

پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه (تئوری بیزین): مطالعه موردی: حوضه آبخیز بار نیشابور

مجید ابراهیمی: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
محمود حبیب‌الهیان: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران *
ابوالقاسم امیراحمدی: دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
شهرام بهرامی: استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران ن

وصول: ۱۳۹۲/۲/۱۶ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱۵، صص ۱۴۴-۱۲۵

چکیده

زمین‌لغزش نشان دهنده فرآیندهای مورفودینامیک است که در زمین‌های شیب‌دار رخ داده و به واحدهای مسکونی، باغات و زمین زراعی آسیب می‌رساند. هدف از پژوهش حاضر، تحلیل حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه (تئوری بیزین) در حوضه آبخیز بار نیشابور است. به این منظور با استفاده از نقاط لغزشی بانک اطلاعات زمین لغزش کشور، ۳۲ زمین‌لغزش و پهنه لغزشی تشخیص داده شد و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. سپس نقشه‌های هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش که شامل اطلاعات مربوط به شیب، شکل شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی (DEM)، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، نقشه هم‌باران، شاخص توان آبراهه و شاخص رطوبت در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه گردید. با استفاده از تئوری احتمالات بیزین ارتباط هر یک از عوامل و نقاط لغزشی موجود تعیین و وزن طبقه‌های هر عامل مشخص شد و سپس نقشه حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش برای منطقه تهیه گردید. ارزیابی مدل با استفاده از منحنی راک (ROC) و ۳۰ درصد نقاط لغزشی صورت گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که مهمترین عوامل مؤثر در ناپایداری شیب‌های منطقه عامل لیتولوژی، فاصله از گسل و شاخص رطوبت است و دقت مدل احتمالاتی تهیه شده در منطقه، ۸۰/۵ درصد (خیلی خوب) برآورد گردید.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، مدل احتمالاتی وزن واقعه، منحنی راک (ROC)، حوضه آبخیز بار نیشابور.

مقدمه

(پائولتی و همکاران (Paoletti et al, ۲۰۱۳: ۱۴۷).

زمین‌لغزش به عنوان یکی از انواع حرکت‌های توده‌ای شامل حرکت کند یا تند مواد سنگی، خاکی یا مجموع هر دو در روی دامنه به سمت پایین تحت تأثیر نیروی جاذبه است (کراستا (Crosta), ۲۰۰۹: ۷۶). یکی از وظایف مهم دانش ژئومورفولوژی کاربردی، بررسی

ناپایداری دامنه‌های طبیعی یکی از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی است که در تغییر شکل سطح زمین نقش مؤثری دارد (ویتوریو (Vittorio), ۲۰۱۱: ۵). زمانی که این فرآیند فعالیت‌های انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به پدیده‌ای خطرناک تبدیل می‌شود

به صورت کمی و پهنه‌بندی آن وجود دارد (فل^۵ و همکاران، ۲۰۰۸: ۸۶). تهیّه نقشه‌ی وقوع خطر زمین‌لغزش، ابزاری اساسی برای فعالیت‌های مدیریت بحران در نواحی کوهستانی است (کومار^۶، ۲۰۰۸: ۴۹۶). در دهه‌های اخیر افزایش زیادی در تمایل به استفاده از مدل‌های گرافیکی، از جمله شبکه‌های بیزین^۷ در مدل سازی منابع طبیعی و به ویژه خطر وقوع زمین‌لغزش شده است (کاستالتی و سانسینی^۸، ۲۰۰۶: ۱۰۷۸). از این رو مطالعات مختلفی با استفاده از مدل احتمالاتی در بحث زمین‌لغزش صورت گرفته است. لی و همکاران^۹ (۲۰۰۴)، جهت پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش از GIS و مدل احتمالاتی بیزین استفاده کردند. در این تحقیق ۱۵ عامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در منطقه شناسایی و پهنه‌بندی با رویکردهای مختلف انجام شد. نتایج ارزیابی نشان داد که بیشترین دقت مدل زمانی است که از ۶ عامل درجه شیب، شکل شیب، نوع توپوگرافی، قطر درخت، لیتولوژی و فاصله از جاده استفاده گردید. متو و همکاران^{۱۰} (۲۰۰۷)، در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در کشور هند از تئوری بیزین استفاده کردند. عوامل مؤثر در این تحقیق درجه شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، تراکم جاده، زمین‌شناسی و کاربری اراضی بود. ارزیابی نقشه پهنه‌بندی نشان داد که دقت نقشه تهیّه شده ۸۴/۶ درصد است. بوی و همکاران^{۱۱} (۲۰۰۸) به منظور پهنه‌بندی حساسیت

موقعیت و ارزش محیط‌های انسانی خطرپذیر و آسیب‌پذیر در برابر انواع مخاطرات ژئومورفیک است (روسنفلد^۱، ۲۰۰۴: ۴۲۳). مخاطرات ژئومورفولوژیکی نیز به احتمال ناپایداری پدیده‌های خاص ژئومورفولوژیکی گفته می‌شود که ممکن است در قلمرو معینی با بزرگی و دوره‌های زمانی مشخص رخ دهد (پانیزا^۲، ۲۰۰۸: ۳۱۸). در این مفهوم خطر طبیعی، به عنوان عناصر زیان‌آور موجود در محیط فیزیکی برای انسان است (آیالا^۳، ۲۰۰۲: ۱۰۸). رخدادهای طبیعی فرآیندهای پیچیده‌ای هستند که بر تمامی بخش‌های کره زمین تأثیر می‌گذارند. در این بین زمین‌لغزش به عنوان یکی از مخاطرات طبیعی همواره در سراسر جهان در حال رخ دادن بوده و از اهمیت زیادی برخوردار است (نیازی و همکاران، ۱۳۸۹: ۹). بر اساس مطالعات انجام شده طی سال‌های ۲۰۰۴-۱۹۰۳، زمین‌لغزش به‌تنهایی ۱۷ درصد از بلایای طبیعی جهان را در بر می‌گیرد که بیشترین میزان خسارت آن در اروپا سالانه ۱۷ میلیون دلار برآورد گردیده است (کوهورست^۴ و همکاران، ۲۰۰۵: ۹۳). ایران نیز در مورد خسارات ناشی از حرکات توده‌ای مطالعاتی صورت گرفته که طبق گزارش، خسارت مربوط به ۴۹۰۰ زمین‌لغزش از بانک اطلاعاتی تا پایان شهریور ماه ۱۳۸۶، معادل ۱۲۶۸۹۳ میلیارد ریال برآورد گردید (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، گروه مطالعه امور زمین‌لغزش‌ها، ۱۳۸۹). امروزه نیاز فزاینده‌ای برای مدیریت خطر زمین‌لغزش

5. Fell et al

6. Kumar Dahal

7. Bayesian

8. Castelletti and Soncini

9. Lee et al.

10. Mathew et al

11. Bui et al

1. Rosenfeld

2. Panizza

3. Ayala

4. Koehorst

عنوان مهمترین عوامل تأثیرگذار در منطقه مورد مطالعه هستند همچنین دقت مدل احتمالاتی تهیه شده در منطقه ۷۱/۳۷ درصد برآورد گردید. در پژوهش دیگری پورقاسمی و همکاران (۱۳۸۹)، با استفاده از مدل فوق اقدام به پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در بخشی از حوضه آبخیز هراز در استان مازندران پرداختند و نشان دادند که همبستگی بالایی بین نقشه خطر مورد نظر و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها وجود دارد.

با توجه به وقوع زمین‌لغزش‌های مخرب در منطقه مورد مطالعه و وجود سد و قرارگیری استقرارگاه‌ها و سکونتگاه‌های انسانی و تأسیساتی همچون جاده‌های ارتباطی، کانال‌های آبرسانی و تأسیسات کشاورزی و جنبه گردشگری در این حوضه تهیه نقشه‌ی خطر زمین‌لغزش منطقه برای مدیریت بهتر این منطقه، ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه در حوضه آبخیز بار نیشابور است. تحقیق حاضر در صدد شناسایی و تعیین مناطق حساس به زمین‌لغزش با استفاده از روش مذکور است تا با شناسایی این مناطق اقدامات اجرایی برای کنترل در منطقه، سمت و سوی منطقی بیابد و از اتلاف انرژی و سرمایه جلوگیری شود.

منطقه مورد مطالعه

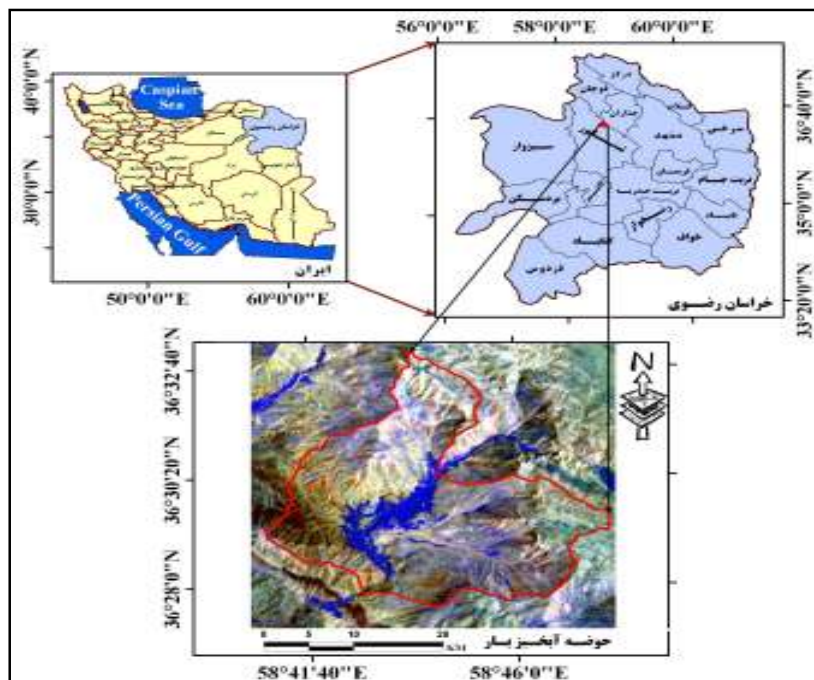
حوضه آبخیز بار با فاصله ۴۰ کیلومتری در شمال غرب شهرستان نیشابور و ۱۸ کیلومتری شمال شهرستان فیروزه و از نظر موقعیت ریاضی بین ۲۷°-۳۲° تا ۳۶° تا ۳۳°-۱۰° عرض شمالی و ۴۴°-۵۸° تا ۴۴°-۴۶° طول شرقی در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات بینالود واقع شده است. مساحت حوضه ۵۳/۹۹

