نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of
Watershed Management

سال چهارم- شماره ۱۳- تابستان ۱۳۹۵

Vol. 4, No. 13, Summer 2016

ارزیابی روش‌های مختلف پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در اکوسیستم‌های جنگلی

آزاده دلجویی[1]، سید عطااله حسینی*[2] و سید محمد معین صادقی[3]

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۴/۰۸   تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۶/۲۲

چکیده

امروزه مهندسین جنگل هنگام طراحی شبکه جاده‌های جنگلی، با بهره جستن از انواع روش‌های پهنه‌بندی، مبادرت به شناسایی واریانت‌هایکم خطر تر جاده‌های جنگلی از نظر زمین‌لغزش می‌کنند تا از این طریق، هزینه‌های تعمیر و نگهداری جاده‌ها را کاهش دهند.به دلیل ارتباط زمین‌لغزش با مسیریابی جاده‌های جنگلی، پیدا کردن روش مناسب پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش که قابلیت به‌کارگیری در مناطق مختلف جنگل را نیز دارا باشد، یکی از مهم‌ترین گام‌ها برای تحقق یک طراحی هوشمند توسط کارشناسان و مهندسین جنگل است. بنابراین هدف از این پژوهش، دست یافتن به روشی مناسب برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، به منظور طراحی بهتر شبکه جاده‌های جنگلی است. روش‌های بسیاری برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در دنیا معرفی شده‌اند که به سه دسته روش‌های آماری (مانند روش‌های دو متغیره و چندمتغیره، رگرسیون لجستیک و مدل ارزش اطلاعات)، ابتکاری یا تجربی (مانند روش استوینسن، نیلسن و براب، آنبالاگان و مورا–وارسون) و ترکیبی (مانند شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی) تقسیم‌بندی می‌شوند.از بین روش‌های آماری: مدل دو متغیره، روش‌های تجربی: مدل مورا–وارسون و روش‌های تلفیقی: شبکه عصبی مصنوعی بیش‌ترین کاربرد را دارند.نتایج این پژوهش بیان‌گر این موضوع است که مدل‌های آماری قابلیت بهتر و کاربرد بیش‌تری در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نسبت به مدل‌های ابتکاری دارند، هرچند که مدل‌های تلفیقی(مانند شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی) بیش‌ترین صحت و دقت را در بین روش‌ها دارا می‌باشند و اگر داده‌هایی با تعدادکم موجود باشد، مطمئناً روش‌های تلفیقی می‌توانند پهنه‌بندی دقیق‌تری را نسبت به دیگر مدل‌ها در ارتباط با خطر زمین‌لغزش در جنگل ارایه دهند.

واژه‌های کلیدی: جاده جنگلی، شبکه عصبی مصنوعی، طراحی جاده، مدل دو متغیره، مدل مورا–وارسون، منطق فازی.

زمین‌لغزش در جنگل‌های شمال کشور

امروزه دانشمندان و پژوهش‌گران بر روی انواع حرکات توده‌ای به‌ویژه زمین‌لغزش مطالعه می‌کنند. زمین‌لغزش، پدیده‌ای است که به عوامل مختلفی مانند شیب، زمین‌شناسی، بارندگی، پوشش گیاهی و تغییر کاربری اراضی بستگی دارد [۱۵] که در نتیجه آن، حجم بالایی از مواد دامنه‌ای به دره‌ها منتقل می‌شوند [۲۲ و ۴۷]. زمین‌لغزش‌ها پس از زلزله و سیل، بیش‌ترین خسارت را به زندگی انسان وارد می‌سازند [۳۰]؛ لذا برنامه‌ریزی برای جلوگیری یا کاهش خسارات ناشی از آن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.بررسی روابط زمین‌لغزش در کشورهای توسعه‌یافته سابقه‌ای طولانی دارد؛ در حالی که در داخل کشور، مطالعه در این زمینه به تازگی افزایش پیدا کرده است و شروع جدی آن در سال‌های ۱۳۷۰–۱۳۸۰ بوده است [۶، ۲۱ و ۲۲]. هرچند که مطالعات اندکی در زمینه زمین‌لغزش در اکوسیستم‌های جنگلی انجام شده است. برای مثال، حسینی (۱۳۷۳) به بررسی پدیده زمین‌لغزش در جاده‌های جنگلی کوهستانی در جنگل خیرود نوشهر پرداخت و اظهار داشت که اگر با مناطقی روبرو شویم که پدیده زمین‌لغزش در آن‌ها صورت گرفته، در درجه اول باید سعی کرد با روش‌های زیستی و زهکشی مناسب، آن منطقه را تثبیت نمود [۶].

ساخت غیراصولی جاده‌های جنگلی، به عنوان یک عارضه خطی، سبب افزایش انواع حرکات توده‌ای به ویژه زمین‌لغزش در اکوسیستم جنگل می‌شود [۸].برای نمونه، Larsen و Parks(۱۹۹۷) به این نتیجه رسیدند که فراوانی لغزش‌ها در محدوده ۸۵ متری حاشیه جاده‌های جنگلی، پنج برابر لغزش‌های به ثبت رسیده در سایر قسمت‌های جنگل است [۴۷].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

۱- دانشجوی دکتری مهندسی جنگل، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲- دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، نویسنده مسول*:
Email: At.hossrini@ut.ac.ir
۳- دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

بالادست و پایین‌دست جاده جنگلی و در نتیجه وقوع زمین‌لغزش گردد [۵۵]. بنابراین در طراحی جاده‌های جنگلی قسمت‌های حساس به لغزش باید با دقت شناسایی و تا حد امکان از عبور جاده بر روی این اراضی پرهیز گردد؛ در غیر این صورت، هزینه تعمیر و نگهداری جاده (در آینده) و هم‌چنین هزینه‌های مربوط به اختلال در بهره‌برداری و خروج محصولات جنگلی بسیار بالا خواهد رفت و ضرر زیادی به کارفرما می‌رسد. بنابراین برآورد قابل اعتمادی از حساسیت زمین جنگل به زمین‌لغزش، پیش از طراحی جاده مورد نیاز است [۱۹]. طراح جاده جنگلی در مواردی با توجه به شرایط توپوگرافی و شیب طولی جاده، مجبور به طراحی مسیر جاده در اراضی ناپایدار و حساس به زمین‌لغزش است که در این صورت باید تدابیر لازم اندیشیده شود. طرح‌ریزی این تدابیر نیازمند اطلاع داشتن از میزان حساسیت اراضی آن منطقه‌ی جنگلی به زمین‌لغزش است که در این بین پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، ابزاری سودمند به شمار می‌آید [۲۱].

