

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال سی و یکم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۵، شماره پیاپی ۱۲۱

M. Mohammadnia

Dr.A. Amirahmadi

Dr.Sh. Bahrami

malihe.mohamadnia@yahoo.com

ملیحه محمدنیا و دانشجوی دکتر ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری
دکتر ابوالقاسم امیراحمدی، دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه حکیم سبزواری
دکتر شهرام بهرامی، دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه حکیم سبزواری

کاربرد مدل شواهد وزنی در ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از فناوری سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز جاغرق)

چکیده

زمین لغزش یک پدیده زمین‌شناسی است که می‌تواند منشاء آسیب‌های متعدد در محیط زیست طبیعی و جامعه بشری باشد. شناخت نواحی مستعد وقوع زمین لغزش و خطرات ناشی از آن یکی از اقدامات اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای و عمرانی است. روش‌های متعددی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ارائه شده است. در این بین نقشه‌های حساسیت و پهنه‌بندی خطر از ابزار بسیار مفید برای برنامه ریزان و مهندسان جهت مکان‌گزینی مناسب در ابعاد مختلف توسعه، به شمار می‌رود. هدف از این پژوهش، شناسایی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش و پهنه‌بندی حوضه آبخیز جاغرق به لحاظ وقوع این رخداد با استفاده از روش شواهد وزنی مبتنی بر تکنیک‌سامانه اطلاعات جغرافیایی است. به این منظور با در نظر گرفتن موقعیت زمین لغزش‌ها از پایگاه داده‌های اطلاعات مکانی شامل: توپوگرافی، لیتولوژی، پوشش زمین و خطواره‌ها استفاده شد. داده‌های توپوگرافی شامل اطلاعاتی چون: ارتفاع، زاویه شیب، جهت شیب، شکل شیب (شکل منحنی)، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، شاخص توان آبراهه و شاخص حمل رسوب، از مدل ارتفاعی رقومی^۱ تهیه شد. اطلاعات زمین‌شناسی و فاصله از گسل (خطواره‌ها) از پایگاه داده‌های زمین‌شناسی اخذ گردید و در ادامه لایه نواحی بارشی نیز با استفاده از داده‌های هواشناسی تهیه گردید. با اتکا به قابلیت‌های روش شواهد وزنی ارتباط هر یک از عوامل و نقاط لغزشی تعیین و وزن طبقه‌های هر عامل مشخص شد و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از جمع جبری ساده، برای منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. در نهایت میزان دقت و صحت نقشه با استفاده از شاخص Li مورد سنجش قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که در بین زیرمعیارهای موثر بر وقوع زمین لغزش عوامل ارتفاع و بارش به ترتیب با اوزان ۴۷/۶۶ و ۲۴/۴۷ به عنوان مهم‌ترین عوامل در ایجاد زمین لغزش در حوضه مطالعاتی محسوب می‌شوند. نتایج حاصل از ارزیابی دقت و صحت مدل، روند صعودی شاخص زمین لغزش از پهنه خطر کم به زیاد را نشان داده که خود تاییدی بر کفایت دقت مدل است. با استفاده از نقشه ارائه شده می‌توان مناطق ناپایدار را شناسایی و در اجرای برنامه‌های عمرانی به آن استناد نمود.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، روش شواهد وزنی، شاخص Li، سامانه اطلاعات جغرافیایی، حوضه آبخیز

جاغرق.

مقدمه

تحول دامنه‌ها و تغییرات چهره ناهمواری‌ها، عموماً توسط فرآیندهای دامنه‌ای و ژئومورفیک در مقیاس کوچک و بزرگ انجام می‌گیرد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱:۸۶). حرکات دامنه‌ای و به طور اخص زمین‌لغزش‌ها در زمره پرخسارت‌ترین آن‌ها است که همگام با دست‌کاری بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه‌های اخیر شتاب فزاینده‌ای یافته است (امامی و غیومیان، ۱۳۸۲:۱۱۵)، به گونه‌ای که از آن به عنوان یکی از فرآیندهای ژئومورفیک عمده در چشم‌انداز مناطق کوهستانی یاد می‌شود (هاتانجی و موریواکی^۱، ۲۰۰۹:۴۴۷). رشد سریع جمعیت و گسترش شهرها در نواحی کوهستانی موجب بروز برخی ناهنجاری‌های طبیعی در وضعیت ساکنین کره‌ی زمین شده است (خالدی و همکاران، ۱۳۹۱:۶۶).

نقشه آسیب‌پذیری موقعیت و نسبت مناطقی را که مردم، محیط طبیعی و سایر کالاهای سرمایه‌ای نسبت به رخداد هرگونه حادثه طبیعی و غیرطبیعی در معرض خطر هستند، نشان می‌دهند. در واقع این نوع نقشه‌ها ارتباط بین ریسک و پتانسیل خطر را برقرار می‌کنند و امکان نمایش دیداری آن‌ها را فراهم می‌سازند و یکی از مهم‌ترین منابع تصمیم‌گیری برای مدیریت بحران هستند (ملک و پيله‌فروش‌ها، ۱۳۹۳:۶). از آن جا که تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش به طور چشمگیری برنامه‌ریزی کاربری را بهبود می‌بخشد، می‌توان از آن به عنوان روشی کارآمد برای کاهش خسارت‌های جانی و مالی ناشی از زمین‌لغزش‌ها استفاده کرد. تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش به طراحان و مهندسان برای اجرای طرح‌های توسعه به عنوان اطلاعات پایه‌ای جهت گامی مهم برای مدیریت خطر زمین لغزش به منظور برقراری امنیت زندگی، توسعه زیرساخت‌ها و حفاظت محیط زیست کمک می‌نماید (نیهوسر و ترهوست^۲، ۲۰۰۷:۱۲ و پرادهان^۳، ۲۰۱۱:۷۷).

نظر به اهمیت موضوع، شناخت عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش و مناطق مورد خطر امری ضروری بنظر می‌رسد. از این رو مطالعات مختلفی در بحث پهنه‌بندی خطر حرکات دامنه‌ای صورت گرفته است. پورقاسمی و همکاران (۱۳۸۹)، با استفاده از مدل احتمالاتی بیزین نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش را در حوضه آبخیز هراز تهیه کردند. همین پژوهشگر در تحقیقی مشابه، در بخشی از استان گلستان در سال ۱۳۹۱، نقشه خطر زمین‌لغزش را با استفاده از تئوری بیزین با ۱۴ رویکرد (استفاده از تمام عوامل موثر و حذف تک تک عوامل) تهیه گردید. نتایج نشان داد با حذف عامل شیب از تحلیل‌ها دقت نقشه به ۷۱/۳٪ رسید. کرمی (۱۳۹۱)، با استفاده از روش‌های آماری دو متغیره و مدل وزنی شاهد به ارزیابی حساسیت زمین-لغزش در حوضه زهکشی سعیدآباد چای پرداخت. نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد که عامل شیب با ۳/۹۶۵ با وقوع زمین-لغزش بیشترین همبستگی مثبت را دارد. حدود ۴۳/۱ درصد مساحت حوضه سعیدآباد چای دارای حساسیت متوسط به بالا نسبت به بروز زمین‌لغزش برآورد گردید. از نمونه تحقیقات دیگر در این زمینه می‌توان به پژوهش فعله‌گری و همکاران (۱۳۹۲) اشاره کرد. در این تحقیق اثر جاده‌سازی در وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل پایداری دامنه^۴ برای حوضه آبخیز سد ایلام مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد جاده‌سازی در دامنه‌های با شیب بیش از ۱۵ درصد موجب کاهش پایداری دامنه می‌شود. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرایند تحلیل شبکه عنوان پژوهشی است که توسط مقیمی و همکاران (۱۳۹۲) انجام گرفت. در پژوهش پیش رو با تعیین عناصر موثر در وقوع خطر زمین-لغزش شامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، میانگین بارش سالانه، فاصله از گسل، آبراهه و مراکز مسکونی با اعمال نظر کارشناسان، پیشینه مطالعاتی و بازدیدهای میدانی و نیز استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه و وزن‌دهی این عناصر نسبت به یکدیگر هر عنصر بر مبنای نظر کارشناسان، نسبت به عملکرد وقوع خطر زمین‌لغزش شهری پهنه‌بندی شد. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۳)، نقشه خطر وقوع زمین لغزش را با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه برای حوضه بار

