراتبی به سبب بیان نوع خاص روابط عوامل مؤثر در وقوع و آنچه که در واقعیت درباره وقوع زمین‌لغزش‌ها رخ می‌دهد، از اهمیت خاصی در تحقیقات برخوردار می‌باشند. مدل آنتروپی شانون بر داده‌های موجود زمینی (تراکم زمین‌لغزش‌ها در کلاس‌های عوامل)

3 Analytical Hierarchy Process

1 Emergency Events Database

2 Shannon Entropy

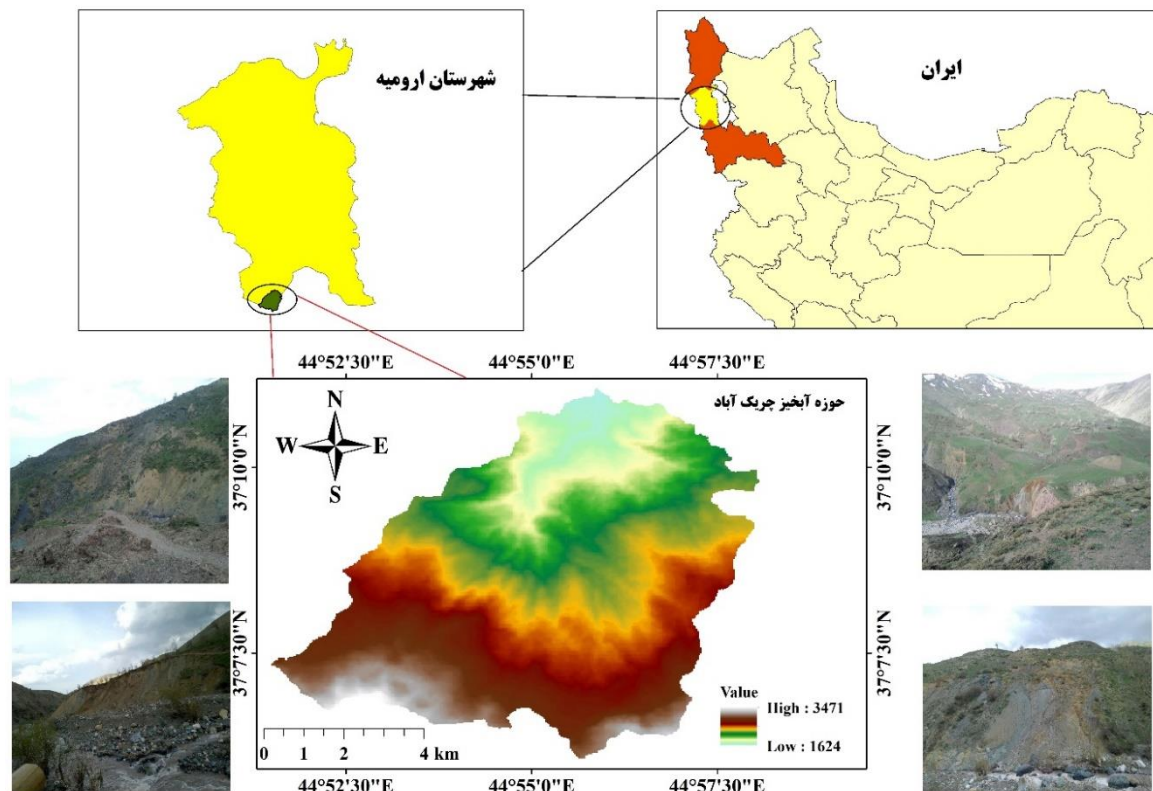
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز چریک‌آباد ارومیه با مساحت ۵۱۸۰ هکتار، ارتفاع متوسط ۲۴۲۳ متر، حداقل ارتفاع ۱۶۲۴ متر، حداکثر ارتفاع ۳۴۷۱ متر و شیب متوسط ۱۸ درجه می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه بر اساس آمار ایستگاه‌های مجاور حوزه برابر با ۴۳۰ میلی‌متر برآورد شده است. با توجه به کوهستانی بودن بخش اعظمی از حوزه مطالعاتی، کاربری غالب منطقه مرتع بوده و بخش‌های شمالی که نزدیک به روستا و دارای زمین‌های مسطح و هموارتر نسبت به سایر بخش‌های دیگر حوزه می‌باشد دارای کاربری کشاورزی است. از نظر زمین‌شناسی، حوزه مورد مطالعه در زون سنندج - سیرجان قرار گرفته است (شکل ۱).

دامداری و کشاورزی است. بنابراین به واسطه تراکم بالای دام و تغییر کاربری اراضی حوزه از مرتع به کشاورزی با برهم زدن فرم طبیعی زمین، شرایط رخداد زمین‌لغزش‌ها در این حوزه بیشتر مهیا شده است. با بررسی تصاویر گوگل‌ارث ماقبل ۲۰۱۸ مشخص شد اغلب زمین‌لغزش‌های این حوزه در سال‌های اخیر به وقوع پیوسته‌اند. بنابراین مطالعات در زمینه شناسایی عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش‌ها و اولویت‌بندی آنان با هدف کاهش تعداد رخداد یک امر ضروری می‌باشد.

هدف از این پژوهش تعیین عرصه‌های حساس به وقوع زمین‌لغزش و تهیه نقشه خطر آن با کمک دو روش فرایند سلسله‌مراتبی و روش آنتروپی شانون با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی و در نهایت ارزیابی میزان دقت مدل‌های مذکور در منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی به همراه تصاویری از زمین لغزش رخ داده

Figure 2. The geographical location of the study area along with images of the occurred landslide

روش تحقیق

روش تحلیل سلسله مراتبی بر پایه مقایسه زوجی عوامل مختلف استوار است. به‌منظور رتبه‌بندی عوامل مختلف و پارامترها و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی از قضاوت‌های شفاهی و پرسش‌نامه‌های نظرسنجی کارشناسان استفاده می‌شود. فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از تکنیک‌های کارآمد در زمینه تصمیم‌گیری چندمعیاره است که برای اولین بار در دهه ۱۹۸۰ توسط توماس ال ساعتی^۲ ارائه شد. این روش بر پایه مقایسه‌های زوجی عوامل بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به تصمیم‌گیران می‌دهد. استفاده از این روش از این نظر حائز اهمیت است که یکی الگوریتم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. همچنین زمینه ساده‌سازی تحلیل مسائل پیچیده طبیعی به‌صورت سلسله مراتبی را فراهم می‌نماید تا برنامه‌ریز بتواند به راحتی از طریق ارزیابی گزینه‌ها به کمک معیار و زیرمعیار انجام بدهد حاتمی‌فرد و همکاران (HatamiFard et al., 2012). هنگام تنظیم عوامل به ترتیب سلسله مراتبی، باید اهمیت نسبی یک پارامتر بر پارامتر دیگر وجود داشته باشد که یک نمره ماتریکس مقایسه دوتایی داشته باشد. برای ساختار ماتریس مقایسه زوجی، هر فاکتور با اختصاص مقدار غالب نسبی بین ۱ تا ۹ در برابر هر عامل دیگر رتبه‌بندی می‌شود. در این روش، اثرات هر پارامتر به حساسیت زمین‌لغزش نسبت به یکدیگر در زمینه مورد بررسی باید توسط کارشناسان یا تصمیم‌گیرندگان قابل درک باشد. به‌طور کلی، تعیین مقادیر پارامترها نسبت به یکدیگر بستگی به نظرات تصمیم‌گیرنده دارد (Basu and Ghatowar, 1988). بعد از شناسایی عوامل مختلف دخیل در وقوع زمین‌لغزش‌های حوزه آبخیز چریک‌آباد و تهیه نقشه‌های مربوط به هر عامل، این لایه‌ها در محیط GIS کلاسه‌بندی شدند. سپس فرم مربوط به مقایسات زوجی معیارها و گزینه‌ها در قالب فایل اکسل به همراه توضیحات مختصری از وضعیت حوضه به تعداد ۳۰ کارشناس خبره و متخصص در زمینه زمین‌لغزش ارسال شد. پس از تشکیل سوپرماتریس‌ها، وزن‌ها یا ارزش‌های هر معیار نسبت به هدف پژوهش از طریق مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به تک‌تک معیارها انجام و وزن نسبی محاسبه شد. برای محاسبه وزن نهایی گزینه‌ها، ماتریس

تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش شامل چهار مرحله اصلی آماده‌سازی لایه‌ها، تجزیه و تحلیل همبستگی بین لایه‌ها، مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش‌ها و ارزیابی کارایی مدل‌ها می‌باشد. موقعیت زمین‌لغزش‌های رخ داده در حوضه با بازدیدهای میدانی گسترده و استفاده از دستگاه جی‌پی‌اس (GPS) ثبت و از تصاویر گوگل‌ارث (برای ثبت نقاطی که به‌علت توپوگرافی پرشیب منطقه دسترسی به آنان دشوار بود) استفاده گردید که در مجموع تعداد ۹۵ زمین‌لغزش در منطقه شناسایی شدند. ارتفاع حوضه، میانگین بارندگی، جهت شیب، درجه شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از روستا، فاصله از جاده، فاصله از گسل، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده^۱ (NDVI) به‌عنوان ۱۱ عامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌ها در نظر گرفته شدند. نقشه مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک (۱۲/۵×۱۲/۵) متر از سایت دانشگاه آلاسکا دریافت و محدوده حوضه استخراج شد. موقعیت روستا، جاده‌ها و آبراهه‌ها با استفاده از تصاویر گوگل‌ارث و نقشه‌های موجود مشخص و برای تهیه لایه‌های فاصله از روستا، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، درجه شیب و جهت شیب مورد استفاده قرار گرفت. نقشه کاربری اراضی از اداره کل منابع طبیعی استان آذربایجان غربی تهیه و با استفاده از تصاویر گوگل‌ارث سال ۲۰۱۸ اصلاح گردید. نقشه شاخص (NDVI) از تصاویر ماهواره Sentinel-2 سال ۲۰۱۹ و رابطه زیر محاسبه و نقشه‌بندی شد (رابطه ۱).

$$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R} \quad \text{رابطه (۱)}$$

IR باند مادون قرمز نزدیک (باند هشت)، R باند

مادون قرمز (باند چهار)

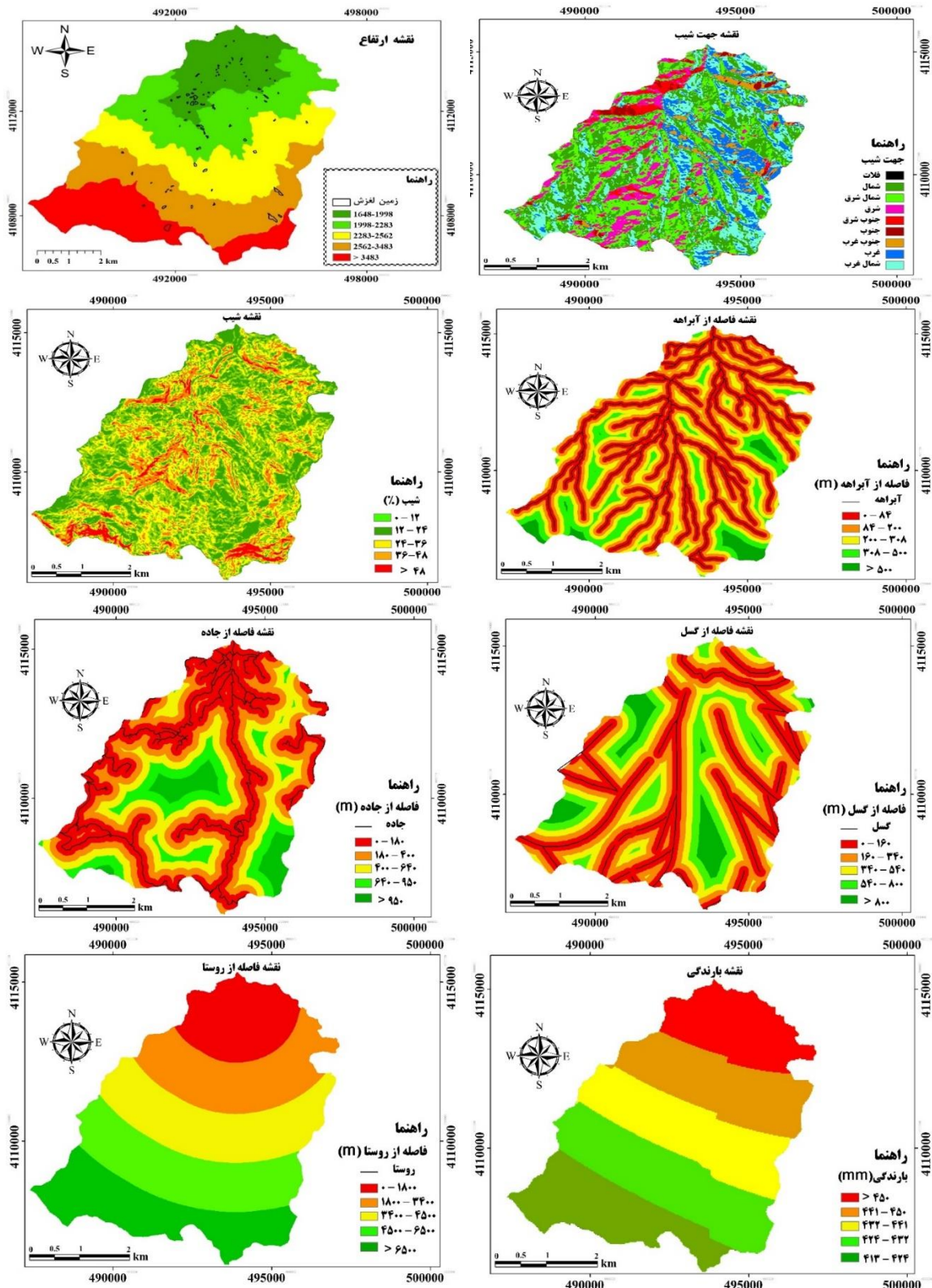
از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه سیلوانا جهت تهیه لایه‌های فاصله از گسل و سنگ‌شناسی استفاده شد. از آمار بارندگی ۱۳ ایستگاه اطراف حوزه آبخیز چریک‌آباد با دوره آماری مشترک (۱۳۶۹-۱۳۹۴) برای تهیه نقشه بارندگی محدوده مورد مطالعه استفاده شد (شکل ۲).

