

طراحی مسیر جاده جنگلی براساس نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی حساسیت به زمین لغزش (مطالعه موردی حوضه آبخیز کجور)

عبدالله عباسیان^۱، رامین نقدی^{۲*}، اسماعیل فجر^۳

۱. کارشناس ارشد مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان

۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان

۳. استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۳۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۸

چکیده

هدف پژوهش حاضر مدلسازی خطر زمین لغزش با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در بخشی از حوضه آبخیز کجور و سپس طراحی جاده جنگلی براساس پهنه‌بندی طبقات این خطر بود. در این تحقیق، پس از پیمایش میدانی و برداشت ۹۵ نقطه لغزشی، شش عامل شیب، جهت، شکل دامنه، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و سازندهای زمین شناسی به‌عنوان عوامل مؤثر بر زمین لغزش در نظر گرفته شدند. لایه‌های رقوم هر یک از عوامل در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شدند. پس از استخراج داده‌های زمین لغزش از محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و تقسیم داده‌ها، مدل‌های مختلف شبکه عصبی پرسپترون چندلایه از نوع پس‌انتشار پیش‌خور با به‌کارگیری ترکیبات گوناگون پارامترهای تنظیمی از جمله تعداد لایه‌های مخفی، تعداد نورون در هر لایه، توابع آستانه و الگوریتم‌های یادگیری مختلف ساخته شدند و کارایی شبکه‌های آموزش‌یافته ارزیابی شد. با بررسی پاسخ‌های به‌دست‌آمده از آزمایش تنظیمات مختلف، مقدار مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین که نماینده دقت مدل هستند، به ترتیب ۰/۱۹۴۵ و ۰/۸۶۷۶ برای بهترین شبکه آموزش‌یافته با ۲ و ۸ نورون در لایه‌های پنهان نخست و دوم و یک نورون در لایه خروجی به‌دست آمد. از میان واریانت‌های طراحی‌شده، واریانت ۳ با کمترین عبور از طبقات با حساسیت خیلی زیاد به‌عنوان بهترین واریانت انتخاب و در طبیعت پیاده‌سازی شد.

واژه‌های کلیدی: پایداری، پس‌انتشار، جاده جنگلی، زمین لغزش، نورون.

مقدمه

حساسیت به زمین لغزش عبارت است از احتمال وقوع زمین لغزش براساس شرایط محلی زمین [۲]. این پدیده، درجه‌ای از حساسیت است که یک ناحیه می‌تواند در برابر حرکات توده‌ای زمین داشته باشد به‌عبارت دیگر برآوردی از احتمال وقوع زمین لغزش در نقاط مختلف یک عرصه است [۳، ۴]. شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش از طریق پهنه‌بندی با استفاده از مدل‌های مختلف، از اقدامات مؤثر و ضروری در مدیریت مناطق جنگلی برای کاهش هزینه ساخت و نگهداری جاده‌هاست [۵] که با به‌کارگیری مدل‌های مختلف امکان‌پذیر

زمین لغزش شامل حرکت تند یا کند مواد سنگی، خاکی یا مجموع هر دو روی دامنه به‌سمت پایین تحت تأثیر نیروی جاذبه است [۱]. لغزش‌ها دسته‌ای از حرکات دامنه‌ای هستند؛ مواد در امتداد یک سطح گسیختگی یا یک زون گسیختگی مشخص روی دامنه می‌لغزند و به‌سمت پایین حرکت می‌کنند.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۳۸۰۱۰۸

Email: rnaghi@guilan.ac.ir

حوضه آبخیز هراز را بررسی کرد [۱۵]. در این مطالعه، هشت عامل جهت، ارتفاع از سطح دریا، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و مقدار بارندگی بررسی شد که در نهایت عامل شیب، مؤثرترین عامل شناخته و نقشه پهنه‌بندی براساس نتایج شبکه پرسپترون چندلایه با الگوریتم پس‌انتشار خطا تهیه شد. نتایج ارزیابی نشان داد که نقشه حاصل از دقت کافی برخوردار بوده است. هدف تحقیق حاضر، معرفی یک مدل تجربی پذیرفتنی از حساسیت به زمین‌لغزش در منطقه تحقیق است که در طراحی جاده جنگلی کاربرد داشته باشد. بدین منظور پهنه‌بندی درجات مختلف احتمال وقوع زمین‌لغزش با تلفیق روش شبکه عصبی مصنوعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام گرفت و واریانت‌های مختلف مسیر جاده جنگلی میان دو نقطه از منطقه تحقیق که مورد نظر مجری طرح و سازمان جنگل‌ها و مراتع است طراحی و مقایسه شد. در پایان مسیری که کمترین احتمال زمین‌لغزش و فروپاشی دامنه‌ها در آن برآورد شد به‌عنوان مسیر پیشنهادی معرفی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق

پژوهش حاضر در سری‌های ۳ آغوزچال (۱۸۴۹/۵ هکتار) و ۵ مور (۱۳۳۶/۲ هکتار) از جنگل‌های حوضه آبخیز کجور بین طول‌های $51^{\circ}40'37''$ و $51^{\circ}51'33''$ شرقی و عرض‌های $36^{\circ}29'08''$ و $36^{\circ}34'33''$ شمالی واقع شده است. دسترسی به اطلاعات رقومی در منطقه، دلیل انتخاب آنها برای تحقیق حاضر بوده است. دامنه ارتفاعی منطقه بین ۲- و ۲۲۰۶ متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد است. سه گروه، تشکیلات زمین‌شناسی و هشت نوع واحد زمین‌شناسی سنگ آهک اوریتولین دار، کنگلومرا، سنگ آهک، شیل، سنگ آهک دولومیتی، سنگ آهک با چرت، سنگ آهک فوزولین دار، و آبرفت‌های رودخانه‌ای در منطقه وجود دارد.

