

مدل‌سازی و پیش‌بینی مکانی مخاطره زمین لغزش با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته داده

کاوی (مطالعه موردی: شهرستان کلات)

لیلا گلی مختاری - استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار.
مهناز ناعمی تبار* - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۲۰ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۱۰/۲۶

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، مدل‌سازی و پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در حوزه آبخیز کلات، واقع در استان خراسان رضوی می‌باشد. بدین منظور، از سه مدل داده‌کاوی ماشین بردار پشتیبان (SVM)، تابع شواهد قطعی (EBF) و شواهد وزنی (WOE) به لحاظ الگوریتم محاسباتی توانمند در زمینه ارزیابی فرایند زمین لغزش استفاده شد. ابتدا ۳۶ زمین لغزش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و گوگل ارث شناسایی شدند. سپس این نقاط به طور تصادفی به منظور تهیه مدل و اعتبار سنجی به ترتیب به دو گروه آموزش ۷۰ درصد و اعتبار سنجی ۳۰ درصد تقسیم شدند. ۱۷ لایه اطلاعاتی شامل ارتفاع، جهت شیب، شیب، فاصله از گسل، تراکم آبراهه، فاصله از رودخانه، خاک، کاربری اراضی، فاصله از جاده، شاخص پوشش گیاهی NDVI، زمین شناسی، انحنا شیب، تیپ اراضی، پروفیل عرضی دامنه، پروفیل طولی دامنه، شاخص توان آبراهه (SPI) و شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) برای پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین لغزش در نظر گرفته شدند. به منظور ارزیابی نتایج مدل‌ها، از مقدار مساحت زیر منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) در فرایند مدل‌سازی استفاده شد. برطبق نتایج این پژوهش، متغیرهای زمین شناسی، ارتفاع، شیب، خاک شناسی و کاربری اراضی به عنوان مهمترین عوامل وقوع زمین لغزش در نظر گرفته شدند. نتایج تحلیل منحنی ویژگی عملکرد نسبی نشان داد که مدل‌های SVM، EBF و WOE به ترتیب دارای مقدار AUC ۰/۸۹۷، ۰/۹۰۱ و ۰/۸۷۸ هستند. اما در مقایسه سه مدل آماری، مدل EBF نسبت به دو مدل دیگر دارای بیشترین مقدار AUC بوده و بهترین مدل برای پیش‌بینی مکانی خطر زمین لغزش در منطقه پژوهش است. نتایج بیانگر آن است که الگوریتم‌های پیشرفته داده کاوی بنا به ساختار خود از دقت کافی در پیش‌بینی مکانی زمین لغزش در منطقه پژوهش برخوردارند.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، الگوریتم‌های پیشرفته داده کاوی، ماشین بردار پشتیبان، تابع شواهد قطعی، تابع شواهد وزنی، حوزه آبخیز کلات.

مقدمه

زمین لغزش‌ها از مهم‌ترین مخاطرات زمینی در جهان هستند که از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها رخ می‌دهد (شرفی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۲۸). ناپایداری دامنه‌های طبیعی یکی از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی است که در تغییر شکل سطح زمین نقش موثری دارد (سراسکانرود و همکاران، ۱۳۹۹: ۲). مطالعات در مورد زمین لغزش حاکی از این است که زمین لغزش مخاطره‌ای است که اغلب به فراوانی روی می‌دهد، و در همه قاره‌ها وجود دارد و تهدید جهانی برای انسان‌ها، زیرساخت‌ها و محیط زیست است (بروک و همکاران^۱، ۲۰۱۸: ۱۲۵). زمین لغزش تحت مجموعه‌ای از شرایط روی می‌دهد و ممکن است توسط فاکتورهای زمین محیطی همچون شیب، ارتفاع، لیتولوژی، ژئومورفولوژی و ... تحت تاثیر قرار گیرد. علاوه بر این عوامل خارجی مانند بارندگی، زلزله و فعالیت‌های انسانی مانند ترانشه برای ساخت و ساز جاده‌ها و شهر سازی نیز بر روی فراوانی وقوع زمین لغزش تاثیر می‌گذارد (برا و همکاران^۲، ۲۰۱۸: ۴۵). پهنه‌بندی و تهیه نقشه حساسیت به لغزش یک فرایند پیچیده است. نقشه‌های حساسیت زمین لغزش اطلاعات مهم و ارزشمندی را برای پیش‌بینی خطرات زمین لغزش ارائه می‌دهند و شامل نشانه‌ای از مقیاس زمانی زمین لغزش‌ها است که ممکن است در آینده رخ دهد (حمزه و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۱۸). با توجه به اینکه پیش‌بینی دقیق زمان و مکان وقوع زمین لغزش مشکل است، شناسایی و پتانسیل‌یابی مناطق حساس به زمین لغزش اهمیت زیادی دارد (محرمی و همکاران، ۱۳۹۹: ۵۷۲). تاکنون مدل‌های مختلف به منظور مدل سازی مناطق مستعد زمین لغزش ارائه شده است که عمدتاً جزء مدل‌های فیزیکی یا اکتشافی آماری محسوب می‌شوند (لو و همکاران^۳، ۲۰۱۸، ۴۶۸). تاکنون برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با روش‌های آماری پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است. نوجوان و همکاران (۱۳۹۸) به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز کمه در استان اصفهان از ترکیب دو مدل سلسله مراتبی و فازی استفاده کردند. متغیرهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و مقدار بارش به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش بررسی شدند. نتایج نشان داد که مناسب ترین روش همپوشانی منطق فازی در تهیه نقشه خطر زمین لغزه گامای ۰/۸ است. قنواتی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از شاخص آنتروپی و الگوریتم ماشین های پشتیبان بردار در حوضه آبخیز کن به این نتایج دست یافتند که الگوریتم ماشین‌های پشتیبان بردار با $AUC=0/91$ در برآورد حساسیت زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه نسبت به مدل شاخص آنتروپی $AUC=0/86$ از صحت بیشتر و در نتیجه قابلیت اعتماد بالاتری برخوردار است. حیدری و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی تحت عنوان مدل‌سازی حساسیت زمین لغزش با الگوریتم یادگیری ماشین جنگل تصادفی در آبخیز سد رئیسعلی دلواری به این نتایج دست یافتند که درجه شیب، ارتفاع، انحنای نیمرخ، فاصله از جاده و واحدهای سنگ شناسی از عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش است و مدل جنگل تصادفی با دقت ۰/۹۸۳ نشان دهنده دقت عالی مدل است. حال‌جی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی کارایی مدل‌های پیش‌بینی حساسیت وقوع زمین لغزش در آبخیز بار نیشابور به این نتایج دست یافتند که دقت نقشه‌های برآورد شده با روش‌های ماشین بردار پشتیبان، بیشینه آنتروپی و الگوریتم جنگل تصادفی به ترتیب ۸۶، ۷۵ و ۸۲ درصد است. صحت سنجی مدل‌ها با منحنی تشخیص عملکرد نسبی بیان‌گر دقت خیلی خوب دو مدل جنگل

1. broeck et al

۲. bera et al

3. Luo et al

تصادفی و ماشین بردار پشتیبان است. آنیس و همکاران^۱ (۲۰۱۹) جهت پهنه‌بندی زمین لغزش در منطقه شمال غربی تونس، با استفاده از دو مدل تابع شواهد قطعی (EBF)، شواهد وزنی (WOE) به این نتایج دست یافتند که مدل‌های مذکور به ترتیب با میزان موفقیت ۸۷/۹ و ۸۹/۵ درصد و میزان پیش‌بینی به ترتیب ۸۴/۸ و ۸۶/۵ درصد به خوبی تأیید شدند. نقشه‌های حساسیت به لغزش توسط این دو مدل بسیار شبیه بودند. چن و همکاران^۲ (۲۰۲۰) در پژوهشی با استفاده از مدل‌های قطعیت (CF)، تابع شواهد قطعی (EBF)، شواهد وزنی (WOE) و دو مدل یادگیری ماشین جنگل تصادفی (RF) و ماشین بردار پشتیبانی (SVM) به این نتایج دست یافتند که مدل RF و WOE بالاترین پیش‌بینی را در وقوع زمین لغزش دارد. هو و همکاران^۳ (۲۰۲۰) در پژوهشی جهت پهنه‌بندی زمین لغزش در جنوب غربی چین با استفاده از مدل‌های ماشین بردار پشتیبان (SVM)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، رگرسیون منطقی (LR) و Bayes (NB) به این نتایج دست یافتند که مدل‌های ANN (ANL)، با مقادیر $AUC=0.931$ ، برای مرحله اعتبار سنجی به ترتیب 0.940 و 0.932 با ضریب همبستگی بین LR و SVM با میانگین 0.72 بالاترین رقم بود. این معنی است که SVM و LR تقریباً برابر بودند. محمد یوسف و همکاران (۲۰۲۱) با هدف ارزیابی قابلیت‌های تکنیک پیشرفته یادگیری ماشین (MLT) از جمله ماشین بردار پشتیبان (SVM)، جنگل تصادفی (RF)، رگرسیون تطبیقی چند متغیره (MARS)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، تجزیه و تحلیل (QDA)، تجزیه و تحلیل تشخیصی خطی (LDA) و Naive Bayes (NB) برای مدل‌سازی حساسیت به زمین لغزش و مقایسه عملکرد آنها در منطقه عسیر عربستان سعودی به این نتایج دست یافتند که مقادیر AUC برای MLT از 0.89 ، برای QDA تا $1/95$ برای RF متغیر است. یافته‌ها نشان داد که $RF AUC=0.95$ ، $LDA AUC=0.94$ بهترین عملکرد را در مقایسه با سایر MLT ها تولید کرده‌اند. هدف از این پژوهش، مشخص کردن مناطق حساس به زمین لغزش، بررسی و ارزیابی با استفاده از سه مدل داده کاوی ماشین بردار پشتیبان (SVM)، تابع شواهد قطعی (EBF) و شواهد وزنی (WOE) و انطباق یافته‌ها با حوضه است. به نظر می‌رسد که خروجی حاصل از تحقیق می‌تواند در مدیریت محیطی موثر واقع شود. نوآوری این تحقیق نسبت به تحقیقات مشابه علاوه بر دیدگاه تطبیقی، مقایسه نتایج حاضر با محاسبات عددی را با واقعیت‌های زمینی تطبیق می‌دهد.

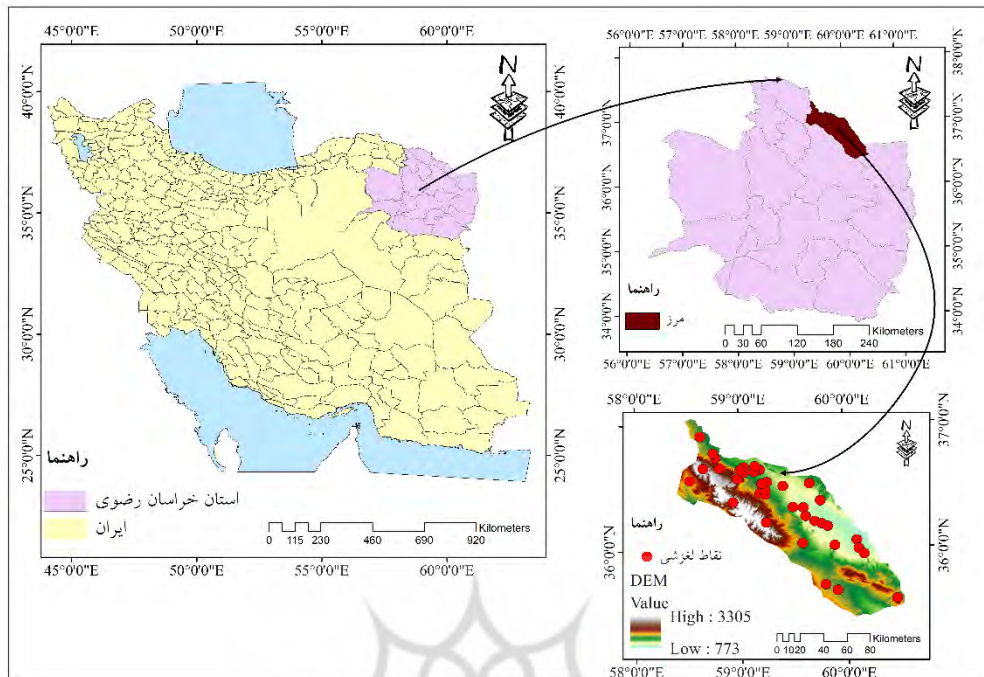
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان خراسان رضوی و در مدار $36^{\circ}24'30''$ عرض جغرافیایی و $59^{\circ}40'$ طول جغرافیایی و گرفته است. کلات نادری قطعه‌ای از زون ساختاری کپه داغ است که با وسعت $3502/81$ کیلومتر قرار دارد. ارتفاع آن از سطح دریا 2100 متر می‌باشد. این شهرستان در منطقه نیمه معتدل کوهستانی قرار دارد و دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و در مناطق پست هوایی معتدل در کوهپایه‌هاست. بلندترین نقطه آن 3059 متر از سطح دریا در ارتفاعات هزار مسجد و پست‌ترین نقطه آن 450 متر در محل خروجی رودخانه چهچه در مرز ترکمنستان است (شکل ۱).

