



دوره ۳۳، شماره ۲، شماره ۱ پی‌پی ۱۲۷، تابستان ۱۳۹۹، صفحه‌های ۳۰-۲۰
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2019.126950.1241

پژوهش‌های آبخیزداری

ارزیابی کارایی مدل‌های پیش‌بینی حساسیت وقوع زمین‌لغزش در آبخیز بار نیشابور

مریم حلاجی

(نویسنده‌ی مسئول)* دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری

محمدعلی زنگنه اسدی

دانشیار گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری

ابوالقاسم امیراحمدی

استاد گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: maryamhallaji84@gmail.com

تاریخ دریافت: ۲۲ تیر ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۲۶ آذر ۱۳۹۸

چکیده

زمین‌لغزش یکی از انواع ویرانگر فرسایش در دامنه‌ها است که موجب واردشدن زیان‌های مالی و جانی فراوانی می‌شود. شناسایی عامل‌های موثر در رخداد زمین‌لغزش و تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت آن از ابزارهای اساسی کاهش‌دادن زیان‌های احتمالی است. در این مقاله خطر زمین‌لغزش در آبخیز بار نیشابور با روش‌های ماشین بردار پشتیبان، بیشینه‌ی آنتروپی و الگوریتم جنگل تصادفی پهنه‌بندی شد. با جمع‌آوری اطلاعات از پراکندگی زمین‌لغزش‌ها در منطقه، نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها، و ۱۲ لایه‌ی اطلاعاتی شامل درجه‌ی شیب، جهت شیب، انحنای سطح، انحنای نیم‌رخ، ارتفاع، کاربری زمین، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از آب‌راه، فاصله از گسل، شاخص رطوبت پستی‌وبلندی و تراکم زه‌کشی در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش منطقه با سه روش جنگل تصادفی، بیشینه‌ی آنتروپی و ماشین بردار پشتیبان تهیه و با منحنی تشخیص عمل‌کرد نسبی و ۳۰٪ نقطه‌های لغزشی به‌کاررفته در فرآیند مدل‌سازی، صحت‌سنجی شد. نتیجه‌ی ارزیابی مدل‌ها نشان داد که دقت نقشه‌های برآوردشده با روش‌های ماشین بردار پشتیبان، بیشینه‌ی آنتروپی و الگوریتم جنگل تصادفی به‌ترتیب ۸۶، ۷۵ و ۸۲٪ است. نقشه‌های داده‌شده ممکن است در شناخت منطقه‌های ناپایدار و نیز در اجرای برنامه‌های عمرانی به‌خصوص جاده‌سازی نقش بسزایی داشته باشد. توانمندی گردشگری در حوزه‌ی بار زیاد است، و توجه به امکان زمین‌لغزش در آن ضروری به‌نظر می‌رسد.

واژگان کلیدی: حساسیت زمین‌لغزش، پهنه‌بندی، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، منحنی تشخیص عمل‌کرد نسبی

مقدمه

شاخص آنتروپی شانون، نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش در حوزه‌ی فاروب رومان نیشابور را تهیه کردند. نتایج نشان داد که عامل فاصله از آبراه موثرترین عامل در وقوع لغزش‌های رخ داده بود. تیموری یانسری و همکاران (۲۰۱۷) نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش را در آبخیز چهاردانگه با روش آنتروپی شانون تهیه کردند. نتایج اولویت‌بندی عامل‌های موثر در وقوع زمین لغزش نشان داد که ارتفاع و درجه‌ی شیب به ترتیب موثرترین عامل‌ها در وقوع لغزش بوده است. قاسمیان و همکاران (۲۰۱۷) نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش را با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در شهرستان کامیاران تهیه کردند. تجزیه و تحلیل نتایج نشان‌دهنده‌ی عمل کرد خوب تابع به کاررفته در ارزیابی حساسیت زمین لغزش در منطقه بود (قاسمیان و همکاران ۲۰۱۷). آرمین و همکاران (۲۰۱۹) با مدل تجربی حائری-سمیعی نقشه‌ی خطر زمین لغزش در استان کهگیلویه و بویراحمد را تهیه کردند. نتایج پهنه‌بندی نشان داد که خطر زمین لغزش در این استان در وضعیت فعلی تقریباً بسیار ناچیز است.

در این تحقیق حساسیت زمین لغزش در حوزه‌ی بار نیشابور با سه روش جنگل تصادفی، بیشینه‌ی آنتروپی و ماشین بردار پشتیبان پهنه‌بندی شد. هدف از این پژوهش این بود که حرکت‌ها و ناپایداری‌های دامنه‌ی و عامل‌های موثر بر آن شناخته شود تا به این وسیله از اثرهای زیان‌بار آن در عرصه‌های منابع طبیعی و سایر بخش‌های توسعه‌ی عمرانی و اقتصادی جلوگیری، و نقطه‌های با احتمال حساسیت زیاد شناسایی و پهنه‌بندی شود. با توجه به وقوع زمین لغزش‌های ویرانگر در این منطقه و قرارگیری سکونت‌گاه‌های روستایی و تاسیساتی، جاده‌های ارتباطی، نهرهای آبرسانی، و تاسیسات کشاورزی و گردشگری در این حوزه، تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش برای مدیریت بهتر منطقه ضروری است.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی پژوهش

