دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

ارزیابی کارایی مدل احتمالاتی وزن واقعه در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سیاه بیشه، مازندران)

احسان ابراهیمی[۱]، کریم سلیمانی[۲] و حمیدرضا پورقاسمی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، موسسه آموزش عالی هراز، آمل
۲- استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: solaimani2001@yahoo.co.uk)
۳- استادیار، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۲۳

چکیده

حرکات توده‌ای معمولاً جزء فرسایش‌های طبیعی است، اما بشر با انجام عملیاتی مانند حفر معدن، جاده‌سازی و از بین بردن پوشش گیاهی طبیعی می‌تواند آن را تشدید نماید. هدف از تحقیق حاضر شناخت عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش درحوزه آبخیز سیاه‌بیشه با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه و سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌باشد. بدین منظور با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی و پیمایش‌های گسترده صحرایی ۱۳۲ نقطه لغزشی شناسایی و ثبت شد. از این تعداد به طور تصادفی ۹۲ نقطه لغزشی (۷۰ درصد) برای مدل‌سازی و ٤٠ نقطه لغزشی (۳۰ درصد) برای ارزیابی مدل استفاده شد. عوامل مورد بررسی در ایجاد زمین‌لغزش شامل درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل و زمین شناسی در محیط GIS رقومی و نقشه‌های هر یک از عوامل تهیه شد. با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه، ارتباط هر عامل با نقاط لغزشی مشخص و در نهایت نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش برای منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. درمدل وزن واقعه کلاس‌های، شیب ۳۰-۱۵ درجه، جهت شمال شرقی، ارتفاع ۲٦۰۰-۲۲۰۰ متر، فاصله از آبراهه ۲۰۰-۱۵۰ متری، فاصله کمتر از ۱۰۰ متری جاده، فاصله بیش‌تر از ٤٠٠ متری گسل، سازندهای دوره زمین‌شناسی ژوراسیک- تریاس، شکل شیب مقعر از مهم‌ترین عوامل مؤثربر وقوع زمین‌لغزش در حوزه آبخیز سیاه بیشه معرفی شد. نتایج ارزیابی با استفاده از منحنی ROC نشان داد که مدل وزن واقعه با سطح زیر منحنی ۰/۸۱دقت خوبی برای تحلیل حساسیت زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه دارد.

واژه‌های کلیدی: حرکات توده‌ای، پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش، مدل وزن واقعه، حوزه آبخیز سیاه بیشه

مقدمه

حرکات توده‌ای معمولاً جزء فرسایش‌های طبیعی است، اما بشـر با انجام عملیاتی مانند حفـر معدن، جاده‌سازی و از بین بردن پوشش گیاهی طبیعی می‌تواند آن را تشدید کند. وجود پوشش گیاهی مانع حرکت توده‌ای می‌شود. زمین‌لغزش تحت تأثیر عوامل متعددی ایجاد می‌شود که از جمله آن می‌توان به عوامل سنگ‌شناسی، زمین‌ساخت، هوازدگی و فشار آب حفره‌ای، افزایش بار و حذف حایل‌های جانبی دامنه بر اثر زیربری رود، شستشوی مواد دانه‌ای با فرسایش درزآبی، تراکم برف، بارندگی‌های شدید، تغییر کاربری اراضی، تراکم واریزه و تنش‌های انتقالی ناشی از زمین لرزه اشاره کرد (۳). رشد روز افزون جمعیت موجب افزایش فشار بر منابع طبیعی شده که پیامد آن تشدید وقوع خطرات طبیعی مانند حرکات توده‌ای و به ویژه زمین‌لغزش است. به طور کلی می‌توان هدف از بررسی و مطالعه زمین‌لغزش‌ها را یافتن راه‌های کاهش خسارت‌های ناشی از آنها ذکر کرد، همین امر لزوم استفاده از پهنه‌بندی را در زمین‌لغزش تأکید می‌کند (۱۵). در واقع هدف از پهنه‌بندی، تقسیم سطح زمین به نواحی همگن و درجه‌بندی آنها برحسب میزان واقعی یا پتانسیل خطر زمین‌لغزش می‌باشد. در همین راستا مدل وزن واقعه[۱] به عنوان یکی از مدل‌های تئوری بیزین شناخته شده است (۸). یکی از مزایای استفاده از تئوری بیزین[۲] امکان استفاده از داده‌های کمی و کیفی متغیر و نظرات کارشناسی[۳] در سیستم‌های پیچیده است که این به صورت بالقوه در مدیریت منابع طبیعی با ارزش می‌باشد، مخصوصاً در شرایطی که در دسترس بودن و قابل اعتماد بودن داده‌های مربوط به منابع طبیعی محدودیت وجود دارد (۸،۱۳). در این زمینه تحقیقات فراوانی از کاربرد مدل وزن واقعه و سیستم اطلاعات جغرافیایی[۴] در ارتباط با پدیده‌ی زمین‌لغزش در کشور و جهان انجام شده است. پورقاسمی و همکاران (۸) پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش را در بخشی از حوزه آبخیز هراز با استفاده از مدل واقعه مورد بررسی قرار دادند. نتایج ارزیابی با استفاده از یک سوم نقاط و شاخص (SCAI) نشان میدهد که همبستگی بالایی بین نقشه خطر مورد نظر و نقاط لغزشی موجود، وجود دارد. کرمی (۴) با استفاده از روش‌های آماری دو متغیره[۵] (BSA) و مدل وزن واقعه (WOE) حساسیت زمین‌لغزش را در حوزه زهکشی سعید آباد چای در شمال غرب ایران مورد ارزیابی قرار داد و عنوان کرد که از بین عوامل علتی مورد نظر، عامل شیب، کاربری اراضی، فاصله از جاده، سنگ‌شناسی، بارش و فاصله از روستا با وقوع زمین لغزش‌ها رابطه مثبت و عوامل فاصله از گسل و فاصله از آبراهه دارای رابطه معکوسی با ناپایداری دامنه‌ها در منطقه مورد مطالعه دارند. رگمی و همکاران (۱۱) در پژوهشی در نپال مرکزی هیمالیا نشان دادند که مدل‌های نسبت فراوانی (FR)، وزن واقعه و شاخص‌های آماری (SI) نتایج تقریباً یکسانی برای پیش‌بینی حساسیت زمین‌لغزش در این منطقه دارند.