1. Anis et al

2. Chen et al

3. Hu et al



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

در این مطالعه، ابتدا عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش شامل ارتفاع، جهت شیب، شیب، فاصله از گسل، تراکم آبراهه، فاصله از رودخانه، خاک، کاربری اراضی، فاصله از جاده، شاخص پوشش گیاهی NDVI، زمین شناسی، انحنا شیب، تیپ اراضی، پروفیل عرضی دامنه، پروفیل طولی دامنه، شاخص توان آبراهه (SPI) و شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) شناسایی گردید. در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی خطوط منحنی میزان، راه‌های ارتباطی، شبکه آبراهه و تراکم زهکشی با رقومی سازی از روی نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به دست آمد و لایه‌های شیب و جهت شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی DEM با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متری تهیه گردید. لایه‌های مربوط به زمین شناسی و گسل با رقومی سازی از روی نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شدند. به منظور تهیه لایه اطلاعاتی کاربری اراضی از نقشه کاربری اراضی ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شد. جهت تهیه نقشه خاک نیز از نقشه خاک ۱:۵۰۰۰۰ اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی استفاده شده است. شاخص پوشش گیاهی، شاخص قدرت جریان توان آبراهه^۱ و شاخص رطوبت توپوگرافی^۲ از رابطه ۱، ۲ و ۳ محاسبه شدند.

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} \quad \text{رابطه ۱:}$$

IR باند مادون قرمز و R باند قرمز طیف الکترومغناطیسی است. از دیدگاه نظری مقدار این شاخص در محدوده -۱ و +۱ است. مقادیر این شاخص برای پوشش گیاهی متراکم به سوی عدد ۱ میل می‌کند.

شاخص قدرت جریان توان آبراهه (SPI)^۱، نسبت بین مساحت بالا دست یک نقطه و شیب زمین در بالا دست آن را به گونه‌ای نشان می‌دهد که نیمرخ عرضی و نیمرخ طولی آبراهه را منعکس می‌کند. این شاخص از طریق توابع موجود در سیستم اطلاعات جغرافیایی و با داشتن نقشه خط انباشتگی از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (ملکی و همکاران: ۱۳۹۱).

$$\text{SPI} = A_s \cdot \tan\beta \quad \text{رابطه ۲:}$$

شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)^۲، این شاخص ترکیب پستی و بلندی است که نسبت بین شیب‌ها را در حوضه به نمایش می‌گذارد و به شاخص خیزی معروف است. شاخص مذکور از رابطه ۳ به دست می‌آید (ملکی و همکاران: ۱۳۹۱).

$$\text{TWI} = \ln(A_s / \tan(\beta)) \quad \text{رابطه ۳:}$$

A_s مساحت ویژه بالا دست یک پیکسل (متر مربع به متر)، β شیب پیکسل به رادیان است.

روش ماشین پشتیبان بردار (SVM)

الگوریتم SVM تحت عنوان ماشین پشتیبان بردار توسط واپنیک^۳ بر پایه تئوری یادگیری آماری^۴ که از حداقل‌سازی ریسک ساختاری^۵ تبعیت می‌کند ارائه شده است. در واقع یک سیستم یادگیری کارآمد بر مبنای تئوری بهینه‌سازی مفید است که از اصل استقرایی کمینه‌سازی خطای ساختاری استفاده کرده و منجر به یک جواب بهینه کلی می‌شود. ایده اصلی این الگوریتم به صورت یک طبقه‌بندی دوتایی با استفاده از نقاط آموزشی است که فضای ورودی اصلی را به یک فضای با ابعاد بالاتر، جهت یافتن یک ابر صفحه مطلوب تبدیل می‌کند (پنگ و همکاران^۱، ۲۰۱۴: ۲۸۹). نقاط آموزشی که نزدیک به صفحه مطلوب است، پشتیبان بردار نامیده می‌شود. هنگامی که سطح تصمیم به دست آمد، می‌توان از آن جهت برآورد داده‌های جدید استفاده کرد (تین بای و همکاران^۲، ۲۰۱۵: ۷).

X_i مجموعه‌ای از سلول‌های آموزشی است و به صورت رابطه (۱) می‌باشد:

$$X_i = (i=1, 2, \dots, n) \quad \text{رابطه ۱:}$$

سلول‌های آموزشی شامل دو کلاس $Y_i = \pm 1$ (زمین لغزش و عدم وقوع زمین لغزش) بوده که مشخص می‌شود به عنوان هدف مدل SVM جستجوی یک فرایط افتراق N -ابعادی در دو کلاس بوده که به وسیله شکاف حداکثری آنها مشخص می‌شود. از نظر ریاضی به صورت رابطه (۲) بیان می‌شود:

$$\frac{1}{2} = ||W^2|| \quad \text{رابطه ۲:}$$

رابطه (۲) منوط به رابطه (۳) می‌باشد:

$$Y_i = ((W \cdot X_i) +) \geq 1 \quad \text{رابطه ۳:}$$

¹. Peng et al

². Tien Bui et al

$||W^2||$ قاعده‌ای از فراترجم نرمال یک پایه عددی بوده و صفر مشخص کننده عمل تولید عددی است. با استفاده از چند ضریبی لاگرانژیان ارزش محاسبه عملکرد طبق رابطه ۴ تعریف می‌شود:

$$L = \frac{1}{2} ||W^2|| - \sum_{i=1}^n Y_i ((W \cdot X_i) + b) - 1 \quad \text{رابطه ۴}$$

Y^i چند ضریبی لاگرانژیان است و می‌تواند صفر یا غیر صفر باشد و فقط مجموعه داده‌هایی که ضرایب آن‌ها غیر صفر است در معادله نهایی وارد می‌شوند و این مجموعه داده‌ها به عنوان بردارهای پشتیبان شناخته می‌شوند. توابع مختلفی همچون تابع کرنل و توابع هسته‌ای در مدل SVM مورد استفاده قرار می‌گیرند. انتخاب توابع مختلف کرنل در مدل SVM خیلی مهم است اگر چه توابع هسته‌ای $K(X_i, X_j)$ زیادی قبلاً پیشنهاد و استفاده شده‌اند. تنها برخی از آنها برای کار در طیف گسترده‌ای از کاربردها مفید شناخته می‌شوند. مهارت‌های گفته شده در پاراگراف بعد نشان داده شده است:

$$K(X_j, X_j) = X_j^i \cdot X_j \quad \text{تابع خطی:}$$

$$K(X_j, X_j) = (Y \cdot X_j^i + r), Y > 0 \quad \text{تابع چند جمله‌ای:}$$

$$K(X_j, X_j) = e^{-Y(X_i - X_j)}, Y > 0 \quad \text{تابع پایه شعاعی:}$$

$$\tanh(Y \cdot X_i^T \cdot X_j + r) \quad \text{تابع حلقوی:}$$

r, Y, d پارامترهای توابع هسته‌ای هستند و به صورت دستی وارد می‌شوند (شولکوف و همکاران^۱، ۲۰۰۲: ۱۲۱۰). مقادیر هر یک از پارامترها با استفاده از الگوریتم SVM محاسبه گردید. مقادیر هر یک از پارامترها در موقعیت نقاط لغزشی استخراج شده و با توجه به تاثیر هر یک، وزن هر پارامتر در محیط نرم افزار WELA محاسبه شده است. نقشه‌های وزنی طیفی از یک تا صفر را پوشش می‌دهند. لایه‌های مربوط به هر یک از پارامترها با هم جمع شده و از تلفیق آن‌ها نقشه زمین‌لغزش منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. الگوریتم SVM میزان حساسیت را بین عدد صفر تا یک نمایش می‌دهد. هرچه میزان این عدد به یک نزدیکتر باشد، حساسیت زیادی به وقوع زمین‌لغزش وجود دارد. پس از ادغام لایه نقاط لغزشی و نقاط فاقد وقوع زمین‌لغزش، از مجموع ۳۶ نقطه در نظر گرفته شده، نقاط لغزشی حوضه با کد یک و نقاط فاقد لغزش با کد صفر معرفی شدند تا در فرآیند مدل‌سازی بکار روند. در مرحله بعد اقدام به مدل‌سازی از طریق نرم افزار R شد. ۷۰ درصد داده‌ها به صورت کاملاً تصادفی، به عنوان داده‌های آموزش وارد مدل گردید و ۳۰ درصد باقیمانده به عنوان داده آزمون جهت ارزیابی و صحت سنجی مدل در نظر گرفته شد.

مدل تابع شواهد قطعی (EBF)

¹. Scholkoph

². Shafer

³. Lee et al

⁴. Kavzoglu et al

مدل تابع شواهد قطعی بر اساس تئوری دمپستر- شيفر میباشد که نوع ساده شده احتمالات بالا و پایین بیزین می باشد (شافر: ۱۹۷۶). این مدل شامل درجاتی از قطعیت (Bel)، عدم قطعیت (Dis)، عدم اطمینان (Unc) و احتمال (Pls) در دامنه ای بین ۰ و ۱ است و مجموع مقادیر قطعیت، عدم قطعیت و عدم اطمینان ۱ است (لی و همکاران: ۲۰۱۳). بخش اصلی این تئوری توسط درجه اطمینان و درجه معقولیت ارائه می شود به همین دلیل درجه معقولیت بزرگ تر یا مساوی درجه اطمینان است. داده استخراج شده از EBFs همبستگی مکانی بین فاکتورهای موثر و رخداد زمین لغزش و همبستگی مکانی بین کلاس های هر یک از فاکتورهای موثر را برآورد می کند (کوزولو و همکاران: ۲۰۱۵). پارامترهای روابط مدل توسط رابطه ۵ تا ۸ برآورد می شود. رابطه ۵ تا ۸ برای تعریف ادغام لایه های Unc، Pls، Dis و Bel تعریف می شوند.

$$\text{Disbelief Dis} = \frac{\text{Dis}_2 + \text{Dis}_2 + \dots + \text{Dis}_n}{\beta} \quad \text{رابطه ۵:}$$

$$\text{Disbelief Dis} = \frac{\text{Dis}_2 + \text{Dis}_2 + \dots + \text{Dis}_n}{\beta} \quad \text{رابطه ۶:}$$

رابطه ۷:

$$\text{Uncertainty Unc} = \frac{\sum_{i=2}^n (\text{unci} - 1 \text{unci} + \text{Beli} - 1 \text{Unci} + \text{Beli} \text{unci} - 1 + \text{Disi} - 1 \text{unci} + \text{Disi} \text{unci} - 1)}{\beta}$$

$$\text{Plsibility Pls} = \text{Bel} + \text{Unc}$$

$$\beta = 1 \sum_{i=1}^n (\text{Bel}_i - 1 \text{Disi} - \text{Disi} - 1 \text{Beli}) \quad \text{رابطه ۸:}$$

Bel_n درجه کمتر از اعتماد برای هر نوع عامل یا محدوده است. Di_n درجه عدم اعتماد هر نوع عامل یا محدوده است. Unc_n درجه عدم قطعیت هر نوع عامل یا محدوده است. n تعداد عوامل است. یکی از ویژگی های مدل EBF این است که Unc ، Dis و Bel در محدوده ۱ و ۰ هستند. بنابراین اگر Unc برابر ۱ باشد Dis و Bel صفر می شوند و در صورتی که مجموع Dis و Bel برابر ۱ شود درجه Unc برابر صفر است.