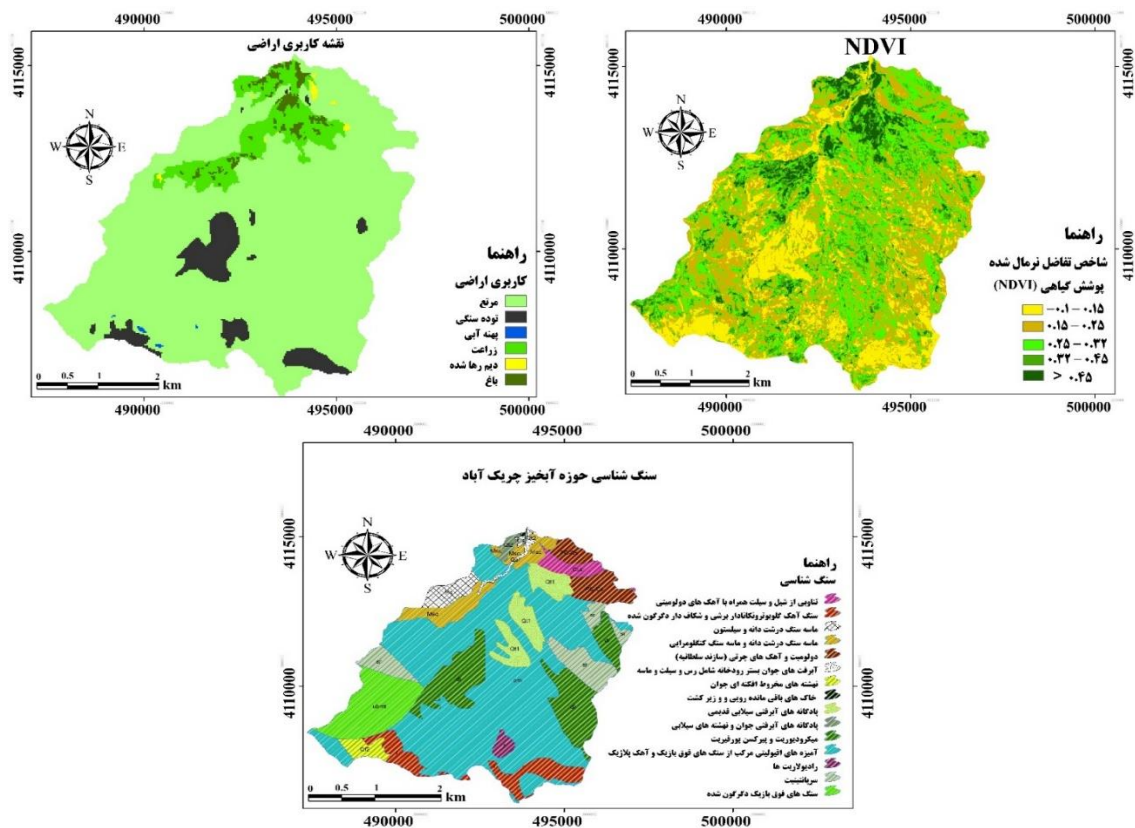
مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی

آمد (شکل ۳). وزن‌های نهایی برای هر یک از معیارها در محیط نرم‌افزار Expert Choice محاسبه و به جداول توصیفی هر یک از لایه‌های مربوطه در نرم‌افزار Arc GIS وارد شد.

وزن نسبی گزینه‌ها در ماتریس وزن معیارها ضرب شد. برای محاسبه وزن زیرمعیارها، نرخ‌های به‌دست آمده در نرم‌افزار Expert choice برای هر زیرمعیار در وزن نهایی آن معیار (شکل ۳) ضرب و وزن نهایی زیرمعیارها به‌دست





شکل ۲- نقشه‌های عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش‌ها در حوضه آبخیز چریک‌آباد
Figure 2. Landslide conditioning factors in the Cherikabad watershed

خواهد یافت و به کشف بهتر ارتباط عوامل و مکانیسم وقوع زمین‌لغزش منجر خواهد شد. لذا افزایش آنتروپی به‌منزله افزایش اطلاعات می‌باشد. از آنجا که روش‌های آماری دو متغیره از برقراری روابط بین عوامل مؤثر ناتوان هستند، تئوری آنتروپی با محاسبه نرخ طبقات عوامل و وزن عوامل می‌تواند به‌عنوان یک الگوریتم محاسباتی قدرتمند تأثیر بسزائی در شناسائی عوامل مؤثر و میزان تأثیرگذاری آن‌ها در وقوع زمین‌لغزش داشته باشد (Sharma *et al.*, 2012). در این تحقیق، از روش نسبت فراوانی جهت تعیین ارتباط بین زمین‌لغزش‌ها و عوامل تأثیرگذار بر آن‌ها و در نهایت نرخ‌دهی به طبقات عوامل استفاده شد. روش نسبت فراوانی روشی احتمالاتی است که بر پایه رابطه بین توزیع زمین‌لغزش‌ها و هریک از عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش بنا شده است (Tay *et al.*, 2014). روش آنتروپی شانون از روابط (۲ تا ۸) محاسبه می‌شود.

$$FR = \frac{A_i}{A_{cl}} \quad (2)$$

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

مدل آنتروپی شانون

آنتروپی، یکی از رویکردهای مدیریتی است که به‌منظور برخورد با بی‌نظمی، بی‌ثباتی، اغتشاش و عدم یقین‌های موجود در یک سیستم مورد استفاده قرار گرفته است. یوفنگ و فنگ‌زیانگ (Yufeng & Fengxiang, 2009). تئوری آنتروپی نخستین بار توسط بولتزمن در قالب اصل ترمودینامیک مطرح و سپس توسط شانون به‌صورت کمی ارائه شد. در واقع آنتروپی مفهومی است که پراکندگی و بی‌نظمی در را پدیده‌های طبیعی تخمین می‌زند. این مفهوم که در دانش ترمودینامیک کاربرد بسیار دارد. امروزه به سایر علوم نیز راه یافته است (Amir Ahmadi *et al.*, 2017). آنتروپی در حقیقت بیانگر آن است که چگونه از بین عوامل مؤثر یک هدف، می‌توان مهم‌ترین عوامل را تخمین زد یا به‌عبارتی‌دیگر متغیرهایی که بیشترین تأثیر را در رخداد لغزش دارند با استفاده از اطلاعات نهفته در این عوامل مشخص کرد. افزایش آنتروپی از حضور تعداد بالای عوامل مؤثر و ارتباط پیچیده عوامل با وقوع زمین‌لغزش‌ها ناشی می‌شود. هر چقدر این آنتروپی بیشتر باشد، اطلاعات در دسترس مدل افزایش

بر اساس روش فرایند سلسله مراتبی، به ترتیب عوامل فاصله از آبراهه، شیب و فاصله از جاده بیشترین تأثیر و فاصله از روستا و جهت شیب دارای کمترین تأثیر می-باشند.