پهنه‌بندی زمین‌لغزش در مناطق جنگلی

تاکنون متخصصان مختلف علوم طبیعی مطالعات بسیاری در رابطه با زمین‌لغزش انجام داده‌اند ولی به دلیل پیچیدگی بسیار، مدل‌های مورد استفاده جنبه کیفی داشته و تنها برای منطقه خاص کاربرد دارند. در سال‌های اخیر بررسی‌های انجام شده به صورت کمی بوده و از حالت کیفی و تجربی خارج شده است. در روش‌های کمی، رابطه بین عوامل موثر و وقوع زمین‌لغزش پیدا شده است و خطر زمین‌لغزش در منطقه براساس این روابط بررسی می‌شود [۱۸]. در صورتی که این پدیده‌ها بررسی و مطالعه شوند و مناطق مستعد وقوع آن‌ها شناسایی گردد، هزینه‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری کاهش پیدا کرده و بسیار کم‌تر از زیان‌های حاصل از آن خواهد شد.

امروزه یکی از فنون پرکاربرد برای شناسایی نقاط مستعد زمین‌لغزش، استفاده از تکنیک‌های پهنه‌بندی است. برای جلوگیری از وقوع زمین‌لغزش، بایستی ناپایداری دامنه‌های جنگلی در چارچوب تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، موجبات شناخت جاهای امن برای گسترش جاده‌ها، مسیرهای انتقال نیرو و سکونت‌گاه‌ها در منطقه به صورت دقیق صورت گیرد [۲۶]. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، احتمال نسبی وقوع این پدیده را در یک منطقه بر اساس ویژگی‌های محیطی آن ناحیه مشخص می‌کند [۲۲]. پیشینه‌ی پژوهش نشان می‌دهد که روش‌ها و تکنیک‌های متعددی در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ارایه شده‌اند که در مقاله پیش رو، روش‌های مختلف پهنه‌بندی زمین‌لغزش که در اکوسیستم‌های جنگلی استفاده می‌شوند، مورد بحث قرار می‌گیرند.

شبکه جاده جنگلی، اولین بخش مدیریت جنگل و بالاترین عامل هزینه‌بر اجرایی می‌باشد. جاده‌سازی بر روی اراضی جنگلی حساس، موجب افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری جاده در آینده و هم‌چنین خسارت‌های جبران‌ناپذیر زیست‌محیطی می‌گردد.

بدین جهت، یکی از راه‌های شناسایی مناطق حساس و بحرانی به زمین‌لغزش در اراضی جنگل، استفاده از تکنیک‌های پهنه‌بندی است. در زمینه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش در داخل کشور، حیاتی و همکاران (۱۳۹۱) مبادرت به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به منظور استفاده در طراحی شبکه جاده جنگلی در جنگل‌های خیرود نوشهر پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تقریباً ۲۰ درصد مناطق در پهنه‌های با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند [۸]. با پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش می‌توان بر مبنای شناخت ویژگی‌های طبیعی و مدل‌سازی کمی زمین‌لغزش مبادرت به تعیین مهم‌ترین عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش را نمود و برای برنامه‌ریزی‌های آتی در جنگل از آن بهره جست. هم‌چنین قجر و نجفی (۱۳۹۳)، اقدام به پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش مناطق جنگلی در حوضه کجور استان مازندران، به منظور طراحی مسیر جاده جنگلی نمودند و به این نتیجه رسیدند که فاصله از رودخانه‌های اصلی، مهم‌ترین عالم در ایجاد حساسیت به زمین‌لغزش است [۱۹].

انواع پهنه‌بندی زمین‌لغزش در جنگل

انواع پهنه‌بندی‌های مرتبط با زمین‌لغزش شامل پهنه‌بندی حساسیت[۱] [۲۷ و ۴۱]، وقوع[۲] [۲۷ و ۵۷] و ریسک یا خطر زمین‌لغزش[۳] است [۲۷ و ۳۷].

در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، به بررسی و ارزیابی خسارات مستقیم و غیر مستقیم ناشی از وقوع زمین‌لغزش در یک منطقه معین، طی یکسال پرداخته می‌شود [۲۷ و ۳۷]. اندازه‌گیری شدت و یا احتمال وقوع اثرات مخرب زمین‌لغزش بر سلامتی، جان و مال و یا محیط‌زیست به صورت زیر تعریفمی‌شود:

- از دست رفتن جان یا زندگی افراد، احتمال زمانی–مکانی وقوع سالانه زمین‌لغزش که هر فرد بیش‌ترین خطر را برای از دست دادن جان خود در هنگام وقوع زمین‌لغزش دارد.
- از دست رفتن مال و دارایی افراد، احتمال زمانی–مکانی در هنگام وقوع سالانه زمین‌لغزش و میزان آسیب‌پذیری یا سالانه کردن هر یک از عناصر در معرض خطر

عناصر در معرض خطر شامل افراد، تاسیسات، فعالیت‌های اقتصادی و یا اموال عمومی هستند که در معرض خطر خاصی در منطقه قرار دارند [۲۷]که از نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به‌دست می‌آیند و میزان زیان وارده بر افراد و دارایی آن‌ها را ارزیابی می‌کند. از این نقشه‌ها می‌توان آسیب‌پذیری و احتمال مکانی و زمانی را برای هر یک از اجزای ریسک محاسبه نمود.

روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در دامنه‌های جنگلی

به دلیل ارتباط زمین‌لغزش با مسیریابی جاده‌های جنگلی، پیدا کردن روش مناسب پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش که قابلیت به‌کارگیری در مناطق مختلف جنگل را نیز دارا باشد، یکی از مهم‌ترین گام‌ها برای

1. Landslide susceptibility zonation
2. Landslide hazard zonation
3. Landslide risk zonation

تحقق یک طراحی هوشمند توسط کارشناسان و مهندسین جنگل است [۱۹]. امروزه روش‌های بسیاری برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش در دنیا معرفی شده و کاربرد دارند که به سه دسته روش‌های آماری[۱]، ابتکاری یا تجربی[۲] و ترکیبی[۳] تقسیم‌بندی می‌شوند.

از جمله روش‌های آماری می‌توان به روش‌های دو متغیره (مانند مدل ارزش اطلاعات [۵۳] و تراکم سطح [۸]، چند متغیره [٤ و ٢٤] و رگرسیون لجستیک [۳۹ و ۵۸] اشاره کرد که نیازمند اطلاعات زیادی می‌باشند و متناسب با شرایط هر منطقه، از انعطاف‌پذیری بیش‌تری نسبت به روش‌های ابتکاری برخوردارند و در این مدل‌ها خطر وقوع زمین‌لغزش را بر اساس مقادیر وزنی کمی شده، بدست می‌آورند [۱۲]. روش‌های آماری، بیش‌ترین قابلیت را زمانی دارند که از قبل اطلاعاتی درباره‌ی نوع روابط بین داده‌ها (خطی بودن و غیر خطی بودن) وجود داشته باشد.

روش‌های ابتکاری یا روش‌های تجربی متداول در پهنه‌بندی می‌توان به روش‌های استیونسن [٥٦]، نیلسن و براب [٥٢]، آنبالاگان [کرم و محمودی، ١٣٨٤؛ Anbalagan et al., ١٩٩٣]، کاناگاوا [٤٤]، تحلیل ممیزی [٧] و مورا-وارسون [٥٠] اشاره کرد که به دلیل تجربی بودن، مختص یک ناحیه، یک اقلیم و یک نوع پوشش گیاهی بوده و برای کاربرد آن در مناطق دیگر، نیازمند صحت‌سنجی و اصلاح شدن پارامترهای آن است. هم‌چنین، در روش‌های تجربی، از قبل و بدون در نظر گرفتن شرایط منطقه، برخی پارامترها امتیاز بیشتری نسبت به دیگر پارمترهای اثرگذار بر زمین‌لغزش دارا هستند که سبب می‌شود نقش و سهم آن‌ها در پهنه‌بندی بیشتر شود، در صورتی که بسته به ویژگی‌ها هر منطقه، پارمترهای مختلف می‌توانند امتیازات متفاوتی داشته باشند [۳]. برای نمونه، روش آنبالاگان یک مدل تجربی بوده که در مورد لغزش‌های ناحیه کوهستانی هیمالیا در کشور هند صورت گرفته و در این روش پارامترهای سنگ‌شناسی، شیب و کاربری زمین از الویت بیشتری نسبت به دیگر پارمترهای برخوردارند، حال آنکه در هر منطقه، الویت‌بندی و در نهایت امتیازبندی پارمترها اثرگذار بر روی زمین‌لغزش باید متفاوت باشد. تفاوت عمده‌ی دیگر بین روش‌های ابتکاری و آماری در این است که در روش‌های ابتکاری، تاثیر هر یک از عوامل موثر بر زمین‌لغزش را به صورت جداگانه بررسی می‌کنند، ولی در روش‌های آماری، تاثیر عوامل مختلف بر وقوع زمین‌لغزش را به صورت یکجا و همزمان با هم بررسی می‌کنند.

روش‌های ترکیبی که از تلفیق روش‌های آماری و ابتکاری استفاده می‌کنند و شامل شبکه عصبی مصنوعی [٣٤]، منطق فازی [٥، ١٦، ٢٠، ٢٩، ٣٨ و ٥١] و فرآیندهای تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند AHP می‌باشند [٣، ٨، ٤٦ و ٥٩]. در این مقاله، روش‌هایی که بیش‌ترین کاربرد و مقبولیت را در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در دامنه‌های جنگلی دارند، معرفی و تشریح می‌گردند.

1. Statistical method
2. Heuristic/empirical method
3. Combination method

مدل مورا-وارسون

این مدل تجربی، مناسب مناطقی با سطح وسیع می‌باشد [۵۰]. عواملی ورودی که در این مدل در نظر گرفته شده است شامل پنج دسته می‌باشند: پستی و بلندی (شش طبقه برای این فاکتور در نظر گرفته شده است)، لیتولوژی (سنگ‌ها براساس میزان مقاومت به پنج طبقه تقسیم می‌شوند) و رطوبت خاک به عنوان شاخص‌های اصلی خطر زمین‌لغزش و به علاوه، شدت لرزه (در مقیاس مرکالی) و شدت بارندگی (با توجه به بیشینه بارندگی ۲٤ ساعته با دوره بازگشت صدساله) به عنوان عوامل فرعی و محرک در این مدل در نظر گرفته می‌شوند. مرور منابع نشان می‌دهند که مدل مورا-وارسون، چارچوبی را ایجاد می‌کند که می‌توان در سطح محلی و یا منطقه‌ای از آن استفاده کرد [۵۰]. به طور کلی، مدل مورا-وارسون، کاربرد بیش‌تری نسبت به انواع مدل‌های ابتکاری در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دامنه‌های جنگلی دنیا دارد [۱]. بنابراین ضعف اصلی این مدل، عدم کارآیی در مناطق با سطح کم است.

