

نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۲، شماره ۶۳، بهار ۱۳۹۷، صفحات ۱۸۲-۱۶۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۲۴

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۴/۰۵

پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل احتمالات شرطی (قضیه بیز)، مطالعه موردی: قارداغ (ارسباران، از قره سو تا دره دیز)

جلیل شمس^۱

البروس علیزاده^۲

چکیده

هدف از تحقیق حاضر پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تئوری بیزین در بخشی از قارداغ (ارسباران، از قره سو تا دره دیز) است. به این منظور ابتدا با استفاده از نقاط لغزشی بانک اطلاعات زمین لغزش کشور، نقشه پراکنش زمین لغزشهای منطقه تهیه گردید. سپس نقشه‌های هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش مانند درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، زمینشناسی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب، بافت خاک و پهنه‌های بارش منطقه در محیط GIS تهیه گردید. جهت انجام این کار از تئوری بیز استفاده شده است. در نهایت نقشه حساسیت زمین لغزش در پنج کلاس حساسیت به دست آمد. با توجه به نقشه بدست آمده و نیز وزن کلاس‌های هر یک از پارامترها، کلاس‌های آبرفتی قدیمی و مخروفاکنه‌های مرتفع در لایه سازند، مرتع متوسط در بین کلاس‌های کاربری زمین، جهات شرقی و جنوب شرقی، شیب‌های ۲۰-۵ درجه بیشترین وزن و

۱- استادیار و مدرس دانشگاه آزاد (نویسنده مسئول)

Email: jalil.shams@ymail.com

۲- استادیار گروه جغرافیای اکادمی علوم اذربایجان

تاثیر را در وقوع زمین لغزش‌های منطقه دارا هستند. نتیجه ارزیابی نشان داد که مدل با قابلیت پیش‌بینی ۷۹/۱۲ درصد زمین‌لغزش‌ها در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد دقت قابل قبولی در ارزیابی و تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش دارد.

واژگان کلیدی: حساسیت زمین‌لغزش، تئوری بیز، ارسباران، weight of evidence

مقدمه

حرکات توده ای و به ویژه زمین لغزش یکی از مهمترین بلایای طبیعی است. زمین لغزش‌ها زندگی انسان‌ها را با تخریب محیط، منابع و دارایی آنها با خطر جدی روبه رو می‌کنند (سان وی هی^۱ و همکاران، ۲۰۱۲: ۳۰) وجود عواملی همچون مستعدبودن شرایط ناهمواری‌ها، بهره برداری‌های بی‌رویه از جنگل‌ها، رعایت نکردن اصول فنی احداث و نگهداری جاده‌های جنگلی و روستایی، عدم اعمال مدیریت صحیح و بهره برداری غیر اصولی از منابع موجود باعث تشدید آن شده است. در مقایسه با انواع مخاطرات طبیعی همچون آتشفشان و سیل، زمین لغزش آسیب‌های قابل توجهی را از نظر مالی و جانی ایجاد می‌کنند (گوزتی^۲ ۲۰۰۵: ۴۰۸). زمین لغزش هر ساله در بسیاری از مناطق دنیا باعث کشته و مجروح شدن افراد زیادی می‌شود (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۴)، که این امر ضرورت توجه به این پدیده خطرناک را نمایان می‌سازد. بر اساس برآوردهای اولیه در ایران سالانه حدود ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی از طریق وقوع زمین لغزش وارد می‌شود (حسین زاده و همکاران، ۲۷: ۱۳۸۸). تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش و ارزیابی شدت خطر آن می‌تواند کمک شایانی در زمینه مدیریت محیط و اتخاذ تصمیمات درست در مقابله با این مخاطره باشد (اصغری کلجاهی و همکاران، ۱۳۹۵).

¹ - Sanwei He et- al

² - Guzzetti

از جمله کارهایی که در داخل و خارج کشور در زمینه مدل و موضوع پژوهش انجام شده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

متو^۱ و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده تئوری بیز پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش را در بخشی از هند انجام دادند. در این پژوهش از ۱۵ فاکتور طبیعی و انسانی جهت پهنه‌بندی استفاده شد. ارزیابی نقشه نهایی نشان داد که دقت نقشه تهیه شده ۸۴/۶٪ و قابل قبول می‌باشد. پیاستینیا^۲ و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از مدل تئوری بیز پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش را برای جنوب منطقه تیرو^۳ در کشور ایتالیا انجام دادند. نتایج پژوهش نشان داد که نقشه حساسیت زمین لغزش برای پیش‌بینی زمین لغزش‌ها با درصد بالایی (۷۵٪) قابل اطمینان است. بنابراین مدل فوق می‌تواند به خاطر ثمربخش و کم هزینه بودن برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران محیطی مدلی سودمند و قابل اطمینان باشد. محمدی و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از سه مدل بیز، دمپستر-شفر^۴ و نسبت تکرار^۵ در بخشی از استان گلستان حساسیت زمین لغزش را پهنه‌بندی کردند. در این پژوهش برای ارزیابی مدل-ها از منحنی ROC استفاده شد و طبق این ارزیابی مدل نسبت تکرار بهترین نتیجه را (۷۵٪ دقت) در بین سه مدل فوق داشت. پورقاسمی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از تئوری بیز و ۱۴ فاکتور طبیعی و انسانی پهنه‌بندی زمین لغزش را برای بخشی از استان گلستان انجام دادند. ارزیابی مدل و نتایج تحقیق نشان داد که دقت مدل احتمالاتی تهیه شده با رویکرد دوم مدل‌سازی (حذف عامل جهت شیب از تحلیل‌ها) در منطقه مورد مطالعه ۷۱/۳۷ درصد و خوب برآورد شده است.