است. پرهیز از نقاط حساس به زمین‌لغزش، در مرحله طراحی شبکه جاده جنگلی، بهترین راه حل این مشکل است که به تشخیص تخصصی نیاز دارد. در موارد زیادی نیز عبور دادن مسیر راه از روی این نقاط اجتناب‌ناپذیر است که گاه هم عوارض آن پس از ساخت جاده بروز می‌کند. در چنین مواردی، بازسازی بسیار پرهزینه، مشکل و وقتگیر و گاه ناممکن است، به طوری که اغلب به دلیل جدی بودن مشکل، تغییر مسیر الزامی است [۶]. مطالعات داخلی در حوزه طراحی جاده به‌طور عمومی معطوف به روی هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی، تجزیه و تحلیل سیستمی، تهیه نقشه پتانسیل جاده‌سازی، طراحی دستی واریانت‌های ممکن و مقایسه تحلیلی آنها بوده است؛ در این زمینه می‌توان به مطالعات نجفی و همکاران [۷]، عبدی و همکاران [۸]، محمدی سمانی و همکاران [۹]، ایمانی و همکاران [۱۰]، و حیاتی و همکاران [۱۱] اشاره کرد. در پیشنهاد مدل‌ها و راهکارهای مناسب برای ارزیابی خطر زمین‌لغزش، روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده شده که از آن جمله می‌توان به مدل‌های آماری، تجربی، شبکه عصبی مصنوعی و فازی اشاره کرد. در این زمینه جعفری و همکاران [۱۲] با مدلسازی حساسیت به زمین‌لغزش در حوزه ۴۶ کجور به شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش پرداختند و پس از آن با طراحی دستی شبکه‌های مختلف جاده جنگلی و استفاده از یک مدل رایانه‌ای برآورد هزینه [۱۳]، شبکه‌های مختلف جاده را مقایسه کردند. در تحقیقی Pradhan and Lee (۲۰۰۹)، با استفاده از روش پس‌انتشار خطا وزن ۹ عامل (زاویه شیب، جهت شیب، شکل شیب، شاخص NDVI، فاصله تا رودخانه، سنگ‌شناسی، بارندگی نوع خاک، پوشش گیاهی زمین) مؤثر در وقوع زمین‌لغزش را با استفاده از شبکه عصبی آموزش دیده محاسبه کردند [۱۴]. نتایج نشان داد که دقت روش پس‌انتشار خطا در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بهتر از سایر روش‌هایی است که برای پهنه‌بندی به‌کار می‌روند. سپهوند (۲۰۱۰) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی خطر وقوع زمین‌لغزش در

تعیین و بقیه به دو قسمت تقسیم شد، ۸۰ درصد (۶۱ نمونه) آن برای فرایند آموزش و ۲۰ درصد آن (۱۵ نمونه) برای اعتبارسنجی استفاده شد. به منظور ارزیابی قدرت پیش‌بینی، عملکرد و اعتبار مدل و همچنین درستی نتایج، سه معیار مشهور شامل ضریب تبیین، مجذور میانگین مربعات خطا و قدر مطلق میانگین خطا در محیط نرم‌افزار Matlab نسخه ۷/۶ به کار گرفته شد (رابطه‌های ۱، ۲، ۳):

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_i^o - \bar{X}^o)(X_i^p - \bar{X}^p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i^o - \bar{X}^o)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i^p - \bar{X}^p)^2}} \right]^2 \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i^o - X_i^p)^2} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i^o - X_i^p| \quad (3)$$

n تعداد داده‌ها، و X_i^o و X_i^p به ترتیب مقدار مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده برای الگوی نام است. به منظور تولید مدل بهینه شبکه عصبی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه تحقیق از شبکه عصبی سه لایه‌ای پیش‌خور با الگوریتم یادگیری Levenberg-marquardt استفاده شد. برای انتخاب ساختار با عملکرد مناسب شبکه عصبی تعداد نورون‌های لایه‌های مخفی از ۱ تا ۱۰ تغییر داده شد و برای بررسی تغییرات توابع آستانه، دو رویکرد تابع آستانه یکسان و توابع آستانه مختلف برای لایه‌های میانی اعمال شد. از میان کلیه مدل‌های ساخته‌شده، مدل دارای بهترین عملکرد برای شبیه‌سازی و پهنه‌بندی حساسیت به زمین لغزش در منطقه تحقیق در سیستم اطلاعات جغرافیایی به کار گرفته شد. با ورود اطلاعات هر پیکسل از نقشه منطقه تحقیق به مدل ANN بهینه، ارزش خروجی هر پیکسل محاسبه شد. ارزش محاسبه‌شده به این ترتیب توسط مدل، به جدول توصیفی نقشه منطقه منتقل و نقشه نهایی درجه حساسیت به زمین لغزش به دست آمد. برای دستیابی به مناسب‌ترین مسیر جاده میان دو نقطه مورد نظر و با توجه به سه عامل مؤثر در طراحی جاده یعنی شیب طولی مجاز، شیب عرصه (به دلیل تأثیر مستقیم در حجم عملیات خاکی) و

مدل شبکه عصبی حساسیت به زمین لغزش

پس از شناسایی عوامل در دسترس و مؤثر بر وقوع زمین لغزش شامل شیب، جهت، شکل دامنه، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه و تشکیلات زمین‌شناسی، نقشه هر یک از عوامل تهیه شد. نقشه تشکیلات زمین‌شناسی از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی تهیه شد. نقشه فاصله از رودخانه با استفاده از نقشه هیدروگرافی، نقشه فاصله از گسل با استفاده از نقشه گسل‌های منطقه و نقشه‌های شیب، جهت و شکل دامنه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (همگی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰) تهیه شد.

