



پهنه‌بندی حساسیت به وقوع زمین‌لغزش با روش نسبت فراوانی (مطالعه موردی: جنگل تحت مدیریت صنایع چوب و کاغذ مازندران)

نسترن زارع^۱، سید عطااله حسینی^۲، محمد کاظم حقیقی^۳، اکبر نجفی^۴ و
باریس مجنونیان^۴

۱ و ۳- دانشجوی دکتری و استاد، دانشگاه تهران
۲- استاد دانشگاه تهران (نویسنده مسوول: at.hosseini@ut.ac.ir)
۴- دانشیار دانشگاه تربیت مدرس
تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۶
صفحه: ۶۲ تا ۷۱

چکیده

زمین‌لغزش یکی از مخاطرات طبیعی است که همه ساله خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را در مناطق کوهستانی پرباران و لرزه خیز به همراه دارد. نظر به اهمیت جاده‌ها بعنوان رکن اساسی مدیریت پایدار جنگل در این مطالعه بر آن شده‌ایم تا به برآورد حساسیت به وقوع زمین‌لغزش در ۸ سری از جنگل‌های صنایع چوب و کاغذ مازندران با استفاده از روش نسبت فراوانی بپردازیم. ابتدا موقعیت لغزش‌های اتفاق افتاده توسط GPS ثبت، سپس عوامل موثر در وقوع لغزش برای منطقه مورد مطالعه تعیین گردید. نقشه‌های رستری عوامل موثر تهیه و طبقه‌بندی شدند. با توجه به پراکنش لغزش‌های ثبت شده در عرصه و طبقات عوامل موثر در نظر گرفته شده، پارامتر نسبت فراوانی برای هر طبقه از هر عامل محاسبه و رابطه آنها با وقوع زمین‌لغزش بررسی شد. نتایج ارتباط بین عامل موقعیت و لغزش‌های رخ داده نشان داد که بیشترین میزان لغزش‌ها در پایین‌دست جاده اتفاق افتاده است و با بالا رفتن سن جاده‌ها از میزان لغزش‌ها کاسته می‌شود. ارتباط بین عامل خاک و لغزش‌های رخ داده نشان داد که در طبقه با کد 2.2.3 که معرف بافت خاک لومی، لومی رسی و رسی می‌باشد بیشترین تعداد لغزش مشاهده شد و نیز در طبقه ارتفاع از سطح دریا ۳۰۰ تا ۶۰۰ متر بیشترین میزان لغزش‌ها رخ داده است و با بالا رفتن شیب تا ۴۰ درصد به تعداد لغزش‌ها افزوده شد. ارتباط بین عامل زمین‌شناسی و لغزش‌های رخ داده نشان داد که در طبقه با کد L-PLL2 که معرف ارتفاعات نسبتاً بلند با شیب متوسط، عمق خاک متوسط، پایداری و نفوذپذیری ضعیف می‌باشد بیشترین تعداد لغزش مشاهده شد. ارتباط بین عامل بارش و لغزش‌های رخ داده نشان داد که بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر بیشترین میزان لغزش بوقوع پیوسته است. در جهات شمالی، شمال شرقی و شمال غربی نیز بیشترین میزان لغزش بوقوع پیوسته است. نتایج ارزیابی مدل با روش ROC نشان داد که سطح زیر نمودار (AUC) برابر با ۰/۶۸۸ (۶۸/۸) درصد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زمین‌لغزش، نسبت فراوانی، صنایع چوب و کاغذ مازندران، شیب، بافت خاک

مقدمه

مواد مغذی خاک حتی سال‌ها بعد از لغزش نیز همچنان پایین خواهد ماند. این تغییر شرایط می‌تواند بر روی خصوصیات درختان نظیر رشد درختان، استقرار درختان و مرگ و میر در حین توالی جنگل تاثیر بگذارد (۷). در مطالعات زمین‌لغزش آنچه بیشتر مورد تحلیل قرار می‌گیرد پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است (۲۸). پهنه‌بندی خطر به مفهوم تقسیم‌بندی سطح زمین به بخش‌های مختلف و رده‌بندی این بخش‌ها بر اساس درجه خطر (استعداد) زمین‌لغزش‌ها به کار می‌رود (۳۷، ۲۹، ۳۹). بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزار تحلیلی پایه در پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش همراه با مدل‌های مناسب بسیار موثر است. تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش به طراحان و مهندسان برای انتخاب مکان مناسب اجرای طرح‌های توسعه کمک بزرگی می‌نماید (۳۴، ۳۵). تاکنون روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و برآورد شدت و ارزیابی این پدیده ارائه شده که به‌طور کلی به روش‌های کیفی، نیمه کمی و کمی دسته‌بندی می‌شوند. این نقشه‌ها می‌توانند بر اساس پیش‌بینی مکانی لغزش با بکارگیری رویکردهای مستقیم یا غیر مستقیم تهیه شوند. رویکرد مستقیم روش‌هایی است که بر اساس نقطه نظر کارشناسان در ارتباط با تاثیر متغیرهای محرک وقوع زمین لغزش می‌باشد درحالیکه رویکرد غیر مستقیم مربوط به روش‌هایی است که بر اساس الگوریتم‌های آماری می‌باشند

شبکه جاده‌های جنگلی از ساختارهای ضروری و زیربنایی به منظور بهره‌برداری و حمل و نقل محصولات و همچنین استفاده از خدمات و حفاظت منابع جنگلی و در نتیجه نیل به اهداف مدیریت پایدار به شمار می‌روند (۱۷). یکی از پدیده‌هایی که در ارتباط با جاده‌های جنگلی اهمیت زیادی داشته ولی متأسفانه در کشور ما بویژه در بخش مدیریت جنگل کمتر مورد توجه بوده است، پدیده زمین‌لغزش می‌باشد. ساخت جاده بعنوان یک عارضه خطی تاثیرگذار سبب افزایش وقوع این پدیده می‌شود (۱۷، ۲۰). زمین‌لغزش اصطلاحی است که در برگزیده کلیه انواع حرکات دامنه‌ای بوده و عموماً به تمام رویدادهایی گفته می‌شود که در اثر ناپایداری در دامنه‌ها اتفاق افتاده و سبب جابجایی توده‌ای از مواد در طول دامنه می‌شود (۲۸). فرآیندهای فوق سبب حرکت مواد به صورت لغزش، واژگونی، جریان، ریزش، خزش و گسترش جانبی می‌شوند. گاهی این حرکات چنان سریع هستند که سرعت آنها به ده‌ها کیلومتر در ساعت می‌رسد و گاهی چنان آهسته هستند که جز با گذشت زمان و از روی شواهد نشان دهنده حرکت، نمی‌توان به وجود حرکت پی برد. زمین‌لغزش شرایط زیست‌محیطی را در سطوح لغزشی بطور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌دهد، تابش نور افزایش می‌یابد، خاک‌ها ناپایدار خواهند شد و به سبب از دست رفتن لایه آلی خاک، محتوی