مدل آنبالاگان

این روش توسط Anbalagan و همکاران (۱۹۹۳) جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در یک منطقه جنگلی کوهستانی در رشته‌کوه‌های هیمالیا ارایه گشت [۳۳]. در این روش، واحدهای کاری تعیین‌کننده رخساره‌های شیب می‌باشند. یک رخساره شیب، بخشی از یک دامنه است که دارای خصوصیات مشابهی از نظر زاویه و جهت شیب است. رخساره‌های شیب بوسیله خط‌الراس‌ها و خط‌القعرها محدود می‌شوند. بر اساس این روش، هر واحد کاری حداکثر دارای ۱۵ امتیاز می‌باشد که پارامترهای شیب، جهت دامنه، بارش، فاصله از شبکه زهکشی، کاربری اراضی و سنگ‌شناسی، حداکثر ۲ امتیاز و پارامترهای ارتفاع از سطح دریا، فاصله از جاده و فاصله از گسل، حداکثر ۱ امتیاز را به خود تخصیص می‌دهند. بنابراین، هرچه جمع امتیازات محاسبه شده در هر واحد کاری بیشتر باشد (یعنی به عدد ۱۵ نزدیک‌تر باشد)، خطر زمین‌لغزش در آن واحد کاری بیشتر خواهد بود. علاوه بر ضعف‌های یاد شده در مورد مدل‌های تجربی، ضعف عمده این مدل این است که تنها در شرایط کوهستانی می‌تواند کاربرد داشته باشد.

مدل آماری دو متغیره

در روش آماری دو متغیره، خطر زمین‌لغزش تابعی است از نحوه حضور و عملکرد متغیرهای مستقل که مجموعه‌ای از عوامل محیطی و ذاتی می‌باشند [۱۲]. دراینروشدرقدمنخست تاثیر هر عامل بر روی زمین‌لغزش به صورت مجزا و مستقل دیده می‌شود و در مرحله‌ی بعد، با فرض وجود یک حداقل همبستگی بین هر عامل با دیگر عامل موثر، احتمال نهایی خطر زمین‌لغزش برابر با احتمال وقوع مجموع عوامل خواهد بود. از سال ۱۹۹۰ میلادی به بعد، کاربرد روش‌های آماری دو و چند متغیره در دنیا متداول شده است و در بسیاری از

پژوهش‌ها کارایی بهتر این روش‌ها نسبت به روش‌های ابتکاری در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در اراضی جنگلی، عنوان شده است [۱۳ و ۴۵]. به علاوه، مدل آماری دومتغیره استفاده بیش‌تری نسبت به مدل آماری چند متغیره در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دارد.

یکی از معروف‌ترین مدل‌های آماری دو متغیره، مدل ارزش اطلاعات است که در آن، ابتدا نقشه پراکنش زمین‌لغزش برای منطقه مورد نظر تهیه، سپس لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز استخراج می‌شود. پس از آن، اقدام به تعیین درصد خطر زمین‌لغزش در رده‌های مختلف کرده و در نهایت، عوامل موثر بر زمین‌لغزش را وزن‌دهی می‌نمایند [۱۰، ۱۷، ۱۸، ۲۵، ۲۷ و ۵۹]. نقشه‌های پهنه‌بندی در این روش از رابطه زیر وزن‌دهی می‌شوند:

$$winf = \ln\left[\left(\frac{A}{B}\Big/\frac{C}{D}\right)\right]$$

در این رابطه، $winf$ وزن ارزش اطلاعات، A مساحت زمین‌لغزش هر واحد کاری، Bمساحت هر واحد کاری، Cمساحت کل زمین‌لغزش‌ها و D مساحت کل منطقه می‌باشد.

دیگر روش متداول آماری دو متغیره که در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در اراضی جنگلی کاربرد دارد، روش تراکم سطح است [۸]. با استفاده از روابط زیر، عوامل موثر بر زمین‌لغزش کمی شده و وزن‌دهی می‌شوند. در نهایت، نقشه‌های پهنه‌بندی از جمع جبری نقشه‌های وزن‌دار به دست می‌آیند [شادفر و همکاران، ۱۳۸٤؛ فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۰؛ محمدی و همکاران، ۱۳۸۸؛ مرادی و همکاران، ۱۳۹۱].

$$W_{area} = D_{area} - 1000 \times \frac{A}{B}$$

$$W_{area} = D_{area} - 1000 \times \frac{C}{D}$$

در این روابط W_{area} وزن تراکم سطح و D_{area} تراکم سطح می‌باشد. عوامل A، B،C وDقبلاً در مدل ارزش اطلاعات معرفی شده‌اند.

مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (PHA)

این مدل یکی از مدل‌های چندمعیاره تصمیم‌گیری است. ابتدا با وزن‌دهی به تک تک عوامل موثر در نظر گرفته شده برای پهنه‌بندی (وزن هر عامل از ماتریس وزن‌دهی به دست می‌آید) و سپس امتیازدهی به هر کدام از کلاسه‌های مربوط به هر یک از عوامل، ضریبی به دست می آورد که براساس آن‌ها مدل نهایی را ارایه می‌نماید -یعنی وزن هر عامل در وزن رده‌های آن عامل ضرب شده و وزن نهایی هر رده و معادله نهایی پهنه‌بندی به دست می‌آید- [۳، ۸، ۱۵، ۲۵، ۲۷ و ۳۱]. این روش بر پایه‌ی مقایسه زوجی بین عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و زیرعامل‌های مربوط به عامل اصلی استوار است. ابتدا با وزن‌دهی به تک‌تک عوامل موثر در نظرگرفته شده برای پهنه‌بندی و سپس امتیازدهی به هرکدام از طبقات مربوط به هر یک از عوامل، ضرایبی به دست می‌آورد که بر اساس آن‌ها، مدل نهایی را ارایه می‌نماید [۲]. معمول‌ترین روش بررسی عوامل موثر در AHP، استفاده از پرسش‌نامه برای وزن‌دهی عوامل موثر بر خطر زمین‌لغزش است که این پرسش‌نامه‌ها توسط کارشناسان و صاحب‌نظران لازم است تکمیل شود. امروزه این روش در صورت همکاری افراد صاحب‌نظر در تکمیل پرسش‌نامه‌ها، می‌تواند روش مناسب برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش باشد که به دلیل تکمیل اطلاعات توسط صاحب‌نظران، روشی زمان‌بر محسوب می‌شود. هم‌چنین، احتمال اشتباه نمودن کارشناس در تعیین وزن و مشکل استانداردسازی واحدهای اندازه‌گیری از دیگر مشکلات این روش به شمار می‌آید.

شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی به خاطر قابلیت حل ابتکاری‌شان، از سال ۲۰۰۵ میلادی به به طور موفقیت‌آمیزی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش اراضی جنگلی دنیا به کار گرفته می‌شوند [۳٤، ۳٦ و ٤۹]. در شبکه عصبی سعی بر این است که ساختاری مشابه ساختار زیستی مغز انسان و شبکه اعصاب بدن ساخته شود تا همانند مغز، قدرت یادگیری، تعمیم‌دهی و تصمیم‌گیری داشته باشد [۹]. در واقع شبکه‌های عصبی، الگوریتم‌های رایانه‌ای هستند که می‌توانند روابط مهم بین تعداد زیادی پارامتر را از یک بانک داده استخراج نموده و به پیش‌بینی و طبقه‌بندی همان بانک داده یا یک بانک جدید داده به کار ببرند. جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی، اولین گام تعیین نوع شبکه می‌باشد. بهترین شبکه مورد استفاده برای این منظور شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون است که کارایی بالایی دارد [۲۷]. در گام بعدی عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش، کدگذاری می‌شوند و سپس عوامل وزن‌دهی می‌شوند. وزن‌دهی در شبکه عصبی در دو مرحله انجام می‌شود که در ابتدا پس از ورود داده‌ها به شبکه، لایه‌ها به صورت تصادفی وزن‌دهی می‌شوند. در مرحله دوم که مرحله آموزش می‌باشد، به هر یک از این عوامل وزن جدیدی داده می‌شود که وزن‌های جدید را در تعیین میزان خطر دیگر پیکسل‌ها مورد استفاده قرار می‌دهند [۲۷، ۳٤ و ۳٦]. از مزایای استفاده از شبکه‌های عصبی می‌توان به دقت بالا در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش، عدم وابستگی به توزیع آماری داده‌ها، عدم نیاز به متغیرهای آماری مخصوص، قابلیت بالا در هنگام داشتن اطلاعات با دامنه و تکرار کم و هم‌چنین عدم نیازمند بودن به یک مدل اولیه در ارتباط دادن بین داده‌های ورودی خروجی نام برد [۹، ۳۵ و ٤۸]. هم‌چنین شبکه عصبی مصنوعی برای صحت‌سنجی داده‌ها، به مقدار داده‌های کمتری نسبت به روش‌های آماری نیاز دارد [۹].

منطق فازی

از منطق فازی در بسیاری از علوم برای پیش‌بینی عوامل مختلف استفاده می‌کنند [۵، ۱٦ و ۱۹]. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر اساس

روش‌ها و مدل‌های مختلف مبنی بر منطق‌های دو ارزشی، به دلیل مطلق‌گرایی و عدم انعطاف‌پذیری، با واقع‌گرایی لازم همراه نیست. در این روش‌ها با توجه به اینکه مرز ارزش‌گذاری پارامترها قطعی در نظر گرفته می‌شوند، برای مثال یک درجه اختلاف در مقدار شیب دامنه در مرز دو طبقه از شیب در مواردی ممکن است موجب واقع شدن دامنه جنگلی در یک کلاسه دیگر از شیب شود، در صورتی که در واقعیت، یک درجه اختلاف در شیب، نباید آنچنان تاثیر تعیین‌کننده‌ای در وقوع یک پدیده داشته باشد [۱۱ و ۲۹]. روش‌های مبتنی بر منطق فازی به سرعت در حال توسعه می‌باشند و هر ساله با ارایه روش‌های جدیدتر بر مبنای مفاهیم نظریه مجموعه‌های فازی، این امکان فراهم می‌شود تا به استدلال‌های غیرقطعی مبهم و نامعین ذهن انسان، صورت‌بندی ریاضی بخشیده شود. در روش منطق فازی، ملاک امتیازدهی برای هر یک از عوامل و طبقه‌های زمین‌لغزش، از تقسیم نسبت مناطق لغزشی (درصد پیکسل‌هایی که در آن لغزش رخ داده) به مناطق فاقد لغزش (درصد پیکسل‌های فاقد لغزش) به دست می‌آید [۲۸] و در حال حاضر این روش، کاربرد زیادی در تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در دنیا دارد [۵۱]. از مزایای سامانه‌های فازی می‌توان به پایدار بودن، دقت بالا، قابل تنظیم و اعتبارسنجی بودن نام برد [۱۹]. هم‌چنین، نتایج دیگر مطالعات نشان می‌دهند که روش منطق فازی به دلیل هماهنگ و یک‌دست‌کردن داده‌ها و نیز انعطاف‌پذیر کردن فرآیند تحلیل فضایی، به عنوان روش بسیار کارا و سودمند در تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش شناخته می‌شود [۲۰، ۴۰، ۴۲ و ۵۴].

ارزیابی نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش

نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش را می‌توان از روش‌های مختلفی مورد ارزیابی قرار داد. یکی از روش‌هایی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، بازدید از منطقه در چند سال بعد و مشاهده لغزش‌هایی است که به تازگی در منطقه رخ داده است. این روش زمان‌بر بوده و عموماً مورد استفاده قرار نمی‌گیرد [۱۹]. روش دوم، روی‌هم‌اندازی نقشه پراکنش لغزش‌ها با نقشه پهنه‌بندی است که مشخص می‌شود چه تعداد از لغزش‌ها در پهنه‌های مختلف قرار می‌گیرد [۲۷] و در نهایت برای ارزیابی صحت و دقت پیش‌بینی مدل‌ها با داده‌های واقعیت زمینی، می‌توان از پارامترهای اریب‌سنجی[1]، خطاسنجی[2] و کارآیی مدل[3] استفاده کرد [۱۴].