مدل آنتروپی شانون

بر اساس نتایج حاصل از مدل برتر (آنتروپی شانون)، عوامل کاربری اراضی، فاصله از آبراهه و فاصله از گسل به ترتیب با وزن‌های نهایی ۰/۶۰۸، ۰/۲۸۱ و ۰/۲۷۱ بیشترین تأثیر را بر وقوع زمین لغزش داشته؛ در حالی که عوامل فاصله از روستا و فاصله از جاده با وزن‌هایی به ترتیب با مقدار ۰/۰۲۷ و ۰/۰۳۰ دارای کمترین تأثیر می-باشند. نتایج نشان‌دهنده عملکرد خیلی خوب مدل آنتروپی شانون در شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌ها و پهنه‌بندی حساسیت و تهیه نقشه خطر در حوضه است.

$$H_{jmax} = \log_2 S_j, S_j - \text{number of classes} \quad (4)$$

$$I_j = \frac{H_{jmax} - H_j}{H_{jmax}} \quad I = (0 - 1), j = 1 \dots n \quad (5)$$

$$V_{ji} = I_j FR \quad (6)$$

$$H_j = - \sum_{i=1}^{S_j} E_{ji} \times \log_2 E_{ji}, j = 1 \dots n \quad (7)$$

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

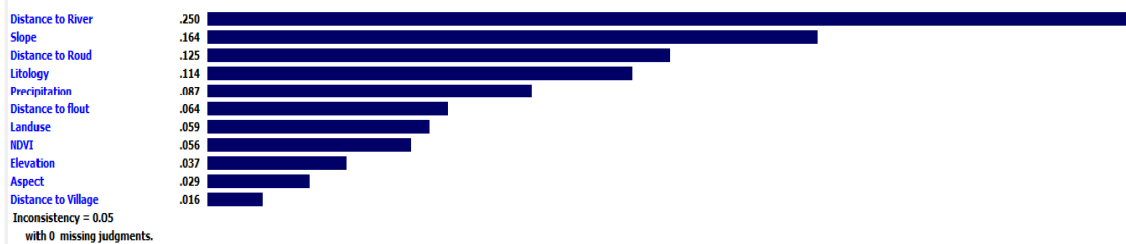
که در آن FR نسبت فراوانی هر طبقه، E_{ji} ارزش آنتروپی هر عامل و کلاس‌های مرتبط با آن، H_j و H_{jmax} به ترتیب مقادیر آنتروپی و بیشینه آنتروپی، I_j ضریب اطلاعات، V_{ij} درجه انحراف عدم اطمینان و V_j وزن نهایی هر عامل می‌باشد.

نتایج و بحث

مدل فرایند سلسله مراتبی

	Precipitation	Elevation	Slope	Aspect	Distance to Roud	Distance to Village	Distance to River	Distance to flout	Landuse	Litology	NDVI
Precipitation		2.0	3.0	6.0	2.0	4.0	5.0	2.0	2.0	1.0	3.0
Elevation			5.0	1.0	2.0	5.0	3.0	3.0	2.0	3.0	1.0
Slope				4.0	3.0	2.0	8.0	2.0	4.0	1.0	3.0
Aspect					2.0	5.0	2.0	3.0	3.0	5.0	3.0
Distance to flout						4.0	2.0	4.0	1.0	2.0	2.0
Distance to River							9.0	4.0	3.0	3.0	5.0
Distance to Village								5.0	6.0	8.0	5.0
Distance to Roud									2.0	3.0	3.0
Landuse										3.0	1.0
Litology											3.0
NDVI											

Priorities with respect to:
Goal: Factors Affecting Landslide



شکل ۳- ارزش‌گذاری معیارها با استفاده از روش AHP در نرم‌افزار Expert choice

Figure 3. Evaluation of criteria using AHP method in Expert Choice software

(Abedini *et al.*, 2018) هم‌سو بوده است. بیشتر مناطق این کلاس شیب را مراتع تشکیل داده‌اند. تخریب پوشش گیاهی به‌علت وجود دام‌مازاد و چرای بی‌رویه سبب شده که این کلاس شیب دارای پوشش گیاهی خیلی ضعیف و ضعیف باشد (Song *et al.*, 2012). همچنین قرارگیری این محدوده شیب در نزدیکی رودخانه، گسل و جهت

تحلیل عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل برتر درجه شیب

نتایج حاصل از بررسی عامل درجه شیب در منطقه مورد مطالعه نشان داد بیشتر زمین لغزش‌های منطقه در شیب‌های ۲۴-۳۶ درجه رخ داده‌اند که با نتایج حاصل از مطالعه

در بالادست و پایین‌دست دامنه‌های ناپایدار شده که محل عبور جاده می‌باشد، ریختن سرشاخه هرس شده درختان باغی و انجام اقدامات سازه‌ای مانند استفاده از دیوارهای سنگ‌چین توسط کشاورزان نیز می‌تواند دلیلی بر کاهش اثر فاصله از جاده در رخداد لغزش‌های این منطقه باشد. (جدول ۱).

فاصله از گسل

گسل یک عامل اصلی در رخداد زمین‌لغزش است که تأثیر آن همراه آبراهه چند برابر می‌شود (Lau, 2018). زیرا اغلب آبراهه‌ها در مسیر رخداد گسل‌ها ایجاد می‌شوند. در این محدوده پوشش گیاهی بسیار ضعیف بوده و بیشتر سازندهای آن از نوع آمیزه‌های افیولیتی و آهک بوده است. تأثیر فاصله از گسل به صورت عمومی در منطقه مورد مطالعه در تعداد نقاط لغزشی کم می‌باشد. اغلب گسل‌های حوضه از نوع گسل‌های فرعی بوده و در شیب‌های کم اتفاق افتاده‌اند. به همین دلیل عامل فاصله از گسل در وقوع زمین‌لغزش‌های حوزه نقش زیادی نداشته است. (جدول ۱).

فاصله از روستا

در بین طبقات لایه فاصله از روستا، بیشترین رخداد زمین‌لغزش‌ها مربوط به طبقات میانی می‌باشد. اغلب زمین‌لغزش‌های رخ داده در این محدوده دارای مساحت زیاد بوده و در نتیجه درصد پیکسل‌های بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند. در طبقات میانی حوضه، تغییرات کاربری از مرتع به سایر کاربری‌ها اغلب در سال‌های اخیر بوده است که تعادل خاک را در سطح دامنه کاهش داده است. در طبقات پایین و نزدیک روستا بیشترین سازندهای مقاوم به فرسایش و لغزش قرار داشته و کاهش تراکم آبراهه‌ها و فعالیت‌های تکتونیکی نظیر رخداد گسل از رخداد لغزش‌ها در مناطق پایین دست کاسته است. به دلیل افزایش توده‌های سنگی و دوری از روستا و بیرون‌زدگی توده سنگی و نبود خاک (Kornejady *et al.*, 2017 نوع دیگری از حرکات توده‌ای مانند واژگونی و ریزش دیده می‌شوند (جدول ۱).