۱. Hattanji and Moriwaki
 ۲. Neuhauser and Terhorst
 ۳. Prahdan
 ۴. FLAC SLOP

شهرستان نیشابور تهیه نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که لیتولوژی مهم‌ترین عامل در رخداد زمین‌لغزش در حوضه مورد بحث بوده است. لی و همکاران^۱ (۲۰۰۲) برای تحلیل حساسیت زمین‌لغزش از تئوری بیزین استفاده کردند. در این تحقیق از ۱۳ عامل موثر برای پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش استفاده و نتایج ارزیابی نشان داد که مدل مذکور دقت بالایی در منطقه مورد مطالعه دارد. لی و چوی^۲ (۲۰۰۴)، ۱۵ عامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش را شناسایی و با استفاده از مدل بیزین نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش را با رویکردهای مختلف تهیه نمودند. 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 گردیده است. گابت و همکاران^۳ (۲۰۰۴)، با استفاده از داده‌های بارش و بار رسوبی حوضه آناپورنای هیمالایای نپال، به آثار بارش و ویژگی‌های شیب دامنه در شروع زمین‌لغزش‌ها در دوره بارش‌های موسمی این حوضه پی بردند. متو^۴ و همکاران (۲۰۰۷)، با استفاده از مدل بیزین به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در بخشی از دره‌ی بیگایراسی^۵ پرداختند. در این تحقیق از عواملی چون لیتولوژی، ساختار شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، پوشش اراضی و فاصله از جاده جهت تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش استفاده گردید و نهایتاً نقشه خطر زمین‌لغزش با دقت ۸۴/۶٪ تهیه گردید. رگمی^۶ و همکاران (۲۰۱۰) از تئوری بیزین به منظور مدل‌سازی حساسیت زمین لغزش در غرب کلرادوی امریکا استفاده کردند. در این پژوهش ۱۷ عامل در بررسی و پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفت. دقت مدل مذکور در پیش‌بینی حوادث طبیعی بخصوص زمین‌لغزش ۷۸/۴٪ برآورد گردید. مارگارینت^۷ و همکاران (۲۰۱۳)، نقشه حساسیت خطر زمین لغزش در شرایط جغرافیایی متفاوت در چهار بخش از کشور رومانی را تهیه نمودند. دیویس و بلسیوس^۸ (۲۰۱۵)، نقشه حساسیت زمین لغزش حوضه سنپدرو کریک^۹ در آمریکا را با استفاده از مدل‌های ترکیبی فیزیکی و ماکزیم آنتروپی تهیه نمودند. نتایج حاکی از آن است که نقشه شاخص پایداری از لحاظ پتانسیل حساسیت اغراق آمیز می‌باشد.

هدف این مطالعه، ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی^{۱۰} و مدل وزنی شاهد^{۱۱} است. مدل وزن شواهد یک روش آماری مبتنی بر تئوری احتمالاتی بیز است (دنیسون^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۲). برای مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش، این روش برای هر لایه عاملی براساس وجود یا فقدان زمین‌لغزش در منطقه وزن محاسبه می‌کند (دهال^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۸: ۴۷۷). بنابراین با توجه به کارایی این روش، عوامل درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و پهنه‌های بارش در نظر گرفته شده است. با توجه به وقوع زمین‌لغزش‌های مخرب در منطقه مورد مطالعه و استقرار سکونتگاه‌های انسانی و تاسیساتی چون راه‌های ارتباطی، کانال‌های آبرسانی و تاسیسات کشاورزی و جنبه گردشگری این حوضه، تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش برای مدیریت بهتر این منطقه ضروری بنظر می‌رسد.

۱. Lee et al

۲. Lee and Choi

۳. Gabet et al

۴. Mathew

۵. Bhagirathi

۶. Regmi

۷. Margarint

۸. Davis and Blesius

۹. San Pedro Creek

۱۰. GIS

۱۱. Weight – Of- Evidence (WOE)

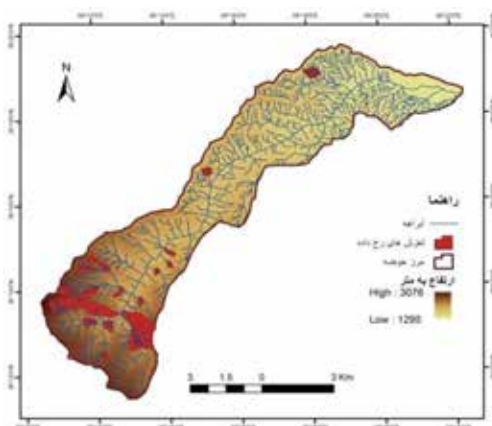
۱۲. Denison

۱۳. Dahal

موقعیت جغرافیایی حوضه جاغرق

حوضه مورد مطالعه با مساحت تقریبی ۶۶ کیلومتر مربع در محدوده طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۷ دقیقه و ۳۹ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۴۹ دقیقه و ۳۲ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۱ دقیقه و ۲۸ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱۹ دقیقه و ۴۰ ثانیه و بخشی از دامنه‌های شمالی ارتفاعات بینالود می‌باشد.

از نظر تقسیمات کشوری به استان خراسان رضوی و شهر مشهد تعلق دارد. حداقل ارتفاع در محدوده مورد بررسی حدود ۱۲۹۵ متر می‌باشد و حداکثر ارتفاع با حدود ۳۰۷۶ متر منطبق بر خط الراس ارتفاعات بینالود می‌باشد. متوسط بارش در منطقه نیز حدود ۳۳۱ میلی‌متر برآورد گردیده است. شکل (۱) حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

داده‌ها و روش پژوهش

برای تحلیل ناپایداری دامنه‌ها، مهمترین گام جمع آوری داده‌ها و ایجاد بانک داده‌های مکانی بود. قابلیت وقوع زمین لغزش یا ناپایداری‌ها در این پژوهش با فراوانی واقعی آنها مقایسه می‌شود (بارادونی^۱، ۲۰۰: ۱۸۲ و پایک^۲، ۲۰۰۳: ۱۸۹). قلمرو منطقه مورد مطالعه از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش شامل شیت‌های گلمکان و طرقله، مشخص شده است و از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی ایران جهت استخراج لایه‌های زمین-شناسی و گسل‌های منطقه استفاده گردید. از آمار ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی محدوده و اطراف آن جهت بدست آوردن لایه بارش استفاده گردید. به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش وزنی شاهد، پس از تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه مطالعاتی و ایجاد هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش، شامل: درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و بارش در نرم‌افزار جی آی اس هر یک از لایه‌ها کلاس‌بندی و با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها تلفیق گردید. به منظور تعیین نقشه‌های شاخص توان آبراهه^۳ و شاخص حمل رسوب^۴ از روابط ۱ و ۲ استفاده گردید (مور و همکاران^۵، ۱۹۹۳ و نفسلی‌اغلو و همکاران^۶، ۲۰۰۸).