هنگام ساخت جاده در جنگل، با حذف پنجه شیب (دامنه خاکبرداری) و افزایش سربار در دامنه خاکریزی، نوعی آشفتگی در طبیعت جنگل رخ داده و سبب ناپایداری شیب بالادست و پایین دست جاده جنگلی و در نتیجه وقوع زمین لغزش گردد. بنابراین در طراحی جاده های جنگلی قسمت های حساس به لغزش باید با دقت شناسایی و تا حد امکان از عبور جاده بر روی این اراضی پرهیز گردد (۸). به طور کلی در مجموع مساحت جنگل های سه استان شمالی کشور ۸۹۰۶۸۰ هکتار طرح جنگلداری فعال و ۱۰۰۰۰ کیلومتر جاده جنگلی ساخته شده موجود می باشد که جهت مدیریت منابع جنگلی و بر اساس برنامه ریزی مدیریتی در حال بهره برداری می باشند (۱۹). با توجه به اهمیت جاده های جنگلی بعنوان ارکان اساسی طرح های جنگلداری و نظر به اینکه در شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران تاکنون در وسعت بالا بررسی لغزش های حاشیه جاده صورت نگرفته است، نیاز به پایش وضعیت لغزش های اطراف جاده جهت مدیریت بهینه، مرمت و نگهداری این سرمایه های ملی ضروریست، از این رو در این مطالعه بر آن شدیم که به پهنه بندی خطر زمین لغزش حاشیه جاده های جنگلی در ۸ سری از جنگل های تحت مدیریت شرکت فوق به مساحت تقریباً ۱۱۷۰۰ هکتار با روش نسبت فراوانی پردازیم.

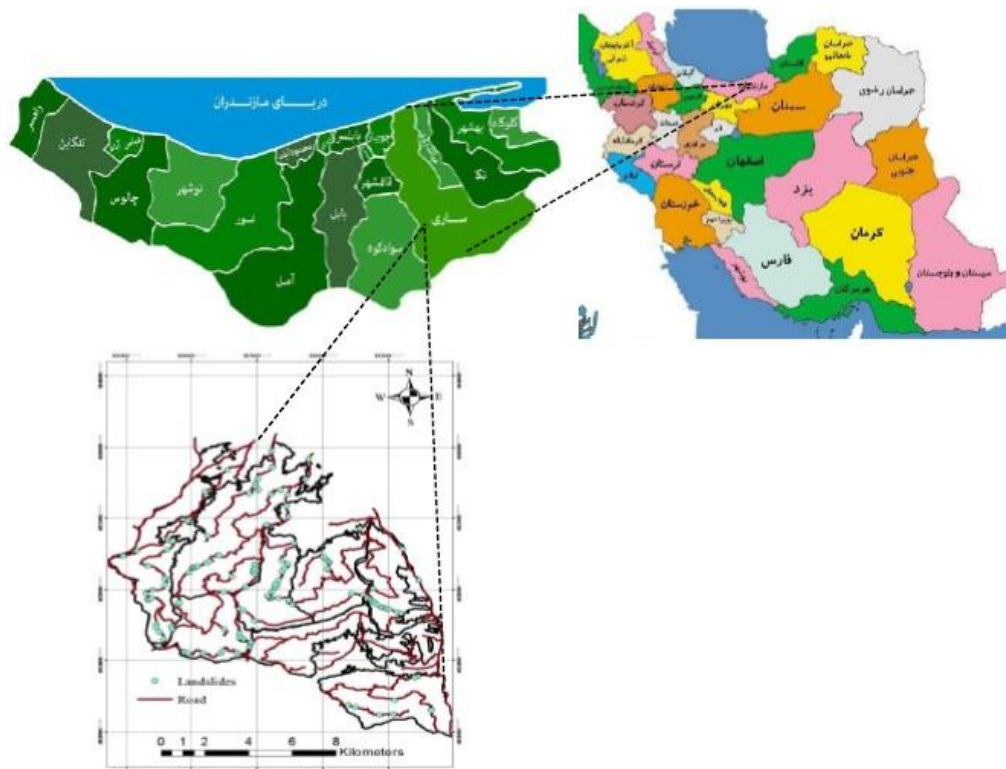
مواد و روش ها

منطقه پژوهش

منطقه مورد مطالعه بخشی از جنگل های تحت مدیریت صنایع چوب و کاغذ مازندران می باشد. محدوده بین طول های جغرافیایی ۱۱° ۰۱' ۵۳" و ۵۸° ۱۰' ۵۳" شرقی و عرض های جغرافیایی ۰۷° ۲۷' ۳۶" و ۱۸° ۱۸' ۳۶" شمالی قرار دارد. مساحت کل محدوده مورد مطالعه ۱۱۷۰۰ هکتار می باشد. حداقل ارتفاع از سطح دریا منطقه ۱۸۰ متر و حداکثر ارتفاع از سطح دریا ۱۰۱۰ متر می باشد. در مجموع این ۸ سری تقریباً ۲۴۰ کیلومتر جاده مورد مطالعه قرار گرفت.

(۳۸،۳۲). از ارتباط بین مناطقی که در آن ها زمین لغزش بوقوع پیوسته و عوامل ایجاد کننده لغزش میتوان به ارتباط بین مناطقی که در آن ها لغزش رخ نداده و عوامل ایجاد کننده لغزش رسید. به منظور تعیین نزدیکی این رابطه، یک تکنیک آماری ساده به نام نسبت فراوانی بکار گرفته می شود. مدل نسبت فراوانی در اولویت بندی عوامل ایجاد کننده زمین لغزش بسیار ارزشمند است زیرا تفاوت عددی هر یک از عوامل را برای ایجاد زمین لغزش بوضوح اعلام می کند (۳۶). راسید و همکاران (۳۶) در مطالعه ای به تهیه نقشه حساسیت به زمین لغزش با دو روش نسبت فراوانی و رگرسیون لجستیک در کوهستان لمپوباتانگ اندونزی پرداختند. منحنی ROC برای کنترل مدل ها بکار گرفته شد. مساحت زیر منحنی به عنوان معیار دقت و صحت مدل مورد استفاده قرار گرفت. در آنالیزها مدل نسبت فراوانی دقت ۸۵/۸ درصد را در نرخ AUC نشان داد در حالی که مدل رگرسیون لجستیک دقت ۸۶/۹ درصد را نشان داد. قجر و همکاران (۱۳) در مطالعه ای به برآورد حساسیت وقوع زمین لغزش در مناطق جنگلی حوزه آبخیز کجور با استفاده از روش نسبت فراوانی پرداختند. نقشه نهایی حساسیت به وقوع زمین لغزش بر این اساس تهیه و در پنج طبقه حساسیت با روش شکستگی های طبیعی طبقه بندی شد. نتایج نشان داد که حدود ۱۲ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه در ناحیه با حساسیت بسیار زیاد، ۲۸ درصد در ناحیه با حساسیت زیاد، ۳۳ درصد در ناحیه با خطر متوسط، ۲۲ درصد در ناحیه با حساسیت کم و ۵ درصد در ناحیه با حساسیت بسیار کم قرار داشته است.