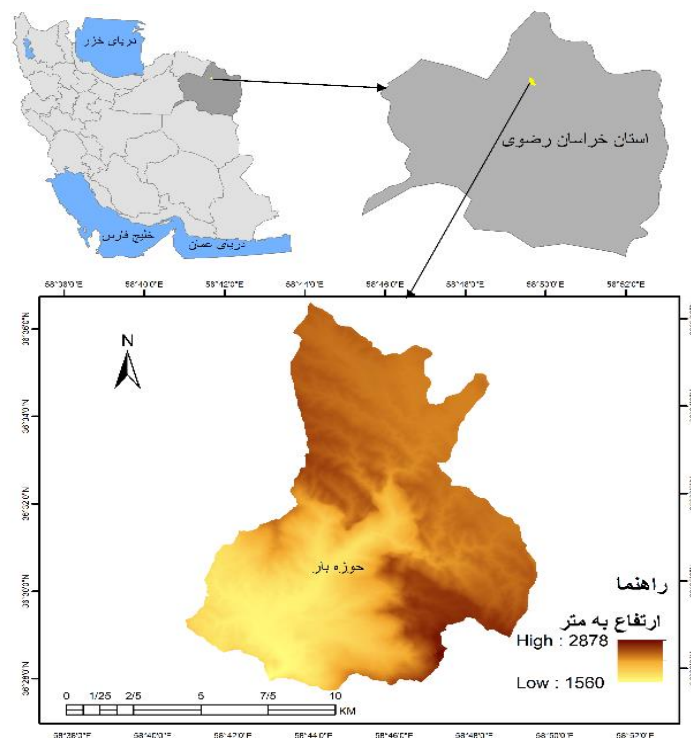
آبخیز بار نیشابور در آبخیز اصلی کویر مرکزی (از حوزه‌های شش‌گانه‌ی استان خراسان) در محدوده‌ی $40^{\circ} 58'$ تا $49^{\circ} 58'$ طول شرقی، و عرض‌های جغرافیایی $27^{\circ} 36'$ تا $36^{\circ} 36'$ شمالی و در دامنه‌های جنوبی بلندی‌های بینالود است (شکل ۱). روستای اریه در ابتدای حوزه و روستای بار در قسمت میانی آن است. آبخیز بار در ۳۰ کیلومتری شمال غربی شهر نیشابور و مساحت آن ۱۱۵ کیلومتر مربع است. میانگین ارتفاع حوزه ۲۲۲۶ متر، بلندترین منطقه‌ی محدوده کوه کمر زرد در جنوب شرق حوزه ۲۸۷۸ متر، و پست‌ترین آن در خروجی حوزه ۱۵۶۰ متر از تراز دریا است. رودخانه‌ی بار با طول آبراه اصلی ۲۲/۵ کیلومتر و شیب متوسط ۴/۲٪ به دشت نیشابور منتهی می‌شود.

رشد سریع جمعیت و گسترش شهرها در ناحیه‌های کوهستانی موجب بروز برخی ناهنجاری‌های طبیعی در وضعیت ساکنان کره‌ی زمین شده است (خالدی و همکاران ۲۰۱۲). حرکت‌های دامنه‌ی و به‌خصوص زمین لغزش‌ها از پرخسارت‌ترین آن‌ها است که هم‌گام با دست‌کاری بشر در سامانه‌های طبیعی در دهه‌های اخیر شتاب فزاینده‌ی یافته است (امامی و غیومیان ۲۰۰۳)، به‌گونه‌ی که آن را یکی از فرآیندهای زمین‌ریخت‌شناسی عمده در چشم‌انداز منطقه‌های کوهستانی می‌دانند (هاتانجی و موریواکی ۲۰۰۹). زمین لغزش به‌علت ماهیت خطرناک خود در منطقه‌های کوهستانی معمولاً ریخت را به‌طور ناگهانی برهم می‌زند و خسارت‌هایی عمده به منطقه‌های مسکونی، جاده‌ها، و زمین‌های کشاورزی وارد می‌کند (محمدنیا و فلاح قاهره‌ی، ۲۰۱۸). عامل محرک ناپایداری، خاک و سنگ را به‌کمک نیروی جاذبه به پایین هدایت می‌کند و زمین لغزش‌ها را موجب می‌شود (روستایی و همکاران ۲۰۱۸).

یکی از اقدام‌ها برای کاهش دادن خسارت‌های ناشی از زمین لغزش، دوری جستن از منطقه‌های خطر است. ضرورت ایجاب می‌کند که نقشه‌ی پهنه‌های حساسیت برای این منطقه‌ها تهیه شود تا ساخت‌وساز و توسعه بر اساس آن باشد (محمدنیا و همکاران ۲۰۱۵). تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش به طراحان و مهندسان برای اجرای طرح‌های توسعه‌ی اطلاعات پایه‌ی می‌دهد تا گامی مهم برای مدیریت کردن خطر زمین لغزش و برقرار کردن امنیت زندگی، توسعه‌ی زیرساخت‌ها و حفاظت محیط زیست بردارند (نیپوسر و ترهوست ۲۰۰۷ و پرادهان ۲۰۱۱).

شناخت عامل‌های موثر در وقوع زمین لغزش و منطقه‌های خطر ضروری است، از این رو پژوهش‌های مختلفی در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش انجام گرفته است. دیویس و بلسیوس (۲۰۱۵) نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش را در حوزه‌ی سن‌پدرو در آمریکا با مدل‌های ترکیبی فیزیکی و بیشینه‌ی آنتروپی تهیه کردند. نتیجه بیان‌گر دقت مناسب نقشه‌های تهیه‌شده است. هونگ و همکاران (۲۰۱۶) برای مدل‌سازی مکانی زمین لغزش در شهر گوانگ‌ژو چین چهار مدل فرضیه‌ی تابع اطمینان، نسبت فراوانی، بیشینه‌ی آنتروپی و وایازی پشتیبان (رگرسیون لجستیک) را به‌کار بردند. نتیجه‌ی صحت‌سنجی مدل‌ها بیش‌ترین دقت را در مدل وایازی پشتیبان با سطح زیر منحنی ۰/۸۲ نشان داد. یوسف و همکاران (۲۰۱۶) برای تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش مدل‌های نسبت فراوانی، وزن واقعه، شاخص آنتروپی و نظریه‌ی دمپستر-شیفر را به‌کار بردند. نرخ پیش‌بینی مدل‌ها به ترتیب ۰/۹۵، ۰/۹۵۲، ۰/۹۴۶ و ۰/۹۳۴ به‌دست آمد که بیان‌گر دقت زیاد مدل‌های به‌کار گرفته‌شده در منطقه بود.