1- Weight of Evidence
2-Bayesian
3- Expert knowledge
4- Geographical Information System
5- Bivariate Statistical Analysis

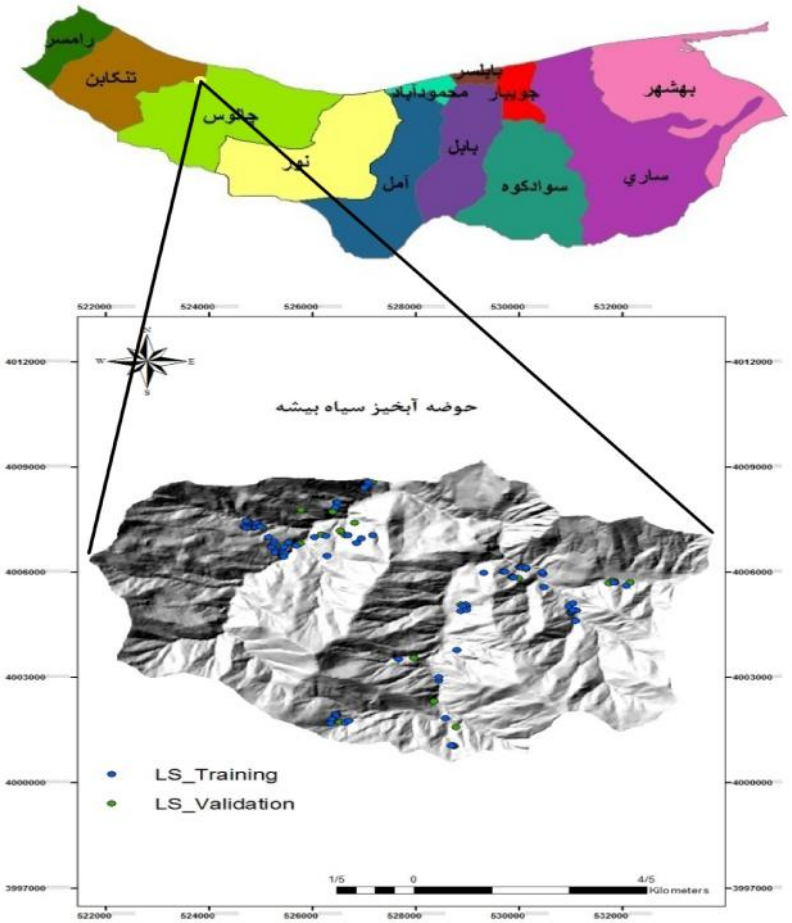
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-19]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.7.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.77]

پورقاسمی و همکاران (۱۰) یک ارزیابی مقایسه‌ای بین مدل‌های دمپستر-شیفر و وزن واقعه برای پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با کمک GIS انجام دادند. آنها ارتباط بین ۱۱ فاکتور مؤثر با زمین‌لغزش را با استفاده از مدل‌های یاد شده بررسی کردند، که نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل با منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC)، عملکرد وزن واقعه را برای نقشه ایجاد شده بالاتر میداند. هدف از تحقیق حاضر هم کاربرد مدل واقعه و سیستم اطلاعات جغرافیایی در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در حوزه آبخیز سیاه بیشه در استان مازندارن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سیاه بیشه از نظر موقعیت جغرافیایی در طول جغرافیایی ″۵۵ ′۱۷ °۵۱ تا ″۳۳ ′۱۹ °۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ″۱۵ ′۹ °۳۶ تا ″۳۸ ′۱۳ °۳۶ شمالی واقع شده است. مساحت منطقه مورد مطالعه ۷۲/۶۰ کیلومتر مربع می‌باشد. این منطقه دارای حداقل ارتفاع ۱۸۴۰ متر و حداکثر ارتفاع ۳۸۵۳ متر می‌باشد. اصلی‌ترین راه دسترسی به ناحیه مورد مطالعه جاده تهران- چالوس می‌باشد. ناحیه سیاه‌بیشه که منطقه‌ای مرتفع می‌باشد، چهار ماه از سال که شامل ماه‌های بهمن، اسفند، اردیبهشت و خرداد است، دارای بیش‌ترین بارندگی بوده، و طبق آمارهای سازمان هواشناسی کشور به ترتیب مرداد (۳۴/۵+) گرم‌ترین و دی (۱۴/۶-) سردترین ماه‌های منطقه می‌باشند. میانگین دمای منطقه به هفت درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی به ۵۰۰ میلی‌متر در سال می‌رسد (شکل ۱).