عرب عامری و همکاران (۱) در مطالعه ای به ارزیابی مقایسه ای روش های احتمالاتی وزن واقعه و نسبت فراوانی در پهنه بندی خطر زمین لغزش پرداختند. منحنی ROC رسم گردیده و مساحت زیر منحنی برای نقشه های حساسیت زمین لغزش محاسبه گردید. نتایج بدست آمده از اعتبارسنجی نشان داد که مقادیر AUC برای مدل های نسبت فراوانی و وزن واقعه به ترتیب ۰/۷۳۴ (۷۳/۴ درصد) و ۰/۶۲۳ (۶۲/۳ درصد) می باشد. بنابراین، نتایج نشان داد که مدل نسبت فراوانی مناسب تر از مدل وزن واقعه می باشد.



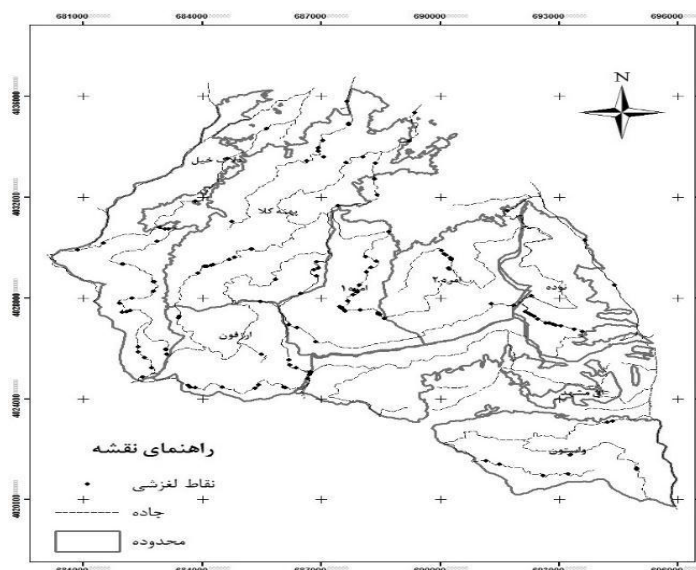
شکل ۱- نقشه محدوده مورد مطالعه
Figure. 1 map of study area

روش پژوهش

تحقیق حاضر با مطالعات کتابخانه‌ای، شناسایی منطقه و بازدید میدانی آغاز گردید. شناسایی دقیق رفتار آتی یک دامنه سنگی یا خاکی، نوع گسیختگی احتمالی و خطر و ریسک آن همه و همه نیاز به بررسی‌های صحرایی و گردآوری اطلاعات لازم دارد.

پایگاه داده برای تهیه نقشه حساسیت به زمین‌لغزش شامل نقشه لغزش‌های از قبل اتفاق افتاده و مجموعه‌ای از فاکتورهای ایجادکننده لغزش می‌باشد. فرض بر این است که به احتمال زیاد لغزش‌های آینده در مناطقی با شرایط مشابه مکان‌هایی که قبلاً در آنها لغزش صورت گرفته، اتفاق خواهند افتاد (۱۰).

تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه‌اولین گام در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی، تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه است. به این منظور در کل منطقه (در حاشیه جاده‌ها) پیمایش زمینی صورت گرفت و موقعیت و تعداد نقاط زمین‌لغزش با استفاده از GPS ثبت شد، لغزش‌ها دارای ابعاد حداقل ۴۰۰ و حداکثر ۲۰۰۰ مترمربع بودند. سپس موقعیت مکانی زمین‌لغزش‌ها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی بصورت یک لایه نقطه‌ای بازتولید شد. پلیگون مربوط به هر لغزش با توجه به ابعاد تهیه شد. در مطالعه حاضر لغزش‌های حاشیه جاده به تعداد ۱۵۰ مورد برداشت گردید (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه نقاط زمین لغزش
Figure. 2 map of landslide points

نهایتاً نسبت فراوانی برای هر یک از عوامل و کلاس‌های مرتبط با آن از تقسیم نسبت مناطق لغزش (درصد پیکسل‌هایی که در آن لغزش رخ داده) به مناطق فاقد لغزش (درصد پیکسل‌های فاقد لغزش) محاسبه خواهد گردید. سپس شاخص حساسیت به خطر لغزش بر اساس رابطه ۱ و ۲ محاسبه خواهد شد (۱۵، ۴۱، ۲۴).

$$Fr = \frac{\frac{n_{\text{landslide}}}{n_{\text{class}}}}{\frac{n_{\text{total landslide}}}{n_{\text{map}}}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

N landslide: تعداد پیکسل‌های لغزشی هر کلاس
N class: تعداد پیکسل‌های هر کلاس
N total landslide: تعداد کل پیکسل‌های لغزشی نقشه
N map: تعداد کل پیکسل‌های نقشه

$$LSI = \sum Fr \quad (\text{رابطه ۲})$$

LSI: شاخص حساسیت به خطر زمین لغزش، Fr: وزن هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش می‌باشد. در این رابطه اگر $Fr > 1$ باشد همبستگی عامل موثر با لغزش بسیار زیاد و اگر $Fr < 1$ باشد این همبستگی بسیار ضعیف است. سپس نسبت‌های فراوانی به دست آمده که وزن هر طبقه در آن عامل خاص می‌باشد، بوسیله رابطه زیر نرمالیزه شده و به عنوان بخشی از داده‌های ورودی وارد موتور استنتاج فازی خواهد شد (۱۵).

$$\frac{x - \min}{\max - \min} \quad (\text{رابطه ۳})$$

ارزیابی روش پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

به منظور ارزیابی روش نسبت فراوانی در تحلیل خطر زمین لغزش از منحنی ROC استفاده شده است. سطح زیر منحنی ROC (AUC)، به عنوان معیار دقت و صحت مدل

انتخاب عوامل موثر در وقوع زمین لغزش و اجرای روش نسبت فراوانی گام اساسی برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی وقوع زمین لغزش، شناخت فاکتورهای تاثیرگذار در زمین لغزش می‌باشد. تعداد این فاکتورهای موثر از خیلی کم تا زیاد تغییر می‌کند (۲۶، ۲۱). فاکتورهای محرک لغزش که بر پایداری شیب تاثیر می‌گذارند و شرایط را برای عملکرد موثر فاکتورهای بی‌ثبات کننده فراهم می‌کنند را می‌توان به دو گروه تقسیم نمود: فاکتورهای شرطی و عوامل ماشه‌ای. گروه اول که باعث ناپایداری شیب می‌شوند شامل مشخصات زمین‌شناسی-زیست محیطی و فعالیت‌های انسانی هستند که بوقوع زمین لغزش نیز کمک می‌کنند و می‌توانند برای پیش‌بینی لغزش‌های آینده بکار روند در حالیکه عوامل ماشه‌ای نظیر زلزله و بارش سنگین دارای اهمیت زمانی بیشتری هستند و شروع کننده لغزش می‌باشند (۴۱، ۱۴۶). انتخاب این فاکتورهای تاثیرگذار بر لغزش بر اساس مطالعات قبلی برای منطقه مورد مطالعه نیز می‌باشد. بطور کلی برای کاربردی بودن هر مدل در منطقه‌ای خاص عامل‌های ورودی آن با توجه به دسترسی به برخی اطلاعات قابل اعتماد و محدودیت دسترسی به برخی اطلاعات دیگر انتخاب می‌شوند (۹).