¹ - Mathew et- al

² - Piacentinia et- al

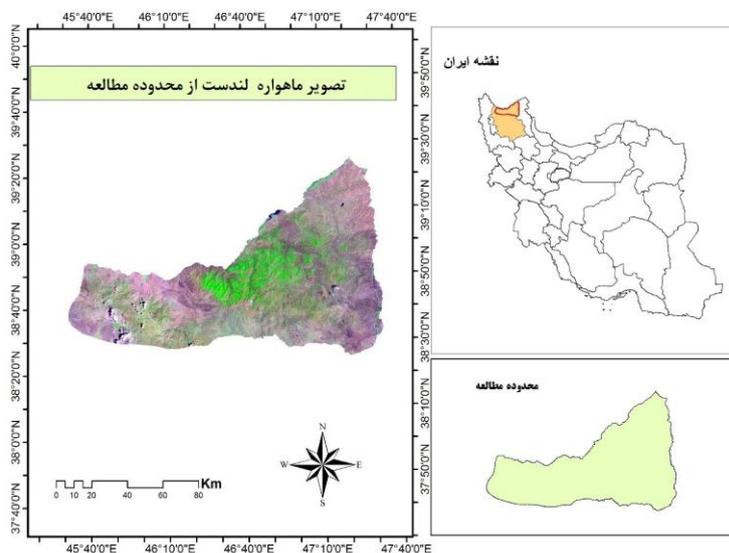
³ - Tyrol

⁴ - Dempster – Shafer

⁵ - Frequency ratio

منطقه مورد مطالعه

محدوده پژوهش در مساحتی حدود ۹۰۰۰ کیلومتر مربع از قارداغ آذربایجان در مختصات ۳۰/۴۵ تا ۳۰/۴۷ شرقی و ۲۴/۳۸ الی ۳۷/۳۹ شمالی در امتداد شرقی و غربی که شمال آن ارس و غرب آن دره دیز و شرق آن قره سو و در جنوب اهر چای و از کسبه تا دره دیز در امتداد شمال زوز دامنه‌های جنوبی قارداغ غربی می‌باشد. سازندهایی مثل شیل و ماسه، تراس‌های آبرفتی قدیمی و مخروط‌افکنه‌ها و سازندهایی از جنس تناوب ماسه سنگ، آهک و مارن و کنگلومرا نیز از دیگر سازندهای منطقه می‌باشند. در این منطقه با توجه به نوع سازندها، عمق زیاد رسوبات در دامنه‌ها و میانگین بارش بالا، زمین لغزش‌های زیادی اتفاق می‌افتد. در این پژوهش با استفاده از تئوری احتمالات شرطی، نقشه حساسیت زمین لغزش حوضه فوق مطالعه و تهیه شده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مطالعه در شمال غرب ایران

مواد و روش‌ها

برای اجرای مدل و تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش، جمع‌آوری و تهیه پایگاه داده از فاکتورهای موثر در وقوع زمین لغزش از مهمترین مراحل تحقیق است. در این پژوهش با استفاده از ۱۱ پارامتر (سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، بارش، شیب زمین، جهت شیب، کاربری زمین، تراکم پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص حمل رسوب (STI)، شاخص توان آبراهه (SPI) و شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI)) عمل پهنه‌بندی زمین لغزش انجام شده است. در اولین گام از این مرحله با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه لایه مدل ارتفاعی منطقه (DEM) با اندازه پیکسل ۳۰ متری تهیه شد. با داشتن این لایه با استفاده از عملگرهای مختلف موجود در بسته نرم‌افزاری جی ای اس لایه‌هایی همچون شیب (شکل ۲)، جهت شیب (شکل ۳) و شبکه زهکشی که به صورت فاصله از رودخانه (شکل ۴) در مدل استفاده شده است، استخراج شدند.

زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (IRS) و گوگل ارث^۴ برای مدل سازی استخراج شدند (۷۳ زمین لغزش). از بین این زمین لغزش‌ها دو سوم (۵۲ زمین لغزش) برای اجرای مدل و پیدا کردن وزن کلاس‌ها و یک سوم (۲۱ زمین لغزش) مابقی برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت. همچنین با استفاده از باندهای ۳ و ۴ تصاویر ماهواره لندست شاخص پوشش گیاهی (NDVI) حوضه تهیه شد. برای تهیه نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه از محیط نرم‌افزار پردازش تصویر ENVI و روش طبقه‌بندی نظارت شده (الگوریتم حداکثر مشابهت^۵ (MLC)) و نیز تصویر رنگی ماهواره لندست استفاده شده است (شکل ۷). همچنین با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و لایه جنس سازندها و لایه گسل به صورت فاصله از گسل‌ها تهیه شد. در

^۱ - Sediment Transport Index

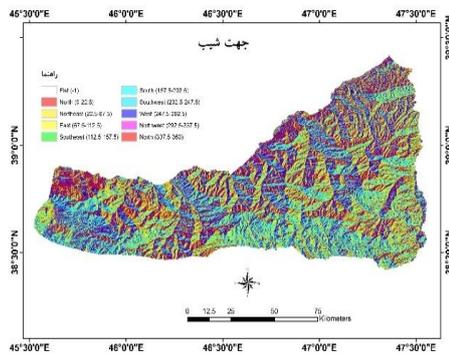
^۲ - Stream Power Index

^۳ - topographic wetness index

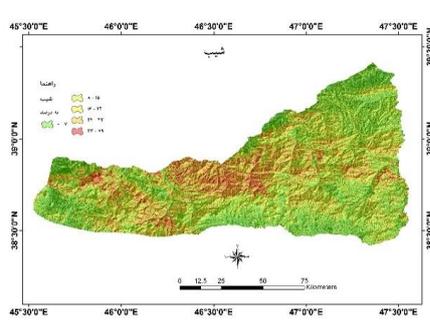
^۴ - Google Earth

^۵ - Maximum likelihood classifier

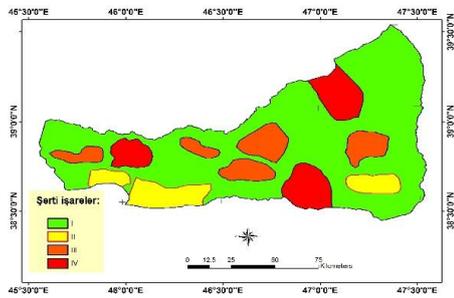
نهایت برای بدست آوردن لایه پهنه‌های بارشی حوضه از آمار ایستگاه‌های هواشناسی منطقه استفاده شد و لایه بارش به صورت پهنه‌های بارشی بدست آمد.