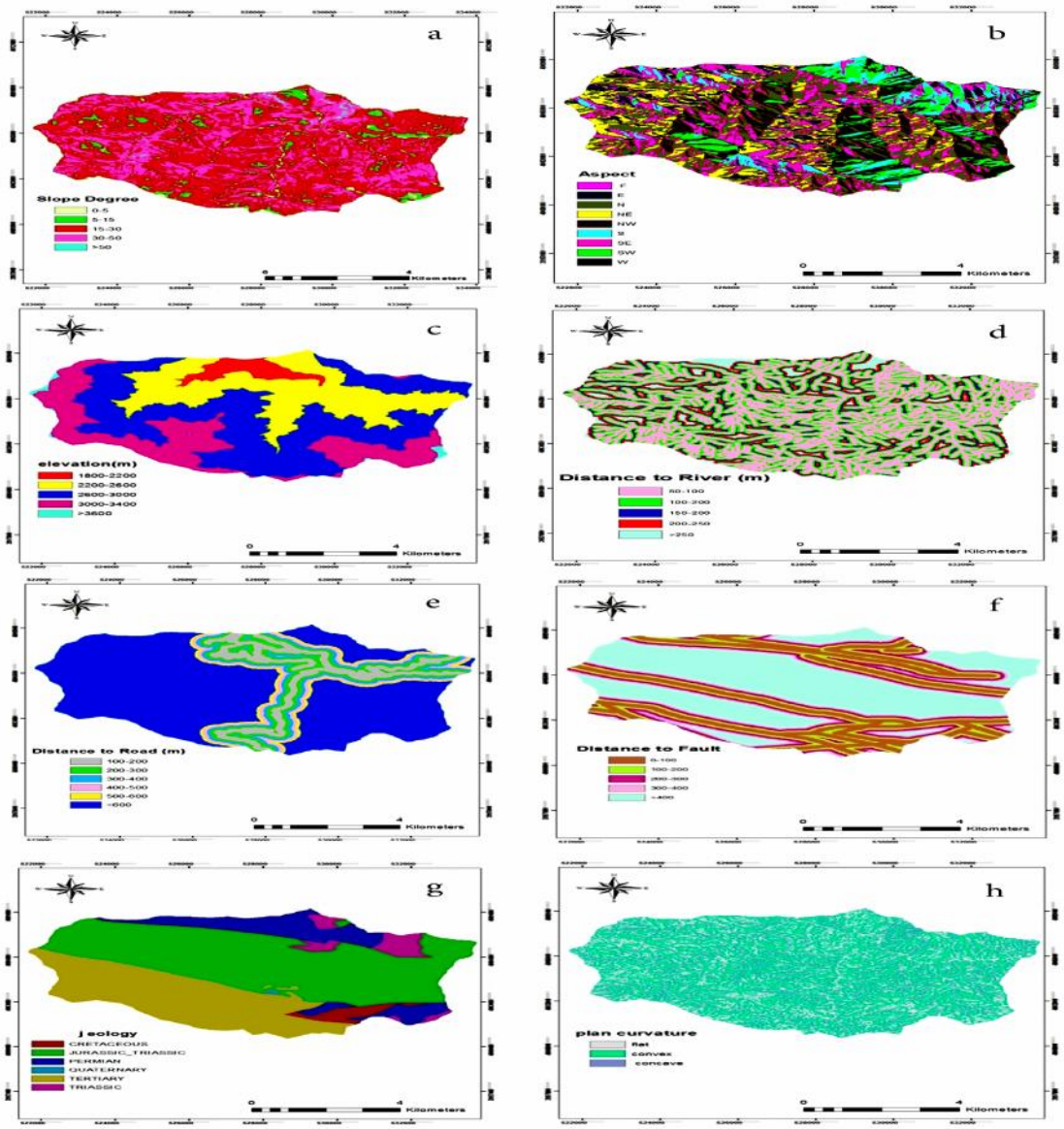


شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Location of the study area

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-19]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.7.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.77]

روش تحقیق

به منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل وزن واقعه، ابتدا با استفاده از عکس‌های هوایی و بازدیدهای مکرر صحرایی ۱۳۲ نقطه لغزشی شناسایی و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه تهیه شد، از این تعداد به طور کاملاً تصادفی ۷۰ درصد برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل استفاده شد (۹،۸،۵). سپس هر یک از عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه شناسایی و نقشه‌های مربوطه (درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از آبرهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، زمین شناسی، شکل شیب) با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی (تهیه شده از سازمان زمین شناسی ایران) و نقشه ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی (تهیه شده از سازمان نقشه‌برداری ایران) در محیط GIS رقومی کلاس بندی گردید (شکل ۲). در نهایت نقشه‌های مذکور با نقشه پراکنش زمین‌لغزش تلفیق گردید. از تلفیق نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها با نقشه عوامل مورد نظر، تعداد پیکسل‌های لغزش یافته در هر طبقه از لایه‌های مطالعاتی به‌دست آمد.



شکل ۲- نقشه‌های عوامل مؤثر، درجه شیب (a)، جهت شیب (b)، ارتفاع (c)، فاصله از آبراهه (d)، فاصله از جاده (e)، فاصله از گسل (f)، زمین شناسی (g)، شکل شیب (h)

Figure 2. Landslide conditioning factor maps: (a) slope, (b) slope aspect, (c) altitude, (d) distance from river map, (e) distance from road, (f) distance from fault, (g) geology, (h) plan curvature

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-19]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.7.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.77]

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.7.9]

[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.77]

مدل وزن واقعه

این روش برای مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش در یک منطقه، برای هر عامل علتی در صورت وجود یا عدم وجود زمین‌لغزش در محل، وزنی را محاسبه می‌کند. تعیین وزن برای هر عامل از طریق ترکیب هر کدام از لایه‌های عاملی با نقشه پراکنش زمین‌لغزش با استفاده از روش آماری دو متغیره انجام می‌شود. آنگاه بر مبنای محاسبات احتمالات وابسته (قضیه بیز)[1] و روابط ۱ و ۲ وزن هر عامل و کلاس‌های مربوطه به آن تعیین شد.

$$W_i^+ = \log_e[P(B_i|S)/P(B_i|\overline{S})]$$ رابطه (۱)

$$W_i^- = \log_e[P(\overline{B_i}|S)/P(\overline{B_i}|\overline{S})]$$ رابطه (۲)

که به منظور درک هرچه بهتر رابطه و سهولت کار به ویژه در محیط GIS، مدل بر اساس جدول ۱ و رابطه ۳ و ۴ ارائه شد.

رابطه (۳)

$$W_i^+ = \log_e[N_{pix1}/(N_{pix1}+N_{pix2}))/(N_{pix3}/N_{pix3}+N_{pix4}))]$$

رابطه (۴)

$$W_i^- = \log_e[N_{pix2}/(N_{pix1}+N_{pix2}))/(N_{pix4}/N_{pix3}+N_{pix4}))]$$

N_{pix1}: تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس،

N_{pix2}: (تعداد کل پیکسل‌های لغزشی در یک نقشه) − (تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس)،

N_{pix3}: (تعداد پیکسل‌های یک کلاس) − (تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس)،

N_{pix4}: (تعداد کل پیکسل‌های یک نقشه)− (تعداد کل پیکسل‌های لغزشی یک نقشه)− (تعداد پیکسل‌های یک کلاس) + (تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس).

در این مدل مقادیر وزنی معمولاً دامنه‌ای بین اعداد مثبت و منفی دارند، که بیانگر نقش بیش‌تر و کم‌تر متغیر در ایجاد زمین‌لغزش است. وزن مثبت (W_i^+) نشان می‌دهد که عامل علتی در محل زمین‌لغزش وجود دارد و بزرگی این همبستگی بین آن عامل و وقوع زمین‌لغزش را بیان می‌کند، اما وزن منفی (W_i^-) بیانگر عدم عامل موردنظر در محل بروز زمین‌لغزش بوده و سطح منفی همبستگی را نشان می‌دهد. اختلاف بین دو وزن مثبت و منفی (C) بزرگی ارتباط مکانی عامل علتی و زمین‌لغزش را نشان می‌دهد. برای به دست آوردن وزن نهایی از روابط ۵ و ۶ استفاده می‌شود.

$$C=[(W_i^+)-(W_i^-)]$$ رابطه (۵)

$$W_{final} = C/Sc$$ رابطه (۶)

C: تفاضل وزن‌های مثبت و منفی و W_{final}: وزن نهایی استاندارد شده

Sc : انحراف استاندارد است که برابر با جذر واریانس هر یک از وزن‌های مثبت و منفی است.