شکارتی بادی و همکاران (۲۰۱۵) با تلفیق کردن روش ANP و



شکل ۱- موقعیت سیمای کلی آبخیز بار.

تهیه و صحت آن با منحنی تشخیص عمل کرد نسبی سنجیده شد. برای پهنه‌بندی کردن حساسیت زمین لغزش، ۶۸ لغزش رخ داده در منطقه به کار برده شد، که ۴۸ لغزش از آن برای مدل‌سازی کردن و ۲۰ لغزش برای صحت‌سنجی بود.

الگوریتم جنگل تصادفی

جنگل تصادفی روش یادگیری نظارت شده‌یی است که درخت‌های چندگانه در طبقه‌بندی به کار می‌برد (بريمن و همکاران ۱۹۸۴). الگوریتم جنگل تصادفی با جای‌گزینی و تغییر مداوم عامل‌های موثر و مرتبط با هدف، منجر به ایجاد تعداد زیادی درخت تصمیم‌گیری می‌شود، و تمام درختان را برای پیش‌بینی با هم ترکیب می‌کند (ورپال و همکاران ۲۰۱۲). جنگل تصادفی سه سنجی تعریف شده‌ی کاربر شامل (۱) تعداد متغیرهای به کار رفته در ساخت هر درخت که قدرت هر درخت مستقل را بیان می‌کند، (۲) تعداد درختان در جنگل تصادفی و (۳) کمینه‌ی تعداد گره‌های انتهایی است (پترز و همکاران ۲۰۰۸). قدرت پیش‌بینی جنگل تصادفی با افزایش قدرت درختان مستقل و کاهش همبستگی بین آن‌ها افزایش می‌یابد (لیب و هو ۲۰۱۲).

الگوریتم جنگل تصادفی تنها ۷۰٪ از تمام داده‌های موجود را برای رویاندن درخت به کار می‌برد، که به آن نمونه‌ی خوداستوار (Bootstrap) گفته می‌شود. سپس متغیر پیش‌گوی تصادفی

روش تحقیق

برای تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش از لایه‌های ارتفاع، درجه‌ی شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، کاربری زمین، فاصله از گسل، فاصله از آبراه، تراکم زه‌کشی، فاصله از جاده، شاخص رطوبت پستی‌وبلندی، نقشه‌های شکل شیب (انحنای سطح و نیمرخ) عامل‌های تاثیرگذار در وقوع زمین لغزش دانسته شد و در نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس به کار گرفته شد.

نقشه‌ی زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور ۱۹۹۴) در ArcGIS ۱۰٫۳ رقومی کرده و لایه‌های سنگ شناسی و گسل از آن استخراج شد. نقشه‌ی پستی‌وبلندی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ (سازمان نقشه‌برداری کشور ۱۹۹۰) تهیه و لایه‌های اطلاعاتی درجه‌ی شیب، جهت شیب، ارتفاع از تراز دریا و شکل شیب به همراه آن تهیه شد. لایه‌های اطلاعاتی آبراه و جاده (اداره‌ی کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی ۲۰۱۸) و نقشه‌های تراکم زه‌کشی و فاصله از جاده از آن تهیه شد.

نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش‌ها با بازبندی‌های میدانی و موقعیت‌های لغزشی ثبت‌شده‌ی اداره‌ی کل منابع طبیعی استان خراسان تهیه شد. از مجموع لغزش‌های ثبت‌شده، حدود ۷۰٪ برای مدل‌سازی و ۳۰٪ برای صحت‌سنجی مدل‌ها به کار برده شد. نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش حوزه با سه روش جنگل تصادفی، بیشینه‌ی آنروپی و ماشین بردار پشتیبان

V_j درجه‌ی انحراف بی‌اطمینانی است. سرانجام وزن هر معیار با تابع رابطه‌ی ۵ به دست می‌آید (اصغرپور، ۲۰۰۶):

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j} \quad (5)$$

پس از محاسبه کردن وزن کل (W_j) پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با رابطه‌ی ۶ انجام شد.

$$H_i = \sum_{j=1}^n W_j * r_{ij} \quad (6)$$

H_i ضریب رخداد زمین لغزش، W_i وزن نهایی تمام عامل‌ها و r_{ij} وزن هر یک از عامل‌ها است (ژونگجی و همکاران، ۲۰۱۰).

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) بر پایه‌ی نظریه‌ی یادگیری آماری است و از کمینه‌ی خطر ساختاری تبعیت می‌کند (ویپنک، ۱۹۹۵). براساس این نظریه‌ی یادگیری آماری، می‌توان کران نرخ خطای ماشین یادگیری را برای داده‌های طبقه‌بندی نشده، نرخ خطای تعمیم‌یافته گرفت. این کران‌ها تابعی از مجموعه‌ی نرخ خطاهای آموزش است که میزان پیچیدگی طبقه‌بندی کننده‌ها را نشان می‌دهد (یمانی و همکاران، ۲۰۱۲). این الگوریتم در سال‌های اخیر توجه زیادی را به دلیل عمل کرد خوب در طبقه‌بندی و توانایی تعمیم مناسب به خود جلب کرده است.