زمین‌لغزش در منطقه جائیچون کشور کره از مدل احتمالاتی وزن واقعه^۱ استفاده کردند. در این تحقیق با توجه به پنج عامل درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی و پوشش گیاهی نقشه خطر زمین‌لغزش تهیه گردید. نتایج نشان داد که ۸۵ درصد لغزش‌ها در طبقه خطر متوسط و زیاد قرار گرفته‌اند. زو و همکاران^۲ (۲۰۰۹)، به منظور تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش از دو مدل ارزش اطلاعات و مدل احتمالاتی وزن واقعه (تئوری بی‌زین) استفاده کردند. با استفاده از عوامل فاصله از گسل، زمین‌شناسی، ارتفاع، درجه شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده نقشه حساسیت زمین‌لغزش تهیه گردید. نتایج ارزیابی نشان داد که به ترتیب ۹۳/۲ درصد و ۹۲/۲ درصد از لغزش‌ها در طبقه خطر زیاد و خیلی زیاد برای هر یک از مدل‌های ارزش اطلاعات و مدل احتمالاتی وزن واقعه قرار گرفته است. رگمی و همکاران^۳ (۲۰۱۰) در غرب کلرادوی آمریکا به منظور مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش از تئوری بی‌زین استفاده کردند. در این تحقیق از ۱۷ عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش استفاده شد. نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از تئوری احتمالاتی بی‌زین می‌تواند در پیش‌بینی وقوع حوادث طبیعی از جمله زمین‌لغزش‌ها به عنوان یک روش خوب مورد استفاده قرار گیرد. پورقاسمی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از تئوری بی‌زین نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش را در بخشی از استان گلستان تهیه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که عوامل لیتولوژی و فاصله از جاده به

1. Weight of Evidence
2. Zhu et al
3. Regmi et al

شرق، شرق و جنوب به ارتفاعات ستیغ ساز سازند آهکی لار، از غرب به شیل‌های ژوراسیک و از شمال غرب به مارن‌های سازند دلچای محدود می‌شود (شکل ۱).

کیلومترمربع و دارای ارتفاع متوسط ۲۰۶۴/۵۵ متر است. محدوده مطالعاتی بخشی از زون ساختاری بینالود-آلاداغ است که در نتیجه تحولات زمین‌ساختی واقع در آن، انواع واحدهای سنگی و رسوبی دوران دوم و سوم زمین‌شناسی بر روی آن گسترش یافته است. حد آبخیز حوضه بار از شمال



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز بار نیشابور

شیب، شکل شیب، طبقات ارتفاعی (DEM)، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، نقشه هم‌باران، شاخص توان آبراهه و شاخص رطوبت است که توسط نرم افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه، کلاسه‌بندی و با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها تلفیق شدند. سپس برای انجام تحقیق با استفاده از داده‌های فوق و بر اساس مدل احتمالاتی وزن واقعه (بیزین)، پهنه‌های حساس به زمین‌لغزش حوضه آبخیز بار مشخص گردید. شبکه‌های بیزین سیستم مورد مطالعه را به شکل شبکه‌ای از متغیرها که به

مواد و روش‌ها

جهت تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش ابتدا با استفاده از نقاط لغزشی بانک اطلاعات زمین‌لغزش کشور، ۳۲ زمین‌لغزش و پهنه لغزشی تشخیص داده شد و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه تهیه گردید (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، گروه مطالعه امور زمین‌لغزش‌ها، ۱۳۸۹). مرحله بعدی شامل تهیه پایگاه اطلاعاتی از عوامل مؤثر در زمین‌لغزش است. در این مرحله ۱۰ عامل مؤثر مورد بررسی قرار گرفت. این عوامل شامل شیب، جهت

که در آن؛ $N_{pix 1}$: تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس، $N_{pix 2}$: (تعداد کل پیکسل‌های لغزشی در یک نقشه) - (تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس) $N_{pix 3}$: (تعداد پیکسل‌های یک کلاس) - (تعداد کل پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس)، $N_{pix 4}$: (تعداد کل پیکسل‌های یک نقشه) - (تعداد کل پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس) + (تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس) است.

جدول ۱- حالت‌های مختلف پتانسیل ایجاد زمین‌لغزش

	عوامل ایجاد زمین‌لغزش	
	حضور	عدم حضور
زمین‌لغزش	$N_{pix 1}$	$N_{pix 2}$
حضور	$N_{pix 3}$	$N_{pix 4}$

مأخذ: وان، ۲۰۰۲؛ رگمی، ۲۰۱۰

در نهایت از رابطه‌ی شماره‌ی (۶)، وزن نهایی هر عامل به منظور تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفت (وان، ۲۰۰۲؛ ۱۴؛ رگمی، ۲۰۱۰؛ ۱۷۵).

$$C = \left[(w^+) - (w^-) \right] \quad \text{رابطه‌ی (۶)}$$

$$w_{final} = C / S_c$$

که در آن؛ C: تفاضل وزن‌های مثبت و منفی، w_{final} : وزن نهایی استاندارد شده و S_c : انحراف استاندارد که

$$w_i^+ = \log_e \left[\frac{(N_{pix 1} / (N_{pix 1} + N_{pix 2}))}{(N_{pix 3} / (N_{pix 3} + N_{pix 4}))} \right] \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

$$w_i^- = \log_e \left[\frac{(N_{pix 2} / (N_{pix 1} + N_{pix 2}))}{(N_{pix 4} / (N_{pix 3} + N_{pix 4}))} \right] \quad \text{رابطه‌ی (۵)}$$

در این بخش هر یک از عوامل مؤثر در پهنه‌بندی زمین‌لغزش تشریح شده است و نقشه‌های مربوطه ترسیم گردید.

- شیب

وسیله روابط احتمالاتی به هم مرتبط شده‌اند نمایش می‌دهد (جنسن، ۱۹۹۶: ۵۳). شبکه‌های بیزین به نام شبکه‌های تصمیم^۱، شبکه‌های تصادفی^۲ و نمودارهای تأثیر^۳ نیز شناخته می‌شوند (شهابی و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۱۴۳). تئوری احتمالات با توجه به رابطه شماره (۱) تعریف می‌شود (وان، ۲۰۰۲؛ ۱۳).

$$P(b | a) = P(a | b) \times P(b) / P(a) \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

که در آن؛ $P(a)$: احتمال وقوع پیش آمد، $P(b)$: احتمال وقوع پیش آمد b، $P(b | a)$: احتمال وقوع پیش آمد b به شرطی که پیش آمد a اتفاق افتاده باشد و $P(a | b)$: احتمال وقوع پیش آمد a، به شرطی که پیش آمد b اتفاق افتاده باشد. سپس بر مبنای محاسبات احتمالات وابسته (تئوری بیزین) و روابط‌های شماره‌ی (۲ و ۳) وزن‌های محتمل هر عامل محاسبه گردید (وان، ۲۰۰۲؛ ۱۳).

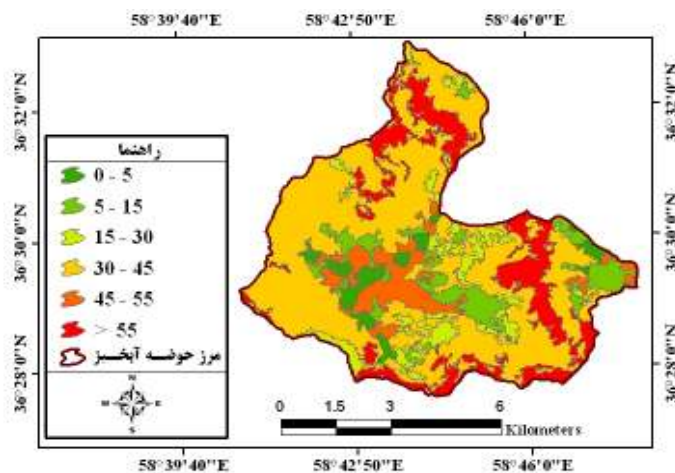
$$w_i^+ = \log_e [P(B_i | S) / P(B_i | \bar{S})] \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

به منظور درک بهتر روابط و سهولت کار، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدل بر اساس جدول شماره‌ی (۱) و به صورت رابطه‌های زیر ارائه می‌گردد (وان، ۲۰۰۲؛ ۱۳؛ رگمی، ۲۰۱۰؛ ۱۷۴).

1. Belief Networks
2. Casual Networks
3. In Flaence Diagrams
4. Van

متر استفاده شده است. شیب منطقه مورد مطالعه مطابق شکل (۲) در ۷ کلاس تهیه گردید.

با افزایش شیب، احتمال لغزش افزایش می‌یابد تا به حدود ۶۰ درجه برسد. از این شیب به بعد کاهش شدیدی در زمین‌لغزش‌ها دیده می‌شود. جهت تولید شیب از مدل ارتفاع رقومی (DEM) با اندازه سلول ۱۰

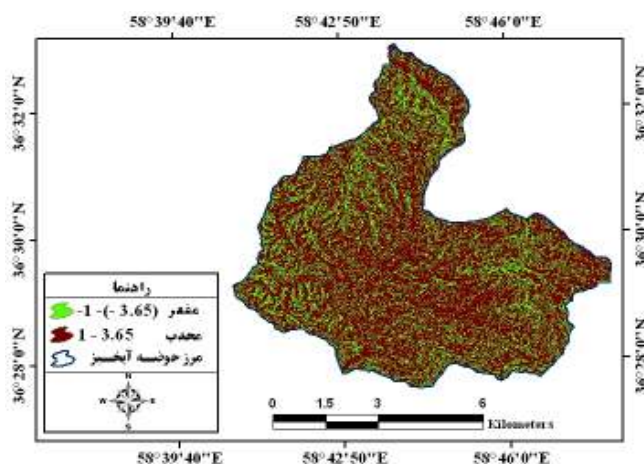


شکل ۲- شیب حوضه آبخیز بار نیشاپور

منفی (مقعر) در نوسان است (ملکی و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۲). جهت تولید شکل شیب از مدل ارتفاع رقومی (DEM) با اندازه سلول ۱۰ متر استفاده شده است و شکل شیب منطقه مورد مطالعه مطابق شکل (۳) در ۲ طبقه محدب (انحنای شیب افقی زمین)، مقعر (انحنای شیب عمودی زمین) ترسیم گردید.