مدل شواهد وزنی (WOE)

این روش بر مبنای محاسبات احتمالات وابسته است که ابتدای دهه ۱۹۹۰ که به عنوان سیستم های پشتیبانی تصمیم برای مطالعات پزشکی مورد استفاده قرار گرفته است (حمزه و همکاران: ۱۳۹۹). تئوری وزن واقعه روشی داده محور است که به عنوان یکی از مدل های نظریه بیزین در قالب لگاریتم خطی شناخته شده است و از احتمال قبلی (غیر شرطی) و خلفی (شرطی) بهره می گیرد (کراسبی: ۲۰۰۶). پارامترهای روابط مدل توسط رابطه ۹ و ۱۰ برآورد می شود.

$$w_i^+ = \log_e \frac{\frac{N_{pix1}}{N_{pix1} + N_{pix2}}}{\frac{N_{pix3}}{N_{pix3} + N_{pix4}}} \quad \text{رابطه ۹:}$$

$$w_i^- = \log_e \frac{\frac{N_{pix1}}{N_{pix1} + N_{pix2}}}{\frac{N_{pix3}}{N_{pix3} + N_{pix4}}} \quad \text{رابطه ۱۰:}$$

N_{pix1} تعداد پیکسل‌های وقوع زمین لغزش در هر کلاس، N_{pix2} تعداد کل پیکسل‌های وقوع زمین لغزش در هر نقشه، تعداد پیکسل‌های وقوع زمین لغزش در هر کلاس، N_{pix3} تعداد پیکسل‌های هر کلاس، تعداد پیکسل‌های وقوع زمین لغزش در هر کلاس، N_{pix4} تعداد پیکسل‌های هر نقشه، تعداد کل پیکسل‌های وقوع زمین لغزش در هر نقشه، تعداد پیکسل‌های هر کلاس به اضافه تعداد پیکسل‌های وقوع زمین لغزش در هر کلاس است. وزن مثبت (W^+) نشان می‌دهد که عامل علتی در محل وقوع زمین لغزش وجود دارد و بزرگی این وزن همبستگی بین آن عامل و وقوع زمین لغزش را بیان می‌کند. اما وزن منفی (W^-) بیانگر نبود عامل مورد نظر در محل بروز زمین لغزش است و سطح منفی همبستگی را نشان می‌دهد. اختلاف بین دو وزن مثبت و منفی (Wf) بزرگی ارتباط مکانی عامل علتی و وقوع زمین لغزش را نشان می‌دهد که از رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود (سانگ و همکاران^۳: ۲۰۱۲).

$$wf = w_i^+ - w_i^- \quad \text{رابطه ۱۱}$$

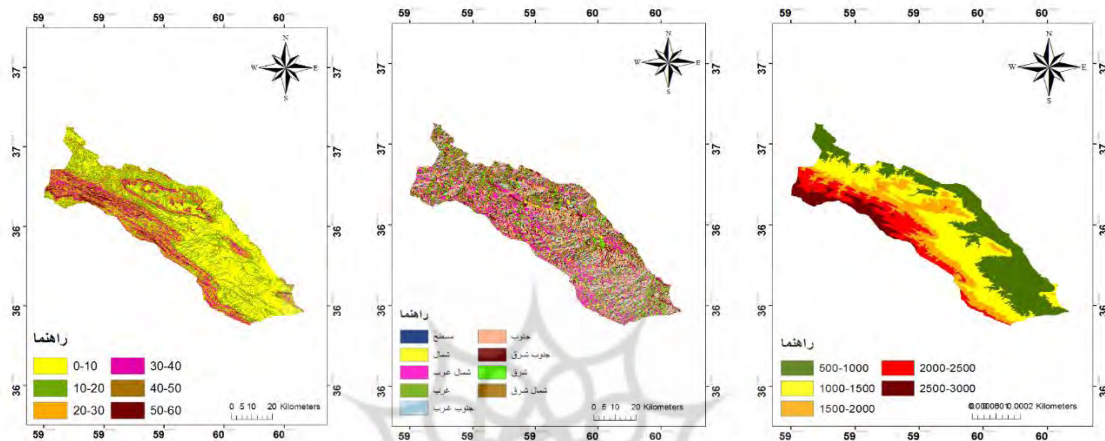
برای به دست آوردن وزن نهایی هر عامل وزن‌های مثبت و منفی کلاس‌های متعدد هر عامل با هم جمع می‌شوند. اگر وزن عاملی مثبت باشد در وقوع زمین لغزش نقش دارد و اگر عامل منفی باشد بیانگر نبود اثر عامل در بروز زمین لغزش است. برخی عوامل هم تاثیر ناچیزی در وقوع زمین لغزش دارند و وزن آن‌ها صفر یا نزدیک به صفر است.

بحث و یافته‌ها

۱۷ لایه اطلاعاتی شامل ارتفاع، جهت شیب، شیب، فاصله از گسل، تراکم آبراهه، فاصله از رودخانه، خاک، کاربری اراضی، فاصله از جاده، شاخص پوشش گیاهی NDVI، زمین شناسی، انحنا شیب، تپ اراضی، پروفیل عرضی دامنه، پروفیل طولی دامنه، شاخص توان آبراهه (SPI) و شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) شناسایی شده است. مهم‌ترین دلیل انتخاب این عوامل، با توجه به اقلیم خشک و نیمه خشک منطقه و اطلاعات گردآوری شده، همچنین بررسی و مطالعه کتب، طرح‌های پیشین و نظر کارشناسان در محدوده بررسی می‌باشد. تغییرات ارتفاعی هر منطقه به عنوان عامل مؤثر در ایجاد حرکات توده‌ای محسوب می‌شود. عامل ارتفاع نقش حیاتی در تغییر فضایی شرایط هیدرولوژیک از قبیل رطوبت خاک، جریان آب‌های زیرزمینی و ثبات شیب دارد (فاسمیان و همکاران: ۱۳۹۶). نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ارتفاعات بیش از ۱۵۰۰ متر بیشترین سهم لغزش را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین ارتفاعات ۱۵۰۰ متر نیز لغزش در آن‌ها قابل توجه بوده است که دلیل آن ناپایداری دامنه‌ها در برابر عوامل اقلیمی و محیطی می‌باشد (شکل ۲). جهت شیب دامنه نیز به عنوان یکی دیگر از عوامل مؤثر در ایجاد حرکات توده‌ای است. در مناطقی که در طول ماه‌های مختلف سال اتلاف زیادی در دمای دامنه‌های رو و پشت به آفتاب وجود دارد و این نوسان دما، در محدوده بالاتر و پایین تر از نقطه انجماد آب خصوصاً در دامنه برف گیر صورت می‌گیرد، بین توزیع فراوانی ناپایداری‌های دامنه‌ای و جهت دامنه ارتباط معنی داری برقرار می‌گردد (نوجوان و همکاران: ۱۳۹۸). تقریباً در تمام جهات جغرافیایی زمین لغزش وجود دارد ولی در دامنه‌های میانی و غربی بیشترین زمین لغزش رخ داده است (شکل ۳). شیب و مرفولوژی دامنه‌ها تاثیر زیادی در وقوع پدیده زمین لغزش دارد (دای و همکاران: ۲۰۰۲). طبقات شیب ۲۰ و بعد از آن ۳۰ درجه، بیشترین فراوانی لغزش‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. این مسئله ارتباط تنگاتنگی با جنس لایه‌های سنگی و سطوح ارتفاعی دارد که در ارتفاع ۲۰۰۰ متر به بالا وجود داشتند (شکل ۴). فاصله از گسل یا به عبارتی شکستگی‌ها و خرد شدگی نقش مؤثری در افزایش پتانسیل

ناپایداری دامنه‌ها دارد. از آنجا که تراکم سیستم درزه‌ها، شکستگی‌ها نقش موثری در افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه‌ها دارند و گسل‌ها می‌توانند خرد شدگی را بوجود آورند (یمانی و همکاران: ۱۳۹۱). اکثر لغزش‌ها در فاصله ۴۰۰-۲۰۰ متر کیلومتری از گسل‌ها اتفاق افتاده است (شکل ۵). تراکم زهکشی نسبت طول کل آبراهه‌ها به مساحت حوزه آبریز است. هرچه تراکم زهکشی‌ها بیشتر باشد، نفوذ پذیری کاهش و سرعت جریانهای سطحی افزایش می‌یابد (یالسین: ۲۰۰۸). بیشترین زمین لغزش‌های رخ داده در ۰/۳۱ - ۰/۲۱ متر اتفاق افتاده است (شکل ۶). فعالیت‌های انسانی مانند جاده سازی نیز از مهمترین عوامل رخداد زمین لغزش در مناطق شیب دار محسوب می‌گردد (داس و همکاران: ۲۰۱۰). پهنه‌های لغزشی هر چه به جاده‌های ارتباطی نزدیکتر باشد، فراوانی لغزش آنها بیشتر خواهد بود. مکان‌های با فاصله حدود ۱۰۰۰-۵۰۰ کیلومتر و کمتر، بیشترین خطر را دارا می‌باشند (شکل ۷). زمین شناسی و ساختار متنوع آن اغلب باعث اختلاف در پایداری و مقاومت سنگ‌ها و همچنین تنوع جنس خاک و در نتیجه وقوع زمین لغزش می‌شود (آیلو و همکاران: ۲۰۰۵). وجود لغزش‌هایی در سازندهای دارای واحدهای سنگ شناسی شیل، مارن، سنگ آهک ورقه ای، ماسه سنگ و نهشته های کواترنری دارد که شامل سازند چهل کمان، سازند سنگانه، سازند آتامیر و سازند سر چشمه می‌باشد. دلیل اصلی این موضوع حساسیت بسیار زیاد این واحدهای سنگ شناسی به حرکات لغزشی می‌باشد. از سوی دیگر وسعت زیاد سازندهای زمین شناسی با جنس سنگ آهک و قابلیت انحلال این نوع سنگ‌ها در شرایط آب و هوایی منطقه نیز از دلایل بیش تر بودن لغزش‌ها نسبت به سایر واحدهای سنگی میباشد (شکل ۸). آب‌هایی که بر سطح دامنه (رواناب‌ها) و آب‌هایی که در بین مواد نفوذ می‌کنند از عوامل تحریک کننده مواد دامنه‌ای هستند. هرچایی که شیب دامنه‌ها افزایش زیادی داشته باشد و جنس سازندها نیز مناسب باشد، آبراهه‌ها با زیر شویی دامنه‌ها و از بین بردن تکیه گاه مواد دامنه‌ای در ایجاد انواع حرکت‌های توده‌ای، مخصوصا لغزش نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند (صفاری و همکاران: ۱۳۹۶). نواحی مستعد جهت ایجاد زمین لغزش که منطبق بر فواصل نزدیک به شبکه آبراهه ۳۰۰-۰ متر است بیشترین ناپایداری دامنه‌ای اتفاق می‌افتد (شکل ۹). خاک‌های آلفی سول خاک‌هایی هستند که روان آب متوسطی تولید می‌کنند و کاملاً خیس می‌باشند. قابلیت نفوذ خوبی دارند بنابراین در این نوع خاک وقوع زمین لغزش بیشتر می‌باشد (شکل ۱۰). کاربری زمین یکی از شاخص‌های اصلی در مطالعه زمین لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر آن‌ها در یک ناحیه می‌باشد. از نظر کاربری اراضی طبقات مربوط به مراتع تنک تا متراکم بیشترین اثر را در وقوع زمین لغزش دارند. علت این امر نقش مراتع، به خصوص مراتع پر تراکم در نفوذ و هدایت بارندگی‌ها به طبقات سست زیرین است (شکل ۱۱). برای تکمیل کاربری اراضی، نقشه پوشش گیاهی منطقه تهیه شد. در این زمینه، شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر این شاخص برای منطقه مورد مطالعه نشان دهنده پایین بودن تراکم پوشش گیاهی منطقه می‌باشد (شکل ۱۲). انحنای نشان دهنده میزان انحراف سطح از صاف بودن و یا به عبارت دیگر محدب و مقعر بودن دامنه را نشان می‌دهد. با استفاده از مقادیر عددی و مشتقات حاصل از DEM از قبیل شیب، انحنای پروفیل، انحنای پلان، انحنای عرضی و انحنای کلی دامنه، ویژگی‌های مورفومتری لندفرم‌ها استخراج می‌گردد (بابلی موخر و همکاران: ۱۳۹۷). در منطقه مطالعاتی سطوح مقعر دارای بیشترین فراوانی زمین لغزش می‌باشد (شکل ۱۳). شاخص قدرت آبراهه نسبت بین مساحت بالادست یک نقطه و شیب زمین در بالا دست آن را بگونه‌ای نشان می‌دهد که نیمرخ عرضی و نیمرخ طولی آبراهه را منعکس می‌کند. کلاس ۳۱۹/۰۵ - ۳۵۹/۹۹ بیشترین زمین لغزش‌ها رخ داده است (شکل ۱۴). شاخص رطوبت توپوگرافی ترکیب پستی و بلندی بوده که نسبت بین شیب‌ها را در حوضه به نمایش می‌گذارد و بیشترین فراوانی زمین لغزش در کلاس