$$SPI = A_s \cdot \tan \beta$$

رابطه (۱)

۱. Brardinoni

۲. Pike

۳. Stream Power Index (SPI)

۴. Sediment Transport Index (STI)

۵. Moore et al

۶. Neflioglu et al

$$STI = \left(\frac{A_s}{22/13} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^{1/3} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن:

A_s = مساحت ویژه آبخیز، β = گرادیان شیب بر حسب درجه، STI = شاخص حمل رسوب و یا به عبارتی عامل LS^1 مدل $AUSLE^2$ است، که مدل مذکور اصلاح شده‌ی معادله جهانی تلفات خاک^۳ می‌باشد (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱۱). برای محاسبه مساحت ویژه آبخیز^۴ از تحلیل‌های مکانی در نرم‌افزار Arc سامانه اطلاعات جغرافیایی و گزینه هیدرولوژی^۵ با ورود مدل رقمی ارتفاع استفاده گردید. عواملی چون $filldem$ ، $folw direction$ و $folw Accumulation$ نیز ترسیم و از رابطه ۳، رستر مساحت ویژه آبخیز حاصل گردید.

$$Sca = (folw accumulation + 1) \cdot (folw direct) / 1000 \quad \text{رابطه ۳}$$

ترسیم نقشه حساسیت زمین لغزش براساس مدل وزنی شاهد

این روش برای مدل سازی حساسیت زمین لغزش در یک منطقه، برای هر عامل علتی^۶ در صورت وجود یا عدم زمین لغزش در محل، وزنی را محاسبه می‌کند. تعیین وزن برای هر عامل از طریق ترکیب هر کدام از لایه‌های عاملی با نقشه پراکنش زمین لغزش انجام می‌شود. سپس برای هر عامل با استفاده از معادله (۴) و (۵) وزن محاسبه می‌شود. در این مدل، مقادیر وزنی معمولاً دامنه‌ای بین اعداد مثبت و منفی دارند که بیانگر نقش بیشتر و کمتر متغیر در ایجاد زمین لغزش است.

$$W_i^+ = \log_e \left[\frac{P(B_i) | S / P(B_i) | \bar{S}}{P(\bar{B}_i) | S / P(\bar{B}_i) | \bar{S}} \right] \quad \text{رابطه ۴}$$

$$W_i^- = \log_e \left[\frac{P(\bar{B}_i) | S / P(\bar{B}_i) | \bar{S}}{P(B_i) | S / P(B_i) | \bar{S}} \right] \quad \text{رابطه ۵}$$

به منظور درک هر چه بهتر روابط ۴ و ۵ و سهولت کار، بویژه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی مدل براساس جدول ۱ و به صورت رابطه‌های ۶ و ۷ ارائه شد (یسیلناسر^۷، ۲۰۰۵) و وزن نهایی براساس روابط ۸ و ۹ برای هر عامل به منظور پهنه بندی خطر زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفت (لی و چوی^۸، ۲۰۰۴).

جدول ۱- چهار حالت پتانسیل ایجاد زمین لغزش

عوامل ایجاد زمین لغزش		
عدم حضور	حضور	زمین لغزش
۲Npix	۱Npix	حضور
۴Npix	۳Npix	عدم حضور

رابطه ۶

$$W_i^+ = \log_e \left[\frac{(N_{pix1} / (N_{pix1} + N_{pix2})) / (N_{pix3} / (N_{pix3} + N_{pix4}))}{(N_{pix2} / (N_{pix1} + N_{pix2})) / (N_{pix4} / (N_{pix3} + N_{pix4}))} \right] \quad \text{رابطه ۷}$$

که در آن: N_{pix1} : تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس

۱. Length and Slope

۲. Adapted Universal Soil Loss Equation

۳. Universal Soil Loss Equation

۴. Specific Catchment Area

۵. Hydrology

۶. Causative Factor

۷. Yesilnasar

۸. Lee and Choi

Npix2: (تعداد کل پیکسل‌های لغزشی در یک نقشه) - (تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس)

Npix3: (تعداد پیکسل‌های یک کلاس) - (تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس)

Npix4: (تعداد کل پیکسل‌های یک نقشه) - (تعداد کل پیکسل‌های لغزشی در یک نقشه) - (تعداد پیکسل‌های یک

کلاس) + (تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس)

وزن مثبت نشان می‌دهد که عامل علتی در محل زمین‌لغزش وجود دارد و بزرگی این وزن، همبستگی بین آن عامل وقوع زمین‌لغزش را بیان می‌کند. اما وزن منفی بیانگر عدم عامل مورد نظر در محل بروز زمین‌لغزش بوده، سطح همبستگی منفی را نشان می‌دهد. اختلاف بین دو وزن مثبت و منفی^۱، بزرگی ارتباط مکانی عامل علتی و زمین‌لغزش را نشان می‌دهد (کریمی، ۱۳۹۱: ۲۹).

$$C = [W^+ - (W^-)] \quad \text{رابطه ۸}$$

$$W_{\text{final}} = C/S_c \quad \text{رابطه ۹}$$

که در آن:

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 می‌باشد (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱۷). برای بدست آوردن واریانس وزن‌های مثبت و منفی از روابط ۱۰ و ۱۱ استفاده گردید.

رابطه ۱۰) تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس / Sw^+

رابطه ۱۱) (تعداد پیکسل‌های لغزشی در یک کلاس) - (جمع پیکسل‌های لغزشی در یک نقشه) / Sw^-

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 زمین‌لغزش نقش دارد و در صورتی که وزن عامل منفی باشد، بیانگر عدم اثر عامل در بروز زمین‌لغزش است. پس از بدست آوردن اوزان نهایی هر یک از لایه‌های موثر در لغزش و وارد کردن وزن‌ها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌های موضوعی وزنی برای هر یک از لایه‌ها تهیه گردید. سپس لایه‌های مختلف با استفاده از روش جمع جبری ساده با یکدیگر تلفیق و نقشه حساسیت زمین‌لغزش بدست آمد. در مرحله بعد نقشه تهیه شده براساس شکست‌های طبیعی^۲ به چهار کلاس (خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) طبقه‌بندی گردید. جهت ارزیابی نقشه‌ی مورد نظر و تعیین دقت آن، از شاخص^۳ Li استفاده گردید. این شاخص برای ارزیابی دقت نقشه پهنه‌بندی براساس پراکنش زمین-لغزش‌های اتفاق افتاده در هر پهنه خطر محاسبه شد.

$$Li = \frac{Ai/Si}{\sum_i^n Ai/Si} * 100 \quad \text{رابطه ۱۲}$$

Li نواحی متأثر شده از زمین‌لغزش در هر کلاس خطر، Ai مساحت زمین‌لغزش در هر پهنه خطر، Si مساحت پهنه خطر و n تعداد طبقات مربوط به پهنه‌های خطر زمین‌لغزش است. صحت پهنه‌بندی وقتی تأیید می‌شود که میزان Li در پهنه‌های با حساسیت بسیار زیاد و زیاد، بیشتر باشد. به عبارت دیگر، تراکم زمین‌لغزش‌ها در نواحی با حساسیت متوسط تا بسیار زیاد بیشتر باشد.