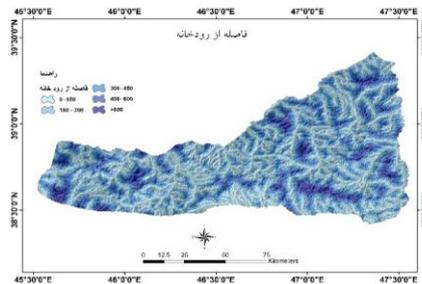
شکل ۳: نقشه جهت شیب



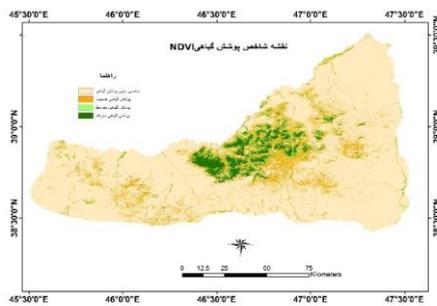
شکل ۲: نقشه شیب



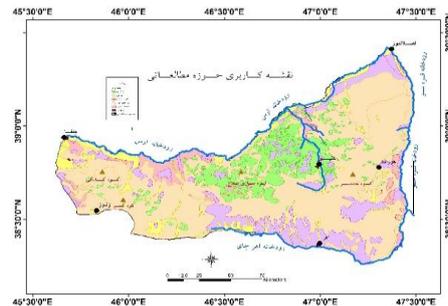
شکل ۵: نقشه زمین‌لغزه



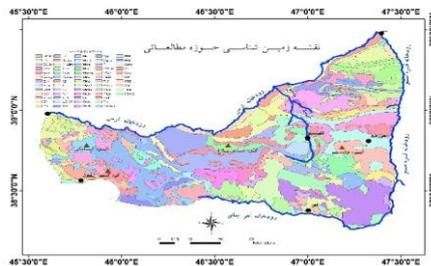
شکل ۴: نقشه فاصله از رودخانه



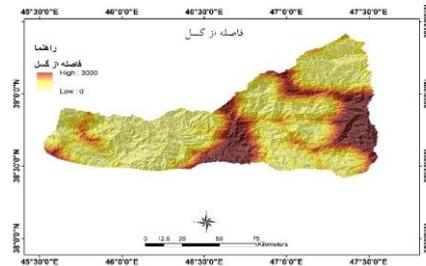
شکل ۷: نقشه کاربری زمین



شکل ۶: نقشه تراکم پوشش گیاهی



شکل ۹: نقشه جنس سازند



شکل ۸: نقشه فاصله از گسل

شاخص قدرت آبراهه SPI

مور و همکاران (۱۹۹۱) معادله (۱) را برای محاسبه شاخص قدرت رودخانه (SPI) پیشنهاد نمودند که در این معادله اندازه قدرت فرسایش جریان آب بر این فرض استوار است که عمل تخلیه متناسب با وسعت حوضه صورت می‌گیرد. به طور کلی این شاخص در نواحی

که نیمرخ و مماسی^۱ محدب دارند(مناطق همگرا و تند) فرسایش ویژه و در نواحی که نیمرخ مقعر دارند(مناطق با کاهش ظرفیت جریان) رسوب ویژه را پیش بینی می‌کند.

$$SPI = A_s \cdot \tan\beta \quad \text{رابطه ۱}$$

شاخص حمل رسوب - STI

از جمله شاخص‌های هیدرولوژیکی که در این مطالعه استفاده شده شاخص حمل رسوب است. این شاخص قدرت فرساینده‌گی جریان‌ها را در روی زمین نشان می‌دهد. رابطه تجربی(رابطه ۲) که برای بدست آوردن این شاخص وجود دارد شبیه معادله جهانی فرسایش خاک است از این رو می‌تواند در نشان دادن موقعیت مناطق با خطر فرسایش مورد استفاده قرار گیرد(مور^۲ و بورچ^۳، ۱۹۸۶).

رابطه (۲)

$$STI = \left(\frac{A_s}{22.13}\right)^{0.62} \left(\frac{\sin\beta}{0.0896}\right)^{1.3}$$

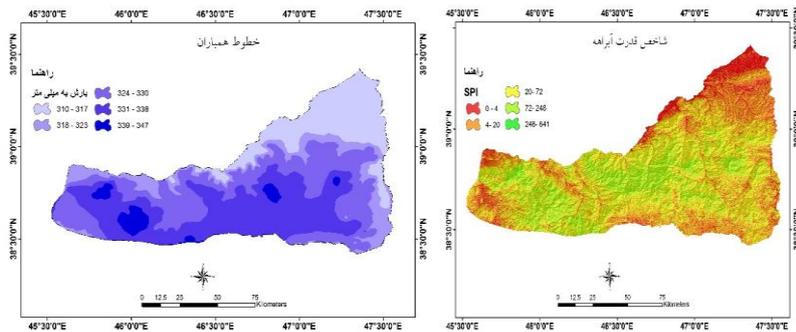
این پارامتر بر اساس مساحت حوضه (A_s) و سینوس گرادیان شیب ($\sin\beta$) قابلیت حمل رسوب در حوضه را کنترل می‌کند. بر همین اساس ممکن است سیستم زهکشی را آشفته کند و دامنه‌هایی با گرادیان شیب کم به ایجاد زمین لغزش تمایل پیدا کنند(نفسلی اوغلو^۴ و همکاران، ۲۰۰۸). شکل ۱۲ نقشه مربوط به این لایه را نشان می‌دهد.