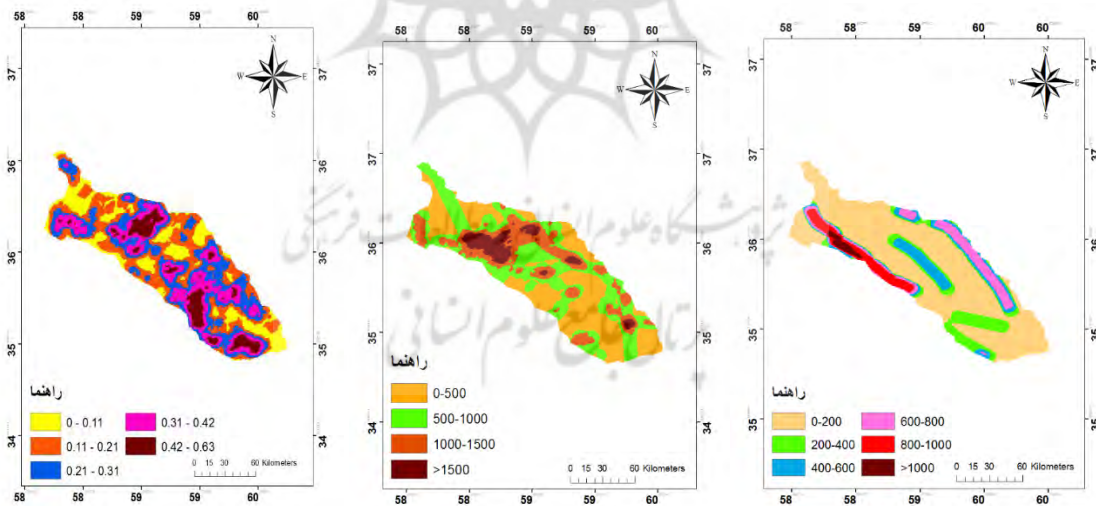
۲۸۷/۹۹-۳۵۹/۹۹ می‌باشد (شکل ۱۵). پروفیل عرضی و پروفیل طولی دامنه که مقادیر بالای آن نشان دهنده تاثیر گذاری بیشتر بر ناپایداری دامنه و وقوع زمین لغزش می‌باشد (شکل ۱۶ و ۱۷). به دلیل نوع مرفولوژی کوهستانی و وجود رخنمون های سنگی که در بعضی از قسمت‌ها به صورت توده سنگی و به صورت پرتگاهی قابل مشاهده هستند، میزان شیب نسبت زیاد از عوامل مهم وقوع زمین لغزش است. این اراضی اغلب در ارتفاعات بالادست و در دامنه‌های جنوبی و یا متمایل به آن واقع شده است (شکل ۱۸).



شکل ۲: ارتفاع (متر)

شکل ۳: جهت شیب

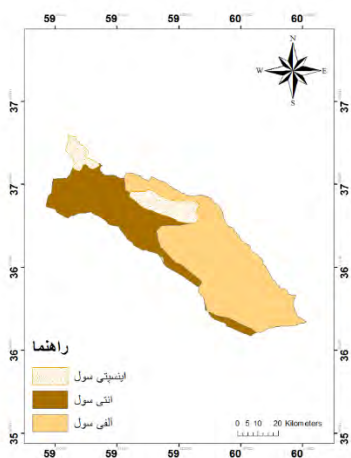
شکل ۴: شیب (درجه)



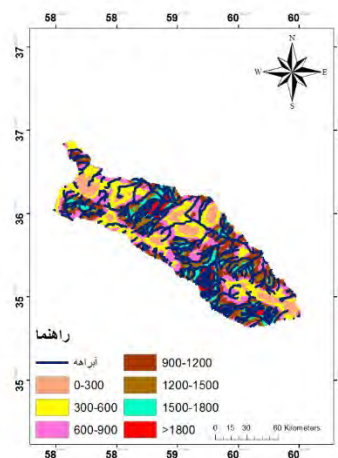
شکل ۵: فاصله از گسل (متر)

شکل ۶: تراکم آبراهه (متر)

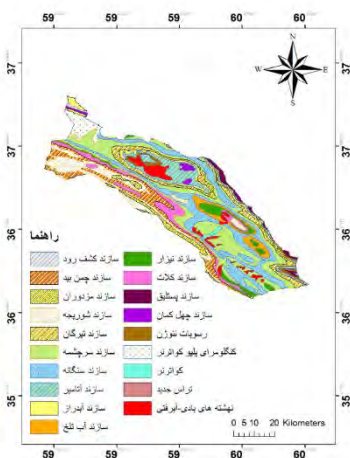
شکل ۷: فاصله از جاده (متر)



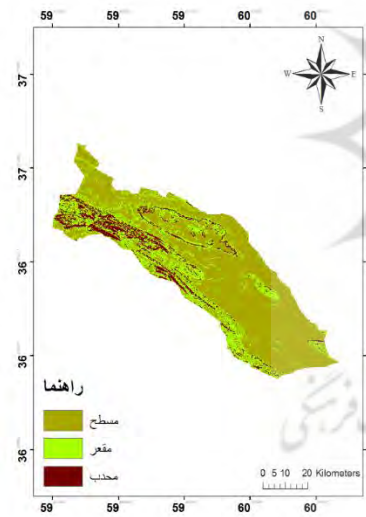
شکل ۱۰: خاک



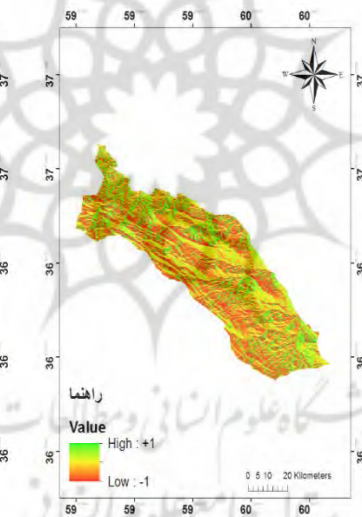
شکل ۹: فاصله از رودخانه (متر)



شکل ۸: زمین شناسی



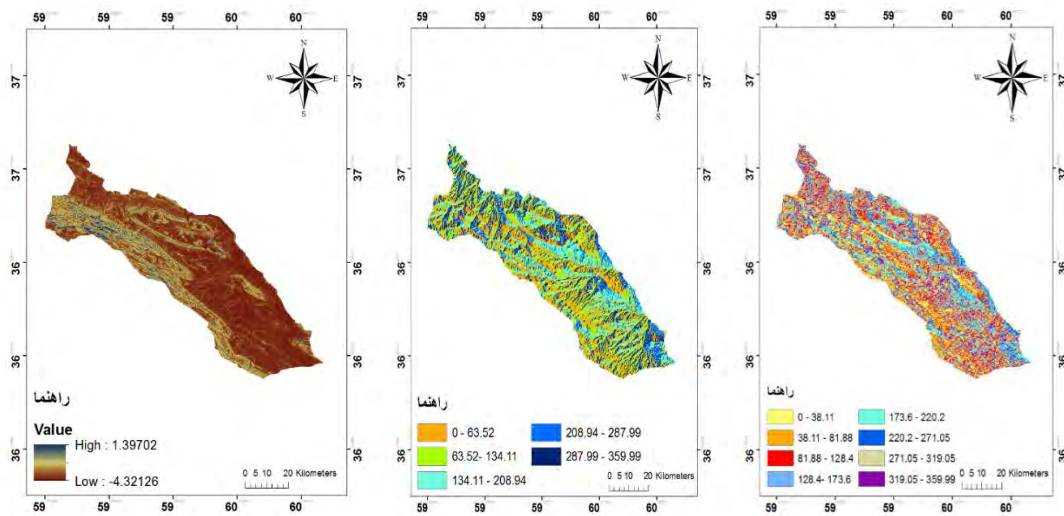
شکل ۱۳: انحنای شیب



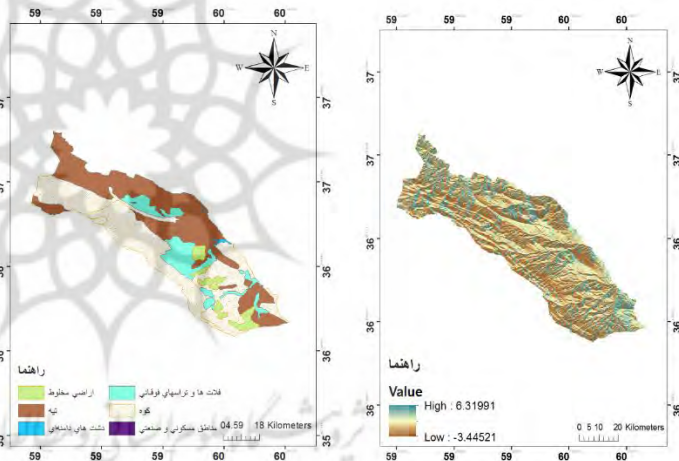
شکل ۱۲: شاخص پوشش گیاهی (NDVI)



شکل ۱۱: کاربری اراضی



شکل ۱۴: شاخص قدرت آبراهه (SPI) شکل ۱۵: شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) شکل ۱۶: پروفیل عرضی دامنه



شکل ۱۷: پروفیل طولی دامنه شکل ۱۸: تیپ اراضی

نتایج حاصل از ارتباط بین هر یک از عوامل موثر و نقاط وقوع زمین لغزش با استفاده از روش شواهد وزنی و تابع شواهد قطعی در جدول ۱ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در مدل شواهد وزنی و تابع شواهد قطعی جهت غربی (۱/۰۳) دارای بیشترین تاثیر و جهت‌های شمالی (۱/۲۲-) و مسطح (۰/۰) دارای کمترین تاثیر در وقوع زمین لغزش بودند. در هر دو مدل شیب ۲۰ درجه (۲/۱۷) دارای بیشترین تاثیر و کمتر از ۱۰ درجه (۰/۰) دارای کمترین تاثیر در وقوع زمین لغزش بودند. بیشترین زمین لغزش‌ها در هر دو مدل در طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰ متر (۱/۴۴) و کمترین مقدار زمین لغزش در ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر (۰/۰) دیده شده است. جنس خاک آلفی سول دارای بیشترین تاثیر (۱/۲۸) و اینسپتی سول دارای کمترین تاثیر (۰/۰) می‌باشد. در مدل شواهد وزنی و تابع شواهد قطعی به ترتیب تراکم زهکشی متوسط (۱/۶) و (۱/۱۲) دارای بیشترین تاثیر و تراکم زهکشی کم (۰/۲) دارای کمترین تاثیر می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود در نقشه فاصله از گسل در هر دو مدل فاصله ۲۰۰-۰ متر با بیشترین تاثیر (۲/۱۹) و کمترین تاثیر در فاصله بیشتر از ۱۰۰۰ متر (۱/۱۶-) می‌باشد. در رابطه با پارامتر فاصله از جاده در مدل شواهد وزنی و تابع شواهد قطعی به ترتیب فاصله ۵۰۰-۰ متر با (۱/۱۸) و (۱/۳۳) دارای بیشترین تاثیر و فاصله ۱۵۰۰ متر دارای کمترین تاثیر (۱/۶-) می‌باشد. بررسی نقشه زمین شناسی نشان داد که در

هر دو مدل سازند سرچشمه بیشترین تاثیر (۲/۲۸) و رسوبات نئوژن کمترین تاثیر (۰/۱۶) در ایجاد زمین لغزش بودند. در پارامتر فاصله از آبراهه در هر دو مدل فاصله ۰-۳۰۰ متر با بیشترین (۲/۲۲) و کمترین (۰/۱۱)، کاربری اراضی بیشترین تاثیر کاربری مراتع با بیشترین (۱/۳۳) و کمترین اراضی جنگلی (۰/۳۳)، شاخص پوشش گیاهی بیشترین تاثیر (۱/۸۱)، در انحنا شیب سطوح مسطح با بیشترین تاثیر (۱/۷۷) و کمترین سطوح مقعر (۰/۲)، شاخص قدرت آبراهه با بیشترین تاثیر (۱/۸۸) و کمترین (۰/۲۷)، شاخص رطوبت توپوگرافی با بیشترین تاثیر (۱/۶۶) و کمترین تاثیر (۰/۱۱)، تیپ اراضی کوهستان با بیشترین تاثیر (۱/۹۹) و کمترین تاثیر (۰/۱۵) و پروفیل طولی و پروفیل ارضی دامنه به ترتیب دارای بیشترین تاثیر (۱/۸۵)، (۱/۶۳) و کمترین تاثیر (۱/۱) و (۱/۳-) می‌باشد.