یافته‌های پژوهش

عامل شیب: نتایج محاسبه وزن Wf براساس مدل شواهد وزنی برای کلاسهای مختلف هر لایه موضوعی شیب در حوضه جاغرق، نشان می‌دهد که عامل شیب با $\sum Wf = -۲/۵۹$ از عوامل علتی در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه است (جدول ۲). در این لایه، کلاس‌های شیب بیشتر از ۳۰ درجه دارای بیشترین وزن بوده است (وزن ۳۲/۹۶). در

۱. W_{final}

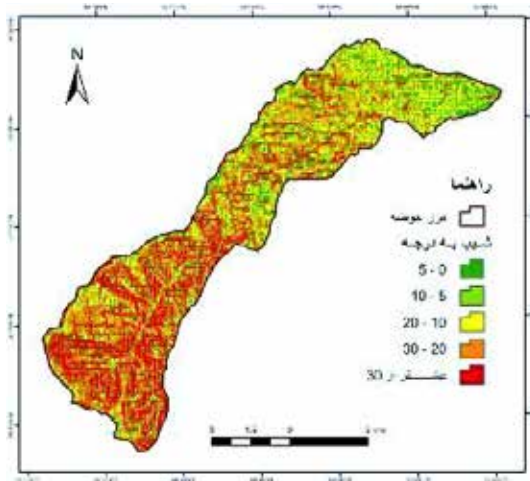
۲. Natural Break

۳. Landslide Index

شیب‌های کم برآیند نیروها به صورتی است که نیروهای مقاوم (عمودی) بیشتر از نیروی محرکه (افقی) بوده و شرایط وقوع زمین‌لغزش فراهم نمی‌شود (پورقاسمی، ۱۳۹۱: ۱۱۸). با افزایش شیب نیروهای افقی بیشتر و شرایط وقوع زمین‌لغزش فراهم می‌شود. در این حوضه شیب‌های کمتر از ۳۰ درجه رابطه منفی با وقوع زمین‌لغزش‌ها نشان می‌دهند.

جدول ۲- وزن کلاس‌های لایه موضوعی شیب در حوضه جاغرق براساس مدل (WOE)

Wfinal	w-	w+	درصد	تعداد پیکسل فاقد لغزش	درصد وقوع	تعداد پیکسل لغزشی	شیب به درجه
-۶/۴۲	۰/۰۴	-۰/۱۹	۱۸/۵۳	۱۲۵۴۲	۱۵/۲۳	۸۷۲	۵-۰
-۱۴/۶۳	۰/۰۷	-۰/۶۵	۱۴/۵۵	۹۸۴۹	۷/۵۸	۴۳۴	۱۰-۵
-۹/۰۶	۰/۰۵	-۰/۲۷	۲۰/۵۱	۱۳۸۷۹	۱۵/۶۵	۸۹۶	۲۰-۱۰
-۵/۴۳	۰/۰۴	-۰/۱۳	۲۴/۷۴	۱۶۷۴۱	۲۱/۶۴	۱۲۳۹	۳۰-۲۰
۳۲/۹۶	-۰/۲۶	۰/۶۲	۲۱/۵۷	۱۴۵۹۵	۴۰/۰۸	۲۲۹۵	بیشتر از ۳۰

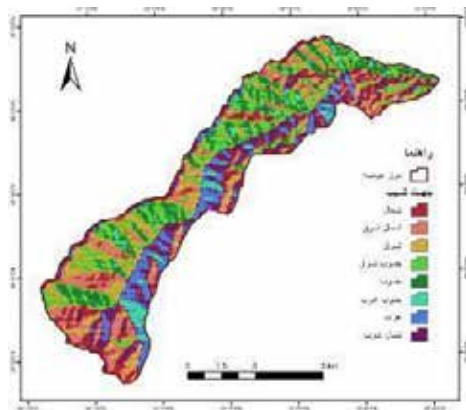


شکل ۲- نقشه شیب حوضه جاغرق

عامل جهت شیب: دامنه‌های جنوب غربی (به دلیل آفتابگیری بیشتر)، بیشترین وزن را از لحاظ پتانسیل وقوع زمین‌لغزش به خود اختصاص داده است. نتایج محاسبه وزن W_f براساس مدل (WOE) برای کلاس‌های مختلف هر لایه موضوعی جهت شیب در حوضه جاغرق، نشان می‌دهد که عامل جهت شیب با $\sum W_f = ۱۵/۳۷$ از عوامل موثر در وقوع لغزش‌هاست.

جدول ۳- وزن کلاس‌های لایه موضوعی جهت شیب در حوضه جاغرق براساس مدل (WOE)

Wfinal	w-	w+	درصد	تعداد پیکسل فاقد لغزش	درصد وقوع	تعداد پیکسل لغزشی	جهت دامنه
-۱۷/۳۴	۰/۰۵	-۱	۱۳/۵	۹۲۱۳	۷/۷	۴۴۴	شمال
۵/۸۲	-۰/۰۳	۰/۱۵	۱۶/۷۸	۱۱۳۵۹	۱۹/۶۶	۱۱۲۶	شمال شرق
-۴/۴۹	۰/۰۳	-۰/۱۲	۲۰/۴۷	۱۳۸۵۶	۱۸/۰۷	۱۰۳۵	شرق
۸/۶۴	۰/۰۵	-۰/۲۹	۱۶/۸۹	۱۱۴۳۴	۱۲/۵۹	۷۲۱	جنوب شرق
۷/۰۸	-۰/۰۳	۰/۲۲	۱۱/۶۹	۷۹۱۱	۱۴/۷	۸۴۲	جنوب
۱۷/۷۴	-۰/۰۴	۰/۸۶	۳/۰۴	۲۰۶۰	۷/۲۱	۴۱۳	جنوب غرب
-۲۳/۴۹	-۰/۰۷	-۰/۳۵	۴/۸۷	۳۳۰۰	۱۱/۸۲	۶۷۷	غرب
-۸/۲۷	۰/۰۴	-۰/۶۸	۱۲/۰۳	۸۱۴۴	۸/۴۵	۴۸۴	شمال غرب

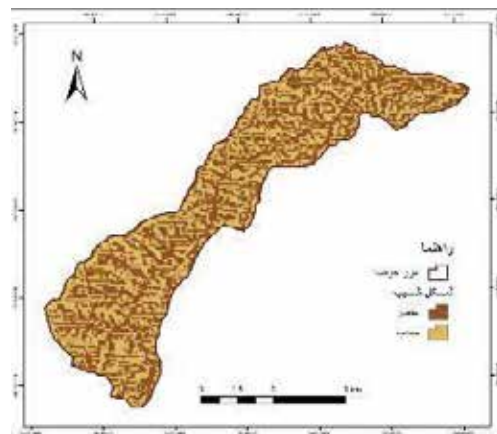


شکل ۳- نقشه جهت شیب حوضه جاغرق

عامل شکل شیب: بررسی شکل شیب (شکل ۴) در حوضه مورد مطالعه مشاهده شد، که بیشتر لغزش‌های منطقه در شیب‌های محدب رخ داده، این عامل می‌تواند نقش بسزایی در همگرایی و واگرایی جریان انتقالی از بالادست حوضه به پایین دست آن داشته باشد.