شکل شیب (Curvature)

محاسبه شکل شیب (مشتق دوم سطح) این است که آیا بخش مشخصی از یک سطح محدب (Convex) یا مقعر (Concave) است. تحدب و تقعر یک سطح با استفاده از فواصل بین خطوط توپوگرافی متوالی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تعیین می‌شود. به طور کلی انحنای زمین بین مقادیر مثبت (محدب) و

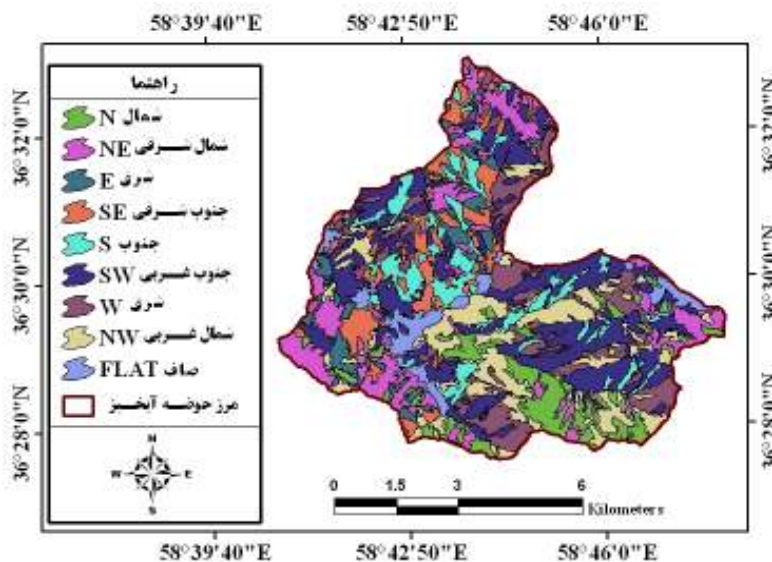


شکل ۳- شکل شیب حوضه آبخیز بار نیشاپور

- جهت شیب

با توجه به اهمیت این موضوع در پدیده لغزش منطقه به ۹ کلاس، شمال (۲۲/۵-۰ و ۳۳۷/۵-۳۶۰)، شمال شرقی (۲۲/۵-۶۷/۵)، شرق (۶۷/۵-۱۱۲/۵)، جنوب شرقی (۱۱۲/۵-۱۵۷/۵)، جنوب (۱۵۷/۵-۲۰۲/۵)، جنوب غربی (۲۰۲/۵-۲۴۷/۵)، غرب (۲۴۷/۵-۲۹۲/۵)

شمال غرب (۲۹۲/۵-۳۳۷/۵) و مناطق مسطح طبقه‌بندی شد (شکل شماره ۴). روند غالب شیب در منطقه مورد مطالعه جنوب غربی است. جدول (۲) درصد و مساحت طبقات جهت شیب و شکل (۵) فراوانی طبقات جهت شیب در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۴- جهت شیب در حوضه آبخیز بار نیشابور

جدول ۲- درصد و مساحت طبقات جهت شیب

ردیف	کلاس جهت	درصد	مساحت (KM ²)
۱	مسطح	۳/۵۷	۱/۹۳
۲	شمال	۹/۶۶	۵/۲۲
۳	شمال شرق	۸/۸۱	۴/۷۶
۴	شرق	۷/۴۳	۴/۰۱
۵	جنوب شرق	۹/۴۳	۵/۰۹
۶	جنوب	۱۲/۴۴	۶/۷۲
۷	جنوب غرب	۱۹/۰۹	۱۰/۳۱
۸	غرب	۱۵/۴۰	۸/۳۲
۹	شمال غرب	۱۴/۱۷	۷/۶۵
جمع	---	۱۰۰	۵۳/۹۹۶

قدیمی (Q^{11})، رسوبات آبرفتی جدید (Q^{12}) و رسوبات بستر رودخانه‌ها (Q^{al}) است (شکل ۶). درصد و مساحت هر یک از سازندهای منطقه مورد مطالعه در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳- وسعت و درصد گسترش واحدهای

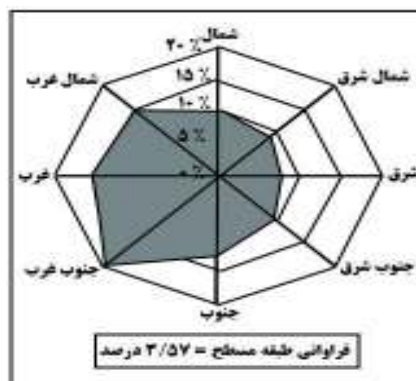
زمین‌شناسی حوضه بار نیشابور

واحد زمین‌شناسی	مساحت (km^2)	در صد گسترش
Jd	۲۲/۳۹۴	۴۱/۵
Jl	۱۵/۵۶۰	۲۸/۸
J sh.s	۴/۹۷۸	۹/۲
Q^{al}	۲/۳۸۲	۴/۴
Q^{11}	۳/۹۱۸	۷/۳
Q^{12}	۴/۷۶۳	۸/۸
مجموع	۵۳/۹۹۶	۱۰۰

مأخذ: نگارندگان

- کاربری اراضی

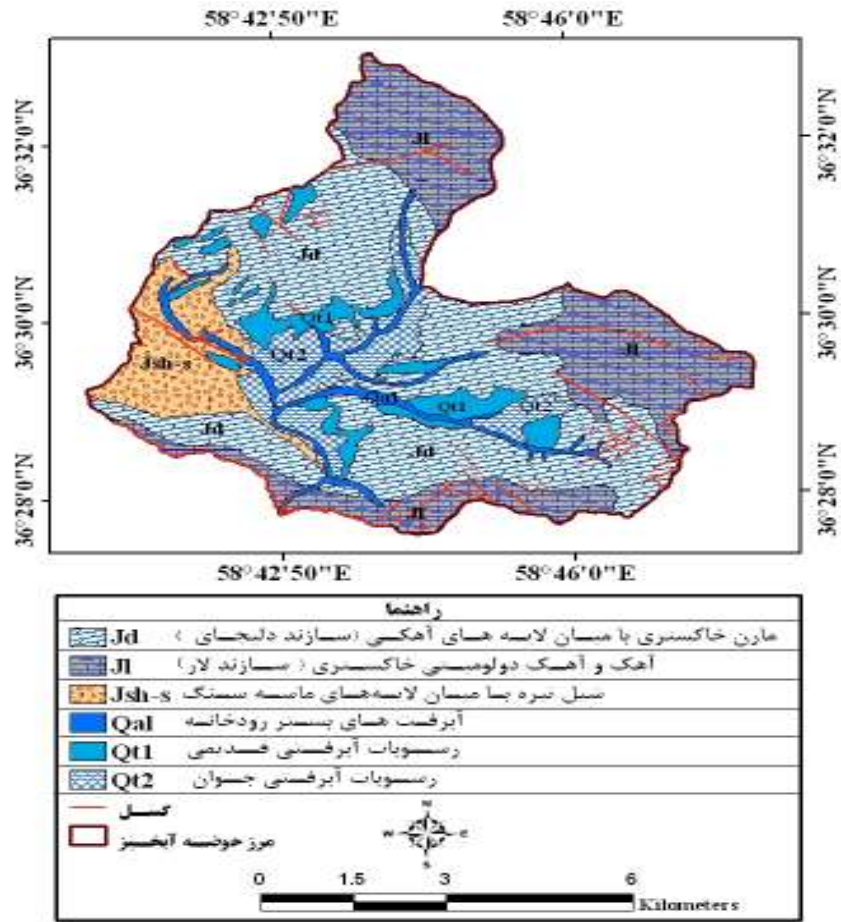
بر اساس مطالعات صورت گرفته ۶ نوع عمده از کاربری را با عنوان‌های مرتع (RL)، دیم‌زار (Df)، اراضی آبی و باغی (IFG)، مسیل (M)، اراضی صخره‌ای (R) و روستا (V) را در این منطقه می‌توان تشخیص داد (شکل ۷). به‌طور کلی کاربری اصلی رایج در منطقه مورد مطالعه، مرتع است که ۳۶/۴۳۶ کیلومتر مربع معادل ۶۳/۸ درصد از مساحت کل حوضه را در بر می‌گیرد. مساحت هر یک از کاربری اراضی مورد مطالعه در جدول (۴) آمده است.



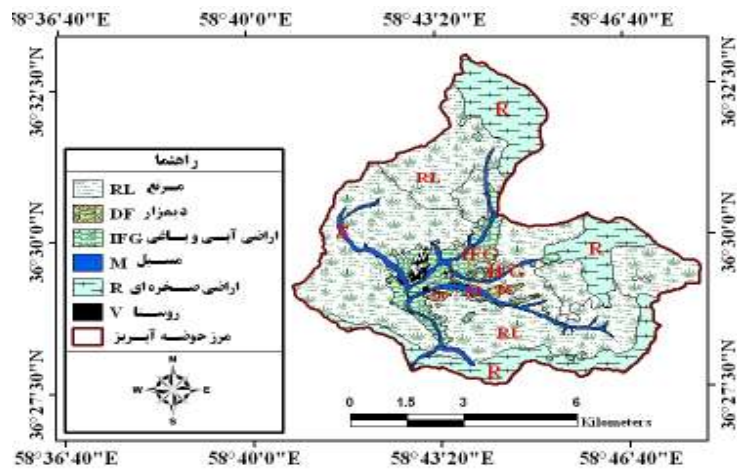
شکل ۵- فراوانی طبقات جهت شیب

- لیتولوژی

منطقه مورد مطالعه از لیتولوژی متنوعی برخوردار است و این عامل که شاید بتوان آن را مهمترین عامل بر شمرده، تأثیر به‌سزایی در تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش دارد. بیشترین حساسیت به لغزش در مناطقی است که سازندها حاوی سنگ‌های مارنی و آهکی هستند که در اثر جذب آب و رطوبت در کانیهای رسی، علاوه بر افزایش وزن، انبساط حجم پیدا کرده و موجب اکثر لغزش‌ها در منطقه می‌شوند. لیکن از حدود ۳۲ لغزش رخ داده در حوضه ۱۷ زمین‌لغزش در این سازند شناسایی شده است. واحدهای چینه‌شناسی سنگی (Litho stratigraphic unit) به ترتیب از قدیمی‌ترین تا جوان‌ترین آن از نظر لیتولوژی و چینه‌شناسی شامل سازند آهکی لار (Lar Formation)، سازند دلچای (Dlichai Formation)، شیل و ماسه ژوراسیک ($J^{sh.s}$)، رسوبات آبرفتی