از آنجا که به دلیل پوشش جنگلی نسبتاً متراکم منطقه با استفاده از عکس‌های هوایی هیچ زمین لغزشی مشاهده نشد و گزارشی از زمین لغزش‌های موجود در اطلاعات کتابچه‌های سری‌ها یافت نشد، مختصات مناطق وقوع زمین لغزش با کمک قربانان در سری‌های چهارگانه و پیمایش منطقه ثبت شد. با انتقال مختصات نقاط ثبت‌شده به محیط GIS، لایه رقومی موقعیت مکانی زمین لغزش‌ها تولید شد. برای کاربردی بودن هر مدل در منطقه‌ای خاص عوامل ورودی آن با توجه به دسترسی به برخی اطلاعات قابل اعتماد و محدودیت دسترسی به برخی اطلاعات دیگر انتخاب می‌شوند. مؤثرترین فاصله از جاده در حساسیت به زمین لغزش فاصله ۱۰۰ متر است [۱۶]. بنابراین نقاط لغزشی که تا فاصله صد متری از جاده‌های موجود منطقه وجود داشتند از مطالعه حاضر حذف شدند، چراکه پهنه‌بندی حساسیت به زمین لغزش به عنوان مرحله‌ای پیش از طراحی جاده مد نظر است و بنابراین از لغزش‌های تحت تأثیر جاده نمی‌شد به این منظور استفاده کرد. همچنین عامل کاربری اراضی به دلیل جنگلی بودن تمام منطقه از فهرست عوامل مؤثر حذف شد. پس از برداشت ۹۵ نقطه لغزشی در منطقه و نرمال‌سازی داده‌های کلیه عوامل با روش نسبت فراوانی، داده‌ها به سه مجموعه آموزشی، اعتبارسنجی و آزمون تقسیم شدند. ۲۰ درصد داده‌ها (۱۹ نمونه) به عنوان مجموعه آزمون

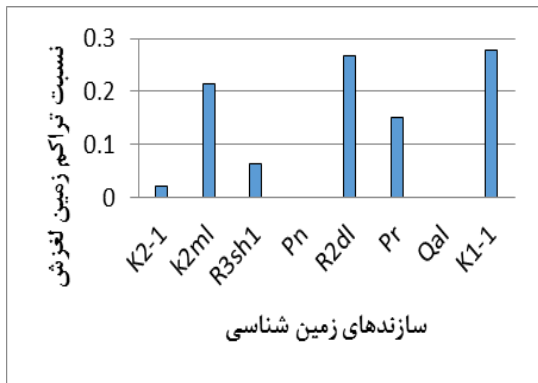
مربعات خطای ۰/۲۴۶۴ بود (جدول ۲). شکل ۱ کاهش خطا را در طی مراحل آموزش توپولوژی ۱-۲-۸-۶ با ۶۳ دور و شکل ۲ نسبت فراوانی زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه تحقیق به تفکیک سازندهای مختلف زمین‌شناسی را نشان می‌دهد. به این ترتیب مدل شبکه عصبی با توپولوژی ۱-۲-۸-۶ با ترکیب توابع آستانه ترکیبی Tansig-Logsig-Tansig به‌عنوان مدل دارای بهترین عملکرد انتخاب شد. از این مدل برای شبیه‌سازی حساسیت به زمین لغزش در کل منطقه استفاده شد. نتیجه پیاده‌سازی این مدل برای پهنه‌بندی زمین لغزش در شکل ۳ ارائه شده است.

جدول ۳ مساحت و درصد طبقات مختلف حساسیت به زمین لغزش را در منطقه تحقیق نشان می‌دهد. مطابق جدول ۳ در منطقه تحقیق بیشترین مساحت و درصد حساسیت به زمین لغزش در طبقه کم، و کمترین مساحت و درصد، در طبقه خیلی زیاد قرار گرفته است. طبقه‌بندی پنجگانه در این جدول به‌صورت بسیار کم (۲۰-۰ درصد)، کم (۴۰-۲۰ درصد)، متوسط (۶۰-۴۰ درصد)، زیاد (۸۰-۶۰ درصد) و بسیار زیاد (بیش از ۸۰ درصد) است (جدول ۳). جدول ۴ اطلاعات توصیفی واریانت‌های طراحی شده و پیاده‌شده در منطقه تحقیق را نشان می‌دهد. پس از طراحی واریانت‌های مختلف میان نقاط مورد نظر در منطقه تحقیق براساس نقشه تولیدی حساسیت به زمین لغزش، مسیر جاده‌های پیشنهادی یک بار با نقشه پهنه‌بندی حساسیت به زمین لغزش حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی و یک بار با نقشه شیب منطقه تحقیق روی هم‌گذاری شدند. به این ترتیب، ارزش گزینه‌های مختلف براساس عبور از طبقات حساسیت به زمین لغزش (جدول ۵) و همچنین طبقات مختلف شیب (جدول ۶) محاسبه شد. شکل ۲ پهنه‌بندی حساسیت به زمین لغزش منطقه را نشان می‌دهد. پس از روی هم قرار دادن جاده‌های طراحی شده از نظر خطر زمین لغزش بررسی و نقاط بی‌خطر، کم‌خطر، دارای خطر متوسط، پرخطر و بسیار پرخطر مشخص شدند.