جدول ۴- وزن کلاس‌های لایه موضوعی شکل شیب در حوضه جاغرق براساس مدل (WOE)

Wfinal	w-	w+	درصد	تعداد پیکسل فاقد لغزش	درصد وقوع	تعداد پیکسل لغزشی	کلاس
-۰/۲۱	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۳	۴۸/۸۲	۳۳۰۳۶	۴۸/۶۸	۲۷۸۷	مقعر
-۰/۰۹	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	۵۱/۲۷	۳۴۶۹۵	۵۱/۲۱	۲۹۳۲	محدب

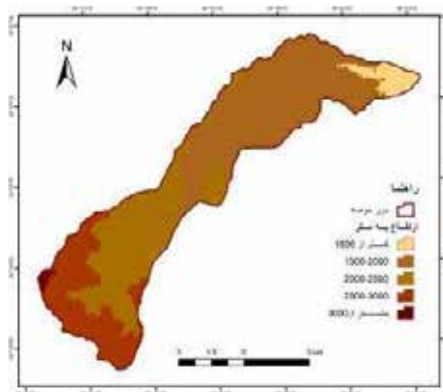


شکل ۴- نقشه شکل شیب حوضه جاغرق

عامل ارتفاع: نتایج محاسبه وزن W_f براساس مدل شواهد وزنی برای کلاس‌های مختلف هر لایه موضوعی ارتفاع در حوضه جاغرق، نشان می‌دهد که عامل ارتفاع با $\sum W_f = ۴۷/۶۶$ تاثیرگذارترین عامل در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه است (جدول ۵). کلاس ارتفاعی ۲۵۰۰-۳۰۰۰ متر و پس از آن ارتفاع ۲۰۰۰-۲۵۰۰ متر بیشترین پتانسیل وقوع زمین‌لغزش را داشته است (به ترتیب با وزن ۴۹/۵۴ و ۴۴/۵۳). در ارتفاعات بیش از ۳۰۰۰ متر وزن W_f به ۱/۶۱ کاهش داشته که این کاهش ممکن است در نتیجه عدم تکامل فرایندهای خاکسازی در ارتفاعات بالا باشد. شکل ۵ نقشه طبقات ارتفاعی حوضه جاغرق را نشان می‌دهد.

جدول ۵- وزن کلاس‌های لایه موضوعی ارتفاع در حوضه جغرفی براساس مدل (WOE)

ارتفاع (متر)	تعداد پیکسل لغزشی	درصد وقوع	تعداد پیکسل فاقد لغزش	درصد	w+	w-	Wfinal
۱۵۰۰-۱۲۸۰	۰	۰	۸۵۷۵	۱۲/۶۷	∞	۰/۱۳	∞
۲۰۰۰-۱۵۰۰	۵۰۵	۸/۸۲	۳۲۱۸۱	۴۷/۵۶	-۱/۶۸	۰/۵۵	-۴۸/۰۲
۲۵۰۰-۲۰۰۰	۳۱۲۳	۵۴/۵۵	۱۸۲۰۴	۲۶/۹	۰/۷	-۰/۴۷	۴۴/۵۳
۳۰۰۰-۲۵۰۰	۲۰۶۶	۳۶/۰۸	۸۵۳۸	۱۲/۶۱	۱/۰۵	-۰/۳۱	۴۹/۵۴
بیشتر از ۳۰۰۰	۲۵	۰/۴۳	۲۱۴	۰/۳۱	۰/۳۲	-۰/۰۰۱	۱/۶۱

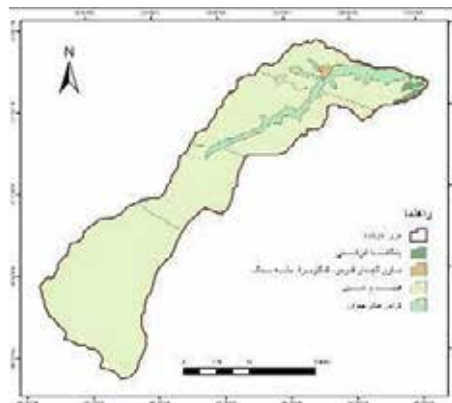


شکل ۵- نقشه طبقات ارتفاعی حوضه جغرفی

عامل زمین شناسی: بررسی عامل زمین شناسی نشان داد که سازند مربوط به تریاس (سری مایان) شامل فیلیت و شیل که بخش عمده ای از حوضه مطالعاتی را در بر گرفته بیشترین وزن در وقوع لغزش در منطقه داشته است.

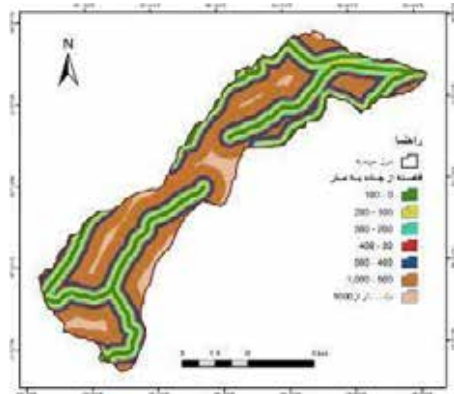
جدول ۶- وزن کلاس‌های لایه موضوعی زمین شناسی در حوضه جغرفی براساس مدل (WOE)

زمین شناسی	سن	تعداد پیکسل لغزشی	درصد وقوع	تعداد پیکسل فاقد لغزش	درصد	w+	w-	Wfinal
سری مایان شامل فیلیت و شیل	تریاس (مزوزوئیک)	۵۶۸۷	۹۹/۳۳	۶۱۵۲۳	۹۰/۹۲	۰/۰۸	۲/۶۱	۱۶/۶۱
ماران گچ دار قرمز- کنگلومرا و ماسه سنگ	نتوزن (سنوزوئیک)	۰	۰	۳۱۴	۰/۴۶	∞	۰/۰۵	∞
رسوبات عصر حاضر	تراس‌های جوان (کواترنری)	۴۰	۰/۶۹	۵۱۱۴	۷/۵۵	-۲/۳۸	۰/۰۷	-۱۵/۴۵
رسوبات عصر حاضر	پادگانه آبرفتی (کواترنری)	۰	۰	۶۷۴	۰/۹۹	∞	۰/۰۱	∞



شکل ۶- نقشه زمین شناسی حوضه جغرفی

عامل فاصله از جاده: انتظار می‌رفت با بررسی فاصله از جاده این نتیجه حاصل شود که در محدوده‌های اطراف جاده زمین لغزش بیشتر اتفاق افتاده باشد اما نتیجه اینگونه نبوده است. بلکه با فاصله گرفتن از جاده پتانسیل وقوع زمین لغزش افزایش یافته به طوری که در فواصل ۳۰۰ تا ۵۰۰ متری به حداکثر وزن خود رسیده است و با نزدیک شدن به جاده میزان حساسیت به زمین لغزش کم گردیده است که این نتیجه، عکس نظرات پورقاسمی و همکاران (۱۳۹۱) می‌باشد. شاید دلیل این امر در این مطالعه این باشد که در محدوده مطالعاتی جاده‌ها آسفالت نبوده و بیشتر شوسه و مالرو بوده، بنابراین تاثیر زیادی در وقوع زمین لغزش در منطقه نداشته است.