با توجه به روش مطالعه در مرور منابع انجام شده عوامل شیب، جهت، ارتفاع از سطح دریا، مقدار بارش، زمین‌شناسی، خاک، سن جاده، موقعیت لغزش‌ها مورد استفاده در مدل قرار گرفتند.

سطح همبستگی بین نقاط لغزشی موجود و هر یک از عامل‌های ورودی با روش احتمالی نسبت فراوانی تعیین شد. برای محاسبه نسبت فراوانی هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی درصد پیکسل‌های لغزشی و فاقد لغزش منطقه مورد مطالعه تعیین و

مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این روش نمی‌توان از همان لغزش‌هایی استفاده نمود که در پهنه‌بندی استفاده شده‌اند. ۷۰ درصد از لغزش‌ها برای مدل سازی و ۳۰ درصد مابقی نقاط برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت (۳۳،۳۵،۴۱).

نتایج و بحث

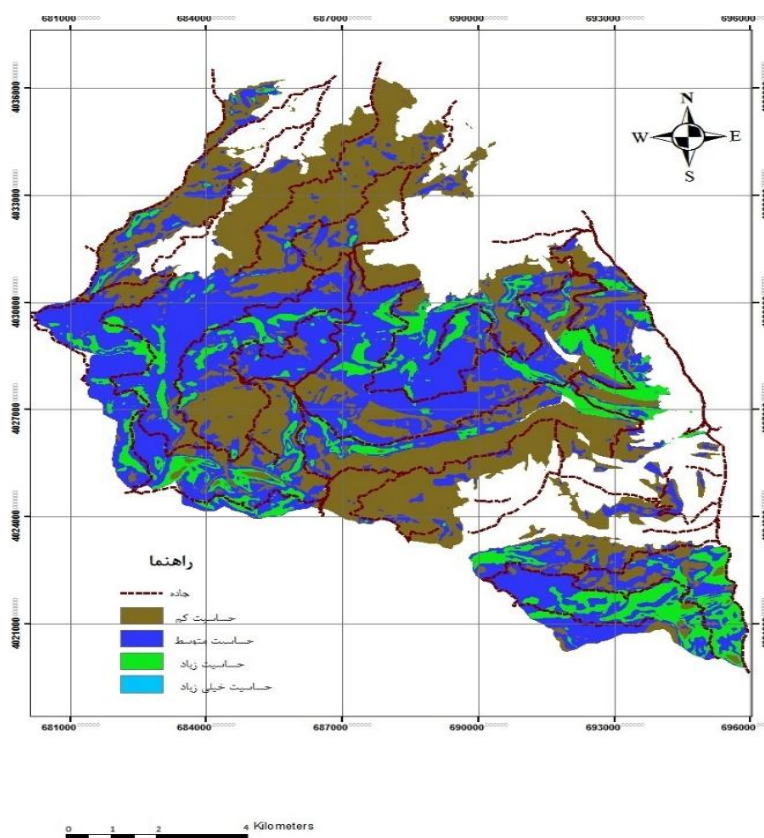
نتایج حاصل از ارتباط عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش و لغزش‌های اتفاقی افتاده با استفاده از مدل نسبت فراوانی

بصورت زیر در جدول ۱ آمده است. در نهایت از رویهم قرارگیری لایه‌های رستری عوامل موثر، نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با روش نسبت فراوانی بدست آمد (شکل ۳). در مرحله آخر ارزیابی مدل انجام می‌گیرد. همانطور که قبلاً گفته شد در محیط نرم‌افزار Spss و با برنامه CURVE ROC، صورت می‌گیرد که سطح زیر نمودار بیانگر میزان دقت است (شکل ۴).

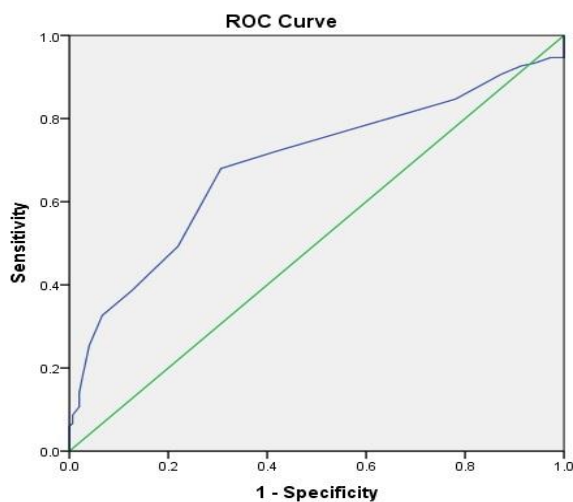
جدول ۱- وزن‌های حاصل از ارتباط بین عوامل موثر بر زمین‌لغزش و لغزش‌های رخ داده