مدل SVM با رابطه‌های ۷ تا ۱۰ محاسبه می‌شود. اگر X_i مجموعه‌ی از یاخته‌های آموزشی رابطه‌ی ۷ باشد:

$$X_i = (i = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

یاخته‌های آموزشی دو رده‌ی $Y_i = \pm 1$ (زمین لغزش و نبود زمین لغزش) است که با شکاف بیشینه‌ی آن‌ها مشخص می‌شود. شکل ریاضی این معادله با رابطه ۸ بیان می‌شود.

$$1/2 = \|W^2\| \quad (8)$$

که منوط به محدود کردن رابطه‌ی ۹ است.

$$Y_i = ((W \cdot X_i) +) \geq 1 \quad (9)$$

$\|W^2\|$ قاعده‌ی از فرایند پهنه‌بندی است، ۱ پایه‌ی عددی و ۰ مشخص کننده‌ی عمل تولید عددی است و ارزش آن با چند ضریبی لاگرانژیان محاسبه می‌شود. عمل کرد آن با رابطه‌ی ۱۰ تعریف می‌شود.

در فرآیند رویاندن معرفی می‌شود. انتخاب این متغیر برای شکافتن گره در ساخت درخت، تصادفی انجام می‌شود، و به این شکل درخت تصمیم به بزرگ‌ترین اندازه‌ی ممکن رویانده می‌شود. ۳۰٪ داده‌ی باقی‌مانده نیز برای ارزیابی کردن درخت برآزش شده به کار برده می‌شود.

این فرآیند چندین بار تکرار و میانگین تمام مقدارهای پیش‌بینی شده به جای پیش‌بینی نهایی الگوریتم به کار برده شد (سیمسون و بریک، ۲۰۱۲). برای مدل‌سازی حساسیت زمین لغزش با الگوریتم جنگل تصادفی، بعد از وارد کردن داده‌های عامل‌های موثر و نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش‌ها در نرم‌افزار R، مدل‌سازی با الگوریتم جنگل تصادفی و بسته‌ی نرم‌افزاری Random Forest انجام، و نقش عامل‌های موثر بر وقوع زمین لغزش تعیین شد. پس از محاسبه‌ی وزن طبقه‌های هر عامل، لایه‌های وزنی در GIS تهیه و نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست آمد.

بیشینه‌ی آنتروپی

آنتروپی یکی از رویکردهای مدیریتی است که برای برخورد با بی‌نظمی، بی‌ثباتی، اغتشاش و بی‌یقینی‌های سامانه به کار می‌رود (یوفنگ و فنگشنت، ۲۰۰۹) و بیان‌کننده‌ی مقدار بی‌اطمینانی در توزیع احتمال پیوسته است (ضرابی و همکاران، ۲۰۱۲). در واقع آنتروپی پراکندگی و بی‌نظمی را در پدیده‌های طبیعی تخمین می‌زند. برای به کار گرفتن این مدل ابتدا باید چهارچوب تصمیم‌گیری ساخته شود. چهارچوب تصمیم‌گیری اطلاعاتی دارد که آنتروپی را می‌توان برای ارزیابی آن به کار برد، و با محاسبه کردن چهارچوب آنتروپی و وزن کل ۱۲ عامل (W_j) میزان H_i که ضریب حساسیت وقوع زمین لغزش است به دست می‌آید (مقیم و همکاران، ۲۰۱۲).

مدل آنتروپی با رابطه‌ی ۱ بیان می‌شود:

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (1)$$

E_j ارزش آنتروپی و P_{ij} چهارچوب تصمیم‌گیری (رابطه‌ی ۲)، و R_{ij} مقدار وزن هر یک از لایه‌ها است.

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{n=1}^m r_{ij}} \quad (2)$$

$$k = (\ln m)^{-1} \quad (3)$$

K ضریب ثابت و m تعداد زمین لغزش‌ها است. پس از تشکیل چهارچوب تصمیم‌گیری و به دست آوردن مقدار E_j ، مقدار V_j از رابطه‌ی ۴ به دست می‌آید:

$$V_j = 1 - E_j \quad (4)$$

مقدار سطح زیرمنحنی از ۰/۵ تا ۱ متغیر است. اگر مدلی نتواند رخداد لغزشی را بهتر از دیدگاه احتمالی (تصادفی) تخمین بزند، مقدار سطح زیرمنحنی آن ۰/۵ است، و جایی که سطح زیرمنحنی تشخیص عمل کرد نسبی یک باشد، بهترین دقت از نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده است. همبستگی کمی - کیفی سطح زیرمنحنی و ارزیابی تخمین در چهار رده (۰/۹-۱) عالی، ۰/۸-۰/۹ خیلی خوب، ۰/۷-۰/۸ خوب، ۰/۶-۰/۷ متوسط، ۰/۶-۰/۵ ضعیف) است (ون وسترن ۲۰۰۲).

بررسی هم‌خطی بین متغیرها

برای بررسی هم‌خطی بین متغیرها از دو شاخص آماری عامل تورم واریانس و تحمل استفاده می‌شود. زمانی بین متغیرهای مستقل هم‌خطی هست که عامل تورم واریانس بزرگ‌تر از ۵ و تحمل کوچک‌تر از ۰/۱ باشد (چن و همکاران، ۲۰۱۷).

نتایج و بحث

نتایج بررسی هم‌خطی بین متغیرها نشان‌دهنده آن است که بیش‌ترین مقدار عامل تورم واریانس و کم‌ترین مقدار تحمل به ترتیب ۲/۲۰۵ و ۰/۴۵۳ است، بنابراین هیچ هم‌خطی بین متغیرهای مستقل وجود ندارد (جدول ۱).

جدول ۱ - هم‌خطی بین متغیرها بر اساس عامل تورم واریانس و تحمل.