نتیجه‌گیری

عوامل زمین‌شناسی (سازند و گسل)، خاک‌شناسی و آبراهه‌ها که جز عوامل اصلی زمین‌لغزش در جنگل به شمار می‌آیند، به سختی قابل تغییر هستند؛ در حالی که عامل جاده‌سازی، قابلیت بیش‌تری برای طراحی و مدیریت داشته و با احداث جاده بر اساس شرایط منطقه و جلوگیری از جاده‌سازی غیرفنی در مناطق جنگلی، می‌توان از تحریک و افزایش زمین‌لغزش‌ها در مناطق جنگلی جلوگیری نمود. بنابراین هدف از این پژوهش، دست یافتن به روشی مناسب برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، به منظور طراحی هوشمندانه‌تر شبکه جاده‌های جنگلی بود. با پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش پیش از آغاز عملیات طراحی شبکه جاده جنگلی، اطلاعات دقیق‌تر و صحیح‌تری از منطقه جنگلی به دست می‌آید و قابل انتظار است که هزینه‌های کم‌تری در ارتباط با تعمیر و نگهداری جاده به دلایل لغزش و رانش، به مجری طرح وارد خواهد شد و در نتیجه منابع ملی کم‌تری به هدر خواهد رفت. پهنه‌بندی خطرات زمین‌لغزش به مدیران جنگل این امکان را می‌دهند که اگر ناگریز به عبور جاده‌های جنگلی از مناطق حساس و پرخطر به زمین‌لغزش می‌باشند، با اطلاع داشتن از موقعیت مکانی مناطق مستعد و پرخطر، می‌توان به منظور جلوگیری از بروز فرسایش، تخریب و لغزش احتمالی در سطح ترانشه‌های جاده، از قبل نکات ایمنی لازم مانند طراحی سیستم زهکشی صحیح و منطبق با الگوی طبیعت [۶] و نیز تثبیت زیستی و مکانیکی ترانشه‌های جاده را در نظر گرفت [۴۳]. گرچه رعایت نکات یاد شده، هزینه ساخت جاده‌های جنگلی را افزایش می‌دهد، ولی در درازمدت به سود مدیر جنگل است، زیرا که هزینه‌های تعمیر و نگهداری جاده و نیز اختلال در بهره‌برداری و حمل و نقل چوب به دلیل تخریب جاده را کاهش می‌دهد. روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در اراضی جنگلی به سه دسته‌ی روش‌های آماری، تجربی و تلفیقی تقسیم می‌شوند. نتایج این پژوهش بیان‌گر این موضوع است که مدل‌های آماری قابلیت بهتر و کاربرد بیش‌تری در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نسبت به مدل‌های ابتکاری دارند، هرچند که سرعت استفاده از مدل‌های تلفیقی مانند شبکه عصبی و منطق فازی، در دنیا بسیار چشمگیر است و اگر داده‌هایی با تکرار کم موجود باشد، یقیناً روش‌های تلفیقی، پهنه‌بندی دقیق‌تری را نسبت به دیگر مدل‌ها می‌توانند ارایه دهند.

منابع

۱. افجه نصرآبادی، حامد، شعبان شتایی جویباری، نصرت‌اله رافت‌نیا و محسن شریعت جعفری، ۱۳۸۷. ارزیابی کارایی مدل‌های تجربی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (حائری-سمیعی و مورا-وارسون) برای بررسی وضعیت شبکه جاده جنگلی طراحی شده در جنگل شصت‌کلاته گرگان، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۶(۴): ۵۷۳-۵۵۶.

۲. امیراحمدی، ابوالقاسم، حمید کامرانی دلیر و محسن صادقی، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مطالعه موردی حوضه آبخیز چلاو آمل، جغرافیا، ۸(۲۷): ۲۰۳-۱۸۱.

۳. بهنیافر، ابولفضل،هادی قنبرزاده و محمدرضا منصوری دانشور، ۱۳۸۸. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ناپایداری دامنه‌ای به