شکل ۶- لیتولوژی حوضه آبخیز بار نیشابور



شکل ۷- کاربری اراضی حوضه آبخیز بار نیشابور

جدول ۴- درصد و مساحت کاربری اراضی حوضه بار

نیشابور

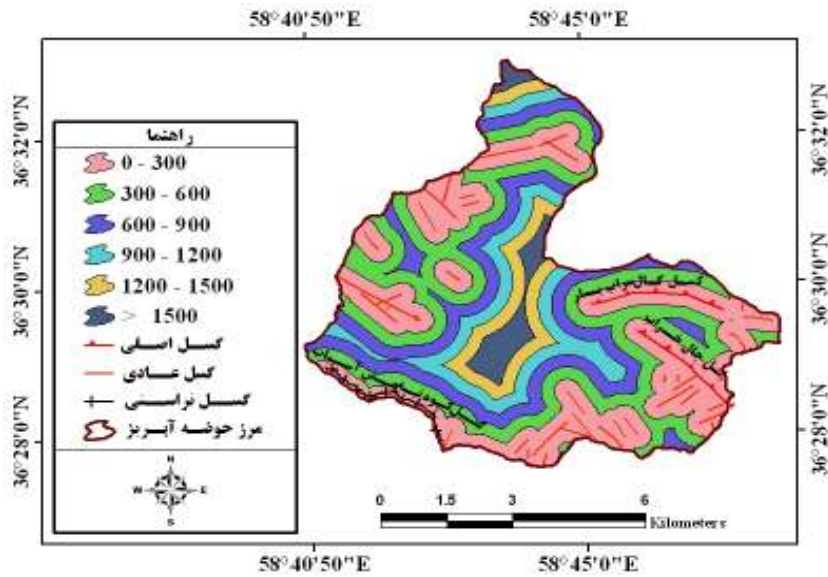
نوع کاربری	مساحت به هکتار	درصد مساحت
مرتع	۳۴۴۳/۶	۶۳/۸
دیمزار	۶۶/۱	۱/۲
اراضی آبی و باغی	۴۱۳/۳	۷/۷
مسیل	۲۳۸/۶	۴/۴
اراضی صخره‌ای	۱۲۱۷/۵	۲۲/۵
آبادی و روستا	۲۰/۶	۰/۴
جمع کل اراضی	۵۳۹۹/۷	۱۰۰

مأخذ: نگارندگان

- فاصله از گسل

از جمله اصلی‌ترین گسل‌های موجود در محدوده منطقه مورد مطالعه می‌توان به موارد فوق اشاره کرد؛ الف) گسل عادی کال سراب بار: گسل فوق با راستای غربی - شرقی بر روی نهشته‌های آهکی سازند لار، امتداد دارد. طول تقریبی آن حدود ۴ کیلومتر است. قسمتی از امتداد غربی این گسل بر روی سازند دلیچای کشیده شده است و کتتاکت این دو سازند را به صورت گسلی نشان می‌دهد. موقعیت قرارگیری این گسل در بخش غربی حوضه است. ب) گسل عادی چال خراب: راستای این گسل شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد که به طول کمتر از ۴ کیلومتر در جنوب غرب حوضه، بر روی نهشته‌های سازند لار و دلیچای گسترش دارد. تحت تأثیر عملکرد این

گسل، گسل‌های فرعی دیگری نیز در منطقه فعال شده‌اند که دره‌های گسلی پدیده آمده در منطقه را می‌توان از آن جمله برشمرد. همچنین برخی از مناطق مستعد لغزش در اثر فعالیت این گسل‌ها به مناطق حساس به لغزش با خطر ریسک بالا تبدیل شده‌اند. ج) گسل تراستی کوه تیغ پیش آسیاب: راستای عملکرد این گسل شمال شرقی - جنوب غربی است که به طول تقریبی ۵ کیلومتر در جنوب حوضه و کاملاً منطبق بر مرز حوضه فعال می‌باشد. د) گسل‌های فرعی: طول این گسل‌ها کم می‌باشد و بیشتر در لایه‌های زمین‌شناسی سازند لار و دلیچای به وجود آمده است. به علت تناوب لایه‌های سخت و نرم و عدم پایداری شیب‌ها و دامنه آبراهه‌ها، گسل‌های کوچکتری نیز در نتیجه زمین‌لغزش‌ها ایجاد گردیده است. به طور کلی، بررسی دیگر امتداد طولی گسل‌ها و سیستم‌های شکستگی اصلی این مناطق، حاکی از این واقعیت است که روند شمال غرب، جنوب شرق، روند غالب است و منطبق با ساختمان‌های چین خورده حوضه می‌باشد. در این پژوهش فاصله از گسل (بافر گسل) تهیه و به ۶ کلاس با فواصل ۳۰۰ متر طبقه‌بندی گردید (شکل ۸). این تقسیم‌بندی به وسیله گومز (۲۰۰۲) به کار برده شده است (گومز، ۲۰۰۲: ۱۷۵).

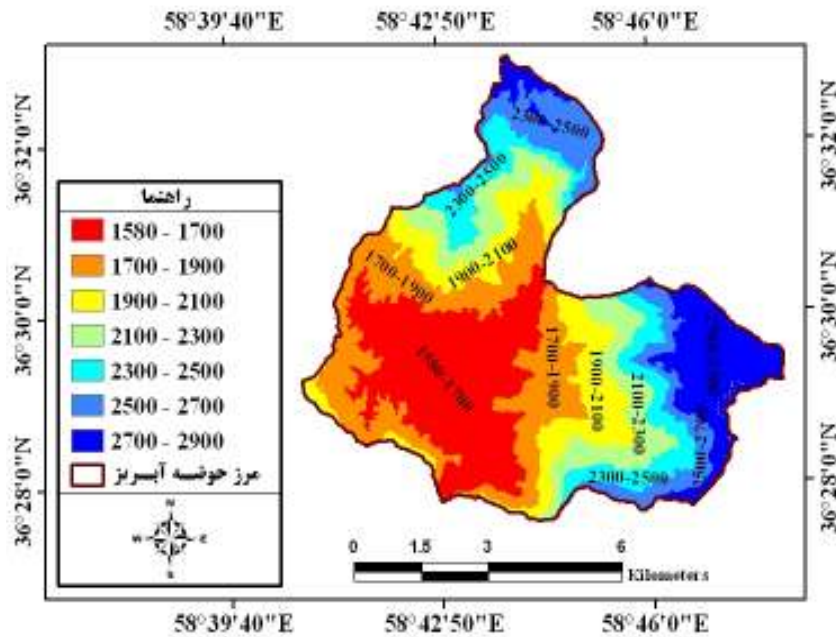


شکل ۸- فاصله از گسل در حوضه آبخیز بار نیشابور

مدل ارتفاع رقومی (DEM)

میزان شیب دامنه‌ها تأثیر قابل توجهی دارد (حسین زاده و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۹). به منظور بیان ارتباط بین عامل ارتفاع و زمین‌لغزش‌های رخ داده، نقشه مدل ارتفاع رقومی منطقه در ۷ کلاس در محیط نرم افزاری GIS تهیه گردید (شکل ۹).

برخی از محققین از ارتفاع به عنوان یک عامل کنترلی در وقوع زمین‌لغزش‌ها استفاده می‌کنند (یلماز، ۲۰۰۹: ۱۱۲۷). این عامل، جهت آبراهه‌ها و میزان تراکم زهکشی را کنترل می‌کند و در میزان رطوبت خاک و



شکل ۹- مدل ارتفاع رقومی (DEM) حوضه آبخیز بار نیشابور

- هم‌باران

برای تعیین تغییرات بارندگی متوسط سالانه نسبت به ارتفاع در منطقه مورد مطالعه، مقادیر متوسط سالانه بارندگی و ارتفاع ۱۱ ایستگاه باران سنجی مورد استفاده قرار گرفت و رابطه همبستگی ارتفاع و بارندگی در سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱ به دست آمد (نمودار ۱). سپس با استفاده از معادله گرادیان بارندگی سالیانه خطوط هم‌باران در محیط GIS با اختلاف ۵۰ میلی‌متر ترسیم گردید (شکل ۱۰).

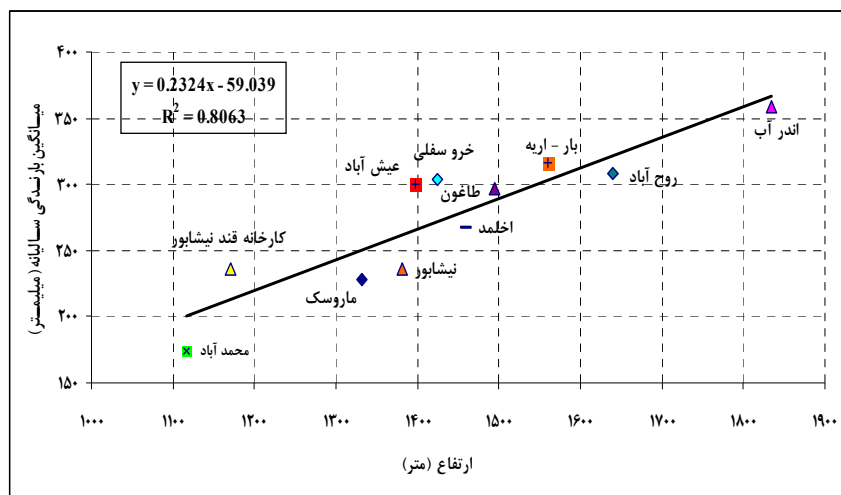
رابطه‌ی (۷)

$$P = 0/2324 H - 59/039$$

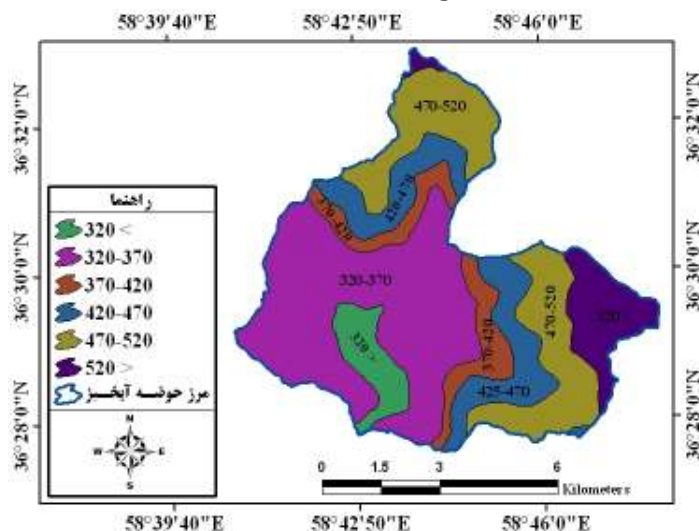
$$R^2 = 0/8063$$

$$n = 11$$

که در این رابطه؛ H: ارتفاع متوسط از سطح دریا (متر)، P: بارندگی سالانه (میلی‌متر)، R: ضریب همبستگی، n: تعداد ایستگاه‌های مشارکت‌کننده در گرادیان باران است.