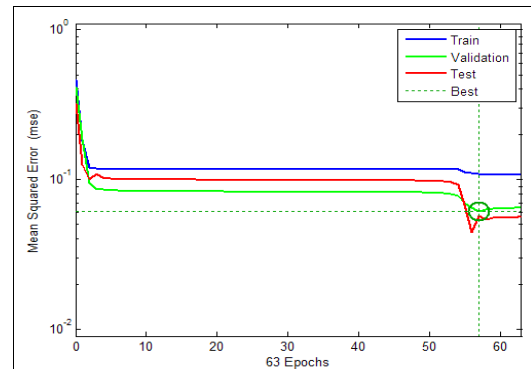
حساسیت به زمین لغزش (به دلیل تأثیر مستقیم بر هزینه‌های نگهداری)، سه مسیر بین دو نقطه مشخص، به روش دستی طراحی شد. نقطه ابتدایی برای طراحی، انتهای جاده موجود در سری ۳ آغوزچال و انتهای جاده در سری ۵ مور در حوضه کجور بود. عوامل محدودکننده‌ای همچون توپوگرافی خشن منطقه، وجود مناطق صعب‌العبور و نیز لزوم طراحی مسیر منفرد میان دو نقطه تعیین‌شده، سبب ناممکن شدن طراحی واریانت‌های متعدد شد و در نتیجه برای طراحی مسیر به سه واریانت اکتفا شد. برای هر واریانت، میزان عبور از طبقات مناطق لغزشی و طبقات شیب عرضی در محیط برآورد شد. بر این اساس بهترین واریانت در محیط آزمایشگاه انتخاب و سپس در طبیعت با پیمایش مسیر و با رعایت شیب طولی مجاز پیاده‌سازی شد. سپس مسیر پیاده‌شده با واریانت منتخب و دو واریانت پیشنهادی دیگر از نظر درصد عبور از طبقات مختلف حساسیت به لغزش و شیب عرضی مقایسه شد.

نتایج و بحث

وزن نرمالیزه طبقات مختلف عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش در منطقه تحقیق در جدول ۱ آمده است. این وزن‌ها حاصل به‌کارگیری روش نسبت فراوانی برای هر طبقه از عوامل مختلف با محاسبه نسبت درصد پیکسل‌های لغزشی و درصد پیکسل‌های غیر لغزشی و در نهایت نرمال‌سازی آنهاست. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که بهترین نتیجه رویکرد نخست مربوط به توپولوژی ۱-۲-۳-۶ و استفاده از تابع آستانه لگاریتمی (Logsig) بوده که مقدار ضریب تبیین آن ۰/۷۹۶۴ و مجذور میانگین مربعات خطای آن ۰/۲۵۲۹ بود. بهترین نتایج رویکرد دوم شامل توپولوژی‌های ۱-۲-۸-۶ با ترکیب توابع آستانه تانژانتی و لگاریتمی (Tansig-Logsig-Tansig) با ضریب تبیین ۰/۸۶۷۶ و مجذور میانگین مربعات خطای ۰/۱۹۴۵ و ۱-۲-۵-۶ با ترکیب توابع آستانه Logsig-Tansig-Tansig با ضریب تبیین ۰/۸۴۶۳ و مجذور میانگین



شکل ۲. نسبت تراکم زمین لغزش‌های رخ داده در سازندهای مختلف زمین شناسی در منطقه تحقیق



شکل ۱. کاهش خطا در طی مراحل آموزش توپولوژی ۱-۲-۳-۶

جدول ۱. وزن نرمال طبقات عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش در منطقه تحقیق

شیب	شکل دامنه	جهت شیب		فاصله از گسل به متر		فاصله از رودخانه به متر		زمین شناسی	
		وزن نرمال	طبقه	وزن نرمال	طبقه	وزن نرمال	طبقه	وزن نرمال	طبقه
۰-۱۰	مستقیم	۰/۷۷۴	شمال	۰-۲۰۰	۰/۹۱۹	۰-۱۰۰	۱	۰/۱۸۴	K_1^+
۱۰-۲۰	محدب	۰/۳۳۸	شمال شرقی	۲۰۰-۴۰۰	۱	۱۰۰-۲۰۰	۰/۱۵۴	۰/۶۶۷	K_{ml}^+
۲۰-۳۰	مقعر	۰/۶۹۷	شرق	۴۰۰-۷۰۰	۰/۷۹۹	۲۰۰-۳۰۰	۰/۱۴۳	۱	R_{sh}^+
۳۰-۴۰	-	-	جنوب شرق	۷۰۰-۱۰۰۰	۰/۵۶۸	۳۰۰-۴۰۰	۰/۰۶۰	۰	P_n
۴۰-۵۰	-	-	جنوب	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۰/۲۴۹	۴۰۰-۵۰۰	۰/۰۱۵	۰/۲۶۴	R_{dl}^+
۵۰<	-	-	جنوب غرب	۱۵۰۰>	۰	۵۰۰>	۰/۰۰۰	۰/۹۹۲	P_r
-	-	-	غرب	-	-	-	-	۰	Q_{al}
-	-	-	شمال غرب	۱	-	-	-	۰/۶۰۴	K_1^-

جدول ۲. بهترین نتیجه کاربرد توابع آستانه یکسان و مختلف برای توپولوژی‌های مختلف

شبکه					توابع آستانه
پس انتشار پیش خور (Feed Forward Back Propagation)					
Levenberg-marquardt					الگوریتم یادگیری
purelin	Tansig	Logsig	Tansig-Logsig-Tansig	Logsig-Tansig-Tansig	توابع آستانه
۶-۵-۶-۱	۶-۷-۵-۱	۶-۳-۶-۱	۶-۸-۲-۱	۶-۵-۲-۱	توپولوژی
۰/۶۲۶۳	۰/۶۹۰۱	۰/۷۹۶۴	۰/۸۶۷۶	۰/۸۴۶۳	ضریب تبیین (R^2)
۰/۳۲۳۵	۰/۲۸۱۲	۰/۲۵۲۹	۰/۱۹۴۵	۰/۲۴۶۴	مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)
۵	۲۵	۱۰	۶۳	۱۶	تعداد دور (Epoch)