جدول ۱: تعداد پیکسل، تعداد نقاط زمین لغزش و امتیاز طبقات پارامترها در مدل شواهد وزنی و تابع شواهد قطعی

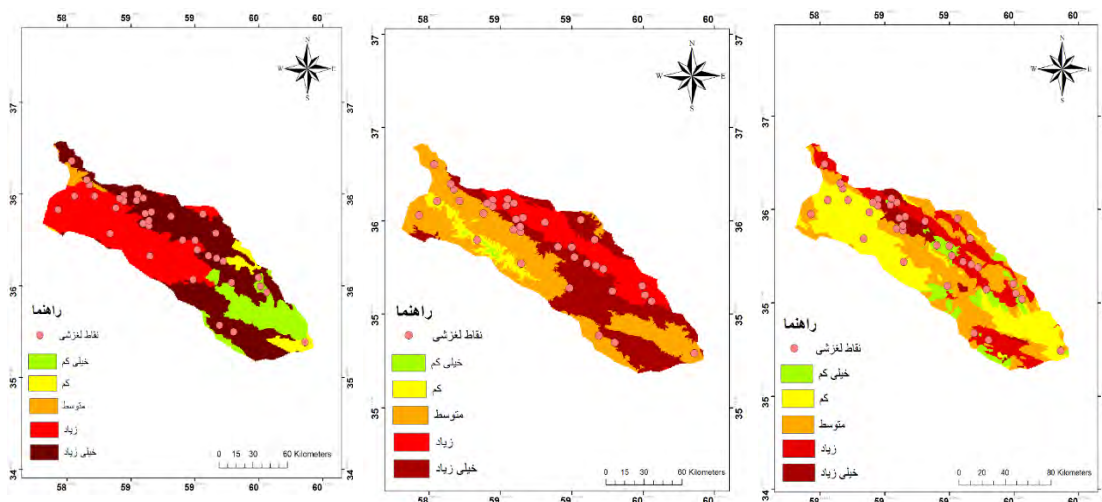
پارامتر	فاصله طبقات	تعداد پیکسل	تعداد زمین لغزش	EBF				WEOE
				Bel	Dis	Unc	Pluasibility	Wfinal
ارتفاع	۵۰۰-۱۰۰۰	۹۳۰۱	۴	۰/۰۰۰	۰/۱۰۱	۰/۷۲۳	۰/۸۵۱	-۰/۰۰۰۵
	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱۹۵۱۲۳	۹	۰/۱۲۱	۰/۵۷۸	۰/۶۵۱	۰/۸۰۱	۰/۲۱۳۴
	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۱۸۱۰۸۹	۱۰	۰/۰۶۳	۰/۱۱۶	۰/۷۵۴	۰/۹۰۱	۰/۹۶۱۱
	۲۰۰۰-۲۵۰۰	۱۱۱۱۹۳	۸	۰/۱۱۱	۰/۰۸۱	۰/۷۸۵	۰/۹۱۱	۱/۴۴۱۱
	۲۵۰۰-۳۰۰۰	۱۹۰۳۳۱	۵	۰/۱۲۸	۰/۰۷۱	۰/۷۲۳	۰/۸۰۹	۰/۹۹۵۴
جهت شیب	مسطح	۱۱۲۱۲۰۱	۲	۰/۰۰۰	۰/۱۲۴	۰/۶۸۵	۰/۷۰۱	۰/۰۰۰۵
	شمال	۱۷۱۲۱۱	۲	۰/۱۱۱	۰/۲۲۱	۰/۳۷۴	۰/۵۹۱	-۱/۲۲۱۱
	شمال غرب	۱۷۰۰۳۵۱	۲	۰/۲۱۱	۰/۳۷۷	۰/۴۵۸	۰/۷۲۸	۰/۳۳۶۴
	غرب	۱۷۲۱۶۲۲	۹	۰/۶۲۲	۰/۵۸۴	۰/۷۱۲	۰/۹۱۱	۱/۰۳۵۵
	جنوب غرب	۱۵۲۰۱۵۵	۵	۰/۳۷۴	۰/۶۲۳	۰/۷۸۸	۰/۹۰۱	۰/۴۴۲۲
	جنوب	۱۸۶۶۳۱۱	۵	۰/۴۷۸	۰/۶۷۸	۰/۷۰۱	۰/۸۶۹	۰/۵۵۷۴
	جنوب شرق	۱۶۹۹۱۰۰	۳	۰/۱۲۴	۰/۵۰۱	۰/۷۱۱	۰/۸۵۵	۰/۹۹۶۱
	شرق	۱۸۵۵۱۲۳	۷	۰/۲۱۳	۰/۶۰۱	۰/۷۲۵	۰/۸۹۶	۰/۸۶۳۶
	شمال شرق	۵۴۴۸۷۱۱	۱	۰/۳۵۵	۰/۶۲۱	۰/۷۰۸	۰/۸۴۹	۰/۹۸۷۴
	۰-۱۰	۱۸۶۱۲۳۳	۵	۰/۲۴۷	۰/۵۱۸	۰/۷۸۸	۰/۶۰۲	۰/۰۰۰۵
شیب	۱۰-۲۰	۱۰۱۴۳۱۷	۶	۰/۳۳۳	۰/۵۱۲	۰/۶۲۱	۰/۶۹۳	۷/۰۱۹
	۲۰-۳۰	۱۰۰۵۶۱۲	۶	۰/۳۱۱	۰/۴۵۸	۰/۶۱۷	۰/۷۰۱	۰/۶۵۸۹
	۳۰-۴۰	۱۵۵۲۱۱۳	۴	۰/۰۰۰	۰/۴۲۲	۰/۷۱۸	۰/۶۱۹	۸/۰۶۶
	۴۰-۵۰	۱۴۴۶۹۸۱	۷	۰/۲۱۱	۰/۵۸۸	۰/۷۶۶	۰/۹۸۸	۲/۱۷۳۲
	۵۰-۶۰	۱۰۹۷۸۰۶	۸	۰/۰۰۸	۰/۴۱۳	۰/۶۵۵	۰/۷۰۸	۰/۸۱۹۹
فاصله از گسل	۰-۲۰۰	۲۱۰۱۳۶۹	۱۹	۰/۱۷۸	۰/۵۹۶	۰/۲۸۹	۰/۹۰۱	۲/۱۹۰۱
	۲۰۰-۴۰۰	۱۵۰۲۳۱۲	۳	۰/۱۸۶	۰/۶۲	۰/۷۴۱	۰/۸۳۸	۰/۵۵۶۱
	۴۰۰-۶۰۰	۱۷۸۹۵۴۲	۵	۰/۰۰۸	۱/۶۲	۰/۶۹۷	۰/۸۰۳	۰/۷۸۹۹
	۶۰۰-۸۰۰	۱۹۸۷۵۴۳	۳	۰/۰۰۶	۰/۶۵۱	۰/۷۹۳	۰/۸۰۹	۰/۱۲۵۹
	۸۰۰-۱۰۰۰	۱۹۶۶۴۵۵	۴	۰/۰۰۹	۰/۷۱۱	۰/۷۰۹	۰/۸۲۱	۰/۳۲۵۶
	>۱۰۰۰	۱۹۸۹۶۲۳	۲	۰/۰۰۱۱	۱/۳۵	۰/۶۶۸	۰/۸۰۵	-۱/۱۶۱۳
۰-۱/۱	۱۵۸۸۶۱۳	۵	۰/۴۱۲	۱/۳۶۶	۰/۶۷۳	۰/۸۰۹	۰/۵۵۸۶	
۰/۱۱-۰/۲۱	۱۲۳۳۶۵۴	۷	۰/۳۷۸	۱/۴۵۵۱	۰/۷۲۸	۰/۸۴۲	۰/۶۶۹۹	