Table 1. Weight of relationship between landslide and related factor

عوامل موثر	طبقات	تعداد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	نسبت فراوانی	وزن‌های نرمال شده
موقعیت لغزش‌ها	پایین دست جاده	۴۰۴	۳۰	۶۶/۱۲	۶۱/۲۲	۱/۰۸	-۰/۶۷۰
	بالا دست جاده	۱۷۷	۱۷	۲۸/۹۶	۳۴/۶۹	۰/۸۳	۰
	بالا و پایین دست جاده	۳۰	۲	۴/۹	۴/۰۸	۱/۲۰	۱
سن جاده	<۲۰	۱۴۱	۱۰	۲۳/۱۹	۲۰/۸۳	۱/۱۱	۱
	۲۰-۴۰	۴۵۳	۳۴	۷۴/۵	۷۰/۸۳	۱/۰۵	-۰/۹۲۷
	>۴۰	۱۴	۴	۲/۳	۸/۲۳	۰/۲۸	۰
خاک	2.2.1	۷۳	۳۱۴۳۰	۱۰/۷۶	۷/۴	۱/۴۵	۱
	2.2.4	۱۴۰	۱۰۰۲۶۴	۲۰/۶۴	۳۴/۶۵	۰/۶۰	-۰/۳۶۵
	2.2.2	۴	۱۶۴۵۸	۰/۵۸	۵/۶۸	۰/۱۰	۰
	2.2.3	۴۶۱	۱۵۱۱۷۹	۶۷/۹۹	۵۲/۲۵	۱/۳۰	-۰/۸۸۷
	<۳۰۰	۵۴	۲۸۰۵۸	۷/۹۱	۹/۶۷	۰/۸۲	-۰/۶۶۸
طبقات ارتفاع از سطح دریا (متر)	۳۰۰-۶۰۰	۳۸۷	۱۷۶۵۲۲	۵۶/۶۶	۶۰/۸۷	۰/۹۳	-۰/۷۶۱
	۶۰۰-۹۰۰	۲۴۲	۸۴۰۰۷	۳۵/۴۳	۲۸/۹۷	۱/۲۲	۱
	>۹۰۰	۰	۱۴۳۵	۰	۰/۴۹	۰	۰
شیب (درصد)	۰-۱۰	۳۲	۳۴۷۸۰	۴/۶۷	۱۱/۹۶	۰/۳۹	-۰/۰۹۳
	۱۰-۲۰	۱۹۴	۱۲۳۵۱۲	۲۸/۳۲	۴۲/۴۶	۰/۶۷	-۰/۱۵۹
	۲۰-۳۰	۲۱۷	۷۷۵۲۶	۳۱/۶۸	۲۶/۶۵	۱/۱۹	-۰/۲۸۴
	۳۰-۴۰	۱۲۹	۲۵۳۷۲	۱۸/۸۳	۱۲/۱۶	۱/۵۵	-۰/۳۷۰
	۴۰-۵۰	۶۴	۱۳۱۷۸	۹/۳۴	۴/۵۳	۲/۰۶	-۰/۴۹۲
	۵۰-۶۰	۴۸	۴۸۶۷	۷/۰۱	۱/۶۷	۴/۱۹	۱
	۶۰-۷۰	۱	۱۴۵۲	۰/۱۵	۰/۵۰	۰/۳۹	-۰/۰۷
	>۷۰	۰	۱۹۵	۰	۰/۰۷	۰	۰
	L-ml2	۸	۲۰۰۲۳	۱/۱۷	۶/۸۶	۰/۱۷	-۰/۰۵۲
	L-ml3	۷	۲۵۹۳۴	۱/۰۲	۸/۸۹	۰/۱۱	-۰/۰۳۵
زمین‌شناسی	L-PLL2	۳۴۷	۱۰۴۳۲۹	۵۰/۶۶	۳۵/۷۷	۱/۴۲	-۰/۴۳۰
	L-PLL3	۲۰۳	۱۰۰۵۷۷	۲۹/۶۴	۳۴/۴۸	۰/۸۶	-۰/۲۶۱
	L-PLL4	۰	۳۴۵۲	۰	۱/۱۸	۰	۰
	L-PLL1	۴۲	۱۹۹۶۸	۶/۱۳	۶/۸۴	۰/۹۰	-۰/۲۷۲
	L-R	۱۷	۵۴۴۱	۲/۴۸	۱/۸۷	۱/۳۳	-۰/۴۰۴
	L-K2I2	۲	۴۳۵۸	۰/۲۹	۱/۴۹	۰/۲۰	-۰/۰۵۹
	L-PeI1	۵۹	۷۶۲۹	۸/۶۱	۲/۶۲	۳/۲۹	۱
	<۶۰۰	۱	۱۵	۰/۱۵	۰/۰۱	۲۸/۳۱	۱
	۶۰۰-۷۰۰	۴۰۵	۲۱۶۶۱۹	۵۹/۳۰	۷۴/۶۹	۰/۷۹	۰
	۷۰۰-۸۰۰	۲۶۲	۷۲۹۶۵	۳۸/۳۶	۲۵/۱۶	۱/۵۲	-۰/۰۲۷
جهت جغرافیایی	>۸۰۰	۱۵	۴۲۱	۲/۲۰	۰/۱۵	۱۵/۱۳	-۰/۵۲۱
	N	۱۷۲	۶۵۰۸۰	۲۵/۱۵	۲۲/۳۷	۱/۱۲	-۰/۴۲۷
	NE	۱۹۲	۳۹۴۲۳	۲۸/۰۷	۱۳/۵۵	۲/۰۷	۱
	E	۸۴	۳۷۳۷۶	۱۲/۲۸	۱۲/۸۵	۰/۹۶	-۰/۳۲۶
	SE	۵۰	۳۰۵۹۵	۷/۳۱	۱۰/۵۲	۰/۷۰	-۰/۱۶۸
	S	۲۲	۲۱۹۹۶	۳/۲۲	۷/۵۶	۰/۴۳	-۰/۰۰۵
	SW	۱۵	۱۵۲۸۴	۲/۱۹	۵/۲۵	۰/۴۲	۰
	W	۵۵	۲۹۵۳۰	۸/۰۴	۱۰/۱۵	۰/۷۹	-۰/۲۲۷
	NW	۹۴	۵۱۶۱۳	۱۳/۷۴	۱۷/۷۴	۰/۷۷	-۰/۲۱۶



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با روش نسبت فراوانی
Figure 3. Landslide susceptibility map using frequency ratio method



شکل ۴- منحنی نرخ پیش‌بینی (ROC)
Figure 4. Prediction rate curve (ROC)

اشاره کرد. هدف از این مطالعه تعیین مهمترین عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش و ارائه پیشنهاداتی بمنظور تقلیل اثرات منفی آن بر جاده‌ها اعم از هزینه‌های بالای تعمیر و نگهداری می‌باشد. تاکنون متخصصان مختلف علوم طبیعی مطالعات زیادی در مورد حرکات توده‌ای انجام داده‌اند، ولی به دلیل

عوامل مختلفی باعث ایجاد و فعال شدن زمین‌لغزش می‌گردند که از آن جمله می‌توان به فرسایش شدید در مسیر رودها و آبراهه‌ها، وجود خاک‌های ریزدانه، شیب زیاد، بارندگی شدید و همچنین فعالیت‌های انسانی مانند خاکبرداری، جاده‌سازی غیراصولی، قطع درختان و پوشش گیاهی منطقه

این منطقه خاک‌های ریزدانه پس از بارندگی شدید متورم شده و سریعاً به میزان رطوبت بالا می‌رسند. وجود زمین‌های حرکتی و روانه‌های گلی در عرصه استعداد لغزش را بوجود آورده است. بدلیل مرطوب بودن هوا و ریزش فراوان باران رس تورم حاصل کرده و سنگین می‌شود، در نتیجه از سطوح بالاتر به پایین حرکت کرده و روانه‌های گلی را ایجاد می‌کند که باعث حرکت زمین شده و لغزش را سبب می‌گردد (۱۸، ۱۶).