نهایتاً وزن نهایی به منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش استفاده می‌شود (۱۵). با وارد کردن وزن‌ها در محیط GIS به نقشه لایه‌های اطلاعاتی، نقشه‌های موضوعی وزنی به دست می‌آیند. از جمع این وزن‌ها شاخص حساسیت زمین‌لغزش[2] محاسبه می‌شود.

$$LSI = \sum(W_f)_i \quad (i=1, 2, 3, ..., n)$$ رابطه (۷)

جدول ۱- چهار حالت ممکن از پتانسیل ایجاد زمین لغزش و نقشه زمین لغزش (تعداد پیکسل‌ها =Npix) (۱۴)

Table 1. Four possible combinations of a potential landslide conditioning factor and a landslide inventory map Npix= number of pixels (14)

	عوامل ایجاد زمین لغزش	
زمین لغزش	حضور	عدم حضور
حضور	N_{pix1}	N_{pix2}
عدم حضور	N_{pix3}	N_{pix4}

ارزیابی روش پهنه‌بندی

با توجه به این که برای پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش، از نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها استفاده گردید، لذا نمی‌توان برای ارزیابی نقشه پهنه‌بندی با استفاده از مدل وزن واقعه از همان زمین‌لغزش‌ها بهره برد (۱۲). بدین منظورتعدای از لغزش‌ها برای مدل‌سازی و بخشی از آن نیز برای ارزیابی مدل مذکور (به‌ترتیب دو سوم و یک سوم نقاط) در پهنه‌بندی استفاده شد (۱،۵،۶،۹). سپس با استفاده از منحنی ROC[3] صحت نقشه پهنه‌بندی تهیه شده، ارزیابی شد. این منحنی کارآمدترین روش در ارائه خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌ها است که میزان دقت مدل را به‌صورت کمی برآورد می‌کند (۱۴). سطح زیر منحنی ROC (AUC)[4]، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخداده (وقوع زمین‌لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع زمین‌لغزش) آن است، بیانگر دقت مدل می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از ارتباط بین هر یک از عوامل مؤثر با نقاط لغزشی با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه به صورت زیر می‌باشد و در جدول ۲ ارائه شده است:

عامل درجه شیب: نتایج محاسبه وزن (W_f) براساس مدل مذکور برای کلاس‌های مختلف لایه شیب در حوزه آبخیز سیاه‌بیشه نشان می‌دهد که عامل شیب با $\sum=W_f$ +۱/۵۷۹ از عوامل علتی در وقوع زمین‌لغزش منطقه است. در این لایه به‌ترتیب کلاس‌های شیب ۳۰-۱۵، ۵-۰، ۱۵-۵، درجه با وزن‌های (۳/۳۵۷+، ۱/۹۹۹+، ۰/۰۹۵+) دارای رابطه مثبت با زمین‌لغزش هستند و کلاس شیب ۵۰-۳۰ با وزن (۳/۸۷۲-)

1- Bayes Theorem
2- Landslide Susceptibility Index (LSI)
3- Receiver Operating Characteristics
4- Area Under Curve

دارای تأثیر منفی با زمین‌لغزش می‌باشد. تجزیه و تحلیل‌ها نشان می‌دهد که در زاویه شیب محدودهٔ ۱۵ تا ۳۰ درجه احتمال وقوع زمین لغزش بالا است و در شیب‌های کم‌تر بدلیل تنش برشی پایین‌تر که مرتبط با درجه شیب است پایین و در شیب‌های بالاتر به خاطر رخنمون سنگی، وقوع زمین لغزش کم است.

جدول ۲- ارتباط بین هر یک ازعوامل مؤثر و نقاط لغزشی با استفاده از مدل وزن واقعه

Table 2. Spatial relationship between each landslide conditioning factor and landslide by WOE model