۰/۹۹۱۲	۰/۸۲۲	۰/۷۹۶	۰/۵۷۸	۰/۴۰۱	۷	۱۹۸۵۶۰۱	۰/۳۱-۰/۳۱	تراکم
۱/۶۶۱۴	۰/۹۵۵	۰/۷۴۳	۰/۳۶۹	۰/۷۸	۱۰	۱۸۷۵۶۱۲	۰/۴۲-۰/۳۱	زهکشی
۱/۱۲۹۹	۰/۸۰۹	۰/۷۲۲	۰/۴۵۶	۰/۰۰۰۹	۷	۱۹۵۲۱۱۳	۰/۴۲-۰/۶۳	
۱/۱۸۲۳	۰/۹۹۹	۰/۵۶۱	۰/۲۳۳	۰/۰۸۵	۱۱	۳۲۱۲۵۵	۰-۵۰۰	فاصله از جاده
۱/۳۳۷۷	۰/۹۱۲	۰/۷۰۱	۰/۰۰۴	۰/۳۰۴	۱۰	۲۷۸۰۱۱	۵۰۰-۱۰۰۰	
۰/۸۴۵۳	۰/۸۱۱	۰/۶۲۴	۰/۰۳۳	۰/۰۲۶	۸	۱۱۹۹۸۵۳	۱۰۰۰-۱۵۰۰	
-۱/۶۳۲۲	۰/۷۱۳	۰/۵۸۹	۰/۲۳۲	۰/۰۴۸	۷	۱۱۹۳۵۶	>۱۵۰۰	
۰/۰۹۶	۰/۶۱۲	۰/۴۲۳	۰/۱۱۲	۰/۰۰۰	۲	۱۲۲۳۶۹	سازند کشف رود	زمین شناسی
۰/۰۹۹	۰/۷۰۱	۰/۴۰۱	۰/۲۲۲	۰/۰۰۶	۲	۱۱۲۳۳۵	سازند چمن بید	
۰/۰۷۵	۰/۶۰۷	۰/۴۸۹	۰/۲۵۵	۰/۰۷۹	۱	۱۱۵۴۶۱۳	سازند مزدوران	
۰/۸۵۲۵	۰/۷۰۳	۰/۵۱۶	۰/۲۸۹	۰/۱۱۱	۴	۱۴۸۵۲۶۰	سازند شوربجه	
۰/۶۷۵	۰/۸۰۶	۰/۵۲۲	۰/۳۱۲	۰/۰۸۶	۲	۱۵۸۹۶۳۲	سازند تیرگان	
۲/۲۸۱۳	۰/۹۹۰	۰/۶۲۳	۰/۴۱۱	۰/۰۰۱	۵	۱۸۹۶۵۲۰	سازند سرچشمه	
۰/۰۸۸	۰/۸۰۰	۰/۴۵۳	۰/۵۹۶	۰/۰۶۴	۵	۱۹۸۵۶۲۱	سازند سنگانه	
۰/۰۹۵	۰/۸۰۴	۰/۷۲۳	۰/۶۱۲	۰/۹۸۰	۳	۱۸۵۵۲۱۳	سازند آتامیر	
۰/۰۹۹	۰/۸۲۲	۰/۶۹۸	۰/۴۵۵	۰/۶۶۰	۱	۱۱۳۶۹۸۵	سازند آبدراز	
۰/۰۴۶۳	۰/۸۵۴	۰/۶۶۹	۰/۱۲۴	۰/۲۱۳	۱	۱۲۵۵۶۰۲	سازند آب تلخ	
۰/۰۵۵	۰/۷۲۲	۰/۴۸۹	۰/۲۰۳	۰/۱۸۱	۲	۱۷۵۵۲۱۳	سازند نیزار	
۰/۰۸۹	۰/۷۰۱	۰/۴۹۹	۰/۲۶۷	۰/۰۴۶	۳	۱۳۶۶۹۸۷	سازند کلات	
۰/۰۰۰	۰/۷۰۹	۰/۴۵۵	۰/۱۲۳	۰/۰۰۰	۰	۱۸۷۷۴۱۵	سازند پستلیق	
۰/۰۰۰	۰/۷۲۲	۰/۳۵۶	۰/۲۱۱	۰/۰۰۰	۱	۱۸۵۵۲۴۱	سازند چهل کمان	
۰/۱۶۲۱	۰/۹۰۲	۰/۷۶۶	۰/۲۸۶	۰/۳۳۰	۰	۱۹۵۶۳۲۱	رسوبات نئوژن	
۰/۰۰۵	۰/۷۲۳	۰/۵۰۳	۰/۳۲۱	۰/۰۰۱	۰	۱۶۹۸۵۴۴	کنگومرای پلیو کواترنر	
۰/۰۶۹	۰/۷۰۳	۰/۵۲۱	۰/۳۸۹	۰/۲۳۰	۱	۱۵۸۸۲۱۳	کواترنر	
۰/۰۸۹	۰/۰۷۵	۰/۵۶۶	۰/۲۵۶	۰/۰۸۹	۲	۱۱۲۲۳۵۶	تراس جدید	
۰/۰۹۹	۰/۰۸۵	۰/۳۲۵	۰/۱۵۵	۰/۰۳۳	۱	۱۲۳۵۵۴۳	نهشته بادی- آبرفتی	
۲/۲۲۳	۰/۹۰۳	۰/۴۰۱	۰/۱۷۸	۰/۲۰۱	۱۰	۱۱۷۸۶۵۲	۰-۳۰۰	فاصله از آبراهه
۱/۳۵۳	۰/۸۰۳	۰/۴۷۸	۰/۲۵۵	۰/۳۲۱	۷	۱۲۵۵۶۶۳۲	۳۰۰-۶۰۰	
۱/۱۱۱	۰/۸۱۵	۰/۵۰۳	۰/۲۲۱	۰/۰۷۵	۷	۱۹۸۱۷۵۲۵	۶۰۰-۹۰۰	
۰/۱۷۹	۰/۷۸۹	۰/۴۲۳	۰/۱۸۷	۰/۰۲۷	۵	۱۲۵۶۴۸۷	۹۰۰-۱۲۰۰	
۰/۰۵۵۵	۰/۷۰۵	۰/۳۶۹	۰/۱۵۵	۰/۰۶۷	۳	۱۲۶۶۹۸۷	۱۲۰۰-۱۵۰۰	
۰/۰۴۴	۰/۷۳۳	۰/۴۲۵	۰/۲۰۱	۰/۰۸۹	۲	۱۲۵۶۳۲۱	۱۵۰۰-۱۸۰۰	
۰/۱۱۴۴	۰/۱۷۸	۰/۳۸۹	۰/۳۲۱	۰/۰۰۰	۱۲	۱۱۵۵۹۸	>۱۸۰۰	
۰/۰۰۰۵	۰/۷۲۳	۰/۴۷۸	۰/۴۲۱	۰/۰۹۹	۵	۱۳۱۵۵۸۹	اینسیتی سول	خاک
۱/۳۵۶۱	۰/۹۱۹	۰/۶۲۹	۰/۵۸۹	۰/۳۶۹	۲۰	۲۵۸۱۸۶۳	آنتی سول	
۱/۲۸۱۳	۰/۹۶۹	۰/۷۲۱	۰/۶۰۳	۰/۳۰۱	۱۰	۲۱۱۲۰۱۰	آلفی سول	
۰/۰۳۵۵	۰/۷۰۱	۰/۳۲۱	۰/۵۰۳	۰/۰۸۸	۴	۱۱۷۱۵۵	اراضی باغی	
۰/۳۳۱۱	۰/۷۲۱	۰/۴۰۳	۰/۲۵۵	۰/۰۹۶	۷	۱۱۲۵۶۳	اراضی جنگلی	

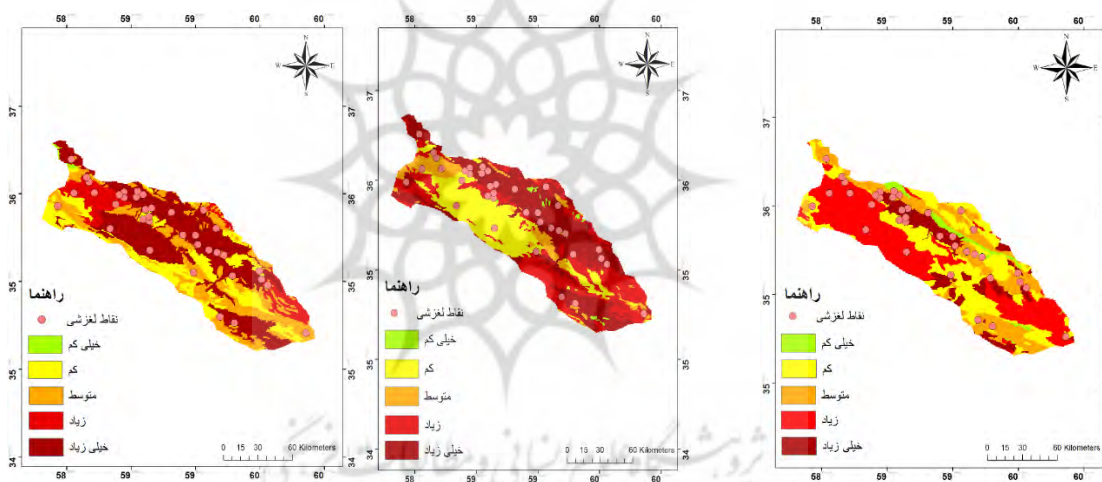
۰/۴۱۳۳	۰/۴۵۵	۰/۳۶۹	۰/۱۸۹	۰/۰۰۰	۱	۱۱۷۴۵۵	اراضی فاقد پوشش گیاهی	کاربری اراضی
۰/۶۷۲۱	۰/۴۸۹	۰/۲۱۱	۰/۱۹۹	۰/۰۱۳۳	۳	۱۱۶۶۹۸	بیشه زار و بوته زار	
۰/۹۶۱۲	۰/۶۲۳	۰/۳۲۱	۰/۱۸۹	۰/۰۲۶	۲	۱۱۵۶۳۲۱	جنگل با تاج پوشش کم	
۰/۶۶۷۷	۰/۶۰۱	۰/۳۷۹	۰/۰۲۱	۰/۰۰۰	۰	۱۲۵۵۳۲۱	جنگل با تاج پوشش متوسط	
۰/۶۳۱۷	۰/۵۹۸	۰/۴۵۹	۰/۰۳۳	۰/۰۰۰	۰	۱۱۵۵۶۳	دریاچه، مخزن آب و سد	
۰/۵۵۴۶	۰/۶۲۱	۰/۳۶۹	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰	۰	۱۱۳۲۳۵	رخنن سنگی	
۰/۸۷۲۱	۰/۵۲۷	۰/۴۱۱	۰/۰۶۸	۰/۰۰۰	۱	۱۱۷۸۹۸	زراعت آبی	
۰/۹۹۶۶	۰/۹۰۱	۰/۶۷۸	۰/۲۵۵	۰/۳۶۱	۸	۱۱۲۳۵۵	زراعت دیم	
۱/۳۳۲۳	۰/۹۲۳	۰/۴۹۸	۰/۲۹۸	۰/۰۷۹	۷	۱۱۷۸۹۱	مراعت خوب	
۰/۹۹۲۳	۰/۹۰۶	۰/۴۷۸	۰/۴۲۳	۰/۰۹۹	۳	۱۱۵۶۹۸	مرتع با تاج پوشش کم	
۰/۹۸۲۵	۰/۹۰۱	۰/۶۱۷	۰/۵۰۱	۰/۰۸۷	۲	۱۱۷۴۶۹	مرتع با تاج پوشش متوسط	
۰/۰۰۰۵	۰/۷۰۲	۰/۷۱۱	۰/۲۶۵	۰/۰۴۶	۹	۱۵۶۳۲۱	+۱	
۱/۸۱۱۶	۰/۹۸۷	۰/۵۹۸	۰/۳۷۸	۰/۱۱۶	۲۷	۳۵۶۱۴۵	-۱	
۱/۷۷۱۴	۰/۹۷۵	۰/۶۷۱	۰/۴۲۱	۰/۱۵۳	۲۰	۴۵۶۱۲۳	مسطح	
۰/۹۹۷۸	۰/۸۹۷	۰/۶۵۵	۰/۳۵۴	۰/۲۶۳	۸	۱۱۸۹۶۳	محدب	
۰/۲۵۵۶	۰/۷۱۵	۰/۶۲۳	۰/۳۶۹	۰/۲۸۷	۸	۱۵۸۹۶۳	مقعر	
۰/۲۷۱۱	۰/۵۰۳	۰/۲۳۶	۰/۱۷۸	۰/۰۲۳	۰	۱۱۲۳۶۵۴	۰-۳۸/۱۱	شاخص قدرت آبراهه
۰/۱۱۲۳	۰/۵۲۳	۰/۲۶۶	۰/۱۸۷	۰/۰۱۱	۱	۱۲۱۵۵۸۷	۳۸/۱۱-۸۱/۸۸	
۰/۸۵۱۱	۰/۷۲۳	۰/۳۰۱	۰/۲۶۹	۰/۰۹۱	۲	۱۲۴۴۵۶۹	۱۲۸/۴-۸۱/۸۸	
۰/۸۰۲۱	۰/۷۱۲	۰/۳۲۴	۰/۲۲۱	۰/۰۶۸	۲	۱۲۵۵۴۸۷	۱۲۸/۴-۱۷۳/۶	
۰/۸۱۹۹	۰/۷۹۵	۰/۳۷۸	۰/۲۶۱	۰/۰۷۷	۳	۱۱۴۵۶۹۱	۱۷۳/۶-۲۲۰/۲	
۰/۹۱۹۱	۰/۸۰۱	۰/۵۶۶	۰/۳۷۱	۰/۲۲۳	۵	۱۲۵۵۴۱۳	۲۲۰/۲-۲۷۱/۰۵	
۰/۹۹۸۸	۰/۸۷۸	۰/۵۷۸	۰/۴۲۳	۰/۲۹۹	۸	۱۲۵۵۳۵۱	۲۷۱/۰۵-۳۱۹/۰۵	
۱/۸۱۱۶	۰/۹۱۲	۰/۶۷۸	۰/۵۲۳	۰/۲۹۹	۱۵	۱۲۲۳۶۶۵	۳۱۹/۰۵-۳۵۹/۹۹	
۰/۱۱۵۵	۰/۷۰۲	۰/۳۲۱	۰/۴۵۵	۰/۰۷۸	۶	۱۳۲۵۶۸۹	۰-۶۳/۵۲	شاخص رطوبت توپوگرافی
۰/۸۵۱۷	۰/۷۱۸	۰/۴۵۵	۰/۴۱۱	۰/۰۸۹	۷	۱۲۵۵۶۳۱	۶۳/۵۲-۱۳۴/۱۱	
۰/۸۰۲۳	۰/۷۰۳	۰/۴۷۱	۰/۳۵۶	۰/۰۷۴	۷	۱۳۵۵۹۸۱	۱۳۴/۱۱-۲۰۸/۹۴	
۰/۸۴۲۵	۰/۷۱۲	۰/۵۰۱	۰/۳۶۹	۰/۱۱۱	۷	۱۳۵۵۶۹۸	۲۰۸/۹۴-۲۸۱/۹۹	
۱/۶۶۴۴	۰/۹۱۱	۰/۶۲۳	۰/۴۲۳	۰/۱۲۵	۹	۱۲۴۴۵۹۸	۲۸۱/۹۹-۳۵۹/۹۹	