نتایج حاصل از جدول ۱ نشان داد که بیشترین میزان لغزش‌ها در طبقه ارتفاع از سطح دریا ۳۰۰ تا ۶۰۰ متر رخ داده است. دو عامل شیب و ارتفاع از عوامل مهم کنترل‌کننده ناپایداری دامنه‌ها هستند تغییر در هر کدام از آنها مقاومت برشی را کاهش و موجب ناپایداری می‌گردد. وزن‌های بدست آمده از ارتباط بین عامل شیب و لغزش‌های رخ داده به روش نسبت فراوانی نشان داد که با بالا رفتن شیب تا ۴۰ درصد به تعداد لغزش‌ها افزوده شد اما پس از آن روند کاهشی می‌باشد که با نتایج مطالعات لی و همکاران (۲۵)، قجر و نجفی (۱۲)، اوه و پرادهان (۳۰) مطابقت دارد. علت آن این است که در شیب‌های زیاد نوع مصالح بیشتر از جنس سنگ هستند و بنابراین پایداری دامنه نسبت به دامنه‌هایی با شیب متوسط که از مصالح سست تشکیل شده‌اند بیشتر است. اما در شیب‌های خیلی کم برآیند نیروها به گونه‌ای است که نیروهای مقاوم بیشتر از نیروهای محرک بوده و شرایط وقوع زمین‌لغزش ایجاد نمی‌شود (۳۷، ۲۷). وزن‌های بدست آمده از ارتباط بین عامل زمین‌شناسی و لغزش‌های رخ داده به روش نسبت فراوانی نشان داد که در طبقه با کد L-PLL2 که معرف ارتفاعات نسبتاً بلند با شیب متوسط، عمق خاک متوسط، پایداری و نفوذپذیری ضعیف و رسوبات غالب آن مارن، آهک مارنی، آهک ماسه‌ای، ماسه سنگ آهکی، کنگلومرا می‌باشد بیشترین تعداد لغزش مشاهده شد. نتایج مطالعات حیاتی و همکاران (۱۷)، شیرانی و عرب عامری (۳۷) نیز آن را تایید می‌کند. در مورد جنس زمین باید گفت که برخی مصالح استعداد بیشتری برای ناپایداری دامنه دارند. واحدهای مستعد لغزش عبارتند از خاک‌های برجا، لسه‌ها و سنگ‌های شیل و مارن. همچنین وجود یک لایه رس در هر شرایطی عاملی برای ناپایداری است.

بر اساس اطلاعات حاصل از جدول ۱ وزن‌های بدست آمده از ارتباط بین عامل بارش و لغزش‌های رخ داده به روش نسبت فراوانی نشان داد که بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر بیشترین میزان لغزش بوقوع پیوسته است. که با نتایج مطالعات جعفری و همکاران (۲۲) مطابقت دارد. یک همبستگی مثبت بین طول مدت بارش، شدت، الگو و توالی بارش و وقوع زمین‌لغزش در مطالعات مختلفی گزارش شده است. بارندگی شدید فشار آب منفذی را افزایش و مقاومت برشی سطوح را کاهش می‌دهد (۲۲، ۱۶).

وزن‌های بدست آمده از ارتباط بین عامل جهت شیب و لغزش‌های رخ داده به روش نسبت فراوانی نشان داد که به ترتیب در جهات شمالی، شمال شرقی و شمال غربی بیشترین میزان لغزش بوقوع پیوسته است که با نتایج لی و همکاران

پیچیده بودن این پدیده، بیشتر مدل‌های مورد استفاده حالت کیفی داشته و برای منطقه‌ای خاص کاربرد دارند. در سال‌های اخیر روش‌ها از حالت کیفی و تجربی خارج شده و به سمت روش‌های آماری و کمی سوق یافته‌اند. در این روش‌ها بر اساس شرایط موجود در منطقه و پراکنش حرکات توده‌ای، رابطه‌ای بین عوامل موثر و وقوع حرکات توده‌ای پیدا شده است و منطقه بر اساس رابطه به دست آمده از نظر حساسیت به این حرکات بررسی می‌شود (۱۱، ۲۸، ۴). امروزه استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، مطالعات مربوط به علوم زمین و به ویژه حرکات توده‌ای را تا حد زیادی آسان و دقیق‌تر کرده است. دلیل این امر حجم زیاد اطلاعات، پویا و تغییرپذیر بودن این اطلاعات در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی است. در پژوهش حاضر روش نسبت فراوانی به عنوان یک روش احتمالی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بکار گرفته شد. بر اساس اطلاعات حاصل از جدول ۱ وزن‌های بدست آمده از ارتباط بین عامل موقعیت و لغزش‌های رخ داده به روش نسبت فراوانی نشان داد که بیشترین میزان لغزش‌ها در پایین‌دست جاده (شیروانی خاکریزی) اتفاق افتاده است. یکی از عواملی که می‌تواند باعث افزایش تنش برشی در امتداد یک سطح بالقوه گسیختگی شود، افزایش وزن مواد دامنه، یا به زبانی بارگذاری بر روی آن است. خاکریزی برای ایجاد راه نوعی بارگذاری است که منجر به افزایش تنش برشی می‌شود (۲۶).

و همچنین نتایج نشان داد که با بالا رفتن سن جاده‌ها از میزان لغزش‌ها کاسته می‌شود جنگل بعنوان یک اکوسیستم طبیعی جاده را یک تخریب می‌داند و به مرور زمان قابلیت خود تنظیمی جنگل در نواحی که لغزش رخ داده یا احتمال آن بعلت این دستخوردگی وجود دارد بسیار موثر خواهد بود (۲۳). سیستم به هم پیچیده ریشه درختان باعث افزایش چسبندگی و استحکام خاک می‌شود. درختان علاوه بر محکم نگاهداشتن طبقات لغزنده سطحی توسط ریشه‌هایشان، مقدار زیادی از آب ورودی به خاک را جذب و مصرف کرده در نتیجه دامنه را سبکتر می‌کنند (۲۶). از آنجا که در اثر افزایش رطوبت، مقاومت برشی خاک کاهش و در نتیجه درصد وقوع لغزش افزایش می‌یابد، استقرار پوشش گیاهی بر روی ترانشه‌های خاکبرداری و خاکریزی با زهکشی دامنه‌ها می‌تواند به تثبیت دامنه و افزایش مقاومت برشی خاک در برابر گسیختگی کمک کند (۷، ۲، ۵).