جدول ۳. مساحت و درصد طبقات حساسیت به زمین لغزش در سری ۳ آغوز چال

طبقات حساسیت	مساحت (هکتار)	درصد
بسیار کم	۳۴۰/۴۴	۱۰/۶۹
کم	۱۵۰۷/۴۸	۴۷/۳۲
متوسط	۱۱۴۱/۶	۳۵/۸۴
زیاد	۱۹۵/۰۴	۶/۱۲
خیلی زیاد	۱/۱۶	۰/۰۳
جمع کل	۳۱۸۵/۷۲	۱۰۰

جدول ۴. اطلاعات توصیفی واریانتهای مختلف طراحی شده و پیاده شده در منطقه تحقیق

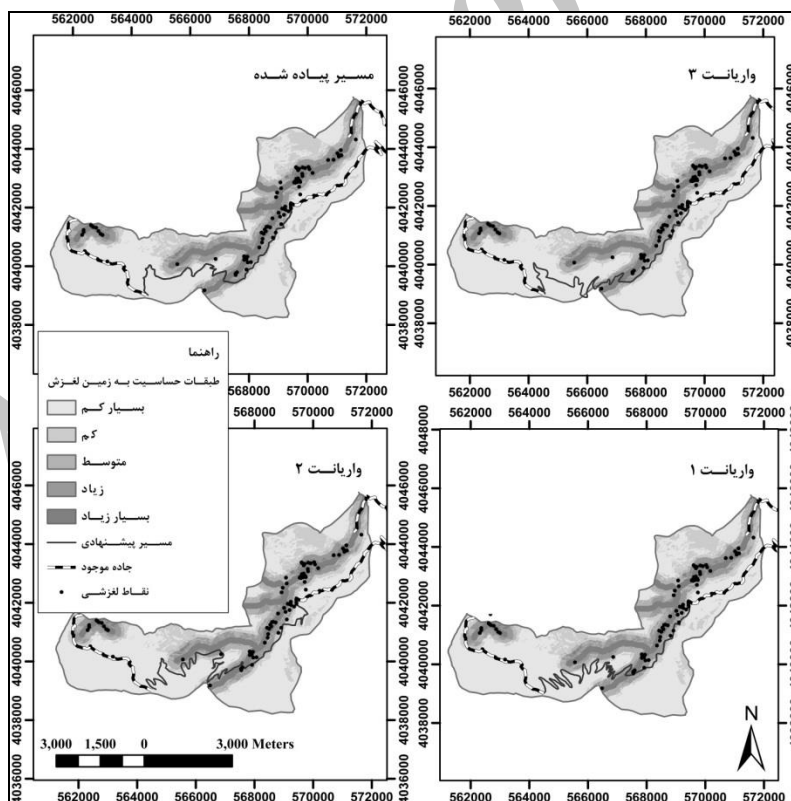
طبقه	واریانته پیاده شده	واریانته ۱	واریانته ۲	واریانته ۳
طول (متر)	۹۸۰/۸/۵	۱۶۶۶۴/۷	۱۳۲۳۲/۰	۱۰۲۷۷/۰
طول روی شیب (متر)	۹۹۶۴/۳	۱۶۸۲۰/۸	۱۳۴۱۳/۹	۱۰۴۲۳/۲
متوسط شیب طولی (%)	۷/۳۱	۷/۲۴	۶/۵۵	۶/۸۵

جدول ۵. مجموع ارزش و درصد عبور گزینه‌های مختلف جاده روی طبقات حساسیت به لغزش در منطقه تحقیق

طبقه	واربانت پیاده شده		واربانت ۱		واربانت ۲		واربانت ۳	
	ارزش واریانت	% عبور	ارزش واریانت	% عبور	ارزش واریانت	% عبور	ارزش واریانت	% عبور
بی خطر	۴۷۰۰	۴۶/۱۶	۹۷۲۰	۵۸/۴۸	۵۰۸۰	۳۸/۰۲	۴۶۸۰	۴۴/۹۱
کم خطر	۱۹۰۰	۱۹/۴۷	۲۲۸۰	۱۳/۷۲	۳۴۴۰	۲۵/۷۵	۲۱۰۰	۲۰/۱۵
متوسط	۱۳۲۰	۱۳/۵۲	۱۲۶۰	۷/۵۸	۱۲۶۰	۹/۴۳	۹۴۰	۹/۰۲
پرخطر	۱۴۴۰	۱۴/۷۵	۲۸۸۰	۱۷/۳۳	۳۰۰۰	۲۲/۴۶	۲۳۴۰	۲۲/۴۶
بسیار پرخطر	۴۰۰	۴/۱	۴۸۰	۲/۸۹	۵۸۰	۴/۳۴	۳۶۰	۳/۴۵
جمع	۹۷۶۰	۱۰۰	۱۶۶۲۰	۱۰۰	۱۳۳۶۰	۱۰۰	۱۰۴۲۰	۱۰۰

جدول ۶. مجموع ارزش و درصد عبور گزینه‌های مختلف مسیر جاده روی طبقات مختلف شیب در منطقه تحقیق