عوامل	کلاس	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های لغزشی	W^+	W^-	W_{final}
درجه شیب	۰-۵	۲۹۲۲	۱/۶۰	۴	۴/۳۴۸	+۰/۹۹۴	-۰/۰۲۸	+۱/۹۹۹
	۵-۱۵	۱۵۲۸۳	۸/۴۲۲	۸	۸/۶۹۶	+۰/۰۳۲	-۰/۰۰۳	+۰/۰۹۵
	۱۵-۳۰	۹۳۷۳۷	۵۱/۶۵۳	۶۴	۶۹/۵۶۹۵	+۰/۲۹۸	-۰/۴۶۳	+۳/۳۵۷
	۳۰-۵۰	۶۸۷۹۲	۳۷/۹۰۷	۱۶	۱۷/۳۹۱	-۰/۷۷۹	+۰/۲۸۶	-۳/۸۷۲
	>۵۰	۷۴۱	۰/۴۰۸	۰	۰	۰	+۰/۰۰۴	۰
جهت شیب	مسطح	۲۳۵۴۰	۱۲/۹۷۱	۱۲	۱۳/۰۴۳	+۰/۰۰۶	-۰/۰۰۱	+۰/۰۲۱
	شمال	۴۴۸۴۴	۲۴/۷۱۱	۲۶	۲۸/۲۶۱	+۰/۱۳۴	-۰/۰۴۸	+۰/۷۸۹
	شمال شرقی	۲۰۹۶۳	۱۱/۵۵۱	۲۱	۲۲/۸۲۶	+۰/۶۸۲	-۰/۱۳۶	+۳/۲۹۲
	شرق	۱۶۸۱۳	۹/۲۶۵	۱۶	۱۷/۳۹۱	+۰/۶۳۰	-۰/۰۹۴	+۲/۶۳۱
	جنوب شرقی	۱۶۳۷۰	۹/۰۲۱	۲	۲/۱۷۴	-۱/۴۲۳	+۰/۰۷۳	-۲/۰۶۲
	جنوب	۱۳۷۶۸	۷/۵۸۷	۰	۰	۰	+۰/۰۷۹	۰
	جنوب غربی	۱۴۳۶۶	۷/۹۱۶	۳	۳/۲۶۱	-۰/۸۸۷	+۰/۰۴۹	-۱/۵۹۵
	غرب	۱۵۱۳۸	۸/۳۴۲	۸	۸/۶۹۶	+۰/۰۴۲	-۰/۰۰۴	+۰/۱۲۳
	شمال غربی	۱۵۶۷۳	۸/۶۳۶	۴	۴/۳۴۸	-۰/۶۸۷	+۰/۰۴۶	-۱/۴۳۳
ارتفاع (متر)	۱۸۰۰-۲۲۰۰	۷۹۰۷	۴/۳۵۷	۶	۶/۵۲۲	+۰/۴۰۴۰	-۰/۰۲۳	+۱/۰۱۰
	۲۲۰۰-۲۶۰۰	۵۰۲۴۳	۲۷/۶۸۶	۷۱	۷۷/۱۷۴	+۱/۰۲۶	-۱/۱۵۳	+۸/۷۷۲
	۲۶۰۰-۳۰۰۰	۷۸۳۳۴	۴۳/۱۶۵	۱۱	۱۱/۹۵۷	-۱/۲۸۴	+۰/۴۳۸	-۵/۳۵۹
	۳۰۰۰-۳۴۰۰	۴۳۷۲۵	۲۴/۰۹۴	۴	۴/۳۴۸	-۱/۷۱۳	+۰/۲۳۱	-۳/۸۰۲
	>۳۴۰۰	۱۲۶۶	۰/۶۹۸	۰	۰	۰	+۰/۰۰۷	۰
فاصله از آبراهه (متر)	۰-۵۰	۹۱۲۱۳	۵۰/۲۶۲	۴۶	۵۰	-۰/۰۰۵	+۰/۰۰۵	-۰/۰۵۰
	۵۰-۱۰۰	۵۱۸۱۱	۲۸/۵۵۰	۲۷	۲۹/۳۴۸	+۰/۰۲۸	-۰/۰۱۱	+۰/۱۶۹
	۱۰۰-۱۵۰	۲۰۳۹۸	۱۱/۲۴۰	۹	۹/۷۸۳	-۰/۱۳۹	+۰/۰۱۶	-۰/۴۴۲
	۱۵۰-۲۰۰	۱۰۸۶۱	۵/۹۸۵	۷	۷/۶۰۹	+۰/۲۴۰	-۰/۰۱۷	+۰/۶۵۵
	>۲۰۰	۷۱۹۲	۳/۹۶۳	۳	۳/۲۶۱	-۰/۱۹۵	+۰/۰۰۷	-۰/۳۴۵
فاصله از جاده (متر)	۰-۱۰۰	۱۸۹۵۲	۱۰/۴۴۳	۱۹	۲۰/۶۵۲	+۰/۶۸۲	-۰/۱۲۱	+۳/۱۱۸
	۱۰۰-۲۰۰	۱۲۶۹۷	۶/۹۹۷	۱۲	۱۳/۰۴۳	+۰/۶۲۳	-۰/۰۶۷	+۲/۲۳۰
	۲۰۰-۳۰۰	۹۷۲۴	۵/۳۵۸	۹	۹/۷۸۳	+۰/۶۰۲	-۰/۰۴۸	+۱/۸۵۲
	۳۰۰-۴۰۰	۸۰۳۸	۴/۴۲۹	۴	۴/۳۴۸	-۰/۰۱۹	+۰/۰۰۱	-۰/۰۳۸
	۴۰۰-۵۰۰	۷۳۳۳	۴/۰۴۱	۲	۲/۱۷۴	-۰/۶۲۰	+۰/۰۱۹	-۰/۸۹۴
	>۵۰۰	۱۲۴۷۳۱	۶۸/۷۳۲	۴۶	۵۰	-۰/۳۱۸	+۰/۴۷۰	-۳/۷۷۸
فاصله از گسل (متر)	۰-۱۰۰	۳۴۰۸۴	۱۸/۷۸۲	۱۰	۱۰/۸۷۰	-۰/۵۴۷	+۰/۰۹۳	-۱/۹۱۱
	۱۰۰-۲۰۰	۲۴۲۲۲	۱۳/۳۴۷	۴	۴/۳۴۸	-۱/۱۲۲	+۰/۰۹۹	-۲/۳۸۸
	۲۰۰-۳۰۰	۱۹۹۱۲	۱۰/۹۷۲	۷	۷/۶۰۹	-۰/۳۶۶	+۰/۰۳۷	-۱/۰۲۶
	۳۰۰-۴۰۰	۱۶۹۹۷	۹/۳۶۶	۱۳	۱۴/۱۳۰	+۰/۴۱۱	-۰/۰۵۴	+۱/۵۵۵
	>۴۰۰	۸۶۲۶۰	۴۷/۵۳۳	۵۸	۶۳/۰۴۳	+۰/۲۸۳	-۰/۳۵۱	+۲/۹۳۱
دوران زمین شناسی	کرتاسه	۴۴۶۷	۲/۴۶۱	۰	۰	۰	+۰/۰۲۵	۰
	ژوراسیک- تریاس	۹۱۵۵۴	۵۰/۴۵۰	۷۱	۷۷/۱۷۴	+۰/۴۲۵	-۰/۷۷۵	+۴/۸۳۳
	پرمین	۲۲۹۷۰	۱۲/۶۵۷	۵	۵/۴۳۵	-۰/۸۴۶	+۰/۰۷۹	-۲/۰۱۲
	کواترنری	۲۶۲	۰/۱۴۴	۰	۰	۰	+۰/۰۰۱	۰
	ترسیر	۵۴۰۳۴	۲۹/۷۷۵	۱۶	۱۷/۳۹۱	-۰/۵۳۸	+۰/۱۶۲	-۲/۵۴۶
	تریاس	۸۱۸۸	۴/۵۱۲	۰	۰	۰	+۰/۰۴۶	۰
شکل شیب	مقعر	۱۸۰۳۰	۹/۹۳۵	۱۲	۱۳/۰۴۳	+۰/۲۷۲	-۰/۰۳۵	+۰/۹۹۳
	مسطح	۶۸۲۵۲	۳۷/۶۱۰	۳۶	۳۹/۱۳۰	+۰/۰۴۰	-۰/۰۲۵	+۰/۳۰۱
	محدب	۹۵۱۹۳	۵۲/۴۵۵	۴۴	۴۷/۸۲۶	-۰/۰۹۲	+۰/۰۹۳	-۰/۸۸۸

جهت شیب: نتایج ارتباط عامل زمین‌لغزش‌ها با جهت شیب نشان می‌دهد که جهت شیب با $\sum = W_f$ +۱/۷۳۵ یکی دیگر از عوامل علتی در وقوع این پدیده می‌باشد. جهت‌های شمال شرقی با بیش‌ترین وزن (۳/۲۹۲+) دارای تأثیر مثبت، و جنوب شرقی با کم‌ترین وزن (۲/۰۹۲-) دارای تأثیر منفی با ناپایداری‌های سیاه‌بیشه داشته و جهت‌های جنوبی بدون لغزش بوده و دارای وزن صفر می‌باشند، که مبین این موضوع است که این کلاس جهت شیب، تأثیری در وقوع زمین‌لغزش نداشته است.