طبقات ارتفاعی حوضه

در منطقه مورد مطالعه، به علت وجود خاک‌های عمیق و وجود گرادیان معکوس بارش در ارتفاعات میانی و پایین حوضه، تعداد رخداد لغزش‌ها بیشتر می‌باشند. دخالت

جغرافیایی نیز جز عامل‌های مؤثر بوده که نشان‌دهنده تأثیر زیاد این زیرعامل بر وقوع لغزش است زیرا اغلب این کلاس شیب دارای جهت‌های شمالی بوده که امکان رخداد لغزش در جهت شمالی به دلیل رطوبت بالاتر، بیشتر است (Zhang *et al.*, 2019). در شیب‌های کم به علت غلبه نیروی مقاومت نسبت به نیروهای محرک اغلب شرایط وقوع زمین‌لغزش فراهم نمی‌باشد. معمولاً در شیب‌های زیاد به دلیل وجود رخنمون سنگی و نبود لایه-های خاک از رخداد زمین‌لغزش‌ها کاسته می‌شود. در این حوضه نیز در شیب بالای ۳۶ درجه به علت وجود حالت پرتگاهی و صخره‌ای بودن، هیچ‌گونه پدیده زمین‌لغزش ثبت نشده است (جدول ۱).

فاصله از آبراهه

در حوضه مورد بررسی، بیشترین زمین‌لغزش‌ها در فاصله ۲۰۰-۳۴۰ متری از آبراهه رخ داده‌اند. اگرچه در حالت کلی می‌توان گفت با نزدیکی به رودخانه بر رخدادها افزوده شده اما بررسی‌ها نشان داد در این فاصله از آبراهه (۲۰۰-۳۴۰) بیشتر شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه قرار دارند. همچنین به منظور ایمن‌سازی و جلوگیری از تخریب توسط سیلاب‌ها اغلب جاده‌ها نیز در این فاصله از آبراهه ایجاد شده‌اند که می‌تواند عامل محرک مؤثری بوده باشد. همچنین در فاصله بیش از ۵۰۰ متر از آبراهه هیچ گونه لغزشی رخ نداده است زیرا به دلیل کوچک بودن حوضه مورد مطالعه، مساحت این کلاس خیلی کم و بر روی سازندهای مقام منطقه که دارای سنگ‌های دگرگون شده و توده سنگی هستند قرار گرفته‌اند (جدول ۱).

فاصله از جاده

معمولاً افزایش فاصله از جاده سبب کاهش تعداد رخداد لغزش می‌شود. انتظار می‌رود که در محدوده‌های اطراف جاده بر تعداد رخداد زمین‌لغزش افزوده شود. اما در این حوضه با افزایش فاصله از جاده، تعداد وقوع لغزش‌ها افزایش یافته است که با نتایج (Regmi *et al.*, 2010) مطابقت دارد. اغلب جاده‌های حوضه در مناطق دارای تغییر کاربری دیده می‌شوند. از طرفی بیشتر تغییر کاربری‌های حوضه در مناطقی که دارای شیب کم هستند، دیده شده‌اند. بنابراین نبود شیب مورد نیاز برای غلبه نیروی وزن می‌تواند سبب کاهش رخداد لغزش باشد. علاوه بر آن، انجام عملیات بیولوژیکی مانند کاشت درخت

شده است که با نتایج پژوهش (Pradhan, 2013) مطابقت دارد.

جهت‌های جغرافیایی

حوضه مورد مطالعه از نظر موقعیت جغرافیایی در شمال غربی ایران (نیمکره شمالی) می‌باشد که معمولاً در این مناطق، جهت‌های شمالی نقاط لغزشی بیشتری دارند. در حوضه مورد مطالعه بیشترین وقوع زمین‌لغزش مربوط به جهت شمال شرقی می‌باشد. اغلب ابرهای بارشی و توده‌های هوا از طرف جنوب و جنوب غربی وارد این حوضه می‌شوند، دامنه‌های شمالی و به‌ویژه شمال شرق بارش بیشتری را دریافت کرده و چون رطوبت دامنه افزایش می‌یابد بنابراین بر تعداد وقوع در این جهت افزوده شده است.

کاربری اراضی

در بررسی عامل کاربری نتایج نشان داد که تعداد نقاط لغزشی در مناطق دارای تغییرات کاربری بیشتر بوده است. در این حوضه بیشتر تغییرات ایجاد شده در کاربری اراضی به‌صورت تغییر کاربری از حالت مرتع به زمین‌های زراعت آبی و باغی بوده است. در حالت معمول، افزایش مقدار پوشش گیاهی باعث کاهش رخداد زمین‌لغزش شده و پوشش گیاهی در صورتی می‌تواند نتایج مثبت (کاهش رخداد زمین‌لغزش) را ارائه کند که اختلاف تأثیر سایر عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش زیاد نباشد (Pourghasemi *et al.*, 2013). در این حوضه بیشتر مناطقی که در آن‌ها تغییر کاربری ایجاد شده در محدوده سازندهای حساس به فرسایش (انواع سنگ‌های آهکی) قرار گرفته است. از آن‌جا که این مناطق در تمام طول ماه‌های گرم سال آبیاری می‌شوند بنابراین آبیاری به شیوه‌های مرسوم (آبیاری غرقابی) سبب زیرشویی سازندهای حساس به فرسایش و در نهایت رخداد زمین‌لغزش می‌شود. علاوه بر آن وجود پوشش گیاهی درختی در مناطق پرشیب سبب سنگینی دامنه شده است، در نتیجه کوچک‌ترین تأثیر عوامل محرک سبب رخداد زمین‌لغزش خواهد شد. تغییر مناطق کاربری مرتع به اراضی باغی که آبیاری آن عوامل محرک دیگر را تحریک کرده، باعث افزایش رخداد زمین‌لغزش در این مناطق شده است (جدول ۱).

عوامل انسانی در پایین دست مناطق کوهستانی این حوضه شرایط وقوع زمین‌لغزش‌ها را فراهم کرده است. علاوه بر آن ارتفاعات پایین دست و میانی نسبت به مناطق بالادست حوضه بارندگی بیشتری را دریافت می‌کند که افزایش بارندگی سبب افزایش رطوبت دامنه و افزایش رخداد زمین‌لغزش می‌شود (Pham *et al.*, 2019). در طبقات بالا به علت تغییر بارش از باران به برف، و غالب بودن پدیده یخبندان در اکثر ماه‌های سال و کاهش فرایند خاک‌سازی، افزایش شیب منطقه و ظاهر شدن رخنمون سنگی، از تعداد نقاط لغزشی کاسته شده است (جدول ۱).

عامل بارندگی حوضه

بررسی زیرمعیارهای عامل بارش در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد پهنه‌های بارشی ۴۳۲-۴۴۱ میلی‌متر دارای بیشترین رخداد زمین‌لغزش‌ها می‌باشد. در این محدوده وجود سازندهای حساس و پوشش گیاهی ضعیف سبب شده که تأثیر عامل بارندگی در این بخش خود را بیشتر نمایان کند. چون دامنه اختلاف طبقات رخداد بارش در بالا و پایین حوضه زیاد نمی‌باشد در نتیجه از اهمیت این عامل بر رخداد زمین‌لغزش‌ها تا حدودی کاسته شده است.