طبقه	واربانت پیاده شده		واربانت ۱		واربانت ۲		واربانت ۳	
	ارزش واریانت	% عبور	ارزش واریانت	% عبور	ارزش واریانت	% عبور	ارزش واریانت	% عبور
۰-۱۲	۳۶۰	۳/۶۹	۷۸۰	۴/۶۹	۱۴۲۰	۱۰/۶۳	۲۶۰	۲/۵
۱۲-۳۰	۴۲۸۰	۴۳/۸۵	۶۱۸۰	۳۷/۱۸	۵۱۸۰	۳۸/۷۷	۳۸۶۰	۳۷/۰۴
۳۰-۶۰	۳۵۴۰	۳۶/۲۷	۶۹۲۰	۴۱/۶۴	۴۶۸۰	۳۵/۰۳	۴۳۶۰	۴۱/۸۴
۶۰-۸۰	۱۲۴۰	۱۲/۷	۱۷۰۰	۱۰/۳۳	۱۱۰۰	۸/۲۳	۱۲۰۰	۱۱/۵۲
>۸۰	۳۴۰	۳/۴۸	۱۰۴۰	۶/۲۶	۹۸۰	۷/۳۴	۷۴۰	۷/۱
جمع	۹۷۶۰	۱۰۰	۱۶۶۲۰	۱۰۰	۱۳۳۶۰	۱۰۰	۱۰۴۲۰	۱۰۰



شکل ۳. طرح واریانت‌های جاده روی نقشه پهنه‌بندی حساسیت به زمین لغزش در منطقه تحقیق

رطوبت بیشتری از دامنه‌های جنوبی دارند، این نتیجه انتظار می‌رفت. نتیجه حاضر با یافته‌های سپهوند [۱۵] نیز مطابقت دارد.

براساس بررسی ارتباط بین عامل شیب و لغزش‌های ثبت شده، طبقه شیب ۴۰ - ۲۰ درجه حساسیت بیشتری از دیگر طبقات شیب از خود نشان داد (جدول ۱). همچنین شیب ۲۰-۰ درجه نیز حساسیت به لغزش نشان داد که دلیل آن، شرایط متفاوت این طبقه از لحاظ نزدیکی به رودخانه بوده است. مطابق جدول ۱، با افزایش شیب تا حد مشخصی تراکم لغزش در حوضه افزایش و بعد از حد مشخصی کاهش یافت. دلیل این امر آن است که در شیب‌های کم، نیروی ثقل ضعیف است و در شیب‌های تند به دلیل ضعیف بودن فرایند فرسایش و استحکام سازند، تعداد وقوع زمین لغزش کم است. شیب‌های متوسط شرایط مناسبی دارند و در نتیجه وقوع زمین لغزش در این گونه شیب‌ها زیاد است (جدول ۱). نتایج این تحقیق با یافته‌های اسماعیلی [۲۳] مطابقت دارد. در این زمینه پورقاسمی و همکاران [۱۹] شیب‌های ۴۰-۳۰ درجه، Lee [۲۲] شیب‌های ۲۹-۱۸ درجه، و Lee و همکاران [۲۴] شیب‌های ۳۶-۲۰ درجه را مؤثرترین طبقه معرفی کردند.

با توجه به نتایج، سازند دارای سنگ آهک اوریتولین دار و شیل آهکی بیشترین مقدار بیکسل‌های مناطق پرخطر را داراست که ممکن است به دلیل وجود شیل در سازند آن باشد که با جذب آب و رطوبت افزایش وزن و انبساط حجم پیدا می‌کند و موجب لغزش می‌شود (شکل ۱). در این زمینه، اسماعیلی [۲۳] به نقش مهم و مؤثر زمین‌شناسی بر وقوع حرکات توده‌ای در حوزه‌های مورد مطالعه خود تأکید کرده است. نتایج ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی ساخته شده، دامنه به نسبت مناسبی از پارامترهای آماری را نشان داد. نتایج نشان داد که توپولوژی ۱-۲-۸-۶ با ترکیب توابع آستانه Tansig-Logsig-Tansig توانست حدود ۸۶ درصد از تغییرات در احتمال وقوع زمین لغزش در منطقه را با شرکت شش عامل ورودی در نظر گرفته شده توضیح دهد. کمترین

نتیجه بررسی ارتباط بین عامل فاصله از گسل و لغزش‌های رخ داده نشان داد که بیشترین زمین لغزش در طبقه ۴۰۰-۲۰۰ و کمترین زمین لغزش در طبقه ۱۵۰۰-۱۰۰۰ متری از گسل قرار دارد؛ به عبارتی با افزایش فاصله از گسل، تأثیر آن بر روی دادن زمین لغزش کاهش می‌یابد (جدول ۱). این یافته با نتایج بررسی‌های سپهوند [۱۵]، سفیدگری [۱۷] و قجر و نجفی [۱۸] مطابقت داشت. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش فاصله از رودخانه‌ها، زمین لغزش‌ها کاهش پیدا کرد. طبقه فاصله ۰ تا ۱۰۰ متر بیشترین تراکم زمین لغزش را داشت و با افزایش فاصله، از فراوانی لغزش‌ها کاسته شد (جدول ۱). در اثر جریان‌های آبی، خاک سست می‌شود و احتمال وقوع زمین لغزش افزایش پیدا می‌کند. سپهوند [۱۵] بیان کرد که رودخانه با عمل زیرشویی و فرسایش کناری تعادل دامنه‌های مشرف به رودخانه را بر هم می‌زند و خطر وقوع زمین لغزش در کناره رودخانه را افزایش می‌دهد. این نتایج با یافته‌های پورقاسمی و همکاران [۱۹] و جوکار و همکاران [۲۰] همسوست. بر اساس نتایج محاسبه درصد زمین لغزش‌ها در طبقات شکل دامنه، در منطقه تحقیق، شیب‌های محذب بیشترین تأثیر را در بروز حرکات توده‌ای دارند (جدول ۱) که دلیل احتمالی این است که زمین لغزش‌ها در اصل در اثر نیروی وزن ایجاد می‌شوند [۲۱] و شیب‌های محذب به دلیل افزایش انرژی جنبشی ناشی از وزن توده‌های سنگ و خاک مستعد لغزش به عنوان عامل محرک بیرونی عمل می‌کنند و سبب غلبه تنش‌های برشی متوسط در طول شیب بر مقاومت برشی خاک و در نهایت، گسیختگی دامنه و بروز زمین لغزش می‌شوند. این نتایج با یافته‌های Lee [۲۲] مطابقت دارد. ضمناً شکل دامنه نیز از دیگر عوامل مؤثر بر حرکات توده‌ای است. نتایج بررسی عامل جهت و لغزش‌های رخ داده نشان داد که بیشتر لغزش‌ها در جهت‌های شمال غربی و شمالی و کمترین زمین لغزش‌ها در جهت‌های شمال شرقی و جنوب غربی رخ داده است (جدول ۱). از آنجا که جهت‌های شمالی در حوضه آبریز کرانه دریای خزر،