1. Bias assessment
2. Error assessment
3. Performance assessment

روش‌های AHP و احتمال (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه گنگ، دامنه‌های شمالی بینالود)، فضای جغرافیایی، ۹(۲۷): ۷۸-۵۵.
٤. پژم، محمود رضا، ۱۳۷۵. بررسی و ارایه مدل جهت پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای در حوزه آبخیز الموت رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۹۰ ص.
٥. پورقاسمی، حمیدرضا، حمیدرضا مرادی، سید محمود فاطمی عقدا، محمدرضا مهدوی‌فر و مجید محمدی، ۱۳۸۸. ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی فازی، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری، ٤٧(۳): ٦٢-٥١.
٦. حسینی، سید عطااله، ۱۳۷۳. بررسی پدیده زمین‌لغزه در جاده‌های جنگلی کوهستانی، جنگل آموزشی-پژوهشی دانشگاه تهران (خیرودکنار-نوشهر)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری دانشگاه تربیت مدرس، ۹۹ ص.
۷. حق‌شناس، ابراهیم، ۱۳۷۵. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب در منطقه طالقان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۷۳ ص.
۸. حیاتی، الیاس.، باریس مجنونیان، احسان عبدی، علی دسترنج و علی‌اکبر نظری سامانی، ۱۳۹۱. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به منظور استفاده کاربردی در طراحی شبکه جاده جنگلی، نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، ٦٥(۱): ۳۲-۱۹.
۹. سوری، سلمان، غلامرضا لشکری‌پور و محمد غفوری، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، مطالعه موردی: حوضه کشوری (نوژیان)، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، ٥(۲): ۱۲۸٥-۱۲٦۹.
۱۰. شادفر، صمد.، مجتبی یمانی و سید محمد نمکی، ۱۳۸٤. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، مطالعه موردی آبخیز دماوند، مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ۷ ص.
۱۱. شریعت‌جعفری، محسن و رامین حامدپناه، ۱۳۸٦. پیش‌بینی خطر ناپایداری شیب‌های طبیعی با استفاده از عملگرهای ضرب و جمع جبری فازی در البرز مرکزی، نشریه منابع طبیعی ایران، ۳: ۷٤٥-۷٥۷.
۱۲. شریعت‌جعفری، محسن و جعفر غیومیان، ۱۳۸۷. ارزیابی کارایی مدل آنالیز آماری دومتغیره در پهنه‌بندی خطر رانش زمین، مجله علوم دانشگاه تهران، ۳٤(۱): ۱٤۳-۱۳۷.
۱۳. شیرانی، کوروش، جعفر غیومیان و احمد مختاری، ۱۳۸٤. بررسی و ارزیابی آماری دو متغیره و چند متغیره در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه‌ی رودخانه ماربر، نشریه آب و آبخیز، ۲(۲): ۸۷-۳٦.
۱٤. صادقی، سید محمد معین، ۱۳۹۳. ارزیابی مدل SparseGashدر برآورد باران‌ربایی توده‌های دست‌کاشت کاج تهران و سرو نقره‌ای در اقلیم نیمه‌خشک (مطالعه موردی: پارک جنگلی چیتگر)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشگاه تهران، کرج، ص ۱۲۳.
۱٥. عابدینی، موسی و ستایشی‌نساز حسین، ۱۳۹۳. پهنه‌بندی خطر وقوع لغزش با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مطالعه موردی: حوزه آبخیز گلجه، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۸(٤۹): ۱٦٥-۱۳۹.
۱٦. عبادتی‌نژاد، سید علی، مجتبی یمانی، مهران مقصودی و صمد شادفر، ۱۳۸٦. ارزیابی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعیین توانمندی زمین‌لغزش در حوزه آبخیز شیرود، مجله آبخیزداری ایران، ۱(۲): ٤٤-۳۹.
۱۷. فاطمی‌عقدا، سید محمود.، جعفر غیومیان و عقیل اشقلی فراهانی، ۱۳۸۲. ارزیابی کارایی روش‌های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین‌لغزش، مجله علوم زمین، ۱۱(٤۷-٤۸): ٤۷-۲۸.
۱۸. فیض‌نیا، سادات، محمد حسن‌زاده و حسن احمدی، ۱۳۸۰. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزه آبخیز شلمانرود در استان گیلان، مجله منابع طبیعی ایران، ٥٤(۳): ۲۰۷-۲۲۰.
۱۹. قجر، اسماعیل و اکبر نجفی، ۱۳۹۳. مدل‌سازی و پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش مناطق جنگلی به منظور طراحی مسیر جاده جنگلی با استفاده از سامانه استنتاج عصبی-فازی تطبیقی، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۲(۳): ٥۲٦-٥۰۹.
۲۰. قنواتی، عزت‌اله، امیر کرم و ابراهیم تقوی‌مقدم، ۱۳۹۳. کاربرد منطق فازی در شناسایی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان)، علوم زمین، ۲٤(۹۳): ۱٦-۹.
۲۱. کرم، امیر و فرج اله محمودی، ۱۳۸٤. مدل‌سازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین‌خورده (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز سرخون در استان چهارمحال و بختیاری، مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، ٥۱(۳۷): ۱٤-۱.
۲۲. کرمی، فریبا، مریم بیاتی خطیبی و داود مختاری، ۱۳۸٦. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای مواد در حوضه آبریز اوجان‌چای، مجله جغرافیا و توسعه، ٥(۹): ۱۲٥-۱۰۷.
۲۳. کورکی‌نژاد، مسعود، ۱۳۸۰. مقایسه کارایی دو مدل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (حائری و مورا) با اسفاده از ساج در آبخیز سیاه رودبار-گرگان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ۱٤۱ ص.
۲٤. کهی‌میانجی، یعقوب، ۱۳۷۷. تحلیل چندمتغیره آماری احتمال وقوع زمین‌لغزش با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه طالقان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۱۳ ص.
۲٥. محمدی، مجید، حمید رضا مرادی، سادات فیض‌نیا و حمید رضا پورقاسمی، ۱۳۸۸. ارزیابی کارایی مدل‌های عامل اطمینان، ارزش اطلاعاتی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (بررسی موردی: بخشی از حوضه آبخیز هراز)، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ٦۲(٤): ٥٥۱-٥۳۹.

۲۶. محمدی، علی اصغر و فیض‌نیا سادات، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی حرکت توده‌ای با استفاده از درونیابی ویژه و درصددهی به هر یک از زیر عوامل (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دماوند)، فصل‌نامه‌ی جغرافیایی سرزمین، ۷(۱): ۸۰-۶۵.

۲۷. مرادی، حمید رضا، مجید محمدی، و حمید رضا پورقاسمی، ۱۳۹۱. حرکات دامنه‌ای (حرکات توده‌ای) با تاکید بر روش‌های کمی تحلیل وقوع زمین‌لغزش، انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، تهران، ص ۲۲۴.

۲۸. میرنظری، جواد.، هیمن شهابی و سعید خضری، ۱۳۹۳. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل AHP وعملگرهای منطق فازی در حوضه آبریز پشت تنگ سرپل‌ذهاب (استان کرمانشاه)، جغرافیا و توسعه، ۳۷: ۷۰-۵۳.

۲۹. نادری، فتح‌اله، ۱۳۹۱. کاربرد منطق فازی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز چرداول ایلام، پژوهش‌های آبخیزداری، ۹۴(۱): ۸۵-۷۴.

۳۰. نوجوان، محمدرضا و غلامرضا حیاتی، ۱۳۹۲. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزه آبخیز سیاه‌خور اسلام‌آباد غرب با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فصلنامه‌ی جغرافیایی سرزمین، ۱۰(۳۸): ۹۲-۸۱.

31. Akgun, A., 2012. A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods: a case study at Izmir, Turkey. Landslide, 9(1): 93–106.

32. Anbalagan, R.H., 1992. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. Engineering Geology, 32: 269–277.

33. Anbalagan, A., Sharma, L. and Tyagi, S., 1993. Landslide Hazard Zonation (LHZ) Mapping of a Part of Doon Alley, Garthwal Himalya, India. In: Environment Mangement, 253–260 pp.

34. Bui, D., Pradhan, B., Lofman, O. and Dick, O., 2012. Landslide susceptibility assessment in the Hoa Binh Province of Vietnam: a comparison of the Levenberg-Marquardt and Bayesian regularized neural networks. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 171–172: 12–29.

35. Caniani, D., Pascale, S., Sdao, F. and Sole, A., 2008. Neural networks and landslid susceptibility: a case study of the urban area of Potenza. Natural Hazards, 45: 55–72.

36. Catani, F., Casagil, N., Ermini, L., Righini, G. and Menduni, G., 2005. Landslide hazard and risk mapping at catchment scale in the Arno River basin. Landslides, 2: 329–342.