نمودار ۱- همبستگی بین ارتفاع و بارندگی سالیانه در حوضه آبخیز بار نیشابور



شکل ۱۰- خطوط هم‌باران حوضه آبخیز بار نیشابور

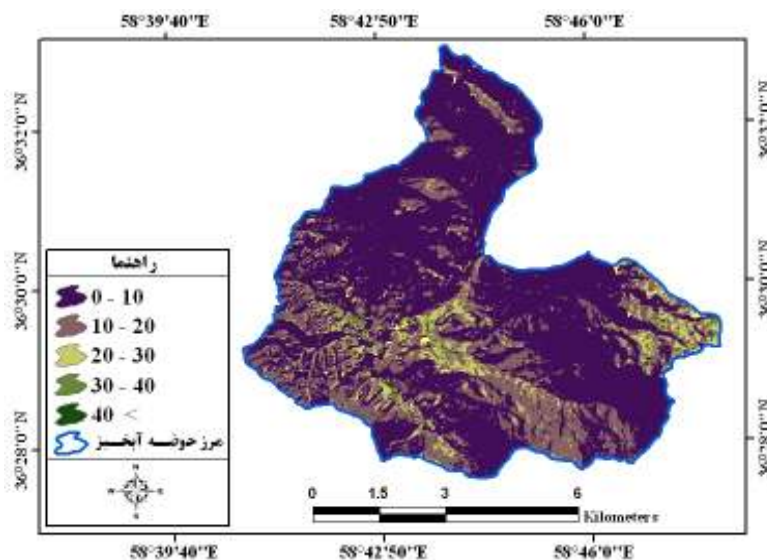
یلماز (Yilmaz)، ۲۰۰۹؛ پودیال و همکاران (Poudyal et al)، ۲۰۱۰؛ رگمی و همکاران، ۲۰۱۰). شکل (۱۱) نقشه شاخص رطوبتی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

$$CTI = \ln\left(\frac{A_s}{\tan \beta}\right) \quad (۸)$$

که در آن؛ A_s : مساحت حوضه آبخیز، β : گرادیان شیب بر حسب درجه می باشد.

– شاخص رطوبت (Compound Topographic Index) (CTI)

شاخص ترکیب پستی و بلندی بوده که نسبت بین شیب‌ها را در حوضه به نمایش می‌گذارد، و به شاخص خیسی (Topographic Withness Index) (WI) نیز معروف است. شاخص رطوبتی، شاخصی از توزیع مکانی رطوبت خاک در طول چشم انداز زمین است که به وسیله رابطه‌ی شماره‌ی ۸ قابل محاسبه است (مور و همکاران، ۱۹۹۳؛ نفیسلی اغلو و همکاران (Nefeslioglu et al)، ۲۰۰۸؛



شکل ۱۱- شاخص رطوبت حوضه آبخیز بار نیشابور

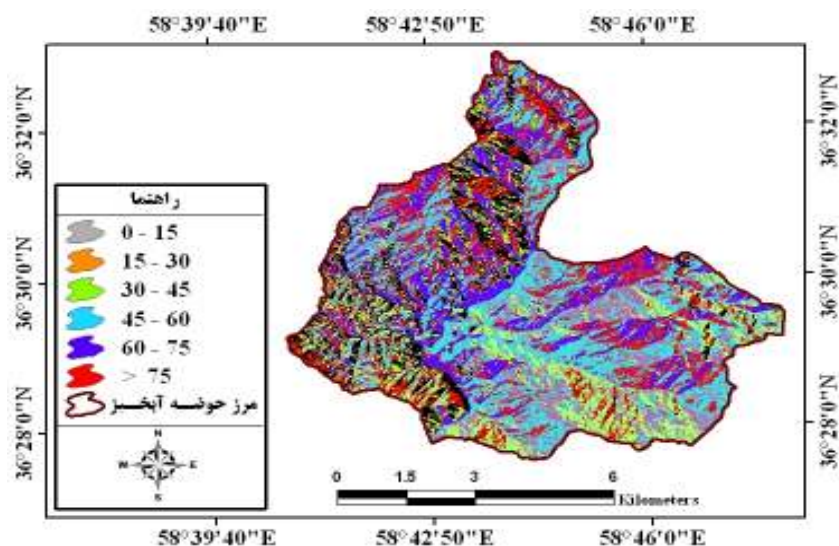
مذکور از طریق توابع موجود در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و با داشتن نقشه خطای انباشتگی^۲ با توجه به رابطه‌ی (۹) محاسبه گردید (شکل ۱۲).

$$SPI = A_s \cdot \tan \beta \quad (۹)$$

که در آن؛ A_s : مساحت حوضه آبخیز، β : گرادیان شیب بر حسب درجه است.

– شاخص توان آبراهه^۱ (SPI)

این شاخص نسبت بین مساحت بالادست یک نقطه و شیب زمین در بالادست آن را به گونه‌ای نشان می‌دهد که نیمرخ عرضی و نیمرخ طولی آبراهه را منعکس می‌کند (وان، ۲۰۰۲؛ ۱۷؛ رگمی و همکاران، ۲۰۱۰؛ ۱۷۵). از سوی دیگر مناطق دارای تجمع رسوب را نشان می‌دهد (ملکی و همکاران، ۱۳۹۱؛ ۲۷). شاخص

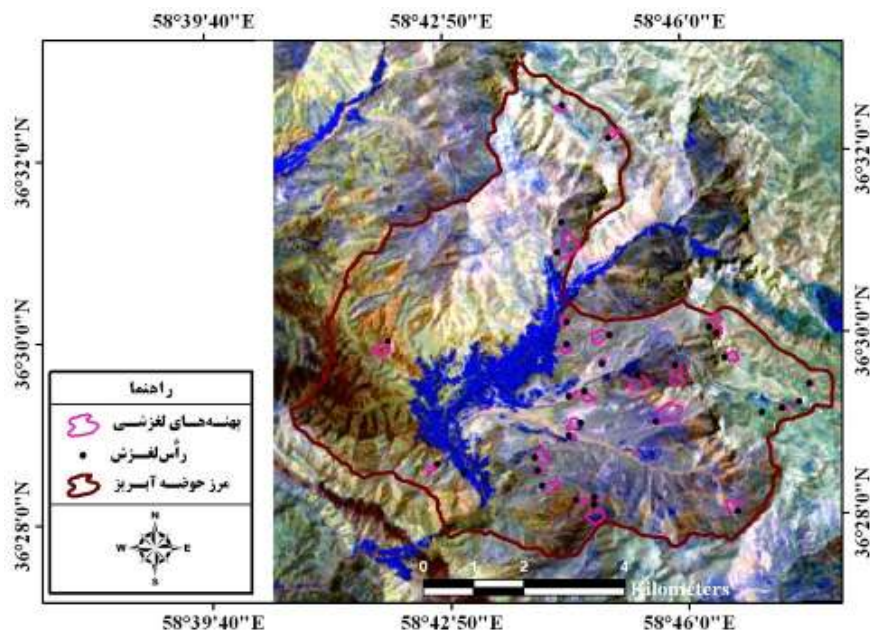


شکل ۱۲- شاخص توان آبراهه حوضه آبخیز بار نیشابور

بررسی زمین‌لغزش‌های رخ داده در حوضه

برای بررسی ارتباط عوامل تأثیر گذار بر وقوع لغزش در حوضه آبخیز بار بعد از تهیه نقشه‌های این عوامل و با تلفیق این نقشه‌ها با نقشه نقاط لغزشی منطقه

(شکل ۱۳)، پراکندگی نقاط لغزشی نسبت به عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش در محیط نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بررسی شده است (جدول ۵).



شکل ۱۳- پراکنش زمین‌لغزش‌ها در حوضه آبخیز بار نیشابور

جدول ۵- بررسی ارتباط بین عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش با نقاط لغزشی با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه

عامل	کلاس	تعداد تپیکسل‌های فاصله لغزش	تعداد تپیکسل‌های لغزشی	درصد لغزش	W^+	W^-	C	$S^2(W^+)$	$S^2(W^-)$	S(C)	C/S(C)
شیب (درجه)	۰-۵	۴۶۸۳	۷۲	۲۸/۱	-۱/۱۴۰۹	۰/۰۵۹۶	-۱/۲۱۰۴	۰/۰۱۹۸	۰/۰۰۳۵	۱۵۲۶/۰	۷/۹۳۱۸۰
	۵-۱۵	۳۷۲۱	۶۹	۲۵/۳۰	-۱/۳۹۶۸	۰/۰۶۵۵	۰/۵۶۲۲	۰/۱۵۷۸	۰/۰۰۴۲	۴۰۲۴۰/۰	۳۹۷۱/۱
	۱۵-۳۰	۲۱۵۳	۶۱	۲۲/۵۳	۰/۱۸۸۲	-۰/۰۴۸۰	۰/۲۵۶۲	۰/۰۳۵۴	۰/۰۰۲۳	۱۹۴۱۰/۰	۳۱۹۹/۱
	۳۰-۴۵	۱۹۸۳	۴۸	۱۶/۰۳	۰/۲۰۷۶	-۰/۰۱۱۲	۰/۲۱۸۸	۰/۴۳۰/۰	۰/۰۰۱/۰	۲۰۷۶۰/۰	۰۵۳۹/۱
	۴۵-۵۵	۱۵۳۲	۹	۵/۰۱	۰/۰۸۴۸	۰/۰۰۱۷	-۱/۰۸۷۵	۰/۰۷۱/۰	۰	۰۸۴۲۰/۰	-۱/۰۲۹۱
>۵۵	۱۴۳۰	۵	۳/۰۳	-۱/۶۲۸۵	۰/۰۰۴۷	-۱/۶۴۳۲	۳۹۵۰/۰	۰	۳۹۵۰/۰	۶۲۸۳/۱	
جهت شیب	شمال	۳۳۶۹	۴۵	۱۷/۳۱	-۱/۵۳۰۲	۰/۰۹۲۵	-۱/۶۱۲۷	۲۸۱۱/۰	۰۰۸۵/۰	۵۳۸۱/۰	۹۹۷۰/۲
	شمال شرقی	۱۲۷۸	۱۹	۸/۶۰	-۱/۳۲۷۰	۰/۰۹۰۰	-۱/۳۲۷۸	۱۰۶۹/۰	۰۰۸۱/۰	۳۳۹۱/۰	۹۱۵۶/۳
	شرق	۱۰۹۱	۸	۴	-۱/۰۲۴۳	۰/۱۱۱۰	-۱/۱۳۶۱	۰۰۰۵/۰	۰۱۲۳/۰	۱۱۳۱/۰	۰۴۵/۱۰
	جنوب شرقی	۲۲۲۹	۳۸	۱۲/۳۱	۰/۲۴۷۰	-۰/۰۵۷۱	۰/۳۰۴۱	۰۶۱۰/۰	۰۰۳۲/۰	۲۵۳۲/۰	۲۰۰۵/۱
	جنوب	۲۲۳۸	۳۹	۱۳/۷۵	۱/۲۸۲۶	-۰/۳۳۳۰	۱/۵۲۶۶	۰۷۹۸/۰	۰۰۷۹/۰	۱۱۰۸/۰	۴۹۷۳/۳
	جنوب غربی	۱۶۵۵	۲۴	۱۰/۰۱	-۰/۲۱۴۲	۰/۰۲۴۴	-۰/۳۳۹۷	۰۴۵۸/۰	۰۰۰۵/۰	۲۱۵۱/۰	۱۱۴۳/۱
	غرب	۲۲۲۱	۳۷	۱۳/۳۳	-۰/۶۱۹۶	۰/۰۸۰۴	-۰/۷۱۰۰	۳۸۳۹/۰	۰۰۶۴/۰	۶۶۴۷/۰	۱۳۶۵/۱
شکل شیب	شمال غرب	۲۴۲۱	۵۴	۲۰/۷	۰/۳۳۷۵	-۰/۰۶۷۱	۰/۴۰۴۶	۱۱۳۹/۰	۰۰۴۵/۰	۳۴۴۰/۰	۱۷۶۱/۱
	مقعور	۷۵۱۳	۱۵۹	۵۲/۶۷	-۰/۵۳۵۶	۰/۷۲۷۲	-۱/۲۷۲۸	۲۸۶۷/۰	۰۲۸۸/۰	۵۲۸۸/۰	۴۰۹۳/۱
طبقات ارتفاعی	محدب	۷۹۸۹	۱۰۵	۴۷/۳۳	۰/۷۲۷۲	-۰/۵۳۵۶	۱/۲۷۲۸	۲۸۶۷/۰	۰۲۸۸/۰	۵۲۸۸/۰	۴۰۹۳/۱
	۱۵۰-۱۷۰۰	۳۸۷۱	۹۸	۳۹/۸۲	۰/۲۴۱۲	-۰/۰۴۱۲	۰/۲۸۲۱	۰۵۸۱/۰	۰۰۱۶/۰	۲۴۴۳/۰	۱۵۴۷/۱
	۱۷۰۰-۱۹۰۰	۳۶۳۲	۹۷	۳۸/۰۱	۰/۳۲۵۷	-۰/۰۴۶۷	۰/۳۷۱۵	۱۰۶۰/۰	۰۰۲۱/۰	۳۲۸۷/۰	۱۳۰۲/۱
	۱۹۰۰-۲۱۰۰	۲۹۷۰	۴۷	۱۱/۷	-۰/۴۵۷۱	۰/۰۴۰۲	-۰/۴۹۷۲	۲۰۸۹/۰	۰۰۱۶/۰	۲۱۰۵/۰	۳۶۱۹/۲
	۲۱۰۰-۲۳۰۰	۱۹۷۷	۱۱	۵/۱۴	-۰/۵۵۰۰	۰/۰۱۹۰	-۰/۵۷۰۰	۳۰۲۵/۰	۰۰۰۳/۰	۳۰۲۸/۰	۸۸۲۴/۱
	۲۳۰۰-۲۵۰۰	۱۸۶۲	۷	۳/۷۳	-۰/۱۱۵۵	۰/۰۰۲۴	-۰/۱۱۷۸	۰۱۳۳/۰	۰	۱۱۵۳/۰	۰۲۱۶/۱
	۲۵۰۰-۲۷۰۰	۱۱۹۰	۴	۱/۷	-۰/۴۱۸۰	۰/۰۰۲۵	-۰/۴۲۰۰	۱۷۴۷/۰	۰	۴۱۷۹/۰	۰۰۵۰/۱
	۲۷۰۰-۲۹۰۰	۰	۰	۰	-۱/۱۲۳۱	۰/۰۰۲۸	-۱/۱۲۴۴	۰۱۵۱/۰	۰	۱۲۳۸/۰	۱۵۶۳/۹
	۲۹۰۰-۳۱۰۰	۶۶۵۷	۱۸۴	۵۶/۴۲	۱/۰۲۴۵	۰/۱۰۶۲	۱/۱۴۰۷	۰۰۰۷/۰	۰۰۰۳/۰	۱۰۸۶/۰	۵۰۳۳/۱۰
	۳۱۰۰-۳۳۰۰	۳۳۰۲	۳۹	۱۹/۲۹	۱/۴۱۵۵	-۰/۱۷۴۹	۱/۶۰۰۴	۱۷۲۷/۰	۰۳۰۵/۰	۴۵۰۶/۰	۵۵۱۷/۳
پهن‌روزی	Q ^{۱۰}	۱۹۵۳	۵	۲/۳۴	۰/۱۷۰۹	-۰/۰۸۵۰	۰/۲۶۵۳	۰۲۹۲/۰	۰۰۷۰/۰	۱۹۰۲/۰	۳۹۴۸/۱
	Q ^۹	۱۲۹۵	۵	۷/۳۱	۰/۶۵۴۵	-۰/۴۲۴۲	۱/۰۹۸۷	۴۲۸۳/۰	۱۷۹۹/۰	۷۷۹۹/۰	۱۶۶۵/۰
	Q ^۸	۲۲۷۴	۲۹	۱۳/۲۷	-۸/۸۷۴۹	۰/۰۵۰۹	-۸/۹۴۵۸	۷۶۵۴/۰	۰۰۲۵/۰	۸۷۶۲/۰	۲۰۹۷/۱۰
	Q ^۷	۱۰۳۸	۲	۱/۳۷	۰/۲۷۹۵	-۰/۴۳۲۴	۰/۷۲۱۹	۰۷۸۱/۰	۱۸۶۹/۰	۵۱۴۷/۰	۴۰۲۵/۱
	۰-۳۰۰	۴۸۷۰	۱۰۰	۳۳/۶۱	۰/۲۲۷۷	-۰/۱۳۱۱	۰/۳۶۸۹	۰۵۱۸/۰	۰۱۷۱/۰	۲۶۲۴/۰	۴۰۵۸/۱
فاصله از گسل	۳۰۰-۶۰۰	۳۹۳۶	۷۲	۲۷/۱۴	۱/۱۷۳۶	۰/۲۳۳۰	۱/۵۱۶۶	۰۳۰۱/۰	۰۵۴۲/۰	۲۹۰۳/۰	۲۴۲۲/۵
	۶۰۰-۹۰۰	۲۴۵۳	۴۲	۱۷/۵۳	-۰/۱۱۲۰	۰/۱۲۷۷	-۰/۲۴۸۸	۰۱۲۵/۰	۰۱۶۳/۰	۱۶۹۷/۰	۴۶۶۱/۱
	۹۰۰-۱۲۰۰	۹۸۶	۳	۱/۷۱	-۰/۱۸۶۳	۰/۰۰۷۹	-۰/۱۹۴۲	۰۳۴۷/۰	۰	۱۸۶۲/۰	۰۴۲۹/۱
	۱۲۰۰-۱۵۰۰	۱۰۷۲	۱۲	۴/۳۱	-۵/۶۵۰۲	۰/۰۰۲۲	-۵/۶۵۲۶	۴۲۲۷/۰	۰	۶۵۰۱/۰	۰۰۳۸/۱
	> ۱۵۰۰	۲۱۸۵	۳۵	۱۵/۷	-۰/۲۴۸۳	۰/۰۱۳۹	-۰/۲۶۳۳	۰۶۱۶/۰	۰۰۰۱/۰	۲۴۸۳/۰	۰۶۰۴/۱
	۳۲۵>	۴۶۰	۷	۲	-۰/۳۲۲۰	۰/۱۴۶۵	-۰/۴۷۸۹	۱۰۳۶/۰	۰۲۹۴/۰	۳۵۵/۰	۳۵۴۷/۱
میان باران	۳۲۵-۳۷۵	۱۸۹۲	۱۴	۷/۸۳	-۲/۴۰۱۵	۰/۰۴۹۵	-۲/۴۷۱۰	۱۶۱۲/۰	۰۰۲۴/۰	۴۰۴۴/۰	۱۱۰۲/۶
	۳۷۵-۴۲۵	۲۱۲۶	۴۳	۱۵/۲۱	-۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۱۳	-۰/۰۰۷۰	۰	۰	۰	۰
	۴۲۵-۴۷۵	۳۳۴۴	۶۱	۲۳/۹۲	-۵/۸۵۹۰	۰/۰۰۲۷	-۵/۸۷۳۰	۷۳۷۰/۰	۰	۸۵۸۹/۰	۸۳۷۸/۶
	۴۷۵-۵۲۵	۵۴۲۷	۱۰۲	۳۷/۸۰	۰/۳۵۸۲	-۰/۰۰۲۶	-۰/۶۸۰۸	۱۲۸۳/۰	۰۹۱۵/۰	۴۶۸۸/۰	۴۵۲۲/۱
< ۵۲۵	۲۲۳۳	۳۷	۱۳/۲۴	۰/۹۱۸۸	-۰/۰۰۸۰۹	۱/۰۰۹۸	۸۴۴۱/۰	۰۰۶۵/۰	۹۲۲۲/۰	۰۹۴۹/۱	

توصیفات پارامترهای هر عامل: W^+ : وزن مثبت هر طبقه از عوامل مؤثر بر لغزش با توجه به رابطه شماره ۴؛ W^- : وزن منفی هر طبقه از عوامل مؤثر بر لغزش با توجه به رابطه شماره ۵؛ C: تفاضل وزن‌های مثبت (W^+) و منفی (W^-)؛ $S^2(W^+)$ واریانس وزن W^+ ؛ $S^2(W^-)$ واریانس وزن W^- ؛ S(C) انحراف استاندارد؛ C/S(C) وزن نهایی استاندارد شده هر طبقه از عوامل مؤثر بر لغزش.

ادامه جدول ۵- بررسی ارتباط بین عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش با نقاط لغزشی با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه

عبارت	کلاس	میانگین پیوسته‌های فازهای لغزش	میانگین پیوسته‌های تغییراتی	درصد لغزش	W^+	W^-	C	$S^2(W^+)$	$S^2(W^-)$	S(C)	C/S(C)
کلیبرای رسمی	RL	۵۹۶۲	۱۵۸	۶۹٫۷۸	۱/۳۰۳۲	-۰/۱۶۷۹	۱/۴۷۰۳	۰۹۱۹/۰	۰۲۸۱/۰	۳۶۶۴/۰	۲۴۴۵/۴
	DF	۱۹۸۷	۱۷	۳/۲۹	-۰/۱۲۹۰	۰/۱۰۳۰	-۰/۲۳۲۱	۰۱۶۶/۰	۰۱۰۶/۰	۱۶۴۹/۰	۴۰۷۵/-۱
	IFG	۴۸۳۶	۶۴	۱۷/۳۱	۰/۲۵۷۳	-۰/۰۵۴۸	۰/۳۱۲۱	۰۶۶۲/۰	۰۰۳۰/۰	۲۶۳۰/۰	۱۸۶۷/۱
	M	۸۷۶	۶	۱/۰۲	-۱/۵۰۸۰	۰/۲۱۸۲	-۱/۸۱۶۳	۲۵۸۰/۰	۰۴۷۶/۰	۵۵۲۸/۰	۳۰۳۷/-۳
	R	۲۳۴۱	۱۹	۸/۶	۰/۸۹۲۰	۰/۰۷۷۹	۰/۸۱۴۱	۷۹۵۶/۰	۰۰۶۰/۰	۸۹۵۳/۰	۰۸۳۳/۱
شاخص رطوبت (CIT)	V	۰	۰	۰	-۷/۵۱۱۵	۰/۱۵۰	-۷/۵۳۶۶	۲۶۱۶/۰	۰۰۰۲/۰	۵۱۱۶/۰	۷۳۱۴/-۱۴
	۰-۱۰	۳۳۴۱	۴۹	۱۶/۷	-۰/۰۲۴۰	۰/۰۱۲۰	-۰/۰۳۷۰	۰۰۰۵/۰	۰۰۰۱/۰	۰۲۴۴/۰	۵۱۶۳/-۱
	۱۰-۲۰	۵۷۱۷	۱۲۷	۴۳/۱۴	۰/۱۷۰۲	-۰/۰۳۶۰	۰/۲۱۶۲	۰۲۸۹/۰	۰۰۱۳/۰	۱۷۳۴/۰	۲۴۶۸/۱
	۲۰-۳۰	۴۴۵۵	۷۲	۳۷/۱	۰/۱۶۸۳	-۰/۰۱۸۰	۰/۱۹۶۳	۰۰۱۲/۰	۰۰۰۳/۰	۰۳۸۷/۰	۰۷۲۳/۵
	۳۰-۴۰	۱۰۰۰۷	۱۱	۲	-۰/۲۴۷۰	۰/۰۰۹۱	-۰/۰۳۵۶۱	۰۶۱۰/۰	۰	۲۴۶۹/۰	۴۴۲۲/-۱
شاخص توان آبراهه (SPI)	۴۰ <	۹۸۲	۵	۱/۰۶	-۱/۳۱۷۰	۰/۰۰۹۰	-۱/۴۱۶۲	۱۰۰۴/۰	۰	۳۱۶۸/۰	۴۷۰۳/-۴
	۰-۱۵	۳۹۸۷	۸۲	۲۴/۸۵	-۱/۰۲۴۵	۰/۱۰۷۲	۱۳۱۷/-۱	۰۰۰۶/۰	۰۱۱۴/۰	۱۰۹۵/۰	۳۳۵۱/-۱۰
	۱۵-۳۰	۲۹۸۵	۵۱	۱۹/۳۸	-۱/۰۴۱۵	۰/۱۸۴۹	۲۲۶۴/-۱	۰۰۱۷/۰	۰۳۴۱/۰	۱۸۹۲/۰	۴۸۲/-۶
	۳۰-۴۵	۲۵۳۴	۴۹	۱۸/۰۱	۰/۲۸۰۹	-۰/۰۹۴۰	۳۷۴۹/۰	۰۷۸۹/۰	۰۰۸۸/۰	۲۹۶۱/۰	۲۶۶۱/۱
	۴۵-۶۰	۱۹۸۱	۲۱	۱۰/۲۲	۰/۳۶۵۵	-۰/۰۳۳۱	۶۹۶۶/۰	۱۳۳۸/۰	۱۱۰۲/۰	۴۹۲۹/۰	۴۱۳۲/۱
	۶۰-۷۵	۱۰۴۱	۱۱	۸/۷۵	-۷/۸۹۴۹	۰/۰۶۰۹	۹۵۵۸-۷	۸۰۰۸/۰	۰۰۳۷/۰	۸۹۶۹/۰	۸۷۰۲/-۸
	>۷۵	۲۹۷۴	۵۰	۱۸/۶۹	۰/۳۴۷۰	-۰/۰۵۷۱	۴۰۴۱/۰	۱۲۰۴/۰	۰۰۳۲/۰	۳۵۱۵/۰	۱۴۹۶/۱

توصیفات پارامترهای هر عامل: W^+ وزن مثبت هر طبقه از عوامل مؤثر بر لغزش با توجه به رابطه شماره ۴؛ W^- وزن منفی هر طبقه از عوامل مؤثر بر لغزش با توجه به رابطه شماره ۵؛ C: تقاضای وزن‌های مثبت (W^+) و منفی (W^-)؛ $S^2(W^+)$ و $S^2(W^-)$ واریانس وزن (W^+) و $S(C)$: انحراف استاندارد؛ C/S(C): وزن نهایی استاندارد شده هر طبقه از عوامل مؤثر بر لغزش.

مأخذ: نگارندگان

همکاران، ۲۰۰۳). جهت حل این مشکل ۷۰ درصد از نقاط لغزشی برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد باقیمانده برای ارزیابی مدل مذکور مورد استفاده قرار گرفت (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۸۸؛ کلسی و همکاران، ۲۰۰۶؛ کونستانین، ۲۰۱۰). سپس با استفاده از منحنی راک (ROC^1) صحت نقشه‌های تهیه شده مورد تأیید قرار گرفت (نفسلی اغلو و همکاران، ۲۰۰۸؛ رگمی و همکاران، ۲۰۱۰؛ زو و همکاران، ۲۰۰۹). در نهایت نقشه‌ای که دارای بیشترین دقت بود به عنوان نقشه نهایی حساسیت خطر

ارزیابی نقشه‌ی پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش در روش احتمالاتی وزن واقعه برای وزن‌دهی به لایه‌های مختلف اطلاعاتی، از نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه استفاده شد. بعد از تهیه نقشه‌های وزنی بر اساس روابط مدل، نقشه حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش تهیه گردید و بر اساس شکستگی‌های طبیعی^۱ به چهار کلاس (خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) طبقه‌بندی شد. لذا نمی‌توان جهت ارزیابی نقشه‌های مورد نظر و تعیین دقت آنها، از نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه استفاده کرد (کوماک^۲، ۲۰۰۶؛ رمندو^۳ و

3. Remendo

4. Clerici

5. Constantin

6. Relative Operating Characteristics

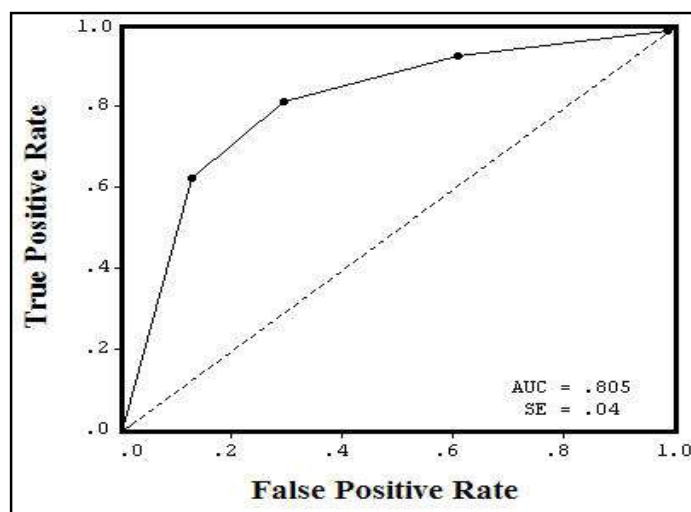
1. Natural Breaks

2. Komac

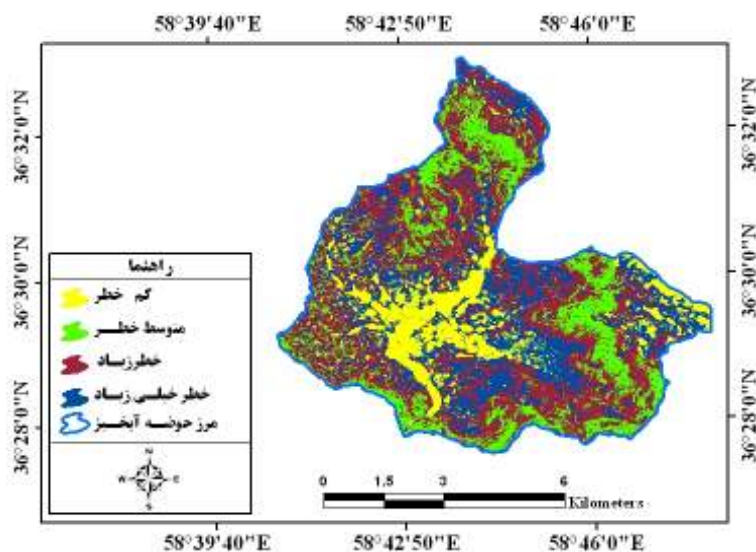
رخداد لغزشی را بهتر از دیدگاه احتمالی (تصادفی) تخمین زند مقدار زیر منحنی آن $0/5$ است و زمانی که سطح زیر منحنی برابر با یک باشد بیانگر بهترین دقت از نقشه تهیه شده است. همبستگی کیفی - کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین به صورت $(1 - 0/9)$ ، عالی؛ $0/8 - 0/9$ خیلی خوب؛ $0/8 - 0/7$ ، خوب؛ $0/7 - 0/6$ ، متوسط؛ $0/6 - 0/5$ ، ضعیف) است (زو و همکاران، $2009: 345$ ؛ یسلنی کار (Yesilnacar)، $2005: 237$). بر اساس نتایج منحنی راک، مقدار سطح زیر منحنی در منطقه مورد مطالعه $0/805$ ($80/5$ درصد) با انحراف استاندارد $0/04$ برآورد گردید. شکل (۱۴) نشان دهنده ارزیابی خیلی خوب مدل احتمالاتی وزن واقعه برای حساسیت زمین‌لغزش در حوضه آبخیز بار است.