¹ - Tangential

² - Moore et-al

³ - Burch

⁴ - Nefeslioglu et-al



شکل ۱۰: نقشه بارش
شکل ۱۱: نقشه شاخص قدرت آبراه (SPI)

شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI)

شاخص رطوبت توپوگرافیک (شاخص ترکیب توپوگرافیک^۱ (CTI) یا رطوبت خاک^۲) که برای توصیف الگوی فضایی رطوبت خاک استفاده می‌شود (ویلسون^۳ و گالانت^۴، ۲۰۰۰) به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$TWI = LN \left(\frac{A_s}{\tan \beta} \right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

این شاخص برای مطالعه حساسیت زمین لغزش استفاده می‌شود (گوروم^۵ و همکاران، ۲۰۰۸). از شاخص رطوبت توپوگرافیک می‌توان برای ارزیابی الگوی فضایی رطوبت خاک و تغییراتی که به دلیل فرسایش در بافت خاک رخ داده استفاده کرد (اسمیت^۶ و

^۱ - Compound Topographic Index

^۲ - soil wetness

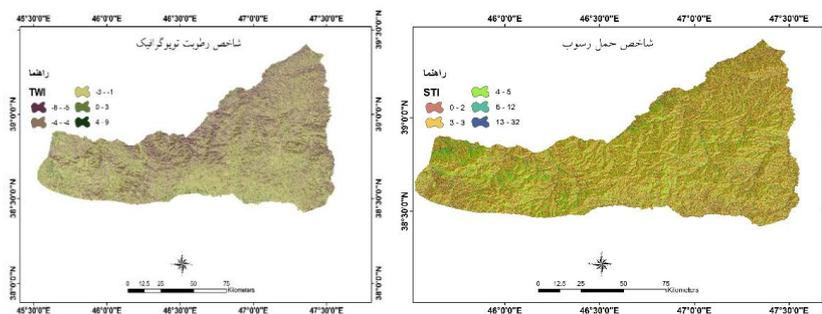
^۳ - Wilson

^۴ - Gallant

^۵ - Chrome et al

^۶ - Schmidt

پرسون^۱، ۲۰۰۳. گریس^۲ و همکاران، ۲۰۰۷). این شاخص عموماً برای تعیین کنترل توپوگرافیک بر روی فرآیندهای هیدرولوژیکی استفاده می‌شود (سورنسون^۳ و همکاران، ۲۰۰۶)، و مقادیر بالای TWI معمولاً در بدنه زمین لغزش‌ها پیدا می‌شود (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: شاخص (TWI)

شکل ۱۲: شاخص (STI)

روش کار

برای ارزیابی حساسیت زمین لغزش در منطقه از روش وزن شواهد^۴ (کارت^۵ و همکاران، ۱۹۸۹) استفاده شده است. این مدل به عنوان مدلی سودمند و آزمایش شده در زمینه‌های مختلف، همچون مطالعه حرکات توده‌ای، تحقیقات معدنی و نقشه‌کشی چشمه‌های آب زیرزمینی است (پولی^۶ و استرلاچینی^۷، ۲۰۰۷. باربیری^۸ و کامبولی^۹، ۲۰۰۹).

- 1 - Persson
- 2 - Grabs et al
- 3 - Sorensen et al
- 4 - weight of evidence (WofE)
- 5 - Carter et al
- 6 - Poli
- 7 - Sterlacchini
- 8 - Barbieri
- 9 - Cambuli

مدل وزن شواهد (WofE) یک روش آماری مبتنی بر تئوری احتمالات بیز است (دنيسون^۱ و همکاران، ۲۰۰۲) این مدل وابستگی موجود بین یک واقعه (زمین لغزش های رخ داده) و عامل‌های سببی (فاکتورهای مستعد کننده زمین لغزش) را تخمین می‌زند. مدل فوق در سال ۱۹۸۸ برای اکتشافات معدنی مورد استفاده قرار گرفت (کارتر و همکاران، ۱۹۸۸). متعاقباً در سال ۲۰۰۲ ون وسترن^۲ آن را برای ارزیابی حساسیت زمین لغزش مورد استفاده قرار داد.

اگر ما عامل‌های سببی (فاکتورهای مستعد کننده زمین لغزش) را B_i ، کلاس‌های هر پارامتر را B_i و زمین لغزش رخ داده را S در نظر بگیریم، در این صورت تئوری بیز را برای محاسبه احتمال شرطی وقوع زمین لغزش (S) در کلاس معین (B_i)، می‌توان به صورت رابطه زیر بکار برد:

$$P(S|B_i) = \frac{P(B_i|S) \times P(S)}{P(B_i)} \quad \text{رابطه ۴}$$

در رابطه فوق $P(S)$ احتمال اولیه وقوع پیشامد S در محدوده مورد مطالعه (AS)، $P(B_i)$: احتمال وقوع کلاس B_i در محدوده مورد مطالعه (AS)، $P(B_i|S)$ احتمال وقوع پیشامد B_i به شرطی که پیشامد S اتفاق افتاده باشد. $P(S|B_i)$: احتمال وقوع پیشامد S به شرطی که پیشامد B_i اتفاق افتاده باشد (پیاستینی^۳ و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۹۹).