شکل ۷- نقشه فاصله از جاده حوضه جاغرق

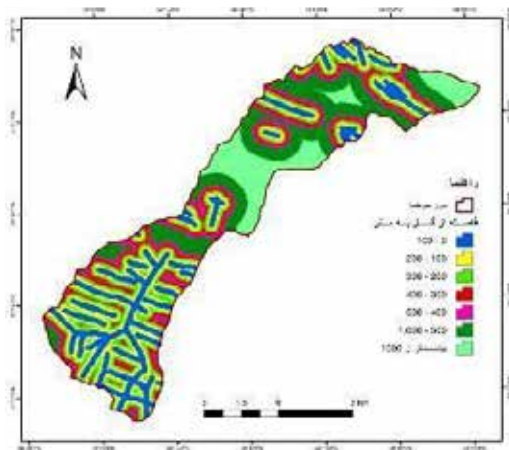
جدول ۷- وزن کلاس‌های لایه موضوعی فاصله از جاده در حوضه جاغرق براساس مدل (WOE)

Wfinal	W-	W+	درصد	تعداد پیکسل فاقد لغزش	درصد وقوع	تعداد پیکسل لغزشی	فاصله از جاده (متر)
۰/۴۵	-۰/۰۰۳	۰/۰۱	۱۴/۵۶	۹۸۵۴	۱۴/۷۷	۸۶۴	۱۰۰-۰
۰/۳۷	-۰/۰۰۲	۰/۰۱	۱۲/۳۲	۸۳۴۱	۱۲/۴۸	۷۱۵	۲۰۰-۱۰۰
۰/۸	-۰/۰۰۴	۰/۰۲	۱۲/۵۷	۸۵۰۸	۱۲/۹۲	۷۴۰	۳۰۰-۲۰۰
۷	-۰/۰۳	۰/۲۴	۹/۹۶	۶۷۴۴	۱۲/۷۵	۷۳۰	۴۰۰-۳۰۰
۱۱/۲۱	-۰/۰۵	۰/۳۷	۹/۶۹	۶۵۵۹	۱۴/۱۱	۸۰۸	۵۰۰-۴۰۰
-۵/۴۵	۰/۰۵	-۰/۱	۳۳/۳۹	۲۲۵۹۳	۲۹/۹۹	۱۷۱۷	۱۰۰۰-۵۰۰
-۱۲/۳۲	۰/۰۴	-۰/۹۰	۷/۴۶	۵۰۵۱	۳/۰۲	۱۷۳	بیشتر از ۱۰۰۰

عامل فاصله از گسل: نتایج محاسبه وزن Wf براساس مدل (WOE) برای کلاسهای مختلف هر لایه موضوعی فاصله از گسل در حوضه جاغرق، نشان می‌دهد که عامل شیب با $\sum Wf = ۲۰/۰۴$ از عوامل علتی در وقوع زمین لغزش‌های منطقه است (جدول ۸). بررسی لایه فاصله از گسل نشان داد که بیش از ۸۴ درصد لغزش‌های رخ داده در فواصل کمتر از ۳۰۰ متری گسل‌ها به وقوع پیوسته است. با دور شدن از حریم گسل اوزان حاصله کاهش چشمگیری داشته است که این امر بیانگر همبستگی وقوع زمین لغزش با حریم گسل می‌باشد.

جدول ۸- وزن کلاس‌های لایه موضوعی فاصله از گسل در حوضه جاغرق براساس مدل (WOE)

Wfinal	W-	W+	درصد	تعداد پیکسل فاقد لغزش	درصد وقوع	تعداد پیکسل لغزشی	فاصله از گسل (متر)
۲۸/۴۷	-۰/۲	۰/۵۹	۱۸/۴۵	۱۲۴۸۹	۳۳/۴۵	۱۹۱۵	۱۰۰-۰
۳۵/۷۱	-۰/۲۲	۰/۷۹	۱۴/۱۶	۹۵۸۱	۳۱/۳۳	۱۷۹۴	۲۰۰-۱۰۰
۱۷/۸۸	-۰/۰۹	۰/۴۹	۱۲/۵۷	۸۵۰۸	۲۰/۵۲	۱۱۷۵	۳۰۰-۲۰۰
-۰/۰۹	۰	۰/۰۰۴	۸/۸۳	۵۹۸۰	۸/۸	۵۰۴	۴۰۰-۳۰۰
-۱۳/۵۹	۰/۰۵	-۱/۰۵	۷/۷۴	۵۲۳۸	۲/۶۹	۱۵۴	۵۰۰-۴۰۰
-۲۹/۶۷	۰/۲۴	-۲/۱۶	۲۳/۷۵	۱۶۰۷۰	۲/۷۲	۱۵۶	۱۰۰۰-۵۰۰
-۱۸/۶۷	۰/۱۵	-۳/۳۸	۱۴/۴۵	۹۷۷۹	۰/۴۸	۲۸	بیشتر از ۱۰۰۰



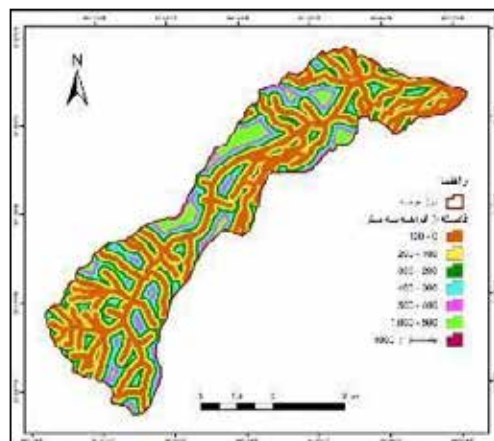
شکل ۸- نقشه فاصله از گسل حوضه جاغرق

عامل فاصله از رودخانه

در بررسی عامل فاصله از آبراهه، طبق مدل (WOE) درحوضه جاغرق مشاهده شد که در حدود ۳۵ درصد زمین- لغزشها در نزدیکی آبراههها؛ یعنی به فاصله ۰-۱۰۰ متری اتفاق افتاده است. معمولاً در این صورت آبراهه یا رود با زیربری دامنه موجب بروز ناپایداری دامنه میشود (جدول ۹). با فاصله گرفتن از آبراههها رابطه معکوس شده است. بتدریج با افزایش فاصله از آبراهه، از میزان تأثیر این عامل در وقوع زمین لغزشها کاسته شده، در نتیجه، عامل فاصله از آبراهه با $\sum Wf = -6/23$ همبستگی منفی با ایجاد گسیختگی شیبها نشان می دهد.

جدول ۹- وزن کلاسهای لایه موضوعی فاصله از رودخانه در حوضه جاغرق براساس مدل (WOE)

Wfinal	W-	W+	درصد	تعداد پیکسل فاقد لغزش	درصد وقوع	تعداد پیکسل لغزشی	فاصله از رودخانه (متر)
-۲/۶۴	۰/۰۲	-۰/۰۴	۳۶/۹۸	۲۵۰۲۶	۳۵/۳	۲۰۲۱	۱۰۰-۰
۷/۵۷	-۰/۰۵	۰/۱۶	۲۴/۶۷	۱۶۶۹۲	۲۸/۹۹	۱۶۶۰	۲۰۰-۱۰۰
۶/۵۳	-۰/۰۴	۰/۱۶	۱۸/۲۱	۱۲۳۲۵	۲۱/۵۵	۱۲۳۴	۳۰۰-۲۰۰
۱/۰۶	-۰/۰۰۴	۰/۰۴	۸/۸۷	۶۰۰۶	۹/۲۷	۵۳۱	۴۰۰-۳۰۰
-۵/۳۷	۰/۰۱	-۰/۰۳	۵/۷	۳۸۶۳	۴/۰۵	۲۳۲	۵۰۰-۴۰۰
-۱۳/۳۸	۰/۰۴	-۱/۹۳	۵/۵۵	۳۷۵۷	۰/۸	۴۶	بیشتر از ۵۰۰