Collinearity Statistics		Sig.	t	Standardized Coefficients		Unstandardized Coefficients		عامل‌ها
عامل تحمل	ضریب تحمل			Beta	Std. Error	B		
۱/۳۰۸	۰/۷۶۴	۰/۰۲۲	-۲/۳۲۹	-۰/۲۴۲	۰/۰۲۱	-۰/۰۴۸	جهت شیب	
۱/۹۶۶	۰/۵۰۹	۰/۳۱۲	۱/۰۱۸	۰/۱۲۹	۱/۰۰۵	۰/۰۰۵	شیب	
۱/۶۸۳	۰/۵۹۴	۰/۳۹۴	-۰/۸۵۸	-۰/۱۰۱	۰/۰۲۶	-۰/۰۲۳	Plan Curvature	
۲/۰۲۵	۰/۴۹۴	۰/۴۰۱	-۰/۸۴۵	-۰/۱۰۹	۰/۰۱۹	-۰/۰۱۶	Prof Curvature	
۱/۷۴۴	۰/۵۷۳	۰/۷۱۰	۰/۳۷۳	۰/۰۴۵	۰/۰۲۰	۰/۰۰۷	شاخص رطوبت پستی-ولندگی	
۱/۹۶۰	۰/۵۱۰	۰/۰۰۱	۳/۴۹۷	۰/۴۴۴	...	۰/۰۰۱	ارتفاع	
۱/۶۶۷	۰/۶۰۰	۰/۹۶۵	-۰/۰۴۴	-۰/۰۰۵	۰/۰۳۱	-۰/۰۰۱	تراکم آبراه	
۱/۳۵۴	۰/۷۳۸	۰/۱۷۴	-۱/۳۷۳	-۰/۱۴۵	۰/۰۰۱	...	فاصله از آبراه	
۱/۸۴۰	۰/۵۴۳	۰/۰۵۶	-۱/۹۳۶	-۰/۲۳۷	...	-۶/۰۵	فاصله از جاده	
۲/۱۷۴	۰/۴۶۰	۰/۷۴۴	۰/۳۲۸	۰/۰۴۴	...	۱/۵۳	کاربری زمین	
۲/۲۰۵	۰/۴۵۴	۰/۸۲۹	۰/۲۱۶	۰/۰۲۹	...	۱/۴۳	زمین‌شناسی	
۲/۲۰۵	۰/۶۹۸	۰/۵۸۱	۰/۵۵۴	۰/۰۶۰	...	۳/۵۷	فاصله از گسل	

متوسط و ۲۴/۲۴، ۲۵/۱۱ و ۲۲/۷۱٪ در رده‌ی حساسیت زیاد بود. در این سه مدل به ترتیب ۱۶/۴۵، ۱۸/۷۲ و ۱۹/۸٪ از رده‌ی حساسیت زیاد بود (شکل ۳).

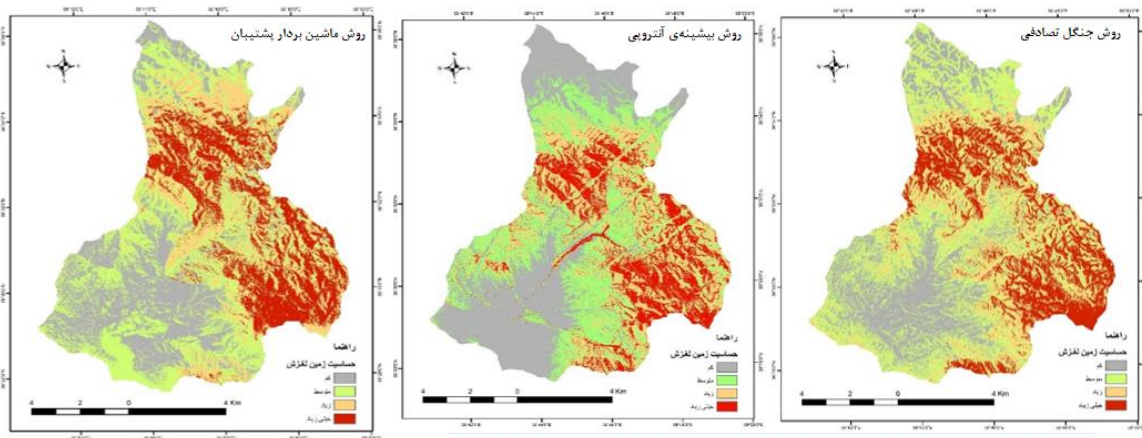
$$L = \frac{1}{2} \|W\|^2 - \sum_{i=1}^n Y_i ((W \cdot X_i) + B) - \lambda_1 \quad (10)$$

λ_1 چندضریبی لاگرانژیان است و ممکن است صفر یا غیر صفر باشد. فقط مجموعه‌ی داده‌هایی که ضریب آن‌ها غیر صفر است در معادله‌ی نهایی وارد کرده می‌شود، و این مجموعه‌ی داده‌ها بردارهای پشتیبان است (اسکولچوف و همکاران ۲۰۰۰؛ هاستی و همکاران ۲۰۰۱). این الگوریتم در سال‌های اخیر یکی از محبوب‌ترین روش‌ها برای حل کردن مشکلات طبقه‌بندی و وایزای است، و به نتیجه‌های موفقیت‌آمیزی در بسیاری از مشکلات از جمله پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش دست یافته است.