عامل سنگ شناسی

در حالت کلی اغلب حوضه مورد مطالعه از آمیزه‌های افیولیتی و آهک‌ها پلاژیک تشکیل شده است بنابراین ناخالصی و درهم‌ریختگی زیادی در میان واحدها وجود ندارد. این عامل سبب کاهش رخداد زمین‌لغزش می‌شود (chen *et al.*, 2018). تعداد ۱۵ واحد لیتولوژیکی در منطقه مورد مطالعه وجود دارد، همین مورد ممکن است یکی از دلایل کاهش اهمیت عامل زمین‌شناسی در رخداد زمین‌لغزش باشد (جدول ۱).

شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی

نتایج حاصل از شاخص (NDVI) نشان داد که مناطقی با پوشش گیاهی تنک و پراکنده و خاک‌های لخت دارای بیشترین احتمال رخداد لغزش و مناطقی با پوشش گیاهی متراکم و پرپشت دارای کمترین احتمال وقوع زمین‌لغزش می‌باشند. افزایش چرای مازاد در منطقه سبب تنک شدن پوشش و افزایش رخداد لغزش در مراتع

جدول ۱- وزن عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در روش آنتروپی شانون

Table 1. Weight of factors affecting the landslide occurrence in Shannon entropy method

factor	Class	FR	Eij	Hj	Hj(max)	Ij	Vij	Vj
Slope	0-12	0.479	0.114				0.090	
	12_24	1.103	0.263				0.208	
	24-36	1.637	0.390	1.883	2.322	0.189	0.309	0.158
	36-48	0.976	0.233				0.184	
	>48	0.000	0.000				0.000	
Aspect	Flat	0.000	0.000				0.000	
	North	0.660	0.101				0.097	
	North East	1.729	0.265				0.254	
	East	1.186	0.181				0.174	
	South East	0.430	0.066	2.705	3.170	0.147	0.063	0.107
	South	0.128	0.020				0.019	
	South West	0.293	0.045				0.043	
	West	1.186	0.181				0.174	
	North West	0.924	0.141				0.136	
Elevation	1,648 - 1,998	1.180	0.235				0.102	
	1,998 - 2,283	0.207	0.041				0.018	
	2,283 - 2,561	1.187	0.236	2.121	2.322	0.087	0.103	0.087
	2561-2871	1.653	0.329				0.143	
	> 2,8871	0.794	0.158				0.069	
Distance to Fault	0-160	1.025	0.235				0.315	
	160-340	1.256	0.288				0.404	
	340-540	0.776	0.178	1.608	2.322	0.307	0.250	0.278
	540-800	1.306	0.299				0.421	
	> 800	0.000	0.000				0.000	
Distance to Stream	0-80	1.031	0.227				0.319	
	80-200	0.789	0.173				0.244	
	200-308	1.631	0.359	1.603	2.322	0.309	0.505	0.282
	308-500	1.097	0.241				0.340	
	> 500	0.000	0.000				0.000	
Distance to Village	0-1800	0.794	0.164				0.022	
	1800-3400	0.658	0.136				0.019	
	3400-4500	1.120	0.231	2.256	2.322	0.028	0.032	0.027
	4500-6500	1.485	0.306				0.042	
	> 6500	0.789	0.163				0.022	
Distance to Rout	0-180	0.692	0.129				0.020	
	180-400	1.059	0.197				0.030	
	400-640	1.182	0.220	2.256	2.322	0.028	0.033	0.030
	640-950	0.807	0.150				0.023	
	> 950	1.633	0.304				0.046	
Precipitation	413-424	1.044	0.216				0.043	
	424-432	1.081	0.223				0.045	
	432-441	1.521	0.314	2.225	2.322	0.042	0.063	0.040
	441-450	0.697	0.44				0.029	
	>450	0.499	0.103				0.021	
Lithology	Ms	0.000	0.000				0.000	
	PC-Cs	0.000	0.000				0.000	
	Cbt	3.838	0.397				1.525	
	Msc	1.485	0.154				0.590	
	Qt2	0.000	0.000				0.000	
	Qal	0.000	0.000	2.355	3.907	0.397	0.000	0.256
	Qt	0.000	0.000				0.000	
	om	1.138	0.118				0.452	
	Qt1	1.174	0.121				0.467	
	I	0.000	0.000				0.000	
Qf2	0.000	0.000				0.000		

	ubmt	0.820	0.085				0.326	
	sr	0.000	0.000				0.000	
	di	1.213	0.125				0.482	
	r	0.000	0.000				0.000	
Land use/cover	Rangeland	1.236	0.152				0.554	
	Garden	2.627	0.322				1.177	
	Agriculture	4.290	0.526	1.427	2.585	0.448	1.923	0.609
	Dry farming	0.000	0.000				0.000	
	Rock	0.000	0.000				0.000	
	water resource	0.000	0.000				0.000	
NDVI	0.10-0.15-	6.795	0.659				0.682	
	0.15-0.25	2.064	0.200				0.207	
	0.25-0.32	0.840	0.081	2.089	2.322	0.100	0.084	0.207
	0.32-0.45	0.387	0.037				0.039	
	> 0.45	0.229	0.022				0.023	

** مساحت کل حوزه آبخیز ۵۱۸۰ هکتار و مساحت کل لغزش‌های رخ داده ۲۹/۲۶ هکتار می‌باشد.

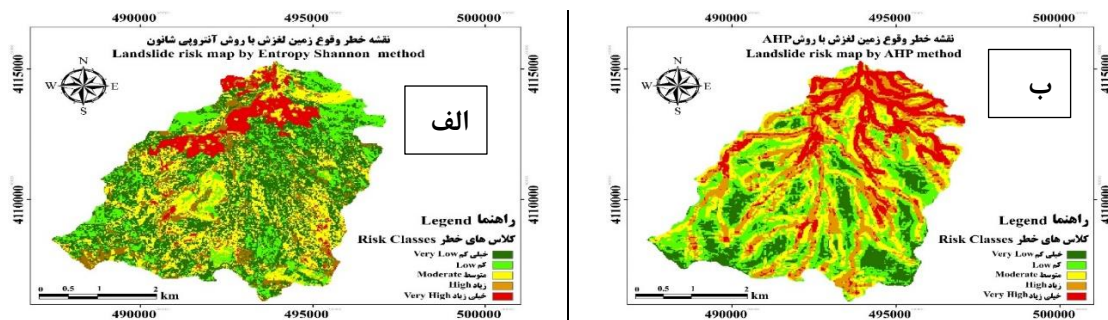
شانون بر اساس منحنی ROC پهنه‌های دارای حساسیت بالا را نسبت به مدل AHP بسیار بهتر تشخیص داده و بر اساس مدل برتر حدود ۳۲ درصد از حوضه مورد مطالعه در پهنه‌هایی با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است (جدول ۲).