اصلی منطقه نسبت به پدیده زمین لغزش دارای حساسیت بیشتری است. براساس نتایج جدول ۵ در طبقه‌های حساسیت زیاد و خیلی زیاد واریانت ۳ نسبت به دو واریانت دیگر درصد کمتری را به خود اختصاص داد و نسبت درصد ارزش واریانت‌های ۱ و ۲ بیشتر از واریانت ۳ بود که همین امر انتخاب واریانت ۳ را به عنوان بهترین مسیر موجه ساخت. طبق جدول ۵ واریانت اصلاح شده در طبیعت نسبت به واریانت ۳ از نظر حساسیت به زمین لغزش در طبقه زیاد دارای کاهش سطح است که ممکن است به دلیل پرهیز از عبور مسیر از مناطق با شیب بسیار زیاد باشد.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق دو موضوع را روشن ساخت: نخست اینکه می توان با پیمایش زمینی و ثبت لغزش‌های موجود حتی در یک ناحیه جنگلی که رصد زمین لغزش‌ها به وسیله تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی با مشکلاتی روبه‌روست، با استفاده از اطلاعات به نسبت مختصر برآورد مناسبی از حساسیت به زمین لغزش دست یافت و دوم اینکه برآورد شدت این حساسیت و شبیه‌سازی آن در قالب نقشه حساسیت به زمین لغزش در طراحی و گزینش واریانت‌های مختلف می تواند تصمیم‌ساز باشد. نتایج کلی نشان داد که مدل‌های ساخته شده بخشی از تغییرات حساسیت به زمین لغزش را نتوانسته‌اند توضیح دهند که بخشی از آن به طور قطع مربوط به عوامل مستقلى مانند بافت یا دانه‌بندی خاک در منطقه است که بر احتمال وقوع زمین لغزش تأثیر می‌گذارند که به دلیل هزینه‌بر بودن نمونه‌برداری در وسعت منطقه تحقیق در نظر گرفته نشده بودند.

مقدار مجذور میانگین مربعات خطا، نیز مربوط به مدل اخیر و حدود ۰/۱۹۴۵ بوده است که نسبت به مدل‌های دیگری که با تنظیمات متفاوت تولید شده بود نتیجه مناسب‌تری را ارائه کرد (جدول ۱). چنانکه نتایج جدول ۳ نشان داد، گرچه واریانت ۳ به عنوان کوتاه‌ترین واریانت طراحی شده روی نقشه طولی بیش از ۱۰ کیلومتر را برای رسیدن به مقصد پیمود، پس از پیاده‌سازی در طبیعت با رعایت شیب مجاز طولی این طول به کمتر از این مقدار کاهش یافت. دلیل اصلی این موضوع، پیمایش چندباره مسیر و تغییر مسیرهای متعدد و یافتن مسیرهای جدید میان‌بر در قسمت‌های مختلف آن و همچنین تغییر اساسی مسیر پس از عبور از دره اصلی منطقه بوده است که در شکل ۲ نمایان است. در واریانت ۱، طبقات شیب ۶۰-۳۰ و ۱۲-۳۰ به ترتیب بیشترین درصد را در این مسیر داشتند. در واریانت‌های ۲ و ۳ نیز این طبقات درصد بیشتری را به خود اختصاص دادند. نکته شایان ذکر درصد شیب زیاد ۸۰ درصد در این سه واریانت است. در واریانت ۱، این طبقه شیب کمترین درصد (۶/۲۴) را نسبت به دو واریانت دیگر داشت (جدول ۶). شیب در این محدوده جزء نقاط اجباری منفی با توجه به توپوگرافی منطقه تحقیق است و مسیر جاده به اجبار باید از این نقاط عبور کند. با توجه به این مطلب از نظر معیار شیب و نقاط اجباری واریانت ۱ می‌تواند مسیر مناسبی باشد، ولی با توجه به ارزش محاسبه شده و طول هر یک از واریانت‌ها، واریانت ۳ (۷۴۰ متر مربع) بهترین مسیر بوده است. عامل مهم دوم در طراحی مسیر جاده حساسیت به زمین لغزش است که در این مطالعه با استفاده از شبکه عصبی نقشه آن تهیه شد. نتایج پهنه‌بندی حساسیت به زمین لغزش در منطقه تحقیق حاکی از آن است که دره‌های

References

- [1]. Crosta, G. B., and Clague, J.J. (2009). Dating, triggering, modelling and hazard assessment of large landslides. *Geomorphology*, 103: 1-4.
- [2]. Brabb, E.E. (1984). Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping: *Proceedings 4th International Symposium on Landslides, Toronto, vol. 1, pp. 307-324.*
- [3]. Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., and Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31(1): 181-216.