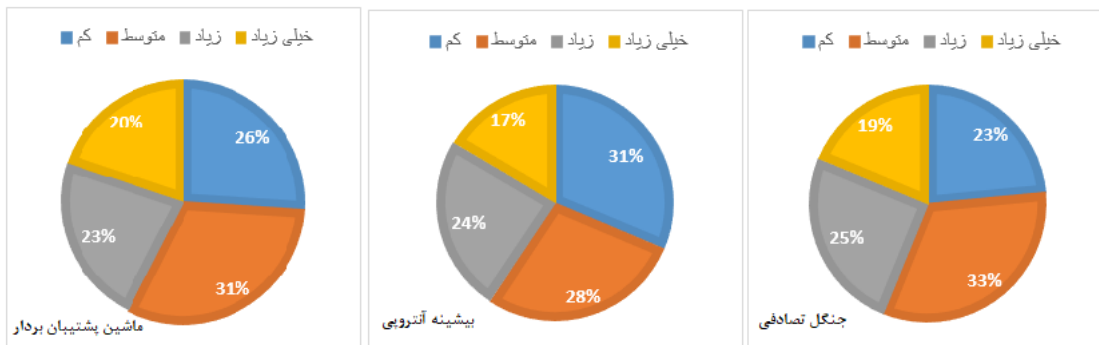
ارزیابی نقشه‌های حساسیت زمین لغزش تهیه‌شده با مدل‌های مختلف

پس از تهیه کردن نقشه‌های وزنی، نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش تهیه و براساس شکستگی‌های طبیعی به چهار رده (حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) طبقه‌بندی کرده شد. با منحنی تشخیص عمل کرد نسبی (ژو و وانگ ۲۰۰۹) صحت نقشه‌های تهیه‌شده تایید شد. در منحنی تشخیص عمل کرد نسبی دلخواه‌ترین مدل، بیش‌ترین سطح زیرمنحنی را دارد و

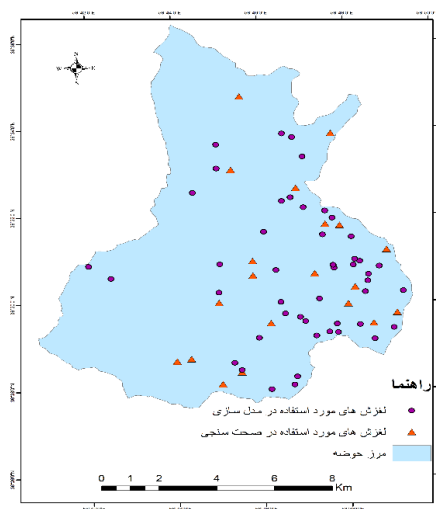
نقشه‌های حساسیت زمین لغزش در شکل ۲ آورده شده است. از هر یک از مدل‌های پیشینه‌ی آنتروپی، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان، به ترتیب ۳۱/۳۵، ۲۳/۴ و ۲۶/۰۱٪ در رده‌ی حساسیت کم، ۲۷/۹۳، ۳۲/۶۶ و ۳۱/۴۵٪ در رده‌ی حساسیت



شکل ۲- نقشه‌ی تهیه‌شده با روش جنگل تصادفی، بیشینه‌ی آنتروپی، و ماشین بردار پشتیبان.



شکل ۳- مساحت پهنه‌های حساسیت زمین‌لغزش با روش جنگل تصادفی، بیشینه‌ی آنتروپی، و ماشین بردار پشتیبان.

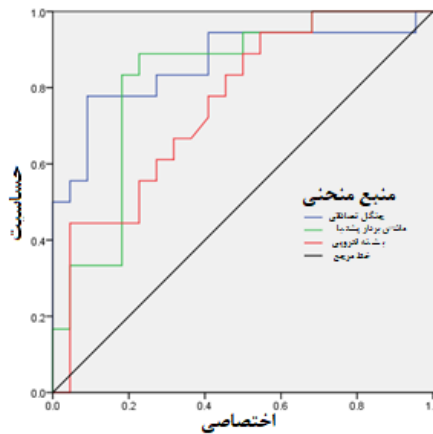


شکل ۴- لغزش‌های به‌کارگرفته شده در مدل‌سازی و صحت‌سنجی مدل.

ارزیابی مدل‌های حساسیت زمین لغزش

ارزیابی عمل کرد الگوریتم پیش‌بینی آنتروپی، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی حساسیت زمین لغزش‌ها در منطقه با منحنی تشخیص عمل کرد نسبی بررسی شد. سطح زیر منحنی برای سه روش به ترتیب ۰/۷۵۶، ۰/۸۶۴ و ۰/۸۲۳ است. مدل جنگل تصادفی با دقت بیش از ۰/۸۶ بهترین

مدل و پس از آن روش ماشین بردار پشتیبان با ۰/۸۲ با دقت خیلی خوب برآورد شد. محمدی و پورقاسمی (۲۰۱۷) نیز با مدل جنگل تصادفی نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش را در بخشی از استان گلستان تهیه و دقت مدل را در برآورد کردن حساسیت زمین لغزش خوب و بهینه معرفی کردند.



شکل ۵ - منحنی تشخیص عمل کرد نسبی نقشه‌های حساسیت تهیه شده.