عامل فاصله از آبراهه: از تأثیر لایه اطلاعاتی آبراهه بر روی زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه با مدل وزن واقعه مشخص گردید که این عامل با مجموع وزن ۰/۰۱۳-

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.7.9]

[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.77]

$\sum=W_f$ عاملی است که دارای رابطه منفی با وقوع لغزش این منطقه دارد. به استثنای فواصل ۱۰۰-۵۰ متری و ۲۰۰-۱۵۰ متری آبراهه سایر فواصل دارای رابطه معکوس با ناپایداری‌ها در منطقه مورد مطالعه دارد.

عامل فاصله از جاده: منطقه سیاه‌بیشه در مسیر بزرگراه چالوس- تهران واقع شده است،که به جاده کندوان شناخته می شود. این عامل با بزرگی وزن ۲/۴۹۰+ $\sum=W_f$ جزء عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین لغزش در این منطقه می‌باشد. فاصله کم‌تر از ۱۰۰ متری از جاده با وزن (۳/۱۱۸+) دارای بیش‌ترین تأثیر و کلاس فاصله بیش‌تر از ۵۰۰ متری از جاده با وزن (۳/۷۷۸-) رابطه منفی با وقوع زمین‌لغزش‌ها و ناپایداری‌های منطقه دارا می باشند.

عامل فاصله از گسل: حوزه آبخیز سیاه‌بیشه دارای گسل‌های مهمی از قبیل گسل دونا- سیاه‌بیشه و راندگی کندوان می‌باشد. علاوه بر گسل‌های اصلی این منطقه دارای گسل‌های فرعی می‌باشد که بعضی از آنها در امتداد گسل‌های اصلی به صورت موازی کشیده شده‌اند و تعدادی در جهت عکس آنها امتداد یافته‌اند. پس از وزن‌دهی به عامل فاصله از گسل با مدل وزن واقعه مشخص شد که این عامل با بزرگی وزن ۰/۸۳۹- $\sum=W_f$ همبستگی منفی با ناپایداری منطقه مورد مطالعه دارد. تعدای زیادی از لغزش‌های منطقه در کلاس ۴۰۰-۳۰۰ متری و فواصل بیش‌تر از ۵۰۰ متری اتفاق افتاده است، به استثنای این دو کلاس، سایر کلاس‌های حریم گسل دارای رابطه منفی با زمین‌لغزش دارند.

عامل زمین‌شناسی: سازندهای حوزه آبخیز سیاه‌بیشه از دوران زمین‌شناسی پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک منشاء می‌گیرند، تعداد زیادی از لغزش‌های این منطقه در سازندهای شمشک که متعلق به دوره ژوراسیک می‌باشد، اتفاق افتاده است. این سازند به علت اینکه از توده‌های زغالی تشکیل یافته است بیش‌ترین حساسیت نسبت به ناپایداری‌های منطقه دارا می‌باشد. سازندهای دوره‌ی ژوراسیک-تریاس با وزن ۴/۸۳۳+ = W_f دارای رابطه مستقیم و سازندهای دوره‌ی زمین‌شناسی پرمین و ترسیر به ترتیب با وزن‌های (۲/۰۱۲-) و (۲/۵۴۶-) دارای رابطه‌ی معکوس با زمین‌لغزش‌های در این حوزه می‌باشند. هم‌چنین در سازندهای دوره کواترنری، کرتاسه و تریاس هیچ لغزشی وقوع نیافته است و تأثیری در ناپایداری‌های حوزه آبخیز سیاه‌بیشه ندارد.

عامل شکل شیب: انواع شکل شیب‌ها به صورت مقعر، محدب و مسطح می‌باشند. عمده‌ی لغزش‌ها در شکل شیب محدب اتفاق افتاده است. پس از وزن‌دهی کلاس‌های این عامل با مدل وزن واقعه مشخص شد که با بزرگی وزن ۰/۴۰۶+ $\sum=W_f$ از عوامل علتی در وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. شکل شیب مقعر و مسطح به‌ترتیب دارای وزن‌های (۰/۹۹۳+)، (۰/۳۰۱+) هستند که دارای رابطه مثبت با زمین‌لغزش‌ها بوده، ولی شکل شیب محدب با وزن (۰/۸۸۸-) دارای رابطه معکوس با زمین‌لغزش‌ها می باشد. این موضوع نمایانگر این است که در این منطقه شکل شیب به عنوان پارامتر اصلی وقوع زمین‌لغزش نبوده و عوامل دیگر باعث کمرنگی فاکتور شکل شیب گشته است.