احتمال شرطی وقوع زمین لغزش زمانی که کلاس B_i اتفاق نیفتاده باشد نیز به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$P(S|B_i^{\wedge}) = \frac{P(B_i^{\wedge}|S) \times P(S)}{P(B_i^{\wedge})} \quad \text{رابطه ۵}$$

در معادله فوق $P(S)$ احتمال اولیه وقوع پیشامد S در محدوده مورد مطالعه (AS)،

^۱ - Denison et al

^۲ - Van Western

^۳ - Piacentini et-al

$P(B_i^{\wedge}|S)$ احتمال شرطی نبود کلاس B_i به شرطی که S اتفاق افتاده باشد، احتمال اولیه نبود کلاس B_i در محدوده مورد مطالعه (AS). بخش‌های مختلف معادلات فوق را می‌توان به صورت روابط ۶ تا ۱۲ محاسبه کرد (پیاستینی و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۹۹).

$$P(S) = \frac{\text{area } S}{\text{area } AS} \quad \text{رابطه ۶}$$

$$P(B_i) = \frac{\text{area } B_i}{\text{area } AS} \quad \text{رابطه ۷}$$

$$P(B_i^{\wedge}) = \frac{\text{area } B_i^{\wedge}}{\text{area } AS} \quad \text{رابطه ۸}$$

$$P(S|B_i) = \frac{(\text{area } S \text{ AND } \text{area } B_i / \text{area } B_i)}{P(B_i)} \quad \text{رابطه ۹}$$

$$P(B_i|S) = \frac{(\text{area } S \text{ AND } \text{area } B_i / \text{area } B_i)}{P(S)} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$P(S|B_i^{\wedge}) = \frac{(\text{area } S \text{ AND } \text{area } B_i^{\wedge} / \text{area } B_i^{\wedge})}{P(B_i^{\wedge})} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$P(B_i^{\wedge}|S) = \frac{(\text{area } S \text{ AND } \text{area } B_i^{\wedge} / \text{area } B_i^{\wedge})}{P(S)} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

در روش وزن شواهد، وزن کلاس‌های هر پارامتر به وسیله ترکیبی از ارزش‌های مثبت و منفی (W^+ و W^-) از طریق تئوری بیز و نیز اختلاف تفاضل بین آنها محاسبه می‌شود و در نهایت با استفاده از رابطه ۱۶ وزن نهایی کلاس‌ها حاصل می‌شود.

$$W^+ = LN(P(B_i|S)/P(B_i)) \quad \text{رابطه ۱۳}$$

$$W^- = LN(P(B_i^{\wedge}|S)/P(B_i^{\wedge})) \quad \text{رابطه ۱۴}$$

$$C = W^+ - W^- \quad \text{رابطه ۱۵}$$

$$W_{final} = C/S_c \quad \text{رابطه ۱۶}$$

در روابط فوق LN لگاریتم بر مبنی عدد نپر، C تفاضل وزن‌های مثبت و منفی، W_{final} وزن نهایی استاندارد شده و S_c انحراف استاندارد است که برابر با جذر واریانس هر یک از وزن‌های مثبت و منفی است (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱۷). در جدول شماره ۱ اوزان برای هر یک از کلاس‌های پارامترها مورد نظر به همراه سایر اطلاعات مربوط به آن آمده است. در این تحقیق اعداد تقسیم بندی بر اساس وزن معیارها با توجه به نظر کارشناسان و متخصصان در این حوزه صورت گرفته، بدست آمده است.

جدول ۱: جدول پارامترها و وزن هر یک از کلاس‌ها بر اساس روابط تئوری بیز

Weight	Sc	s2(w-)	s2(w+)	C	w-	w+	class	پارامترها
9/42	0/013	0/000081	0/00054	0/3276	-0/038	0/179	0-2	شاخص TWI
2/05	0/0155	0/000079	0/00026	0/0254	-0/0057	0/027	3-4	
24/3	0/0188	0/00021	0/0003	0/369	-0/232	0/348	4-6	
37/5	0/016	0/000079	0/00032	0/653	-0/141	0/586	6-12	
10/2	0/054	0/000056	0/00288	0/343	-0/0194	0/493	12<	
48/08	0/018	0/00021	0/00032	0/721	-0/275	0/433	-8 - -5	شاخص STI
27/4	0/028	0/00001	0/00019	0/652	-0/289	0/236	-4 - -3	
3/68	0/032	0/000083	0/000299	0/043	-0/0046	0/034	-3 - -1	
-5/7	0/032	0/000091	0/00068	-0/105	0/052	-0/218	0-3	
-11/1	0/053	0/000086	0/00265	-0/602	0/0227	-0/398	3-9	
11/28	0/028	0/000075	0/00039	0/136	-0/0538	0/288	0-4	شاخص SPI
21/73	0/0175	0/000058	0/00033	0/325	-0/2106	0/174	4-20	
19/09	0/0166	0/00021	0/00008	0/342	-0/053	0/209	20-72	
14/48	0/0265	0/000075	0/00049	0/286	-0/052	0/323	72-248	
14/52	0/0461	0/000056	0/00013	0/422	-0/0177	0/532	248<	
3/743	0/0238	0/0002	0/00026	0/1076	-0/032	0/084	80-100	تراکم پوشش گیاهی
34/38	0/009	0/00003	0/000257	0/7159	-0/28	0/434	100-120	
25/77	0/044	0/0003	0/0006	0/5755	-0/118	0/467	120-140	
1/93	0/0228	0/00021	0/00022	0/0669	-0/0146	0/045	140-170	
2/84	0/2359	0/000054	0/05595	0/5225	-0/0007	0/602	170-199	
-8/77	0/019	0/0002	0/00036	-0/149	0/0458	-0/11	0-300	فاصله از گسل
12/45	0/022	0/000051	0/00047	0/291	-0/0732	0/117	300-500	
30/48	0/023	0/000038	0/00034	0/657	-0/1181	0/539	500-700	
28/98	0/028	0/000073	0/00076	0/81	-0/087	0/615	700-900	
29/23	0/019	0/000088	0/00039	0/598	-0/161	0/467	900 <	