جدول ۲ - سطح زیر منحنی در سه مدل پیش‌بینی آنتروپی، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان

Asymptotic 95% Confidence interval		Asymptotic Significant	خطای استاندارد	سطح زیر منحنی	مدل
کرانه بالا	کرانه پایین				
۰/۹۸۸	۰/۷۴۰	۰/۰۰۰	۰/۰۶۳	۰/۸۶۴	جنگل تصادفی
۰/۹۵۸	۰/۶۸۹	۰/۰۰۱	۰/۰۶۹	۰/۸۲۳	ماشین بردار پشتیبان
۰/۹۰۶	۰/۶۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۷۶	۰/۷۵۶	بیشینه‌ی آنتروپی

نتیجه‌گیری

شناسایی عامل‌های موثر در وقوع زمین لغزش و تهیه نقشه‌ی حساسیت آن از عامل‌های اساسی دستیابی به راه کارهای مهار این پدیده و انتخاب مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین گزینه‌ی موثر است. ارزیابی حساسیت زمین لغزش فرآیندی پیچیده و چند مرحله‌یی است که بسیاری از محققان آن را بررسی کرده اند. این پژوهش با دوازده سنجه‌ی ارتفاع، درجه‌ی شیب، جهت شیب، زمین شناسی، کاربری زمین، فاصله از گسل، فاصله از آبراه، تراکم زه‌کشی، فاصله از جاده، شاخص رطوبت پستی و بلندی، نقشه‌های شکل شیب (انحنای سطح و نیمرخ) بررسی شد. از سه روش پیش‌بینی آنتروپی، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان برای ارزیابی کردن حساسیت زمین لغزش

در حوزه‌ی بار شهرستان نیشابور به کار برده شد. این سه مدل به ترتیب ۱۶/۴۵، ۱۸/۷۲ و ۱۹/۸٪ از رده‌ی حساسیت زیاد را نشان داد. صحت‌سنجی مدل‌ها با منحنی تشخیص عمل کرد نسبی بیان گر دقت خیلی خوب دو مدل جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان (با بیش از ۸۶٪ و ۸۲٪) است. نتایج این پژوهش با پژوهش محمدی و پورقاسمی (۲۰۱۷) مطابقت دارد. در نتیجه می‌توان گفت که این نقشه ممکن است در برنامه‌ریزی‌های آینده، مدیریت دامنه‌های خطرناک، و آمایش سرزمین در منطقه نقش بسزایی داشته باشد. به این دلیل، در اجرای طرح‌های عمرانی و توسعه‌ی (راه‌سازی)، یا گردشگری در حوزه‌ی بار توجه به توان زیاد لغزش ضروری است.

- Armin M, Mostafaie J, Ghorban Nai Kheybari V, Kheyri A. 2019. Landslide zoning and its risk control management program in Kohki-loyeh and Boyerahmad Province using Hai-eri-Samiei model. *Quantitative Geomorphology Research*. 7: 176–196. (In Persian).
- Asghar Pour MJ. 2006. Multi-criteria decision making. Tehran: Tehran University Press. Fourth edition. 400 p. (In Persian).
- Breiman LJ, HFriedman RA, Olshen CJ. Stone. 1984. Classification and regression trees, P368.
- Davis J, Blesiu L. 2015. A hybrid physical and maximum-entropy landslide susceptibility model. *Entropy Journal*. 17(6): 4271–4292.
- Emami N, Ghayomian J. 2003. A survey on landslide mechanism on slopes (Case study of Affsar Abad Chahar Mahal and Bakhtiari Province). *Proceedings of the Third Conference on Engineering and Environmental Geology of Iran, Bu-Ali Sina University of Hamedan*. (3):113–126. (In Persian).
- Fatemi Aghda M, Ghiomian J, Eshgheli Farahani A. 2006. Investigation landslide hazard using fuzzy logic (Case study: Roudbar Area). *Journal of science, Tehran university*. 31(1): 43–64.
- Ghasemian B, Abedini M, Rural Sh, Shirzadi A. 2017. Landslide Sensitivity Evaluation Using Vector Backup Machine Algorithm (Case Study: Kamyaran City, Kurdistan Province). *Quantitative Geomorphology Researches*, 6(3):36–15. (In Persian).
- Haštie T, Tibshirani R, Friedman J.H. 2001. *The elements of statistical learning: Data mining. Inference and Prediction*. Springer Verlag, New York. 745 p.
- General Department of Natural Resources of Khorasan Razavi Province. 2018. *Waterway and Road Map*. Geological Survey of Iran1/100000, 1994. Index Map: Neyshabor.
- Hattanji T, Moriwaki H. 2009. Morphometric analysis of relic landslides using detailed landslide distribution maps. Implications for forecasting travel distance of future landslides. *Journal of Geomorphology*. (103):447–454.
- Hong Haghbi SA, Pourghasemi HR. 2016. GIS-based landslide spatial modeling in Ganzhou City, China, *Arab J Geosci Journal*. 9(2):112–138.
- Khalidi Sh, Derafshi Kh, Mehrjoonejad A, Gharechahi S, Khalidi Sh. 2012. Evaluation of effective factors in landslide event and its zoning using logistic regression model in GIS environment (Case study of Taleghan watershed). *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 1(1): 65–82. (In Persian).
- Lieb M, Glaser B, Huwe B. 2012. Uncertainty in the spatial prediction of soil texture: Comparison of regression tree and Random Forest models. *Geoderma*. 170(27): 70–79.
- Mohammadnia M, Amir Ahmadi A, Solgi L. 2015. Preparation of landslide sensitivity map using an integrated model of frequency ratio and analytical hierarchy process. *Two Quarterly Journal of Geomorphology of Iran*. 3(5):58–45. (In Persian).
- Mohammadi M, Pourghasemi HR. 2017. Prioritizing the factors affecting landslide occurrence and preparing its susceptibility map using a new randomized-stock forest (Case study: Part of Golestan province). *Journal of Management of Watershed*. 8 (15):170–161. (In Persian).
- Moghimi E, Bagheri Seyyed Shokri S, Safar-rud T. 2012. Landslide hazard zonation by entropy model (Case study: Nazar Ancestor, Northwestern Zagros). *Natural Geography Research*. 79: 77 –90. (In Persian).