در تحقیق حاضر، منحنی‌های ROC برای دو مدل آنتروپی شانون و AHP با استفاده از افزونه PMT¹ در محیط ArcGIS 10.3 ترسیم شد. سطح زیرمنحنی برای مدل آنتروپی شانون برابر ۰/۸۷۹ و برای مدل AHP برابر ۰/۷۰۶ بوده است. در حوضه مورد مطالعه مدل آنتروپی

جدول ۲- مساحت و درصد کلاس‌های خطر زمین لغزش حاصل از مدل آنتروپی شانون

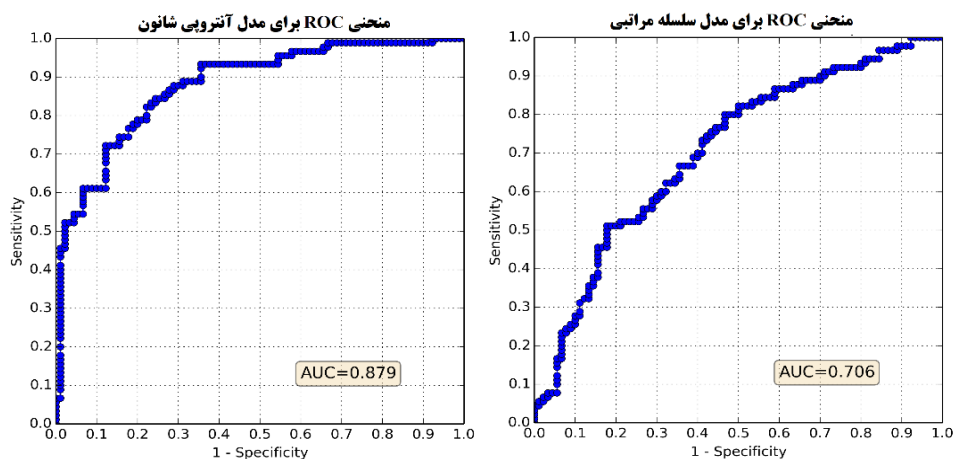
Table 2. Area percentage of landslide susceptibility classes generated by Shannon entropy model

Landslide susceptibility classes	(Shannon Entropy)		(AHP)	
	Area (ha)	Percentage of landslide occurrence	Area (ha)	Percentage of landslide occurrence
Very low	704	13	732	15
Low	1655	30	1293	25
Moderate	1113	25	1550	30
High	916	17	889	17
Very High	772	15	720	13



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده روش الف: AHP ب: آنتروپی شانون

Figure 4. Landslide Sensitivity Zoning Map Using Methods A: AHP B: Shannon Entropy



شکل ۵- منحنی ROC و سطح زیر منحنی مربوط به دو مدل AHP و آنتروپی شانون در حوضه آبریز چریک‌آباد
Figure 5. ROC Curve and Areas Under the Receiver Operating Characteristic Curve for AHP and Shannon Entropy models in Cherikabad Watershed

زمین‌لغزش‌ها داشته است. کنترل زمین‌لغزش در حال وقوع، اغلب امکان‌پذیر نبوده و در صورت امکان بسیار پرهزینه می‌باشد، اما تا حدودی می‌توان از وقوع آن در مناطق مستعد پیشگیری نمود. کنترل لغزش‌هایی که در اثر عوامل طبیعی شکل می‌گیرند کار آسانی نخواهد بود. در صورتی که زمین‌لغزش‌های ناشی از عوامل انسان‌ساخت را بهتر می‌توان مدیریت کرد. با این وجود با توجه به اثرات مرکب عوامل طبیعی و انسان‌ساخت در وقوع این پدیده در مناطق مختلف، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعات مربوط به حرکات توده‌ای و فرسایش خاک می‌تواند بسیار مؤثر باشد. با توجه به مقادیر به‌دست آمده از مقایسه دو روش مشخص گردید که روش آنتروپی شانون پهنه‌های با خطر بالا و بسیار بالا را بهتر از روش فرایند سلسله مراتبی تشخیص داده است. همچنین در هر دو روش پهنه‌های با خطر کم و متوسط به‌خوبی از هم متمایز می‌شود. براین اساس با توجه به دقت خیلی خوب مدل آنتروپی شانون با درصد خطای کم در ارزیابی و تهیه نقشه خطر لغزش‌های حوضه، می‌توان پیشنهاد کرد که نقشه مذکور می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های آتی، مدیریت دامنه‌های ناپایدار و آمایش سرزمین در منطقه مورد مطالعه نقش بسزایی

نتیجه‌گیری کلی

تهیه نقشه خطر وقوع زمین‌لغزش، پیش‌زمینه‌ای در شناخت عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌ها و ارائه برنامه‌های مدیریتی و پیش‌گیرانه می‌باشد. نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش کاربرد گسترده‌ای در امور زیربنایی احداث و توسعه عملیات سازه‌ای و کشاورزی و منابع طبیعی دارد. هدف از تحقیق حاضر، تهیه نقشه پتانسیل خطر زمین‌لغزش با مدل‌های AHP و آنتروپی شانون در حوزه آبخیز چریک‌آباد بوده است. عوامل توپوگرافی، زمین‌شناسی، اقلیمی و انسان‌ساخت به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند. ارزیابی کارایی مدل‌های آنتروپی شانون و مدل فرایند سلسله مراتبی با استفاده از منحنی ROC نشان داد که مدل آنتروپی شانون دارای عملکرد بهتری بوده است. بر اساس نتایج حاصل از مدل برتر، لایه‌های کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل و لیتولوژی حوضه بیش‌ترین تأثیر را بر وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه و فاصله از روستا و فاصله از جاده کم‌ترین تأثیر را داشته‌اند. بنابراین در حوضه مورد مطالعه هر دو عامل طبیعی و انسان‌ساخت در رخداد زمین‌لغزش مؤثر بوده‌اند. کاربری اراضی که از عوامل انسان‌ساخت می‌باشد، تأثیر بسزایی در رخداد

داشته باشد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی، ویژگی‌های خاک سطحی و لایه زیرسطحی (نفوذپذیری، آبدوستی، بافت خاک) به‌عنوان عامل تأثیرگذار در زمین‌لغزش مدنظر قرار گیرد. همچنین آموزش ساکنین منطقه در نحوه کشت، نحوه آبیاری مزارع و باغات و حفاظت از کناره‌های رودخانه‌ها با روش‌های اصولی می‌تواند سبب کاهش رخداد زمین‌لغزش‌ها در حوضه شود.