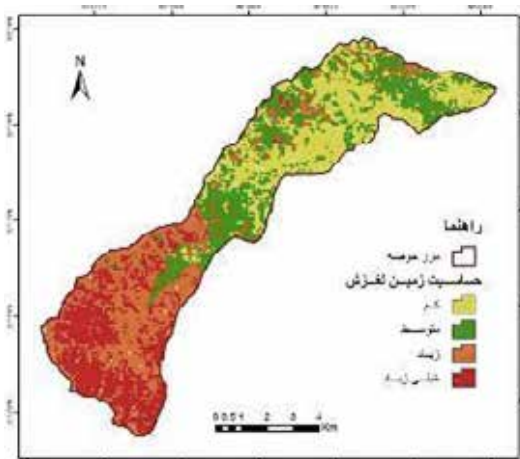


شکل ۹- نقشه فاصله از آبراهه حوضه جاغرق

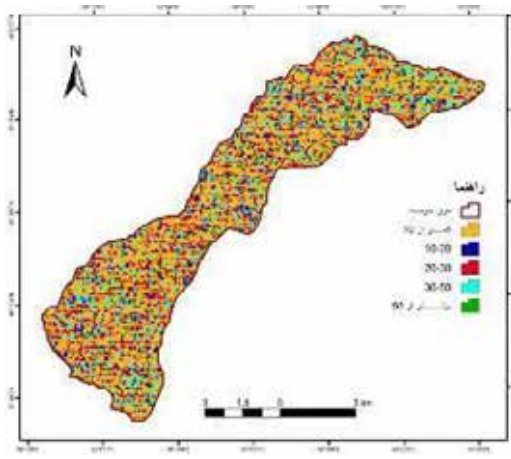
عامل بارش: در ارزیابی عامل بارش معلوم گردید که بیشتر لغزشهای منطقه زمانی اتفاق می افتد که بارندگی در منطقه به ۳۵۰ میلیمتر برسد. نتایج محاسبه وزن Wf براساس مدل (WOE) برای کلاسهای مختلف هر لایه موضوعی بارش در حوضه جاغرق، نشان می دهد که این عامل با $\sum Wf = 24/47$ از عوامل موثر در وقوع زمین لغزشهای منطقه است (جدول ۱۰).

جدول ۱۲- وزن کلاس‌های لایه موضوعی شاخص حمل رسوب در حوضه جاغرق براساس مدل (WOE)

STI	تعداد پیکسل لغزشی	درصد وقوع	تعداد پیکسل فاقد لغزش	درصد	W+	W-	Wfinal
۱۰-۰	۳۳۰۴	۵۷/۷۱	۳۸۶۷۴	۵۷/۱۵	۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۸۴
۲۰-۱۰	۶۳۱	۱۱/۰۲	۷۰۶۹	۱۰/۴۴	۰/۰۵	-۰/۰۰۶	۱/۴۲
۳۰-۲۰	۸۶۶	۱۵/۱۲	۱۰۵۹۴	۱۵/۶۵	-۰/۰۳	۰/۰۰۶	-۱/۱
۵۰-۳۰	۸۳۷	۱۴/۶۲	۹۷۹۱	۱۴/۴۷	۰/۰۱	-۰/۰۰۲	۰/۳۲
بیشتر از ۵۰	۱۳۰	۲/۲۷	۱۵۲۸	۲/۲۵	۰/۰۰۵	۰	۰/۰۶



شکل ۱۳- نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در حوضه جاغرق



شکل ۱۲- نقشه شاخص حمل رسوب حوضه جاغرق

پس از تهیه نقشه‌های وزنی براساس روابط ذکر شده، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از جمع جبری ساده تهیه و براساس شکست‌های طبیعی به چهار کلاس خطر طبقه‌بندی گردید. نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش حوضه مطالعاتی، نشان می‌دهد که در حدود ۲۶/۴ درصد از مساحت حوضه جاغرق در پهنه با حساسیت زیاد زمین لغزش و در حدود ۲۲/۴ درصد در محدوده با حساسیت خیلی زیاد قرار دارد. همچنین، اطمینان صحت از نقشه پهنه‌بندی در حوضه جاغرق نشان می‌دهد که ۷۱ درصد زمین لغزش‌های حوضه در پهنه با حساسیت خیلی زیاد اتفاق افتاده‌اند، ۲۰ درصد آنها در محدوده حساسیت زیاد و مجموعاً ۸ درصد در نواحی با حساسیت متوسط و کم رخ داده‌اند (جدول ۱۳). نتایج حاصل از تلاقی نقشه پهنه‌بندی خطر با نقشه پراکنش و محاسبه شاخص زمین لغزش برای مدل ارائه شده به صورت جدول (۱۳) آمده است. مقادیر شاخص مزبور حاکی از وجود روند صعودی از پهنه خطر کم به سمت پهنه خیلی زیاد است. اگر روند شاخص زمین لغزش نزولی و نامنظم باشد، و یا به عبارتی، درصد این شاخص در پهنه‌های خطر پایین بیشتر از پهنه‌های خطر بالا باشد، مدل تهیه شده از دقت کافی برخوردار نخواهد بود. بنابراین روند صعودی شاخص زمین لغزش مدل تهیه شده در این پژوهش، دقت لازم مدل مزبور را تأیید می‌کند.

جدول ۱۳- درصد مساحت هر یک از طبقات حساسیت زمین لغزش در حوضه جاغرق و نتایج شاخص Li

طبقات	تعداد پیکسل‌های هر طبقه	درصد مساحت طبقات	تعداد پیکسل‌های زمین لغزش	تراکم Li
حساسیت کم	۱۹۹۴۴	۲۶/۵۸	۲۴۱	۰/۰۱۲
حساسیت متوسط	۱۸۲۱۶	۲۵/۶۰	۲۳۷	۰/۰۱۳
حساسیت زیاد	۱۹۰۱۹	۲۶/۴۰	۱۰۷۸	۰/۰۵۶
حساسیت خیلی زیاد	۱۵۶۵۰	۲۲/۴۳	۳۱۴۵	۰/۲

نتیجه گیری

زمین لغزش‌ها به طور ساده از عملکرد نیروی گرانش زمین بر دامنه‌ها ناشی می‌شوند و تا زمانی که مقاومت توده سنگ یا خاک مساوی یا بزرگ‌تر از نیروی گرانش باشد، نیروها در حال تعادل هستند و حرکتی رخ نمی‌دهد. حرکات دامنه‌ای و به طور اخص زمین لغزش یکی از مخاطرات عمده در مناطق کوهستانی به شمار می‌رود که موجب خسارات مالی در مناطق مستعد زمین لغزش می‌گردد. در دهه‌های اخیر با افزوده شدن عوامل انسانی، ناپایداری شیب‌ها تشدید شده است. حوضه مورد مطالعه بخشی از دامنه‌های شمالی ارتفاعات بینالود می‌باشد که به علت ماهیت کوهستانی منطقه مستعد وقوع انواع زمین لغزش - هاست. در این پژوهش از روش شواهد وزنی و فناوری سامانه اطلاعات جغرافیایی، برای بررسی و تهیه نقشه حساسیت‌پذیری مناطق به زمین لغزش استفاده شد. این روش برای مدل سازی حساسیت زمین لغزش در یک منطقه، برای هر عامل، در صورت وجود یا عدم زمین لغزش در محل، وزنی را محاسبه می‌کند. یکی از مزیت‌های این روش این است که غیرجانبدارانه، وزن عوامل در هر لایه را مشخص می‌کند. همچنین استفاده از ۱۱ عامل موثر در وقوع رخداد زمین لغزش برای منطقه مذکور نیز به توانایی‌های نقشه خطر زمین لغزش تهیه شده افزوده است. رابطه بین توزیع زمین لغزش‌ها با عوامل درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و پهنه‌های بارشی بررسی شد.