37. Chacon, J., Irigaray, C., Fernandez, T. and El Hamdouni, R., 2006. Engineering geology maps: landslides and geographical information systems, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 65: 341–411.

38. Champatiray, P., 2000. Perationalization of cost-effective methodology for landslide hazard zonation using RS and GIS: IIRS initiative. In: Roy P, Van Westen C, Jha V, Lakhera R (eds) Natural Disasters and their mitigation;Remote Sensing and Geographical Information System Perspectives. Indian Institute of Remote Sensing, Dehradun, India, pp. 95–101.

39. Das, I., Sahoo, S., Van Westen, C., Stein, A. and Hack, R., 2010. Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India), Geomorphology, 114: 627–637.

40. Gemitzi, A., Falalakis, G., Eskioglou, P. and Petalas, C., 2011. Evaluating landslide susceptibility using environmental factors, fuzze membership functions and GIS. Global NEST Journal, 13(1): 28-40.

41. Guzzetti, F., 2005, Review and selection of optimal geological models related to spatial information available, Action 1.14 Risk aware is partially co-financed by the European union under the INTEREG IIIB CADSES programme, 44 pp.

42. Hoon, C.K., Park, N.W. and Chang, J.C., 2002. Fuzzy logic integration for landslide hazard mapping using spatial data from Boelln. Korea Symposium on Geospatial Theory, 6 pp.

43. Iranian Plan and Budget Organization (IPBO), 2000. Guidelines for Design, Execute and Using Forest Roads, No: 131. (2nd Ed.). Office of the Deputy for Technical Affairs. 170 pp.

44. Kanagawa, P., 1986. Prediction of Seismic Damage in Kanagawa Prefecture, 13–63 pp.

45. Kanungo, D., Arrora, M., Sarkar, S. and Gupta, R., 2009. Landslide susceptibility zonation (LSZ) mapping- a review. Journal of South Asia Disaster Studies, 2: 81–105.

46. Komac, M., 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in prialpine Slovenia. Geomorphology, 74: 17–28.

47. Larsen, M.C. and Parks, J.E., 1997. How wide is a road? The association of the Road and mass-wasting in a forested mountain environment. Earth Surface Processes and Landforms, 22: 835–844.

48. Lee, S., Ryu, J.H., Lee, M.J. and Won, J.S., 2006. The application of artificial neural networks to landslide susceptibility mapping at Janghong, Korea. Mathematical Geology, 38: 199–220.

49. Melchiorre, C., Matteucci, M., Azzoni, A. and Zanchi, A., 2008. Artifical neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation, Geomorphology, 94: 379-400.

50. Mora, S. and Vahrson, W., 1992. Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination, International Association for Engineering Geology and the Environment, 31: 49–58.

51. Muthu, K., Petrou, M., Tarantino, C. and Blonda, P., 2008. Landslide possibility mapping using fuzzy approaches, Geosciences and Remote Sensing, 46(4): 1253-1265.

52. Nilsen, T.H. and Brabb, E.E., 1975. Lanslides. In: R.D., Borcherdt (ed.), Study for Seismic Zonation of the San Francisco Bay Region, 75–87 pp.

53. Sarkar, S., Kanungo, D., Patra, A. and Kumar, P., 2006. Disaster mitigation of debris flows, slope failures and landslides. GIS based landslide susceptibility mapping- a case study in Indian Himalaya. Universal Academy Press, Tokyo, Japan, pp. 617–624.

54. Schernthanner, H., 2007. Fuzzy Logic Method for Landslide Susceptibility Mapping, Rio.

55. Sowers, G.F., 1971. Landslides in weathered volcanic in Puerto Rico. Proceeding of 4th Panamerican Soil Mechanics and Foundation Engineering Conference, 2: 105–115.

56. Stevenson, P.C., 1977. An empirical method for the evaluation of relative landslide risk. International Association for Engineering Geology and the Environment, 16: 69–72.

57. Varnes, D.J., 1984, Landslide hazard zonation: A Review of principles and practice, UNESCO Publication, Paris, pp. 1–55.

58. Wang, H. and Sassa, K., 2005. Comparative evaluation of landslide susceptibility in Minamata area, Japan. Environmental Geology, 47: 956–966.

59. Yalcin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. Catena, 72: 1–12.

نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری

Extension and Development of
Watershed Management

Vol. 4, No. 13, Summer 2016

سال چهارم- شماره ۱۳- تابستان ۱۳۹۵

Abstract

Evaluation of different methods of landslide risk zonation in forest ecosystems

A. Deljouei[1], S. A. Hosseini*[2] and S. M. M. Sadeghi[3]

Received: 2015/06/29 Accepted: 2016/09/12

Nowadays, forest engineers design forest roads network by utilizing a variety methods of zoning, attempt to identify low-risk variants of forest roads as landslide, so reduce costs of roads maintenance. Because of association between landslides and routing forest roads, finding the appropriate method of landslide zoning that also have potential to use in different areas of the forest is one of the most important steps for the realization of an intelligent design by experts and forest engineers. The purpose of this study is to achieve an appropriate method for mapping landslide to design the best forest road network. There have been many different methods introduced for landslide hazard zonation in the world that are divided to three methods including statistical (e.g.,bivariate, multivariate, logistic regression, and information value model), heuristic or empirical (e.g., Stevenson, Nielsen and Brabb,Anbalagan, and Mora-Vahrson) and combinitation (e.g., artificial neural network, and fuzzy logic). Among statistical models"bivariate", empirical "Mora-Vahrson", and combination methods"artificial neural network" are most common. The results suggest that the use of statistical models are more capable and better than empirical models in the landslide risk zonation, although the combination models (e.g., artificial neural network, and fuzzy logic) have the highest accuracy and precision among other methods. If the number of available data is low, certainly combination methods can be more accurate than other models with the landslide hazard in the forest.

Keywords: Artificial neural networks, Bivariate statistical model, Forest roads, Fuzzy logic, Mora-Vahrson model, Road planning.

1. Ph.D Student of Forest Engineering, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.
2. Associate of Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. * Corresponding author:Email: At.hossrini@ut.ac.ir
3. Ph.D Student of Forest Engineering, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.