0/35	0/547	0/000083	0/313	0/2404	-0/00007	0/33	مسطح	جهت شیب
43/225	0/019	0/000099	0/00039	0/7296	-0/1768	0/621	شمال	
5/856	0/016	0/000093	0/0006	0/164	-0/0242	0/14	شمال شرقی	
6/06	0/0323	0/000079	0/0009	0/188	-0/0152	0/151	شرق	
-11/92	0/063	0/000075	0/0027	-0/6636	0/0393	-0/621	جنوب شرقی	
-11/04	0/026	0/000078	0/0012	-0/3655	0/038	-0/326	جنوب	
7/508	0/0236	0/000074	0/00057	0/195	-0/0403	0/168	جنوب غربی	
25/89	0/0218	0/000087	0/000478	0/658	-0/1338	0/533	غرب	
32/049	0/0215	0/000083	0/000318	0/6991	-0/126	0/563	شمال غرب	

ماخذ: نگارندگان

ادامه جدول ۱: جدول پارامترها و وزن هر یک از کلاس‌ها بر اساس روابط تئوری بیز

Weight	Sc	s2(w-)	s2(w+)	C	W-	W+	class	پارامترها
52/5005	0/0235	0/000082	0/000476	2/104	-0/173	0/126	310-317	میزان بارش
6/634	0/0204	0/000035	0/00022	0/0804	-0/018	1/052	318-323	
13/515	0/0174	0/00013	0/00017	0/119	-0/096	0/143	324-330	
26/81	0/0232	0/000063	0/0003	0/8005	-0/087	0/513	331-339	
1/052	0/031	0/000087	0/002	0/0925	-0/0037	0/047	339<	کاربری زمین
0/64	0/577	0/00007	0/33	0/371	-0/0023	0/267	باغ	
-1/05	0/018	0/0001	0/0002	-0/0189	0/0074	-0/011	جنگل متراکم	
23/4	0/026	0/00008	0/0006	0/607	-0/0676	0/539	جنگل تنک	
-2/45	0/2358	0/000074	0/055	-0/578	0/0045	-0/574	کشاوری-باغ	
-14/72	0/112	0/000074	0/0125	-1/65	0/023	-1/627	لم یزرع	
-6/87	0/096	0/00007	0/0092	-0/66	0/011	-0/65	جنگل تنک(مختلط)	
1/57	0/071	0/000075	0/0049	0/11	-0/0016	0/11	جنگل متوسط(مختلط)	
47/52	0/0174	0/00012	0/00018	0/83	-0/367	0/462	مرتع متوسط(مختلط)	
0/83	0/089	0/00007	0/008	0/07	-0/00064	0/0738	جنگل متوسط	
-	-	0/00007	-	-	0/00081		مرتع متوسط	
14/68	0/0472	0/000078	0/0013	0/676	-0/037	0/549	0-7	درجه شیب
36/85	0/0118	0/000094	0/00034	0/815	-0/1717	0/624	8-15	
33/39	0/017	0/00013	0/00016	0/575	-0/2759	0/299	16-23	
-5/0266	0/0211	0/000093	0/00045	-0/086	0/0223	-0/064	24-31	
-10/62	0/0365	0/000078	0/0012	-0/3875	0/0319	-0/255	32<	

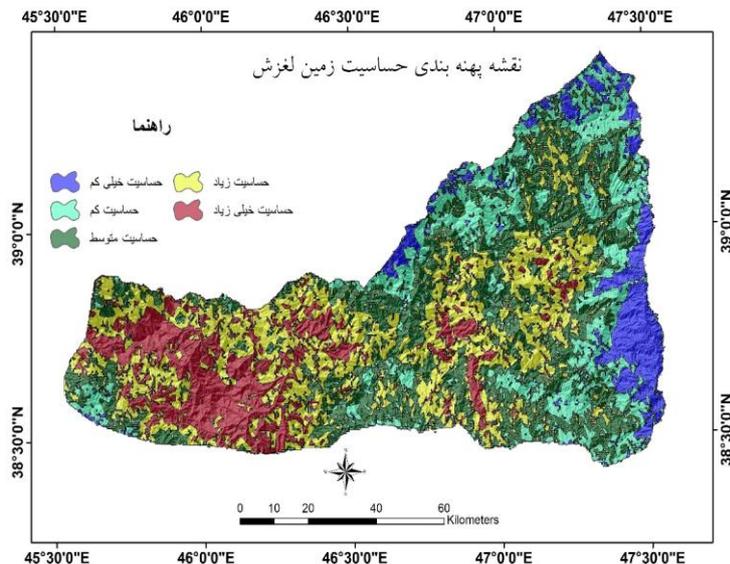
ماخذ: نگارندگان

ادامه جدول ۱: جدول پارامترها و وزن هر یک از کلاس‌ها بر اساس روابط تئوری بیز

Weight	Sc	s2(w-)	s2(w+)	C	w-	w+	class	پارامترها
-	-	0/00006	-	-3/556	0/0011	-1/754	A	نوع سازند
164/57	0/0265	0/00015	0/00022	4/124	-0/913	1/021	B	
49/64	0/0321	0/00008	0/00075	2/461	-1/08	0/621	C	
-11/39	0/087	0/000068	0/0054	-0/58	0/0597	-0/525	E	
-19/05	0/146	0/000075	0/0264	-2/449	0/0623	-4/659	F	
-	-	0/00009	-	-	0/007	-	G	
-46/74	0/0315	0/00005	0/0007	-2/346	0/2375	-0/054	I	
-5/78	0/1658	0/000076	0/022	-0/715	0/0042	-0/651	J	
35/7	0/0306	0/00007	0/00065	1/407	-0/0566	1/341	K	
-17/4	0/0458	0/000056	0/0025	-1/82	0/043	-1/567	M	
-21/72	0/0626	0/00009	0/0083	-0/153	0/036	-2/216	N	
62/69	0/0383	0/000079	0/0027	3/523	-0/0527	3/659	O	
-6/8	0/42334	0/000078	0/1547	-1/383	0/028	-1/345	R	
-	-	0/000082	-	-	0/00089	-	S	
29/26	0/038	0/0003	0/00039	0/454	-0/315	0/399	0-150	فاصله از رودخانه
46/065	0/0179	0/0005	0/00016	0/56	-0/421	0/518	150-300	
19/31	0/0266	0/000056	0/00045	0/42	-0/046	0/381	300-450	
5/39	0/0124	0/000086	0/00051	0/231	-0/015	0/085	450-600	
-17/68	0/0321	0/000056	0/0033	-0/631	0/075	-0/322	600<	