بر اساس اطلاعات حاصل از وزن‌های بدست آمده از ارتباط بین عامل خاک و لغزش‌های رخ داده به روش نسبت فراوانی نشان داد که در طبقه با کد 2.2.3 که معرف بافت خاک لومی، لومی رسی و رسی با نفوذپذیری آب خوب تا ضعیف و مواد مادری آهک، مارن، آهک مارنی، مارن سیلتی می‌باشد بیشترین تعداد لغزش مشاهده شد. که با نتایج مطالعات اوه و پرادهان (۳۰) مطابقت دارد. خاک در ایجاد ناپایداری در عرصه‌های جنگل‌های کوهستانی نقش مستقیم دارد. خاک‌هایی که دارای مقدار قابل توجهی عناصر ریزدانه هستند، با جذب و نگهداری آب زیاد پایداری خود را از دست می‌دهند و بتدریج در اثر وزن خود شروع به جاری شدن می‌کنند. در

با توجه به اینکه تحقیقات راهبردی در زمینه علوم جنگل و به خصوص در راستای مهندسی جنگل دارای طیف وسیعی می‌باشد، لذا نتایج چنین پژوهش‌هایی به روندی مداوم و مستمر نیاز دارد. در خاتمه مباحث پیشنهادت زیر قابل ارائه است:

- ۱- با مطالعات پایه‌ای مناسب و کامل هنگام برنامه ریزی ساخت جاده، حتی المقدور از مناطق مستعد به لغزش و رانش دوری شود.
- ۲- کم کردن وسعت یا اندازه دالان‌های جاده در در زیستگاه‌های ارزشمند
- ۳- پس از ساخت جاده‌های جنگلی باید برنامه‌های حفاظت و نگهداری از آنها به خصوص قبل و بعد از عملیات بهره برداری و حمل و نقل بطور متناوب انجام پذیرد.
- ۴- اجرای پوشش گیاهی به عنوان بخشی از اقدامات بیومهندسی در شیب‌های بدون پوشش.
- ۵- مدیریت آب شامل انواع زه‌کشی سطحی و زیرسطحی به عنوان عامل بسیار مهم و کلیدی در پیشگیری از زمین لغزش است.

(۲۵)، محمدی و همکاران (۲۷)، جعفری و همکاران (۲۲) سازگار است. جهت شیب در ارتباط با رخدادهای هواشناسی نظیر میزان بارش، در معرض تابش خورشید قرار گرفتن، بادهای خشک و ساختارهای مورفولوژیکی منطقه می‌باشد و می‌تواند در مدل‌سازی وقوع زمین لغزش مورد استفاده قرار گیرد (۲۵). در نهایت نتایج ارزیابی مدل با روش ROC نشان داد که سطح زیرنمودار (AUC) برابر با $0/688$ ($68/8$) درصد می‌باشد. بنابراین مدل نسبت فراوانی دارای کارایی نسبتاً بالایی جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه بوده است. شبکه جاده جنگل، بیش‌نیاز دستیابی، به اهداف جنگلداری و بالاترین عامل هزینه‌بر اجرایی و محیط زیستی می‌باشد. جاده‌سازی بر روی اراضی حساس موجب افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری جاده در آینده و همچنین خسارت‌های جبران‌ناپذیر محیط زیست، می‌گردد. بدین منظور پهنه‌بندی زمین لغزش یکی از روش‌هایی است که می‌توان به کمک آن مناطق بحرانی و حساس را مشخص کرد. نقشه حاصل از پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌تواند نقش شایانی در تصمیم‌گیری‌های آتی، مدیریت دامنه‌های خطرناک و آمایش سرزمین در منطقه مورد مطالعه داشته باشد (۲۳).

منابع

1. Arabameri, A., K. Shirani and Kh. Rezaeei. 2017. A Comparative Assessment between Weights-of-Evidence and Frequency Ratio Models for Landslide Hazard Zonation in Vanak Basin. *Journal of Watershed Management*, 8(15): 147-160.
2. Abdi, E., B. Majnounian, M. Genet and H. Rahimi. 2010. Quantifying the effects of root reinforcement of Persian Ironwood (*Parrotia persica*) on slope stability; a case study: Hillslope of Hyrcanian forests, northern Iran. *Ecological Engineering*, 36: 1409-1416.
3. A.E., Akay. 2006. Minimizing total costs of forest roads with computer-aided design model. *Sadhana Acad*, 31(5): 621-633.
4. Ayalew, L. and H. Yamagishi. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2): 15-31.
5. Collison, A.J.C. and M.G. Anderson. 1996. Using a combined slope hydrology/stability model to identify suitable conditions for landslide prevention by vegetation in the humid tropics. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21: 737-747.
6. Dehnavi, A., I. Nasiri Aghdam, B. Pradhan and M.H. Morshed Varzandeh. 2015. A new hybrid model using step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for regional landslide hazard assessment in Iran. *Catena*, 135: 122-148 pp.
7. Dislich, C. and A. Huth. 2012. Modelling the impact of shallow landslides on forest structure in tropical montane forests. *Ecological Modelling Journal*, 239: 40-53.
8. Deljouei, A., S.A. Hosseini and S.M.M. Sadeghi. 2016. Evaluation of different methods of landslide risk zonation in forest ecosystems. *Journal of Extension and Development of Watershed Management*, 4(13): 7-14.
9. Ercanoglu, M. and C. Gokceoglu. 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology*, 41: 720-730.
10. Esfandiyari darabad, F. 2008. Landslide Hazard Zonation in Ardebil-Astara Road by using GIS. *Quarterly Geographic Territory*, 5(18): 113-124.
11. feyznia, S., M. Hasanazade and H. Ahmadi. 2001. Landslide Hazard Zonation in Shalamandro Basin in Guilan Province. *Iranian Natural Resources Journal*, 54(3): 207-22.
12. Ghajar, I. and A. Najafi. 2014. Modeling landslide susceptibility of a mountain forests using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) for forest road planning. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(3): 509-526.
13. Ghajar, I., R. Naghdi and P. Dalir. 2015. Landslide Hazard Zonation by Frequency Ratio Method for Forest Road Designing, Water and Wastewater Conservation Congress, Birjand, Iran.
14. Glade, T., M. Anderson and M.J. Crozier. 2005. *Landslide Hazard and Risk*. Wiley Online Library.
15. Habibi, A., S. Izadyar and A. Sarafrazi. 2014. *Fuzzy MCDM*, Katibe gil Press, Tehran, Iran, 171 pp.
16. Hasnavi, M. and S.H. Golmaee. 2015. *Landslide in the Earthy Gables*, 1th edition, Hooshmand Tadbir Press, Tehran, Iran, 74 pp.