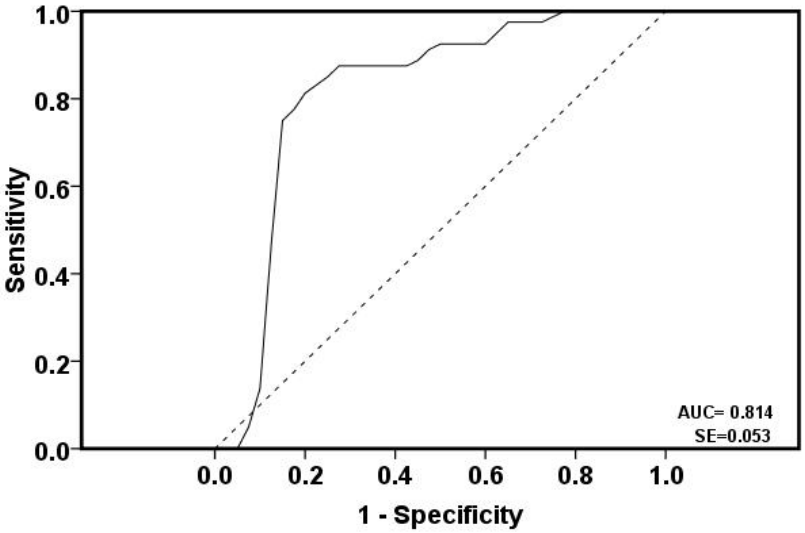
عامل ارتفاع: ارتفاع نیز با مجموع وزن‌های (۰/۶۲۱+) از جمله عوامل علتی در وقوع زمین‌لغزش در حوزه آبخیز سیاه‌بیشه می‌باشد. کلاس‌های ارتفاعی ۲۶۰۰-۲۲۰۰ متر با وزن (۸/۷۷۲+) و ۲۲۰۰-۱۸۰۰ متر با وزن (۱/۰۱۰+) دارای همبستگی مثبت و به ترتیب کلاس‌های ارتفاعی ۳۰۰۰-۲۶۰۰ و ۳۰۰۰< متر با وزن‌های (۵/۳۵۹-، ۳/۸۰۲-) تأثیر منفی در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه دارند. نقشه وزن نهایی از جمع جبری نقشه‌های موضوعی وزنی به دست آمد، در نهایت نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش حوزه آبخیز سیاه‌بیشه در محیط GIS بر اساس الگوریتم شکست‌های طبیعی به چهار کلاس، حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد (شکل ۳). نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش نشان می‌دهد که ۲۱/۳۶ درصد در کلاس حساسیت کم، ۳۴/۹۰ درصد در کلاس حساسیت متوسط، ۲۴/۹۱ درصد در کلاس حساسیت زیاد و ۱۸/۸۴ درصد در کلاس حساسیت خیلی زیاد قرار گرفته است. هم‌چنین اطمینان صحت از نقشه پهنه‌بندی در حوزه آبخیز سیاه‌بیشه نشان می‌دهد که ۶۷/۵ درصد زمین‌لغزش های حوزه در پهنه با حساسیت خیلی زیاد اتفاق افتاده اند، ۲۰ درصد آنها در محدوده‌ی حساسیت زیاد و به‌ترتیب ده درصد و ۲/۵ درصد در پهنه حساسیت متوسط و کم روی داده است. این وضعیت دلالت بر مناسب بودن نقشه پهنه‌بندی تهیه شده بر اساس مدل وزن واقعه دارد. عوامل درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از جاده، زمین‌شناسی و شکل شیب به دلیل بزرگی وزن مثبت از عوامل علتی در وقوع زمین‌لغزش هستند و رابطه مثبت با وقوع زمین‌لغزش‌های حوزه مورد مطالعه دارند، اما عوامل فاصله از آبراهه و فاصله از گسل به دلیل این که دارای بزرگی وزن منفی هستند، رابطه‌ی معکوس با ناپایداری‌ها و زمین‌لغزش‌های حوزه آبخیز سیاه‌بیشه دارند. در مدل وزن واقعه کلاس‌های، شیب ۳۰-۱۵ درجه، جهت شیب شمال شرقی، ارتفاع ۲۶۰۰-۲۲۰۰ متر، فاصله از آبراهه ۲۰۰-۱۵۰متری، فاصله کم‌تر از ۱۰۰ متری جاده، فاصله بیش‌تر از ۴۰۰ متری گسل، سازندهای دوره‌ی زمین‌شناسی ژوراسیک-تریاس مانند شمشک، شکل شیب مقعر از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در حوزه آبخیز سیاه‌بیشه معرفی شد. در این تحقیق مشخص شد که از بین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، کلاس ارتفاعی (به ویژه ۲۶۰۰-۲۲۰ متر) بیش‌ترین تأثیر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه دارد. بررسی طبقات ارتفاعی نشان می‌دهد که زمین‌لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه ازارتفاع ۱۸۰۰ متر افزایش می‌یابند و با کاهش تعداد زمین‌لغزش تا ارتفاع ۳۶۰۰ متر همراه بوده است که این نتایج با مطالعات زارع و همکاران (۱۵) و ارکانگلو و کندان (۲) مطابقت دارد.

این روند نشان‌دهنده نقش بارندگی در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه می‌باشد که با افزایش ارتفاع تا ۲۶۰۰ متر میزان بارندگی افزایش و در نتیجه آن حساسیت وقوع زمین لغزش بالا می‌رود. همان طور که بیان شد برای ارزیابی

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-19]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.7.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.77]

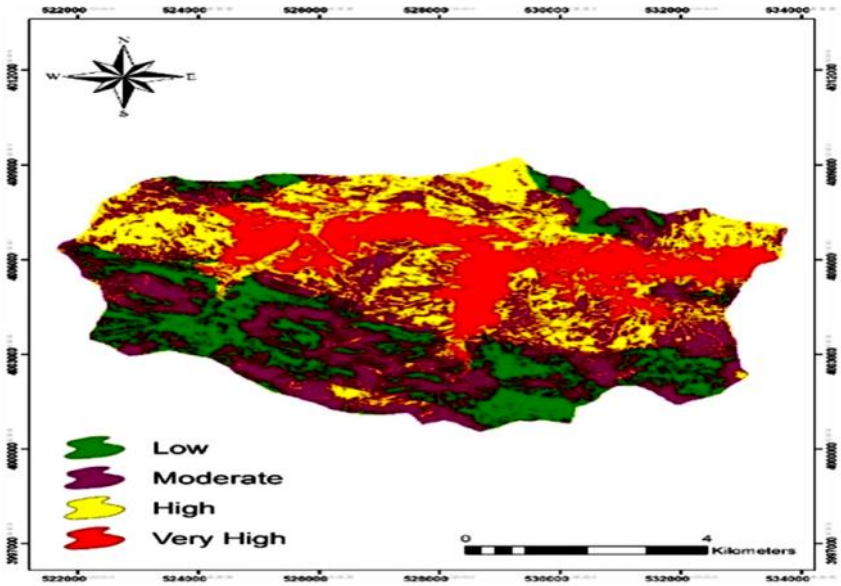
مدل از منحنی ROC استفاده شد. هر چه سطح زیر منحنی بیش‌تر باشد به همان نسبت نیز دقت مدل بیش‌تر می‌شود، که میزان آن از ۰/۵ تا ۱ متغیر می‌باشد. به طور کلی تقسیم‌بندی ۱- ۰/۹، عالی، ۰/۹- ۰/۸، خیلی خوب، ۰/۸- ۰/۷، خوب، ۰/۷- ۰/۶، متوسط و ۰/۶- ۰/۵ ضعیف را برای آن ارائه داده‌اند (۶،۷).