References

- Abedini M., and Tulabi S. 2018. Assessing LNRF, FR, and AHP models in landslide susceptibility mapping index: a comparative study of Nojian watershed in Lorestan province, Iran. *Environmental earth sciences*, 77(11): 405- 418.
- Amir Ahmadi A., Naemi Tabar M., and Gholkar ostadi B. 2017. Prioritize and zoning factors affecting the landslide model entropy (Case study: Bajgiran, Ghochan. *Hydrogeomorphology*, 3(11): 105-125. (In Persian)
- Ariapour M., Bashiri M., and Golkarian A. 2019. Modeling of Mass Movements Using Data Mining Methods in the Southeast of Neyshabur City, Razavi Khorasan Province. *Hydrogeomorphology*, 5(19): 57-77. (In Persian)
- Basu S.R., and Ghatowar L. 1988. Landslides in the Lish Basin of the eastern Himalayas and their control. *Geomorphology and Environment. Allahabad Geographical Society, Allahabad*: 428-443.
- Capitani M., Ribolini A., and Federici P.R. 2011. Influence of deep-seated gravitational slope deformations on landslide distributions: a statistical approach. *Geomorphology*, 201: 127-134.
- Chen, W., Zhang, S., Li, R., & Shahabi, H. 2018. Performance evaluation of the GIS-based data mining techniques of best-first decision tree, random forest, and naïve Bayes tree for landslide susceptibility modeling. *Science of the Total Environment*, 644 :1006-1018.
- Gholami M., soleymani K., and Nekoe E. 2017. Landslide susceptibility mapping by use of Weight of Evidence (WofE) and Frequency Ratio (FR) and Dempster-Shafer (DSH) models: A case study of Sari-Kiasar region, Northern Iran. *Journal of Range and Watershed Management*, 70(3): 735-750 (In Persian)
- Guha-Sapir D., Below R., and Hoyois P. 2020. EM-DAT: international disaster database. Brussels, Belgium: Université Catholique de Louvain.
- HatamiFard R., Mousavi S., and Alimoradi M. 2012. Landslide hazard zonation using AHP model and GIS technique in Khoram Abad City. *Geography and Environmental Planning*, 23(3): 43-60. (In Persian)
- Kornejady A., Ownegh M., and Bahremand, A. 2017. Landslide susceptibility assessment using maximum entropy model with two different data sampling methods. *Catena*, 152: 144-162.
- Lau NN. 2018. Determination of ground displacement of 25 April 2015 Nepal earthquake by GNSS precise point positioning Vietnam. *J. Earth. Sci*, 40:17–25.
- Pham BT., Jaafari A., Prakash I., and Bui, DT. 2019. A novel hybrid intelligent model of support vector machines and the Multiboot ensemble for landslide susceptibility modeling. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(4): 2865-2886.
- Pourghasemi HR., Moradi HR., and Aghda SF. 2013. Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Natural hazards*, 69(1): 749-779.
- Pradhan B. 2013. A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS. *Computers & Geosciences*, 51: 350-365.
- Regmi NR., Giardino JR., Vitek JD., and Dangol V. 2010. Mapping landslide hazards in western Nepal: Comparing qualitative and quantitative approaches. *Environmental & Engineering Geoscience*, 16(2), 127-142.
- Samodra G., Chen G., Sartohadi J., and Kasama K. 2018. Generating landslide inventory by participatory mapping: an example in Purwosari Area, Yogyakarta, Java. *Geomorphology*, 30(6): 306-313.

- Sharma L.P., Patel N., Ghose M.K., and Debnath, P. 2012. 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(5): 421-431.
- Song Y., Gong J., Gao S., Wang D., Cui T., Li Y., and Wei B., 2012. Susceptibility assessment of earthquake-induced landslides using Bayesian network: a case study in Beichuan, China. *Computers & Geosciences*, 42: 189-199.
- Tay L.T., Lateh H., Hossain M.K., and Kamil A.A. 2014. Landslide hazard mapping using a Poisson distribution: a case study in Penang Island, Malaysia. In *Landslide Science for a Safer Geoenvironment*. Springer, Cham. (521-525 pp.).
- Wang H.B., Li J.M., Zhou B., Zhou Y., Yuan Z.Q., and Chen Y.P. 2017. Application of a hybrid model of neural networks and genetic algorithms to evaluate landslide susceptibility. *Geoenvironmental Disasters*, 4(15): 1-12.
- Wang Q., Li W., Wu Y., Pei Y., and Xie P. 2016. Application of statistical index and index of entropy methods to landslide susceptibility assessment in Gongliu (Xinjiang, China). *Environmental Earth Sciences*, 75(7): 1-13.
- Yalcin A. 2011. A geotechnical study on the landslides in the Trabzon Province, NE, Turkey. *Applied clay science*, 52: 11-29.
- Yufeng S., and Fengxiang J. 2009. Landslide stability analysis based on generalized information entropy in 2009. *international conference on environmental science and information application technology*, 2: 83-85. IEEE.
- Zhang TY., Han L., Zhang H., Zhao YH., Li XA., and Zhao L. 2019. GIS-based landslide susceptibility mapping using hybrid integration approaches of fractal dimension with index of entropy and support vector machine. *Journal of Mountain Science*, 16(6): 1275-1288.
- Zhao H., Yao L., Mei G., Liu T., and Ning Y. 2017. A fuzzy comprehensive evaluation method based on AHP and entropy for a landslide susceptibility map. *Entropy*, 19(8):1-16.
- Zhuang J., Peng J., Wang G., Javed I., Wang Y., and Li W. 2018. Distribution and characteristics of landslide in Loess Plateau: A case study in Shaanxi province. *Engineering Geology*, 236: 89-96.

Landslide Hazard Mapping Using AHP and Shannon Entropy Models in Cherikabad of Urmia Watershed

Abdulaziz Hanifinia¹, Habib nazarnejad^{2*}, Saeed Najafi³, Aiding Kornejady⁴

(Received: April 2021 Accepted: September 2021)

Abstract

Understanding the factors, conditions of occurrence, and development of landslides in order to assess and zoning the risk of its occurrence provides the possibility of achieving methods by which the dangers and damage caused by landslides can be prevented. The purpose of this study is to prepare a landslide risk potential map with AHP and Shannon entropy models in the Cherikabad watershed of Urmia. Initially, ninety-five landslide points were recorded using GPS through field visits and Google Earth. Layers of mean annual rainfall, slope degree, slope Aspect, elevation classes, land use, Lithology, distance to River, distance to road, distance to fault, distance to village, and normalized index of vegetation difference (NDVI) As factors affecting the occurrence of landslides in the basin were selected and maps of these layers were prepared in the GIS environment and digitized. After combining the layers of factors affecting the occurrence of landslide, the landslide risk potential map was prepared for two models of Analytic hierarchy process (AHP) and Shannon entropy. The results of preparing risk maps using the Areas Under the Receiver Operating Characteristic Curve with the area below the 99% significance curve showed that both models have good performance in evaluation. Shannon entropy model with 87.9% AUC and very good performance compared to AHP model with 70.6% AUC and a good performance class, has a higher accuracy in preparing the maps. According to Shannon's entropy model, 32% of the basin is located in high and very high-risk classes, which should be considered by the relevant authorities to implement relief measures.

Keywords: Natural hazards, GIS, Receiver Operating Characteristic Curve, Area Under the Curve

Hanifinia A., nazarnejad H., Najafi S., Aiding Kornejady A. 2022. Landslide hazard mapping using AHP and Shannon Entropy models in Cherikabad of Urmia watershed. *Applied Soil Research*. 10(3): 130-144.

1. Ph.D. student of Watershed Management, Urmia University

2 Associate Professor, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Urmia University

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

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

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