۰/۱۵۶۹	۰/۶۹۹	۰/۳۵۲	۰/۱۶۹	۰/۰۰۰	۴	۱۱۵۵۶۳۱	اراضی مخلوط	تیپ اراضی
۱/۸۷۱۱	۰/۹۲۳	۰/۴۲۳	۰/۲۵۹	۰/۰۹۸	۱۱	۳۲۵۵۴۱۳	تپه	
۰/۹۹۹	۰/۸۹۹	۰/۵۲۳	۰/۲۶۹	۰/۰۸۵	۹	۲۴۱۵۶۹۱	دشت های دامنه ای	
۱/۹۹۲۵	۰/۹۵۵	۰/۶۲۳	۰/۳۶۹	۰/۲۶۶	۱۲	۳۵۶۱۳۲	کوه	
۰/۰۲۱۱۱	۰/۲۰۱	۰/۳۲۶	۰/۴۲۳	۰/۱۲۵	۰	۱۱۱۰۲۳	مناطق مسکونی و صنعتی	
۰/۰۰۰۵	۰/۶۸۹	۰/۵۷۸	۰/۵۰۱	۰/۱۳۳	۶	۲۵۶۶۳۲۱	۱/۳۹۷۰۲	پروفیل
۱/۶۳	۰/۹۸۹	۰/۶۹۸	۰/۶۲۳	۰/۲۶۰	۳۰	۵۶۹۸۷۱۲	-۴/۴۳۱۲۶	عرضی دامنه
۰/۰۰۰۵	۰/۶۷۸	۰/۵۳۳	۰/۴۲۱	۰/۰۷۸	۷	۲۳۶۶۹۸۱	۶/۳۱۹۹۱	پروفیل طولی
۱/۸۵۹۸	۰/۹۶۶	۰/۶۷۹	۰/۴۲۵	۰/۲۳۶	۲۹	۲۸۴۲۱۱۵۶۹	-۳/۴۴۵۲۱	دامنه

نقشه پتانسیل وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل ماشین پشتیبان بردار، مدل تابع شواهد وزنی و مدل تابع شواهد قطعی (۱۹-۲۰-۲۱-۲۲-۲۳-۲۴) ارائه شده است. نقشه‌های حاصل از مدل EBF شامل درجاتی از قطعیت (Bel)، عدم قطعیت (Dis)، عدم اطمینان (Unc) و احتمال (Pls) در دامنه بین صفر و یک است و مجموع مقادیر قطعیت، عدم قطعیت و اطمینان ۱ است. مقادیر زیاد شاخص قطعیت و مقادیر کم شاخص عدم قطعیت بیانگر احتمال وقوع زمین لغزش است. در حالی که مقادیر کم شاخص قطعیت و مقادیر زیاد شاخص عدم قطعیت بیانگر احتمال کم وقوع زمین لغزش است. نقشه احتمال اطلاعات خاصی در زمینه رخداد زمین لغزش ارائه نمی‌دهد. مقادیر زیاد شاخص احتمال منطبق بر مناطقی است که در آنجا مقادیر شاخص قطعیت کم است. نقشه عدم اطمینان نشان داد که در مناطقی درجه عدم اطمینان زیاد است، مقادیر درجه عدم قطعیت و احتمال زیاد است. بر طبق نقشه خروجی مدل SVM بیشتر پهنه حوضه حساسیت متوسطی به رخداد زمین لغزش دارد. طبق این تابع نیمه غربی حوضه حساسیت بیشتری برای زمین لغزش دارد و امکان وقوع این مخاطره در غرب حوضه بسیار زیاد می‌باشد. همینطور در شرق حوضه نیز این شرایط حاکم بوده و امکان وقوع زمین لغزش در آنجا نیز زیاد است. بر اساس این نقشه مناطق نزدیک به آبراهه و گسل امکان لغزش پذیری زیادی دارند. در نتیجه می‌توان گفت بر طبق این تابع گسل و آبراهه بیشترین تاثیر را در وقوع مخاطره زمین لغزش دارند. نقشه خروجی بر طبق مدل شواهد قطعی بیانگر حساسیت‌پذیری بالای حوضه به مخاطره زمین لغزش است. این نقشه نشان می‌دهد که در شمال و شرق حوضه احتمال وقوع زمین لغزش بسیار زیاد بوده است، در حالی که در جنوب حوضه این احتمال تا حد متوسط پایین می‌آید. همچنین در غرب حوضه نیز حساسیت بالا ملاحظه می‌گردد. عامل زمین شناسی در میزان حساسیت حوضه به زمین لغزش نقش قابل ملاحظه‌ای دارند. نقشه خروجی حاصل از مدل شواهد وزنی نیز نشان دهنده حساسیت بیشتر قسمت شرقی حوضه به زمین لغزش می‌باشد. هر چند که در این نقشه قسمتهای غربی حوضه نیز حساسیت متوسط تا بالایی را نشان می‌دهد. عامل ارتفاع و شیب و کاربری اراضی نقش زیادی در حساسیت‌پذیری حوضه نسبت به زمین لغزش دارند. در شکل (۲۵ و ۲۶) وقوع زمین لغزش در پهنه خطر زیاد در منطقه مطالعاتی ارائه شده است.



شکل ۱۹: نقشه پهنه‌بندی مدل SVM شکل ۲۰: نقشه پهنه‌بندی (قطعیت) شکل ۲۱: نقشه پهنه‌بندی (عدم قطعیت)



شکل ۲۲: نقشه پهنه‌بندی (عدم اطمینان) شکل ۲۳: نقشه پهنه‌بندی (احتمال) شکل ۲۴: نقشه پهنه‌بندی مدل شواهد وزنی



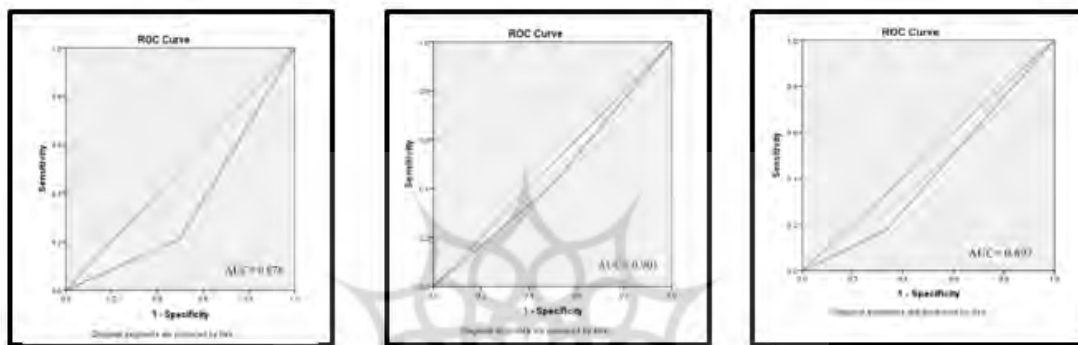
شکل ۲۶: زمین لغزش با سطح مقطع قوسی در شرق حوضه



شکل ۲۵: زمین لغزش با سطح مقطع قوسی در غرب حوضه

ارزیابی صحت نقشه‌های پهنه‌بندی زمین لغزش با منحنی ROC

سطح زیر منحنی (AUC) بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقوع زمین لغزش و عدم وقوع آن است. مناسب‌ترین روش، بیشترین سطح زیرمنحنی را داشته و مقدار AUC از ۰/۵ تا ۱ متغیر است که عدد یک بهترین دقت را دارد (وهاب زاده و همکاران: ۱۳۹۶). در این پژوهش از منحنی مشخصه (ROC) برای ارزیابی صحت نقشه‌های پهنه‌بندی استفاده شد. بر این اساس، مقدار سطح زیرمنحنی منطقه مورد مطالعه برای روش ماشین بردار پشتیبان (۰/۸۹۷)، تابع شواهد قطعی (۰/۹۰۱) و شواهد وزنی (۰/۸۷۸) به دست آمد. بنابراین، روش تابع شواهد قطعی توانایی بهتری در شناسایی مناطق حساس به وقوع زمین لغزش نشان داد (شکل ۲۷-۲۸-۲۹). خروجی‌های مدل‌ها در جداول (۲ و ۳) ارائه شده است.



شکل ۲۷: منحنی ROC الگوریتم SVM شکل ۲۸: منحنی ROC مدل توابع شواهد قطعی شکل ۲۹: منحنی ROC مدل توابع شواهد وزنی

جدول ۲: خروجی‌های مدل SVM در محیط R

نوع تابع	طبقات حساسیت	درصد هر طبقه
الگوریتم ماشین بردار (SVM)	پارامتر سیگما	۰/۰۶۸
	مقدار تابع هدف	۸۹/۲۳
	خطای یادگیری	۰/۲۱۹

جدول ۳: مقایسه مقادیر خروجی آزمون ROC بین مدل‌ها

سطح اطمینان ۹۵ درصد	معناداری	خطای انحراف معیار	مساحت زیرمنحنی ROC	مدل‌های حساسیت
				باند بالا
۰/۷۱۹	۰/۶۲۱	۰/۰۰۱	۰/۸۹۷	الگوریتم ماشین بردار (SVM)
۰/۷۸۱	۰/۷۱۳	۰/۰۰۱	۰/۸۷۸	مدل شواهد وزنی
۰/۷۰۱	۰/۶۰۲	۰/۰۰۵	۰/۹۰۱	مدل شواهد قطعی

نتیجه‌گیری

حرکات توده‌ای مانند لغزش زمین لغزش به صورت سیستمی عمل می‌کنند در نتیجه همه عوامل در وقوع چنین پدیده‌هایی نقش خاص خود را ایفا می‌کنند ولی در این میان بعضی از عوامل نقش بیشتری دارند. شهرستان کلات به دلیل قرارگیری در منطقه کوهستانی، از مناطق مستعد زمین لغزش محسوب می‌شود. پتانسیل وقوع لغزش در منطقه مورد مطالعه در مناطق مختلف متفاوت است به طوری مناطق اطراف شهر به دلیل وجود خطوط گسلی، شبکه رودخانه، راه ارتباطی و شیب زیاد داری پتانسیل بالایی در جهت وقوع لغزش هستند. همچنین بخش‌های عمده‌ای از مناطق شرق و جنوب غربی شهرستان نیز پتانسیل بالایی جهت حرکات لغزشی دارند. مجموعه‌ای از عوامل فوق بیانگر پتانسیل منطقه جهت وقوع حرکات دامنه‌ای به خصوص لغزش است. در بین عوامل یاد شده در بروز زمین لغزش، عواملی همچون زمین شناسی، ارتفاع، شیب، خاک شناسی و کاربری اراضی بیشترین تاثیر را در بروز زمین لغزش داشته‌اند. جهت ارزیابی مدل‌های مورد نظر از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) و سطح زیر منحنی (AUC) استفاده گردید. مدل SVM جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش این منطقه مناسب است. عامل شیب نشان داد بیشترین ارتباط لغزش‌ها با کلاس بیشتر از ۲۰ درجه را نشان داده است و طبقه شیب ۰ تا ۱۰ درجه درجه کمترین اثر را داشته است. در دامنه‌های پر شیب برتری تنش برشی بر نیروی مقاوم، شرایط جهت وقوع زمین لغزش فراهم شده است. نتایج حاصل از انطباق نقشه فاصله از آبراهه‌ها با وقوع زمین لغزش‌ها نشان داد بیشترین مقدار نسبت فراوانی مربوط به فواصل ۳۰۰-۰ متر از آبراهه‌ها اتفاق افتاده است. شاخص توان آبراهه نیز گویای این بحث است. زیرا در مناطقی که توان آبراهه بیشتر می‌گردد تاثیر آن بر وقوع زمین لغزش‌ها بیشتر می‌شود. نتایج حاصل از معیار فاصله از جاده نشان میدهد که بیشترین مقدار نسبت فراوانی مربوط به طبقه ۵۰۰-۱۰۰۰ متر است. هرچه ارتفاع حوضه بیشتر می‌گردد میزان لغزش‌ها افزایش پیدا میکند که بیشترین مقدار نسبت فراوانی در ارتفاع ۱۵۰۰ متر قرار داشته است. بررسی جهت شیب نشان میدهد که بیشترین مقدار نسبت فراوانی در منطقه در جهت میانی و غربی رخ داده است. نتایج تحلیل کاربری اراضی نشان داده که بیشترین زمین لغزش در کاربری مراتع اتفاق افتاده است. در این مناطق پوشش گیاهی در حداقل ممکن خود قرار می‌گیرد. استقرار پوشش گیاهی در این مناطق بسیار ناچیز است که خود شرایط را برای بروز لغزش‌ها آماده می‌کند و به دلیل وجود واحدهای سنگ شناسی شیل، مارن، سنگ آهک ورقه‌ای، ماسه سنگ و نهشته‌های کواترنری شرایط برای زمین لغزش مستعدتر شده است و چون این سازندها زودتر پایداری خود را از دست می‌دهند و به شدت تحت تاثیر عوامل فیزیکی شیمیایی هستند و مستعدتر از بقیه سازندها در بروز لغزش می‌باشند. تلفیق پهنه‌های لغزشی در لایه فاصله از آبراهه هم بیانگر این امر است که بیشترین پراکنش زمین لغزش‌ها در طبقه با فاصله ۴۰۰-۲۰۰ متر قرار دارند. در رابطه با شاخص پوشش گیاهی می‌توان نتیجه گرفت که هر چه قدر تراکم پوشش گیاهی کمتر باشد وقوع زمین لغزش بیشتر است. از آنجا که بخش وسیعی از سطح منطقه مورد پژوهش، کوهستانی همراه با دیواره‌های بلند و دره‌های ژرف می‌باشد. بنابراین علت اینکه در منطقه مورد مطالعه با افزایش شیب حساسیت به زمین لغزش بیشتر می‌شود را می‌توان به بالا بودن مقدار ریزش های سنگی و واژگونی در سطح منطقه نسبت داد. بطور کلی در مورد شکل شیب به اشکال مختلف باید گفت که دامنه های مسطح استحکام کمتری نسبت به دامنه‌های محدب و مقعر دارند. شاخص توان آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص پروفیل طولی و شاخص پروفیل عرضی دامنه نیز تاثیر زیادی بر رخداد زمین لغزش‌ها دارند. نتایج پژوهش با نتایج شاهکوئی و همکاران (۱۳۹۸)، حجازی و همکاران (۱۳۹۹)، غلامی کلاته و همکاران (۱۳۹۹)، کرمی و همکاران (۱۳۹۸)، قنواتی و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد. نقشه‌های خطر زمین لغزش به دست آمده در این مطالعه نشان میدهد که مساحت زیادی از منطقه دارای پتانسیل خطر زیاد و بسیار زیاد است. متغیرهای زمین شناسی، میزان بارش و کاربری زمین از عوامل بسیار مهم در ناپایداری‌های دامنه‌ای هستند. نتایج به دست آمده نشان دهنده دقت بالاتر مدل تابع شواهد قطعی (EBF) نسبت به مدل‌های ماشین بردار پشتیبان و تابع شواهد وزنی است. علت بالا بودن دقت در روش EBF نسبت به دو