پس از اینکه وزن هر یک از کلاس‌های پارامترهای در نظر گرفته شده بدست آمد، در محیط نرم‌افزار Arc map وزن مربوط به هر کلاس اعمال شد و با روی هم‌گذاری پارامترها نقشه نهایی برای حساسیت زمین لغزش بدست آمد. با استفاده از روش شکستگی‌های طبیعی^۱ نقشه به دست آمده در ۵ کلاس حساسیت زمین لغزش دسته‌بندی شد (شکل ۱۴).

^۱ - Natural breaks



شکل ۱۴: نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش (ارسباران، از قره سو تا دره دیز)

یافته‌ها و بحث

در این مقاله با استفاده از تئوری بی‌زین (احتمالات شرطی)، حساسیت زمین لغزش برای قسمتی از منطقه قاراداغ (ارسباران، از قره سو تا دره دیز) صورت گرفت. نتایج مدل و ارزیابی آن نشان داد که مدل قابلیت قابل قبولی با پیش‌بینی بیش از ۵۰ درصد زمین لغزش‌ها در پهنه‌های با حساسیت زیاد و خیلی زیاد را دارا می‌باشد. این مناطق اغلب در نیمه مرکزی و جنوب شرق منطقه واقع شده‌اند.

با توجه به نقشه تهیه شده و اطلاعات جدول یک در لایه نوع سازند، تراسه‌های آبرفتی قدیمی و مخروط‌افکنه‌های مرتفع، بیشترین تاثیر و وزن را به خود اختصاص داده است. تناوب توف داسیتی-اندزیتی با میان لایه‌ای از ماسه سنگ و کنگلومرا در رده بعدی قرار دارد. در بین کلاس‌های مختلف کاربری زمین، مرتع متوسط با بیشترین وزن بیشترین تاثیر را در رخ

داد زمین لغزش‌های منطقه داشته است که می‌تواند در رابطه با تمرکز فعالیت‌های انسانی و مراکز جمعیتی در این مناطق باشد. در بین جهت‌های مختلف شیب، جهات جنوبی و جنوب غربی بیشترین و جهات شمالی و شرق کم‌ترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش دارند. همچنین شیب‌های ۱۰-۵ و ۲۰-۱۰ به ترتیب بیشترین تاثیر و وزن را در وقوع زمین لغزش دارا می-باشند. در لایه فاصله از رودخانه نیز کلاس ۱۰۰-۰ متر بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش دارند.

برای اینکه بتوانیم مدل اجرا شده در منطقه را مورد ارزیابی قرار دهیم با استفاده از روش وزن شواهد و یک سوم زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه، که در اجرای مدل استفاده نشده بودند، پراکنش فضایی لغزش‌ها در کلاس‌های پنجگانه نقشه حساسیت زمین لغزش مورد ارزیابی آماری قرارگرفت که نتایج آن در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: مساحت کلاس‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش و درصد زمین لغزه‌های رخ داده

کلاس حساسیت	مساحت هر کلاس به درصد	مساحت زمین لغزش‌های رخ داده به درصد
حساسیت خیلی کم	۱۴/۳	۵/۵
حساسیت کم	۲۹/۷	۷/۷
حساسیت متوسط	۲۵/۴	۱۲/۴
حساسیت زیاد	۱۷/۶	۲۶/۲
حساسیت خیلی زیاد	۱۳	۴۸/۲

با توجه به نتایج ارزیابی بیشترین مقدار زمین لغزش‌ها در کلاس پنج رخ داده است. طبق اطلاعات جدول با افزایش کلاس خطر تراکم زمین لغزش‌ها در آن کلاس افزایش می‌یابد به طوری که کلاس با حساسیت خیلی زیاد حدود ۴۸/۲ درصد زمین لغزش‌ها را در خود جای داده است. این در حالی است که مساحت این کلاس نسبت به کل منطقه مورد مطالعه تنها ۱۳ درصد است. کلاس‌های با حساسیت خیلی کم، کم و حساسیت متوسط با اینکه حدود ۷۱ درصد مساحت منطقه را شامل می‌شوند اما تنها بخش ناچیزی از زمین لغزش‌های رخ داده (۲۵/۴ درصد) در این کلاس‌ها واقع شده‌اند این در حالی است مابقی لغزش‌های رخ داده در منطقه یعنی ۷۴/۶ درصد آنها در کلاس‌های چهارم و پنجم نقشه پهنه‌بندی (پهنه با حساسیت زیاد و خیلی زیاد) واقع شده‌اند.

نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از تئوری بیز و ۱۱ پارامتر در نظر گرفته شده عمل پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در قارداغ (ارسباران، از قره سو تا دره دیز)، انجام شد و نتیجه کار به صورت یک نقشه پهنه‌بندی شده در پنج کلاس حساسیت ارائه گردید. طبق نقشه پهنه‌بندی ۱۳ درصد منطقه در کلاس با پهنه حساسیت خیلی زیاد، ۱۷/۶ درصد در کلاس با حساسیت زیاد، ۲۵/۴ درصد در کلاس با حساسیت متوسط، ۲۹/۷ درصد در کلاس با حساسیت کم و

۱۴/۳ درصد نیز در کلاس با حساسیت خیلی کم قرار گرفته‌اند. مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد به طور عمده در قسمت مرکزی منطقه (غرب حوضه)، بخش مرکزی و جنوب غربی آن واقع شده‌اند. بخش شرقی و جنوب شرقی حوضه بیشتر به صورت پهنه‌های با حساسیت کم و خیلی کم پهنه‌بندی شده است و تنها در مناطق حاشیه‌ای رودخانه‌ها می‌توان مناطقی با حساسیت زیاد مشاهده کرد. پس از بدست آمدن نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش با استفاده از یک سوم زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه نقشه تهیه شده از نظر صحت و دقت مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی نشان داد که مدل مورد استفاده در پژوهش با قابلیت پیش‌بینی ۷۹/۱۲ درصد زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه در کلاس‌های چهارم و پنجم نقشه پهنه‌بندی توانایی مناسبی را برای انجام پهنه‌بندی زمین لغزش و پیش‌بینی آن دارد.

منابع:

- اصغری کلجاهی، ابراهیم، نمکچی، فاطمه و واعظی، عبدالرضا هیر (۱۳۹۵)، پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه غرب شهرستان خوی به روش آنبالاگان، دوره ۲۰، شماره ۵۶، صفحه ۱۹-۳۸
- پورقاسمی، حمیدرضا و دیگران (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تئوری بی‌زین. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. علوم آب و خاک. سال شانزدهم شماره شصت و دوم، صص ۱۲۱-۱۰۹.
- حسین زاده، محمدمهدی و دیگران (۱۳۸۸). پهنه بندی ریسک وقوع حرکات توده ای با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک. فصلنامه زمین شناسی ایران. سال سوم شماره یازدهم. صفحات ۲۷-۳۷.
- عابدینی، موسی، قاسمیان، بهاره (۱۳۹۴)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در شهرستان بیجار به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، دوره ۱۹، شماره ۵۲، صفحه ۲۰۵-۲۲۷
- Barbieri, G., Cambuli, P. 2009: The weight of evidence statistical method in landslide susceptibility mapping of the Rio Pardu Valley (Sardinia, Italy). In: Anderssen, R.S., Braddock, R.D., Newham, L.T.H. (Eds.), 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand and International Association for Mathematics and Computers in Simulation, July 2009, pp.2658-2664.
- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P., Wright, D.F. 1989: Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. In: Agterberg, F.P., Bonham-Carter, G.F. (Eds.), Statistical applications in the Earth Sciences: Geological *Survey of Canada*, Paper, 89 (9), pp.171-183.
- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P., Wright, D.F., 1988: Integration of Geological Datasets for Gold Exploration in Nova Scotia. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 0099-1112. 88/5411-1585 \$ 02. 25/0.

- Denison, D.G.T., Holmes, C.C., Mallick, B.K., Smith, A.F.M. 2002: Bayesian Methods for Nonlinear Classification and Regression. John Wiley & Sons, Chichester.
- Gorum, T., Gonencgil, B., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A. 2008. Implementation of reconstructed geomorphologic units in landslide susceptibility mapping: the Melen Gorge (NW Turkey). *Natural Hazards* 46,323–351.
- Grabs, T., Seibert, J., Laudon, H. 2007: Modelling spatial patterns of saturated areas: a comparison of the topographic wetness index and a distributed model. *Geophysical Research Abstracts* 9 SRef-ID: 1607-7962 /gra/ EGU 2007-A-00894.
- Guzzetti, Fausto. 2005: Landslide hazard and risk assessment. Dissertation. Kanungo, D.P., Arora, M.K., Gupta, R.P., Sarkar, S. 2008. Landslide risk assessment Using concepts of danger pixels and fuzzy set theory in Darjeeling Himalayas. *Landslides* 5,407–416
- Mathew, J., V.K. Jha and G.S. Rawat. 2007. Weights of evidence modeling for landslide hazard zonation mapping in part of Bhagirathi valley, Uttarakhand. *Current Sci.* 92(5), 628-638.
- Mohammady, M., Pourghasemi, H.R., Pradhan, B. 2012: Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: A comparison Between frequency ratio, Dempster–Shafer, and weights-of-evidence models, *Journal of Asian Earth Sciences* (2012) 221–236.
- Moore, I.D., Burch, G.J. 1986: Sediment transport capacity of sheet and rill flow: application of unit stream power theory. *Water Resource* 22, 1350–1360.
- Neaupane K.M., Piantanakulchai, M. 2006: Analytic network process model for landslide hazard zonation, *Engineering Geology* 85 (2006) 281–294.
- Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Duemaz, S. 2008: Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology* 94,401–418.

- Piacentinia, D., Troiani, F., Soldati, M., Notarnicola, C., Savelli, D., Schneiderbauer, S., Strada, C. 2012: Statistical analysis for assessing shallow-landslide susceptibility in South Tyrol (south-eastern Alps, Italy), *Geomorphology* 151-152 (2012) 196-206.
- Poli, S., Sterlacchini, S. 2007. Landslide representation strategies in susceptibility Studies using weights-of-evidence modeling technique. *Natural Resources Research*, 16, 121-134.
- Schmidt, F., Persson, A. 2003: Comparison of DEM data capture and topographic wetness indices. *Precision Agriculture* 4, 179-192.
- Sorensen, R., Zinko, U., Seibert, J. 2006: On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 2, 1807-1834.
- Van Western, C.J. 2002. Use of weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping, 21 pp.
- Wilson, J.P., Gallant, J.C. 2000: Digital terrain analysis. In: Wilson, J.P., Gallant, J.C.(Eds.), *Terrain Analysis*. John Wiley & Sons, New York, pp.1-27.