17. Hayati, E., B. Majnounian, E. Abdi, A. Dastranj and A.A.N. samani. 2012. Applying Landslide Hazard Zonation in Forest Road Network Design. *Journal of Forest and Wood Products*, 65(1): 19-32.
18. Hosseini, S.A. and N.M. Savadkuhi. 2011. Assessment and Studying Landslide, its type and displacement along Forest Road Edge (Case study: Tajan Watershed -Mazandaran). *Research Journal of Forest Science and Engineering*, 1(3): 1-11.
19. Hosseini, S.A. 2017. Cognition, usage and management of forest machinery, Ghalam emamat Press, Tehran, Iran, 189.
20. Iranian Plan and Budget Organization (IPBO). 2000. Guidelines for design, execute and using forest roads No: 131. Office of the Deputy for technical affairs. Bureau of Technical Affairs and Standards, 170 pp.
21. Jaafari, A., A. Najafi, J. Rezaeian and A. Sattarian. 2014. Modeling erosion and sediment delivery from unpaved roads in the north mountainous forest of Iran. *International Journal on Geomathematics*, 6(2): 343-356.
22. Jaafari, A., A. Najafi, J. Rezaeian, A. Sattarian and E. Ghajar. 2015. Planning road networks in Landslide-prone areas: A case study from the northern forest of Iran. *Land Use Policy Journal*, 47: 198-208.
23. Larsen, M.C. and J.E. Parks. 1997. How wide is a road? The association of roads and mass-wasting in a forested mountain environment. *Earth Surf. Process. Earth Surface Process and Landforms*, 22: 835-848.
24. Lee, S. 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operator's landslide susceptibility mapping, *Environmental Geology*, 52(4): 615-623.
25. Lee, M.J., I. Park and S. Lee. 2015. Forecasting and validation of landslide susceptibility using an integration of frequency ratio and neuro-fuzzy models: a case study of Seorak mountain area in Korea. *Environ Earth Sci*, 74: 413-429.
26. Memarian, H. 2013. *Engineering Geology and Geotechnics*, 2268, 6th edition, University of Tehran Press, Tehran, Iran, 992 pp.
27. Mohammady, M., H.R. Pourghasemi and B. Pradhan. 2012. Landslide susceptibility mapping at Golestan Province Iran: a comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer, and weights-of evidence models. *Journal of Asian Earth Science*, 61: 221-236.
28. Moradi, H.R., M. Mohammadi and H.R. Pourghasemi. 2012. *Mass Movement with Emphasis to Landslide Occur Analysis by Quantitative Methods*, 1609, SAMT Press, Tehran, Iran, 223 pp.
29. Nefeslioglu, H.A., T.Y. Duman and S. Durmaz. 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Easten Black Sea Region of Turkey). *Geomorphology*, 94: 401-418.
30. Oh, H.J. and B. Pradhan. 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. *Computers and Geosciences*, 37: 1264-1276.
31. Papathanassiou, G., S. Valkaniotis, A. Ganas and S. Pavlides. 2012. GISbased statistical analysis of the spatial distribution of earthquakeinduced landslides in the island of Lefkada, Ionian Islands, Greece. *Landslides*, 10(6): 771-783.
32. Pham, B.T., D.T. Bui, I. Prakash and M.B. Dholakia. 2016. Rotation forest fuzzy rule-based classifier ensemble for spatial prediction of landslide using GIS. *Nat Hazards*, 83(1): 92-127.
33. Porghasemi, H. 2006. *Landslide Hazard Assessment Using of Fuzzy Logic*, M.Sc. Thesis, Watershed Management, natural resources faculty of Tarbiat Modares University, 92 pp (In Persian).
34. Pradhan, B. 2011. Use of GIS-based fuzzy logic relations and its cross application to produce landslide susceptibility maps in three test areas in Malaysia. *Environmental Earth Science*, 63: 329-349.
35. Pradhan, B. 2011. An Assessment of the Use of an Advanced Neural Network Mode with Five Different Training Strategies for the Preparation of Landslide Susceptibility Maps. *Journal of Data Science*, 9: 65-81.
36. Rasyid, A.R., N.P. Bhand and R. Yatabe. 2016. Performance of frequency ratio and logistic regression model in creating GIS based landslides susceptibility map at Lompobattang Mountain, Indonesia. *Geoenvironmental Disasters*, 3(19): 1-16.
37. sheyrani, K. and A.A. Ameri. 2015. Landslide Hazard Zonation by logistic regression Method (case study: dez olya basin). *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 19(72): 321-334.
38. Thiery Y., J.P. Malet, S. Sterlacchini, A. Puissant and O. Maquaire. 2007. Landslide susceptibility assessment by bivariate methods at large scales: application to a complex mountainous environment. *Geomorphology*, 92: 38-59.
39. Varnes, D.J. 1984. *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principle and Practices*. UNESCO Press, Paris.
40. Van Westen, C.J., E. Castellanos and S.L. Kuriakose. 2008. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: an overview. *Engineering Geology*, 102(3): 112-131.
41. Zare, M., A. Moghaddamnia, S.T. khoshk and H. Salmani. 2015. Landslide Hazard Assessment by using Neuro-Fuzzy technique in Vaz Watershed. *Journal of Watershed Management*, 6(11): 101-110.

Landslide Hazard Zonation with Frequency Ratio Method (Case Study: Forest of Mazandaran Wood and Paper Industry)

**Nastran Zare¹, Seyed Ata Ollah Hossein², Mohammad Kazem Hafizi³
Akbar Najafi⁴ and Baris Majnounian³**

1 and 3- Ph.D. Student and Professor, University of Tehran

2- Professor, University of Tehran (Corresponding Author: at.hosseini@ut.ac.ir)

4- Associate Professor, Tarbiat modares University

Received: July 1, 2018

Accepted: January 16, 2019

Abstract

Landslide is one of the natural hazards that causes a lot of mortal and financial losses in high-altitude and seismic mountainous areas annually. Considering the importance of roads as a pillar of sustainable forest management in this study, we have tried to estimate the sensitivity of landslide occurrence in 8 forestry series by using frequency ratio approach. Initially, the slip position in the series occurred with ground scrolling by GPS, then the effective factors in the occurrence of landslides were determined for the study area. Raster maps of the effective factors were prepared and classified. Considering the distribution of landslides recorded in the field and the categories of effective factors, the frequency ratio for each class of each factor was calculated and their relationship with the occurrence of landslide was investigated. The results of the relationship between positioning and slipping showed that the highest amount of landslides occurred on the lower side of the road, and by increasing the age of the roads, the amount of landslides was reduced. The relationship between soil and slip occurred on the class with the code 2.2.3, which represents the soil texture of loamy, loamy clay and clay that the highest number of slides was observed. Elevation class 300 to 600 meter has the highest number of landslides. The relationship between the slope and slip showed that with increasing the slope up to 40%, the number of landslides increased, but then the trend was decreasing. The relationship between geological and landslide showed that the highest number of landslides was observed in the class with L-PLL2 code representing relatively high peaks with moderate slope, average soil depth, stability and permeability. The relationship between rainfall and landslide factors showed that the greatest slip occurs between 600 and 800 mm. In the northern, northeastern and northwest directions, the highest slip occurred. The evaluation results of the model with the ROC method indicated that the area under curve (AUC) was 0.688 (68.8%).

Keywords: landslide, Frequency Ratio approach, Mazandaran Wood and Paper Industry, Slope, Soil Texture