روش دیگر، ترکیبی بودن این روش نسبت به روش‌های دیگر است. همچنین دقت بالاتر روش‌های آماری نسبت به روش‌های تصمیم‌گیری از دیگر نتایج این تحقیق است. در نهایت با تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، می‌توان کمک شایانی به برنامه ریزان و مدیران در راستای کاهش خسارات احتمالی و یافتن مکان‌های امن‌تر جهت توسعه ساخت و ساز و احداث جاده شود.

منابع

- اصغری سراسکانرود، ص.، پالیزبان، د.، امامی، ه.، و قلعه، ا.، ۱۳۹۹. تحلیل مدل‌های تحلیل شبکه و منطق فازی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین لغزش مطالعه موردی: جاده سراب - نیر، نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۲۴، شماره ۳۷، صص ۲۲-۱.
- بابلی موخر، ح.، تقیان، ع.ا.، و شیرانی، ک.، ۱۳۹۷. ارزیابی نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش تلفیقی فاکتور اطمینان و رگرسیون لجستیک با بکارگیری شاخص‌های ژئومورفومتریک، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۷، شماره ۳، صص ۹۱-۱۱۶.
- حجازی، س.ا.، نجف‌وند، س.، ۱۳۹۹. پتانسیل سنجی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش در شهرستان پاوه با استفاده از روش منطق Fuzzy، جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۲، شماره ۴، صص ۳۷۷-۳۸۵.
- حلاجی، م.، زنگنه اسدی، م.ع.، و امیراحمدی، ا.، ۱۳۹۹. ارزیابی کارایی مدل‌های پیش‌بینی حساسیت وقوع زمین لغزش در آبخیز بار نیشابور، پژوهش‌های آبخیز داری، دوره ۳۳، شماره ۲، شماره پیاپی ۱۲۷، صص ۲۰-۳۰.
- حمزه، س.، امیری، ا.، ۱۳۹۹. پهنه بندی خطر رانش زمین با استفاده از روش‌های همپوشانی وزنی و تحلیل شبکه مطالعه موردی: منطقه نصرآباد استان گلستان، فصلنامه علمی - پژوهشی اطاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۹، شماره ۱۱۴، صص ۱۱۷-۱۳۲.
- حیدری، ن.، حبیب نژاد، م.، کاویان، ع.ا.، و پورقاسمی، ح.ر.، ۱۳۹۹. مدل‌سازی حساسیت زمین لغزش با الگوریتم یادگیری ماشین جنگل تصادفی در آبخیز سد رئیسعلی دلواری، پژوهش‌های آبخیز داری، دوره ۳۳، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۲۶، صص ۲-۱۳.
- شاهکویی، ا.، سارلی، ر.، درویشی، ی.، امان پور قرائی، س.، ۱۳۹۸. پهنه‌بندی عرصه‌های آسیب پذیر در برابر مخاطرات طبیعی با تأکید بر زمین لغزش (مطالعه موردی: زیر حوضه گرگان رود شهرستان گرگان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۸، شماره ۲، صص ۵۲-۷۰.
- شرفی، س.، صادقی راد، م.، و جوادی نیا، ز.، ۱۳۹۹. بازسازی پائوژئومورفولوژی زمین لغزش دلا و شکلگیری دریاچه سدی شیمبار شهرستان اندیکا- استان خوزستان، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۲۰، شماره ۵۶، صص ۱۷۷-۱۹۲.
- صفاری، ا.، هاشمی، م.، ۱۳۹۶. پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین لغزش با مدل‌های آنتروپی و منطق فازی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه)، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال ۹، شماره ۳۴، صص ۴۳-۶۲.
- غلامی کلاته؛ غ.ر.، کردوانی، پ.، رنجبر، م.، ۱۳۹۹. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان استان گلستان با استفاده از مدل فازی، مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی - پژوهشی دانشگاه گلستان، سال ۱۰، شماره ۳۶، صص ۱-۱۴.
- قاسمیان، ب.، عابدینی، م.، و روستایی، ش.، ۱۳۹۶. ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از الگوریتم ماشین پشتیبان بردار (مطالعه موردی: شهرستان کامیاران، استان کردستان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۶، شماره ۳، صص ۳۶-۱۵.

- قنوتی، ع.ا.، احمدآبادی، ع.، غلامی، م.، ۱۳۹۸. ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از شاخص آنتروپی و الگوریتم ماشین‌های پشتیبان بردار(مطالعه موردی: حوضه آبخیز کن)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۸، شماره ۱، صص ۱۶-۳۳.
- کرمی، ف.، بیاتی خطیبی، م.، خیری زاده، م.، مختاری اصل، ا.، ۱۳۹۸. ارزیابی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش اهر چای، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۳۲، صص ۱-۱۷.
- محرمی، م.، ارگانی، م.، ۱۳۹۹. پتانسیل‌یابی مناطق مستعد زمین لغزش با استفاده از مدل FBWM (مطالعه موردی: شهر تبریز)، آمایش سرزمین، دوره ۱۲، شماره ۲، صص ۵۷۱-۵۹۳.
- ملکی، ا.، میلادی، ب.، و احمدی، م.، ۱۳۹۱. شبیه‌سازی مناطق مستعد خندق زایی با استفاده از روش SPI در حوضه رودخانه مرگ، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۱، شماره ۳، صص ۳۸-۲۳.
- نوجوان، م.ر.، شاه زیدی، س.، داودی، م.، و امین‌الرعایایی، ه.، ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تلفیق دو مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کمه، استان اصفهان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۷، شماره ۴، صص ۱۴۲-۱۵۹.
- وهاب زاده، ق.، میرکی، ش.، و شیرزادی، ع.ا.، ۱۳۹۶. پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با سامانه اطلاعات جغرافیایی و مقایسه کارایی روش‌های رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز چشمیدر، کردستان)، مجله کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه ریزی، دوره ۸، شماره ۲، صص ۱۱-۲۱.
- یمانی، م.، حسن پور، س.، مصطفایی، ا.، و شادمان رودپشتی، م.، ۱۳۹۱. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP در محیط GIS، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی ۴۸، شماره ۴، صص ۳۹-۵۶.
- Bera, S., Guru, B., & V. Ramesh. (2019). Evaluation of landslide susceptibility models: a comparative study on the part of Western Ghat Region, India, Remote Sensing Applications: Society and Environment, PII: S2352-9385(17)30309-9, 39-52, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.10.010>.
- Broeckx, J., Vanmarcke, M., Duchateau, R., & Poesen, Jean. (2018). A data-based landslide susceptibility map of Africa, Earth-Science Reviews, 102-121. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.05.002>.
- Luo, W., & Liu, C. (2018). Innovative landslide susceptibility mapping supported by geomorphon and geographical detector methods, Landslides, 15(3), 465-474.
- Wei Chen, Z.S., Xia Zhao, X.L., Shirzadi, A.L., & Shahabi, H. (202). Performance Evaluation and Comparison of Bivariate Statistical-Based Artificial Intelligence Algorithms for Spatial Prediction of Landslides, International Journal of Geo-Information, 9, 696; doi:10.3390/ijgi9120696, 2-21.
- Zorgati Anis, G., Wissem, V.V., Smida, S., & Essghaier, M. (2019). GIS-based landslide susceptibility mapping using bivariate statistical methods in North western Tunisia, Open Geosciences, 11 (1), Pages 708–726, ISSN 2391 5447, DOI: <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0056>.
- Xudong, H., Zhang, H., Mei, H., Xiao, D., Yuanyuan, L., & Li, M. (2020). Landslide Susceptibility Mapping Using the Stacking Ensemble Machine Learning Method in Lushui, Southwest China, Applied Sciences, 10, 4016; doi:10.3390/app10114016, 1-22.
- MohamedYoussef, H., & Pourghasemi, H.R. (2020). Landslide susceptibility mapping using machine learning algorithms and comparison of their performance at Abha Basin, Asir Region, Saudi Arabia, Geoscience Frontiers, 12(2), 639-655.

- Tien Bui, D., Biswajeet, P., Lofman, O., & Revhaug, I. (2012). *Landslide Susceptibility Assessment in Vietnam Using Support Vector Machines, Decision Tree, A Naive Bayes Models, Mathematical Problems in Engineering*, 1-26.
- Peng Ling, R., Huang, NB., Wua, X., Zhao, Y., & Ye, R. (2014). *Landslide susceptibility mapping based on rough set theory and support vector machines: A case of the Three Gorges area, China, Geomorphology*, 204 287–301.
- Scholkoph, B., Smola, A.J., Williamson, R.C., & Bartlett, P.L. (2000). *New support vector algorithms, Neural Computation*, 12, 1207–1245.
- Shafer, G., 1976. *A mathematical theory of evidence*, 1, Princeton University, Princeton.
- Lee, S., Hwang, J., & Park, I. (2013). *Application of data-driven evidential belief functions to landslide susceptibility mapping in Jinbu, Korea, Catena*, 100, 15-30.
- Kavzoglu, T., Kutlug Sahin, E., & Colkesen, I. (2015). *An assessment of multivariate and bivariate approaches in landslide susceptibility mapping: a case study of Duzkoy district, Natural Hazards*, 76 (1), 471 – 496.
- Crosby, D. A. (2006). *The effect of DEM resolution on the computation of hydrologically significant topographic attributes, M.S. Thesis Arts, Department of Geography, College of Arts and Sciences, University of South Florida*.
- Song, K.Y., Oh, J., Choi, J., Park, I., Lee, C., & Lee, S. (2012). *Prediction of landslides using ASTER imagery and data mining models, Advances in Space Research*, 49, 978-993.
- Dai, F.C., Lee, C.f., and Ngai, Y.Y. (2002). *Landslide risk assessment and management: an overview, Engineering Geology*, 64: 65-87.
- Yalcin, A. (2008). *GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey), Comparisons of results and confirmations, Catena*, 72, 1-12.
- Das, I., Sahoo, C., Van Westen, A., Stein & Hack, R. (2010). *Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India), Geomorphology*, 114, 627-637.
- Ayalew, L., & Yamagishi, H. (2005). *The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the kakuda-yahiko Moun-tains, central Japan, Geomorphology*, 65, 15-31.