- [4]. Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., Ardizzone, F. (2005). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*, 72(1): 272-299.
- [5]. Afjei Nasrabadi, H., Shataei Joybari, Sh., Rafatnia, N., and Shariat Jafari, M. (2008). Evaluation the efficiency of experimental landslide hazard zonation models (Haeri-Samiei and Mora-Varson) for considering designed road network in Shastkalate forest, Gorgan. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 16(4): 556-573.
- [6]. Sarikhani, N., and Gorji, M.R. (2003). Possibilities of stabilizing landslide and mass movement in forest roads (case study: Kheiroud-Kenar forest as a scientific model). *Iranian Journal of Natural Resources*, 56(1-2): 29-38.
- [7]. Najafi, A., Sobhani, H., Saeed, A., Makhdoum, M., and Mohajer, M.M. (2008). Planning and assessment of alternative forest road and skidding networks. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 29(1): 63-73.
- [8]. Abdi, E., Majnounian, B., Darvishsefat, A.A., Mashayekhi, Z., and Session, J. (2009). A GIS-MCE based model for forest road planning. *Journal of Forest Science*, 55(4): 171-176.
- [9]. Mohammadi Samani, K., Hosseiny, S.A., Lotfalian, M., Najafi, A. (2010). Planning road network in mountain forests using GIS and analytic hierarchical process (AHP). *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 8(2): 151-162.
- [10]. Imani, P., Najafi, A., and Ghajar, I. (2012). Planning Forest Road Alignment Using a Shortest Path Algorithm and Geographic Information System. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(3): 460-471.
- [11]. Hayati, E., Majnounian, B., Abdi, E., Sessions, J., and Makhdoum, M. (2013). An expert-based approach to forest road network planning by combining Delphi and spatial multi-criteria evaluation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(2): 1767-1776.
- [12]. Jaafari, A., Najafi, A., Rezaeian, J., Sattarian, A., and Ghajar, I. (2015). Planning road networks in landslide-prone areas: a case study from the northern forests of Iran. *Land Use Policy*, 47: 198-208.
- [13]. Ghajar, I., Najafi, A., Karimimajd, A.M., Boston, K., and Torabi, S.A. (2013). A program for cost estimation of forest road construction using engineer's method. *Forest Science Technology*, 9 (3): 111-117.
- [14]. Pradhan, B., and Lee, S. (2009). Landslide risk analysis using artificial neural network model focusing on different training sites. *International Journal of Physical Sciences*, 4(1): 1-15.
- [15]. Sepahvand, A. (2010). Landslide hazard zonation using neural networks on the part of Haraz watershed, Master's thesis, Department of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor.
- [16]. Jadda, M., Shafri, H.Z.M., Mansor, S.B., Sharifikia, M., and Pirasteh, S. (2009). Landslide susceptibility evaluation and factor effect analysis using probabilistic-frequency ratio model. *European Journal of Scientific Research*, 33(4): 654-668.
- [17]. Sefidgari, R. (2002). Evaluation of landslide hazard mapping in scale 1: 50000, Master's thesis, Department of Natural Resources, University of Tehran, Karaj.
- [18]. Ghajar, I., and Najafi, A. (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.
- [19]. Poorghasemi, H, R., Moradi, H.R., and Mohammdi, M. (2007). Landslide Hazard Zoning statistical method Frequency ratio in watershed Safaroud. *Third Global Conference Proceedings watershed and soil and water resources management*, Bahonar University of Kerman, pp. 174-179.
- [20]. Jokar Sarhangi, I., Amir Ahmadi, A. and Salmaliyan, H. (2007). Landslide hazard zonation in Safaroud watershed using GIS. *Geography and Regional Development Journal*, 5(9): 79-93.
- [21]. Shariat jafari, M., 1996. *Landslide (principles of natural slopes stability)*. Publishing sazeh, First Edition, Iran.
- [22]. Lee, S. (2004). Application of likelihood ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS. *Environmental Management*, 34(2): 223-232.
- [23]. Esmaeili, R. A. (2002). Mass movements hazard zonation and regional model. Master's thesis, Department of Natural Resources, University of Tehran, Karaj.
- [24]. Lee, S., Ryu, J.H., Lee, M.J., and Won, J.S. (2006). The Application of artificial neural networks to landslide susceptibility mapping at Janghung, Korea. *Mathematical Geology*, 38(2): 199-220.

Planning a single low risk forest road based on artificial neural network model of landslide susceptibility (case study: Kojour watershed)

A. Abbasian; M.Sc., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, I.R. Iran

R. Naghdi* and I. Ghajar; Assoc. Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, I.R. Iran

(Received: 21 August 2016, Accepted: 28 January 2017)

ABSTRACT

This research aimed at modeling the landslide susceptibility using the Artificial Neural Networks (ANN) in Kojour watershed and then planning the forest road based on the resulted map in Aghoozchal and Moor districts in the northern Iran. After recording the coordinates of 95 occurred landslides, six factors of terrain slope, aspect, curvature, distance to river, distance to fault, and geology formation were assumed as the effective factors in landslide occurrence. The digital layers of input variables were prepared in Geographic Information System. After data extraction, various backpropagation multi-layer perceptron ANNs with various setting parameters were developed and their performances were evaluated. Results showed that the best root mean square error (RMSE) and determination coefficient (R^2) as model performance criteria for the most robust model were 0.1945 and 0.8676, respectively, in which 2 and 8 neurons have been obtained in the first and second hidden layers. Among the proposed variants, the variant No. 3 was selected as the most appropriate one with the least passing from very susceptible landslide classes and it was then implemented in the field.

Keywords: Backpropagation, Forest road, Landslide, Neuron, Stability.

* Corresponding Author, Email: rnaghdi@guilan.ac.ir, Tel: +989111380108