زمین‌لغزش برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد شد (شکل ۱۵). منحنی راک یکی از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش بینی سیستم‌ها است که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند (وان، $2002: 14$ ؛ اسویتس (Swets)، $1988: 1287$). در

حقیقت منحنی راک یک نمایش گرافیکی از موازنه Trade off^۹ بین نرخ خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از برش‌ها (Cut off) است. سطح زیر منحنی (Area Under Curve) AUC، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع لغزش) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع لغزش) است. ایده‌آل‌ترین مدل، بیشترین سطح زیر منحنی را دارد و مقادیر (AUC) از $0/5$ تا ۱ متغیر است. چنانچه مدل نتواند



شکل ۱۴- منحنی راک و سطح زیر منحنی مربوط به دقت نقشه حساسیت پهنه‌بندی زمین‌لغزش در حوضه آبخیز بار



شکل ۱۵- نقشه پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه در حوضه آبخیز بار کمتر و یا لیتولوژی مقاوم در ارتفاعات بالاتر است. از

نتایج‌گیری بین سازندهای زمین‌شناسی، سازند دلیچای(مارن خاکستری با میان لایه‌های آهکی) بیشترین وزن (۱۰/۵۰۳۶) را به خود اختصاص داده که دلیل این امر جذب آب بیشتر و آبگذری کمتر و در نتیجه اشباع راحت‌تر این نوع سازند است. ارتباط کاربری اراضی و وقوع زمین‌لغزش نشان می‌دهد کاربری‌های مرتع و اراضی آبی و باغی دارای بیشترین حساسیت نسبت به وقوع زمین‌لغزش هستند. نتایج فاصله از گسل نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌ها در فواصل ۰-۳۰۰ و ۳۰۰-۶۰۰ متر اتفاق افتاده که بیانگر همبستگی وقوع زمین‌لغزش با حریم گسل است. بررسی عامل بارش در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌ها منطقه زمانی اتفاق می‌افتد که بارندگی در منطقه بیشتر می‌شود که بیانگر حساسیت بالای چشم انداز به عامل بارش در منطقه است. نتایج تحلیل شاخص رطوبت و شاخص توان آبراهه به ترتیب مربوط به طبقه‌های ۲۰-۳۰ (۵/۰۷۲۳) و ۴۵-۶۰ (۱/۴۱۳۲) است. ارزیابی مدل با استفاده از منحنی راک صورت پذیرفت و دقت مدل احتمالاتی تهیه شده در منطقه، ۷۶/۵۱ درصد

نتایج به‌دست آمده از ارتباط هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع لغزش و نقشه تهیه شده با استفاده از تئوری احتمالاتی بیزین نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های منطقه در کلاس شیب ۳۰-۱۵ درجه رخ داده است. در شیب‌های کم برآیند نیروها به‌صورتی است که نیروی مقاوم(عمودی) بیشتر از نیروی محرکه(افقی) بوده و شرایط وقوع زمین‌لغزش فراهم نمی‌شود و در شیب‌های زیاد نیز خاک کافی برای وقوع زمین‌لغزش وجود ندارد. بررسی جهت شیب نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های منطقه در جهت‌های جنوب و جنوب شرقی رخ داده است. بررسی شکل شیب نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های منطقه در شیب‌های محدب رخ داده است و این عامل می‌تواند نقش به‌سزایی در همگرایی و واگرایی جریان انتقالی از بالادست حوضه به پایین دست داشته باشد. نتایج طبقات ارتفاعی نشان داد که کلاس ارتفاعی ۱۷۰۰-۱۵۸۰ متر بیشترین وزن (۱/۱۵۴۷) را به خود اختصاص داده است و همراه با افزایش ارتفاع، میزان حساسیت به لغزش کم شده است که این موضوع نشان دهنده دخالت‌های انسانی

پهنه‌بندی ریسک وقوع حرکات توده‌ای با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: محدوده مسیر سندنج- دهگلان)، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال سوم، شماره ۱۱، صص ۳۷-۲۷.

سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، (۱۳۸۹)، فهرست زمین‌لغزش‌های کشور، گروه مطالعه امور زمین‌لغزش‌ها، شهریور ماه ۱۳۸۹.

شهابی، معصومه، سعدالدین، امیر، (۱۳۸۸)، شبکه تصمیم بیزین رهیافتی برای پیش‌بینی اثرات اقدامات خشکسالی بر روی اراضی کشت دیم در استان گلستان، مجموعه مقالات پنجمین همایش ملی آبخیزداری ایران، ۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۸۸، گرگان، ایران، صص ۳۱۴۹-۳۱۴۰.

ملکی، امجد، میلادی، بهزاد، (۱۳۹۱)، شبیه‌سازی مناطق مستعد خندق‌زایی با استفاده از روش SPI در حوضه رودخانه مرگ، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳، صص ۳۸-۲۳.

نیازی، یعقوب، اختصاصی، محمدرضا، طالبی، علی، آرخی، صالح، مختاری، محمدحسین، (۱۳۸۹)، ارزیابی کارایی مدل آماری دو متغیره، در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه سد ایلام)، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ش ۱۰، بهار ۱۳۸۹، صص ۲۰-۹.

Ayala, I., (2002). *Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disasters in Developing Countries*, Geomorphology, Vol.47, PP.107-124.

Bui, H.B., Nguyen, Q., Nguyen, V.T., (2008). GIS-based Weight of Evidence Modeling for Landslide Susceptibility Mapping at Jaechon Area, Korea. In: International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences.

Castelletti, A., Soncini-Sessa, R., (2006). Bayesian Networks and participatory modeling in water resource management. *Environmental Modeling & Software*, No.22, PP.1075-1088.

Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., Vescovi, P., (2006). A GIS-based automated procedure for landslide susceptibility mapping by the conditional analysis method: the Baganza valley

(خیلی خوب) برآورد گردید. با توجه به نقشه حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش، مشخص گردید که ۴۵/۸۸، ۴۰/۱۸، ۵۲/۱۴ و ۲۶/۱۵ درصد از مساحت منطقه به ترتیب در کلاس‌های خطر کم، متوسط، خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان داد که مهمترین عوامل مؤثر در ناپایداری شیب‌های منطقه عامل لیتولوژی و فاصله از گسل و شاخص رطوبت است، همچنین همبستگی بالایی بین نقشه حساسیت تهیه شده با نقاط لغزشی وجود دارد و می‌توان از این روش جهت ارزیابی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه استفاده کرد.

منابع

پورقاسمی، حمیدرضا، مرادی، حمیدرضا، محمدی، مجید، (۱۳۸۹)، پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه، مجله مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، سال یکم، شماره ۳، صص ۸۰-۶۹.

پورقاسمی، حمیدرضا، مرادی، حمیدرضا، محمدی، مجید، مصطفی‌زاده، رثوف، گلی‌جیرنده، عباس، (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تئوری بیزین، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال شانزدهم، شماره ۲، صص ۱۲۱-۱۰۹.

پورقاسمی، حمیدرضا، مرادی، حمیدرضا، فاطمی‌عقدا، سید محمود، مهدوی‌فر، محمدرضا، محمدی، مجید، (۱۳۹۰)، ارزیابی عوامل ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی در تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: بخشی از حوضه آبخیز هراز)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد هجدهم، شماره ۴، صص ۲۰-۱.

حسین‌زاده، محمد مهدی، ثروتی، محمدرضا، منصوری، عادل، میرباقری، بابک، خضری، سعید، (۱۳۸۸)،

- Paoletti, V., Tarallo, D., Matano, F., Rapolla A., (2013). susceptibility zoning on seismic-induced landslides: An application to Sannio and Irpinia areas, Southern Italy. *Physics and Chemistry of the Earth* Vol.63, PP.147-159.
- Poudyal, C.P., Chang, C., Lee, S., (2010). Landslide Susceptibility Maps Comparing Frequency Ratio and Artificial Neural Networks: A case Study from the Nepal Himalaya. *Environ Earth Sci*, No.61, PP.1049-1064.
- Regmi, N.R., Giardino, J.R., Vitek, J.D., (2010). Modeling Susceptibility to Landslides using the Weight of Evidence Approach: Western Colorado. USA. *Geomorphology*, No.115, PP.172-187.
- Remendo, J., Gonzales, A., Teran, J., Cendrero, A., Fabbri, A., Chung, C., (2003). Validation of Landslide Susceptibility Maps, Examples and Applications from a Case Study in Northern Spain, *Natural Hazard*, PP.437-449.
- Rosenfeld, C.L., (2004). *Geomorphological Hazard*. Encyclopedia of Geomorphology, Vol.1, PP.423-426.
- Shahabi, M. and Sadoddin, A., (2009). Bayesian Decision Network Approach for Predicting Impacts of Drought Management Actions in Dry Land Wheat Areas of Golestan Province. In: 5th National Conference of watershed management, Iran, PP.3140-3149.
- Sweds, J.A., (1988). Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems. *Science*, No.240, PP.1285-1293.
- Vittorio De Blasio, F., (2011). Introduction to the physics of landslides, Springer, Vol.13, PP.1-38.
- Van Western, C.J., (2002). Use of Weights of Evidence Modeling for Landslide Susceptibility Mapping, [lecture notes], Retrieved from www.adpe.net/casita/casestudies. 21p.
- Yesilnacar, E.K., (2005). The Application of Computational Intelligence to Landslide Susceptibility Mapping in Turkey, Ph.D Thesis. Department of Geomatics the University of Melbourne, 423p.
- Yilmaz, I., (2009). Landslide Susceptibility Mapping using Frequency Ratio. Logistic Regression, Artificial Neural Networks and Their Comparison: A Case Study from Kat Landslides (Tokat-Turkey) *Comp Geosc*, Vol.35, No.6, PP.1125-1138.
- Zhu, C., Wang, X., (2009). Landslide susceptibility mapping: A comparison of information and weights-of evidence methods in Three Gorges Area. International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, IEEE DOI 10.1109/ESIAT.2009. No.187, PP.342-346.
- case study (Italian Northern Apennines). *Environ. Geol.* Vol.50, No.7, PP.941-961.
- Constantin, M., Bednarik, M., Jurchescu, M.C., (2010). Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). *Environmental Earth Science*, DOI 10.1007/s12665-010-0724-y, 10pp.
- Crosta, B.G., (2009). Dating, triggering, modeling and hazard assessment of large landslides, *Geomorphology*, Vol.103, PP.1-4.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, CH., Cascini, L., Leroi, E., Savage, Z.S., (2008). Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for land Use Planning. *Engineering Geology*, Vol.102, PP.85-98.
- Gomez, H., (2002). Modelling Landslide Potential in the Venezuelan Andes. PhD Thesis, The University of Nottingham, UK.321p.
- Jensen, F.V., (1996). An introduction to Bayesian networks. UCL Press, London, 178p.
- Koehorst, B.A.N., Kjekstad, O., Patel, D., Lubkowski, Z., Knoeff, J.G., Akkerman, G.J., (2005). Work Package 6, Determination of Socio-Economic Impact of Natural Disasters. Assessing socio-economic Impact in Europe, 173p.
- Komac, M.A., (2006). Landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Sloveni. *Geomorphology*, No.74, PP.17-28.
- Kumar Dahal, R., (2008). Predictive Modeling of Rainfall-induced landslide in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights of evidence, *Geomorphology*, Vol.102, PP.496-510.
- Lee, S., Choi, J., Min, K., (2002). Landslide Susceptibility Analysis and Verification Using the Bayesian Probability Model. *Environmental Geology*, No.43, PP.120-131.
- Mathew, J., Jha, V.K., Rawat, G.S., (2007). Weights of evidence modeling for landslide hazard zonation mapping in part of Bhagirathi valley. Uttarakhand. *Current Sci.* Vol.92, No.5, PP.628-638.
- Moore, I.D., Gessler, P.E., Neslesn, G.A., Peterson, G.A., (1993). Soil attributes prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of American Journal*, Vol.57, No.2, PP.443-452.
- Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C. and Sonmez, H., (2008). An Assessment on the Use of Logistic Regression and Artificial Neural Networks with Different Sampling strategies for the Preparation of Landslide Susceptibility Maps. *Engineering Geology*, No.97, PP.171-191.
- Panizza, M., (2004). *Environmental Geomorphology*. Encyclopedia of Geomorphology, Vol.1, PP.318-320.