در پژوهش حاضر، نتایج ارزیابی مدل وزن واقعه با استفاده از منحنی ROC نشان می‌دهد که، این مدل با سطح زیر منحنی ۰/۸۱ در سطح خیلی خوب قرار گرفته (شکل ۴) و این وضعیت، مناسب بودن مدل وزن واقعه را در ارزیابی حساسیت حوزه مورد مطالعه به پدیده زمین‌لغزش نشان می‌دهد.



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده ازمدل وزن واقعه

Figure 3. Landslide susceptibility map produced by Weight of Evidence model



شکل ۴- منحنی ROC و سطح زیرمنحنی مربوط به نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش

Figure 4. Area under the curve (AUC) and prediction rate graphs for the landslide susceptibility map

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-19]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.7.9]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.77]

منابع

1. Constantin, M., M. Bednarik, M.C. Jurchescu and M. Vlaicu. 2011. Landslide Susceptibility Assessment Using the Bivariate Statistical Analysis and the Index of Entropy in the Sibiciu Basin (Romania). Environmental Earth Science, 63: 397-406.
2. Ercanoglu, M. and G. Candan. 2004. Use of Fuzzy Relation to Produce Landslide Susceptibility Map of a Landslide Prone Area (West Black Sea Region, Turkey). Engineering Geology, 75: 229-250.
3. Feiznia, S., A. Klarestaghi, H. Ahmadi and M. Safaei. 2003. Investigation Effective Parameters in Landslide Occurs and Landslide Hazard Zoning (Case Study: Tejen Dam Watershed). Iranian Journal of Natural Resources, 57: 3-20 (In Persian).
4. Karami, F. 2012. Landslide Susceptibility Assessment Insemiarid Mountainous Watershed, Using Weights of Evidence and Statistical Models (Case Study: Chai Saidabadchai North of Sahand Mountain). Journal of Geographical Research, 106: 44-21 (In Persian).
5. Komac, M. 2006. Landslide Susceptibility Model Using the Analytical Hierarchy Process Method and Multivariate Statistics in Perialpine Sloveni. Geomorphology, 74: 17-28.
6. Moradi, H.R., M. Mohammadi, R. Mostafazadeh and H.R. Pourghasemi. 2010. Landslide Hazard Analysis in Golestan Province Using Dempster-Shafertheory. Quarterly Researches in Earth Sciences, 1: 1-14 (In Persian).
7. 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.
8. Pourghasemi, H.R., H.R. Moradi and M. Mohammadi. 2010. Application of GIS and Weight of Evidence Probabilistic Model in the Landslide Susceptibility Mapping. National Conference Spatial Information System, National Cartographic Center, Tehran, Iran, (In Persian).
9. Pourghasemi, H.R., H.R. Moradi, M. Mohammadi, R. Mostafazadeh and A. Aligoli. 2013. Landslide Hazard Zoning Using Bayesian Theory. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 16: 109-120 (In Persian).
10. Pourghasemi, H.R., B. Pradhan, C. Gokceoglu and K. Deylami Moezzi. 2013. A Comparative Assessment of Prediction Capabilities of Dempster–Shafer and Weights-of-Evidence Models in Landslide Susceptibility Mapping Using GIS. Geomatic Natural Hazards and Risk, 4: 93-118.
11. Regmi, A.D., K.CH. Davokota, B. Pradhan, H.R. Purghasemi, K. Kumamoto and A. Akgun. 2013. Application of Frequency Ratio, Statistical Index, and Weights-of-Evidence ModEls and Their Comparison in Landslide Susceptibility Mapping in Central Nepal Himalaya. Saudi Society for Geosciences, 7: 725-742.
12. Remendo, J., A. Gonzales, A. Teran, A. Cendrero and C. Fabbri Chung. 2003. Validation of Landslide Susceptibility Maps, Examples and Applications from a Case Study in NORTHERN SPAIN. Natural Hazard, 30: 437-449.
13. Shahabi, M. and A. sadoddin. 2009. The Bayesian Network Approach to Predict the Effects of Drought Management Measures on Dryland Wheat Planted in Golestan Province. 5th National Conference of Watershed Management Science and Engineering, Gorgan, Iran, 3140-3149 (In Persian).
14. VanWesten, C.J., N. Rengers and R. Soerters. 2003. Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment. Natural Hazards, 30: 399-419.
15. Zareh, M., H. Ahmad and S. Gholami. 2011. Landslide Hazard Assessment using of Multi Criteria Decision Making and Geography Information System (Case Study, Vaz Watershed). Journal of Natural Ecosystems of Iran, 1: 156-166 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.7.9]

[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.77]

Evaluating the Efficiency of Probabilistic Weight of Evidence Model for Landslide Susceptibility Mapping (Case Study: Siyahbisheh Watershed, Mazandaran)

Ehsan Ebrahimi[1], Karim Solaimani[2] and Hamid reza Pourghasemi[3]

1- M.Sc. Student, Watershed Management, University of Haraz, Amol
2- Professor, Sari University of Agriculture and Natural Resources
(Corresponding author: solaimani2001@yahoo.co.uk)
3- Assistant Professor, Shiraz University
Received: March 6, 2015 Accepted: June 13, 2015

Abstract

Mass movements are usually natural erosion, but the human can aggravate it by operations such as mining, road construction and destroying the natural vegetation. The purpose of this study is to identify the factors influencing the occurrence of landslides by using a probabilistic model Weight of Evidence and Geography Information System in the Siyahbisheh Watershed. 132 landslide points are identified and recorded through interpretation of aerial photos and wide field surveys. Randomly out of this number, 92 landslide points (70%) for modeling and 40 landslide points (30%) are implemented for evaluation. The factors studied in causing landslide includes slope, aspect, plan Curvature, elevation, distance from the road, distance from the streams, distance from the faults and geological survey using GIS digit and maps are provided for each of the factors. The relationship between each factor with landslide points is determined by using a probabilistic model weight of evidence and the landslide susceptibility map is provided.WOE model introduces classes, 30-15slope degree, aspect of northeast, the elevation of 2200-2600m,150-200m distance from the road, less than100 meters from the road, distance of more than 400 meters from the fault, the geological formations Jurassic-Triassic, concave curvature as the most important factor causing landslide in the Siyahbisheh Watershed. The results of ROC curve analysis showed that the WOE model with the AUC 0.81 has an acceptable accuracy for landslide susceptibility analysis in the study area.

Keywords: Landslide susceptibility Zonation, Mass movements, Siyahbisheh Watershed, Weights-of-Evidence

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-02-19]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.7.9]

[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.77]