- National Mapping Organization. 1990. Index Map 7762, Neyshabor.
- Neuhauser B, Terhorst B. 2007. Landslide susceptibility assessment using weights-of-evidence applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW. Germany). *Geomorphology*. 86(1-2):12-24.
- Peters J, Verhoeft N, Samson R, Boeckx P, De Baets B. 2008. Wetland vegetation distribution modelling for the identification of constraining environmental variables. *Landscape Ecology*. 23(9):1049-1065.
- Pradhan B. 2011. An assessment of the use of an advanced neural network model with five different training strategies for the preparation of land slide susceptibility maps. *Jornal of Data Science*. (9):65-81.
- Razavi Termeh SV, SHirani K, Soltani Rabie M. 2019. Evaluation and preparation of underground water potential map using combined model of control weight and logistic regression (Case study of Nahavand City). *Journal of Science Water and Soil*. 23(2):27-43. (In Persian).
- Scholkoph B, Smola AJ, Williamson RC, Bartlett PL. 2000. New support vector algorithms. *Neural Computation*. 12(5): 1207-1245.
- Shekari Badi A, Motamedirad M, Mohammadnia M. 2015. ANP modeling and shannon entropy index in estimating effective factors in the occurrence and land covering of landslide risk (Case study: Faroob Roman Basin of Neyshabur). *Geographical Studies Quarterly of Regions Dry*. 6(22): 103-89. (In Persian).
- Simpson GL, Birks HJB. 2012. *Tracking environmental change using lake sediments*, Springer Publication. 5: 673 p.
- Teymori Yansari Z, Hosseyn Zade SR, Kaviav A, pourghasemi HR. 2017. Preparation of landslide sensitive zones using shannon entropy method (Case study: Chardandeh-Mazandaran Province Watershed). *Geography Quarterly and Environmental Threats*. 6(22):204-183. (In Persian).
- Vorpahl P, Elsenbeer H, Marker M, Schroder B. 2012. How can statistical models help to determine driving factors of landslides ecological modelling. *C (239)*: 27-39.
- Yamani M, Ahmadabadi A, Zare R. 2012. The Zonation of landslide occurrence using of support vector machines algorithm, case study: Darakeh Basin. *Geography and Environmental Hazards*. 3: 125-142. (In Persian).
- Yufeng S, Fengxiant J. 2009. Landslide stability analysis based on generalized information entropy. *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*. (3):83-85.
- Youssef AM, Pourghasemi HR, El-Hadad BA, Dhahry BK. 2016. Landslide susceptibility maps using different probabilistic and bivariate statistical models and comparison of their performance at Wadi Itwad Basin, Asir Region, Saudi Arabia. *Bull Eng Geol Environ*. 75(1):63-87.
- Zarrabi A, Divsalar A, Kanaani MR. 2012. Spatial analysis of urban settlements based on environmental abilities (Case study: Mazandaran Province). *Planning and Space Planning*. 16 (2):100-78.
- Zamiri M, Nashtaran M, Mohamadzadeh Titkanlo H. 2012. An analysis of the shape and process of spatial and physical expansion of Bojnourd City in the 1380s (Using shannon entropy, Moran coefficient and coefficient). *Environment Based Territorial Planning*. 6(23):167-180. (In Persian).
- Ziari K, Asadi S, Ashnooyi A. 2014. Balancing the distribution of cities of Guilan province using the entropy model. *Geographic Outlook, Zagros Outlook*. 6(20):20-27. (In Persian).
- Zongji Y, Jianping Q, Xiaogang ZH. 2010.

«Regional landslide zonation based on entropy method in three Gorges Area, China», Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD). Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. (7)1336– 1339.

Zhu C, Wang X. 2009. Landslide susceptibil-

ity mapping: A comparison of information and weights-of evidence methods in three Gorges Area. International Conference on Environmental Science and Information Application Technology. Wuhan, China. (3): 342–346.



Watershed Management Research

VOL. 33, No. 2, Ser. No: 127, Summer 2020, pp.20 - 30

DOI: 10.22092/wmej.2019.126950.1241

An Assessment of the Landslide Susceptibility Prediction Models in the Bar Watershed- Neyshabur

Maryam Hallaji

(Corresponding Author)* Ph.D. candidate of Geomorphology, Department of Physical Geography, Hakim Sabzevari University

Mohammad Ali Zanganeh Asadi

Associate Professor, Department of Physical Geography, Hakim Sabzevari University

Abolghasem Amirahmadi

Professor, Department of Physical Geography, Hakim Sabzevari University

*Corresponding Author Email: maryamhallaji84@gmail.com

Received: 13 July 2019 Accepted: 17 December 2019

Abstract

Landslide is one of the most destructive types of erosion of slopes, causing substantial financial losses. Identification of causative factors in the landslide occurrence and providing a zoning map of the susceptible areas is one of the basic tools for minimizing the possible damages. In this research, the landslide susceptibility map in the Neyshabur Watershed was prepared using three algorithm including, Support Vector Machine, Maximum Entropy, and Random Forest Algorithm. A map of landslide distribution was prepared along with 12 thematic layers including slope, aspect, plan curvature, profile curvature, elevation, land use, geology, distance from the road, distance from the rivers, distance from the fault, topographic wetness index, and drainage density in the GIS environment. The landslide susceptibility map of the studied area was prepared using three methods of random forest algorithm, maximum entropy, and support vector machine algorithm, and using Receiver Operating Characteristics and 30% of unused landslide points in the modeling process. The results of an assessment of the models indicated that the accuracy of the estimated maps prepared by the Support Vector Machine, Maximum Entropy, and Random Forest Algorithm were 86, 75, and 82 percent, respectively. Therefore, it can be stated that the presented maps can play an important role in identifying the slide-prone areas as well as in the implementation of development plans, especially road construction in the studied area. Given the potential of tourism in the catchment area, it is necessary to pay attention to the landslide potential in the catchment.

■ **Keywords: Landslide susceptibility, zoning, random forest, support vector machine, receiver operating characteristics curve** ■