بررسی نقشه حساسیت‌پذیری حوضه به زمین لغزش و صحت سنجی آن، مؤید کارایی مناسب روش شواهد وزنی در رتبه‌بندی و درجه‌ استعدادهای حوضه‌ها به زمین لغزش بود. در این پژوهش عامل ارتفاع با وزن نهایی ۴۷/۶۶ و سپس عامل بارش با وزن ۲۴/۴۷ بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش داشتند. نتایج تحقیق پورقاسمی و همکاران که در بخشی از استان گلستان در سال ۱۳۹۱ انجام گرفت، نشان داد که عامل لیتولوژی در آن محدوده موثرترین عامل در بروز زمین لغزش به شمار می‌رود. همچنین در پژوهش کرمی که در همان سال در حوضه سعیدآبادچای انجام گرفت عامل شیب بیشترین همبستگی مثبت را با وقوع زمین لغزش داشته است. براساس این ارزیابی به ترتیب حدود ۲۶/۵، ۲۵/۶، ۲۶/۴ و ۲۲/۴ درصد از منطقه مورد مطالعه در طبقه خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. نتایج حاصل از محاسبه شاخص زمین لغزش برای مدل تهیه شده، روند صعودی این شاخص از پهنه کم به سمت پهنه خطر خیلی زیاد را نشان داده و نشان دهنده دقت لازم مدل مزبور است. با این شناسایی و ارزیابی در حوضه مورد مطالعه، توجه به دینامیک محیط طبیعی و نواحی حساس به زمین لغزش در اجرای برنامه‌های عمرانی، فعالیت‌های کشاورزی و زیرساخت‌های ترابری ضروری بنظر می‌رسد.

منابع و مآخذ

- ۱- ابراهیمی، مجید، حبیب‌اللهیان، محمود، امیراحمدی، ابوالقاسم، بهرامی، شهرام (۱۳۹۳)، پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه (تئوری بی‌زین) مطالعه موردی: حوضه آبخیز بار نیشابور، فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۵، شماره ۴، پیاپی ۵۶، صص ۱۲۵-۱۴۴.
- ۲- امامی، سید نعیم، غیومیان، جعفر (۱۳۸۲)، پژوهشی بر سازوکار زمین لغزش‌ها بر روی واریزه‌های دامنه‌ای (مطالعه موردی لغزش افسر آباد استان چهارمحال و بختیاری)، مجموعه مقالات سومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه بوعلی سینا همدان، صص ۱۱۳-۱۲۶.
- ۳- پورقاسمی، حمیدرضا، مرادی، حمیدرضا، محمدی، مجید، مصطفی زاده، رئوف، گلی جیرنده، عباس (۱۳۹۱)، پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تئوری بی‌زین، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال شانزدهم، شماره ۶۲، صص ۱۰۹-۱۲۳.
- ۴- پورقاسمی، حمیدرضا، مرادی، حمیدرضا و محمدی، مجید (۱۳۸۹)، کاربرد سامانه اطلاعات مکانی و مدل احتمالی weight of Evidence در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش، مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی رسانه‌های اطلاعات مکانی سامانه اطلاعات جغرافیایی ۸۹، سازمان نقشه‌برداری ایران.

- ۶- فعله‌گری، محسن، طالبی، علی، کیاشکوریان، یاسر(۱۳۹۲)، بررسی اثر جاده‌سازی در وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل پایداری دامنه FIAC SIOP (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد ایلام)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۰، ش. ۱، صص ۲۲۷-۲۳۹.
- ۷- کرمی، فریبا (۱۳۹۱)، ارزیابی حساسیت زمین لغزش در حوضه‌های کوهستانی نیمه‌خشک با استفاده از روش‌های آماری و مدل وزنی شاهد(نمونه: حوضه زهکشی سعیدآباد چای- شمال غرب ایران)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره ۳، صص ۲۱-۴۴.
- ۸- مقیمی، ابراهیم، یمانی، مجتبی، رحیمی، هرآبادی، سعید(۱۳۹۲)، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرایند تحلیل شبکه، پژوهش‌های ژئومرفولوژی کمی، شماره ۴، صص ۱۰۳-۱۱۸.
- ۹- ملک، محمدرضا، پيله‌فروش‌ها، پرستو(۱۳۹۳)، مقایسه دو روش تهیه نقشه آسیب‌پذیری زمین لرزه تحت شرایط عدم قطعیت مبتنی بر منطق فازی کلاسیک و منطق فازی شهودی، دوفصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، شماره ششم، صص ۵-۱۳.
- 10- Brardinoni F., Olav Slatmaker,. (2002). Landslide inventory in a rugged forested watershed: a comparison between air-photo and field survey data. *Geomorphology*(54), pp.179-196.
- 11-Dahal,R.K., Hasegawa,Sh., Nonoura.A., Yamanka,M., Dhakal,S., Paudyal., P. (2008), Predictive modeling of rainfall-induced landslide hazard in the lesser Himalaya of Nepal based on weights of evidence, *Geomorphology* 102, pp.496- 510.
- 12-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, west Sussex.
- 13- J. Davis, L. Blesius(2015), A Hybrid physical and Maximum- Entropy Landslide susceptibility Model, *Entropy Journal*, 17. pp.4271-4292.
- 14- M, C. Margarint, A Grozavu and C V Patriche(2013) Assessing the spatial variability of coefficients of Landslide Predictors in different regions of Romania using logistic regression. *Natural Hazard and Earth system sciences. Sci.*, 13, pp.3339-3355.
- 15- Gabet, E. J., Burbank, D. W. and Patkonen, J. k., (2004), Rainfall Thresholds for Landsliding in the Himalayas of Nepal, *Geomorphology*, Vol.63, pp.131-143.
- 16- Hattanji, T., and Moriwaki, H. (2009), Morphometric analysis of relic landslides using detailed landslide distribution maps. Implications for forecasting travel distance of future landslides. *Journal of Geomorphology*, No, 103, pp.447-454.
- 17- Komac, M. A. (2006). Landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, Vol 74, pp.17-28.
- 18-Lee, S., J. Choi and K. Min. 2002. Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model. *Environ. Geol.* Vol 43. Pp. 120-131.
- 19-Lee, S., and J. Choi. 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight-of-evidence model, *Int'l. J. Geograph. Inform. Sci.* 18(8): pp.789-814.
- 20- 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 SCIENCE*, vol.92.No.5, 10, pp. 628-638.
- 21- Moore, I. D., P.E. Gessler, G.A. Neeslesn and G.A. Peterson.(1993). Soil attributes prediction using terrain analysis. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 57 (2). pp 443-452.
- 22- Nefeslioglu, H. A., T. Y. Duman and S. Durmaz. (2008). Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea Region of Turkey), *Geomorphology*, Vol 94. pp 401-418.
- 23- Neuhauser, B and B. Terhorst. (2007). Landslide susceptibility assessment using weights-of-evidence applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW Germany). *Geomorphology*, Vol 86. pp 12-24.
- 24-Pike, R. J., Russell W. Graymer.(2003). Terrapub, Tokyo. A simple GIS model for mapping landslide susceptibility. *Concepts and modelling in Geomorphology : International Perspectives*. Pp.185-197.
- 25- Pradhan, B., (2011). An Assessment of the use of an Advanced Neural Network Model with Five Different Training strategies for the Preparation of land slide susceptibility maps. *Journal of Data science*, No.9, pp. 65-81.
- 26- Regmi, N. R., J. R. Giardino and J. D. Vitek. (2010). Modeling susceptibility to landslides using the weight of Evidence approach: Western Colorado, USA, *Geomorphology*, 115, 172-187. Measuring the accuracy of diagnostic systems, *Science*, 240, pp.1285-1293.
- 28- Van Westen, C.J. (2002). Use of weights of evidence modeling for Landslide susceptibility mapping.