شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در دهستان ژاورود بر اساس مدل تلفیقی فازی و فرایند تحلیل شبکه[1]

جواد جمال‌آبادی *: دکتری ژئومورفولوژی (برنامه‌ریزی محیطی)، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار،
Email: javadjamalabadi@yahoo.com
فرحناز صفری: کارشناس ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار
علی برآبادی: کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، سبزوار
مریم آل محمد: دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران

تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۳۱
تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۲۹

چکیده

پویایی محیط طبیعی منجر به تغییرات در مقیاس‌های فضایی و زمانی متفاوت می‌شود. این تغییرات می‌تواند به وقوع فرایندهای شکل زا بیانجامد که گاهی آثار مخرب و غیرقابل جبرانی را نیز در پی خواهند داشت. یکی از این تغییرات حرکات توده‌ای به‌ویژه زمین‌لغزش است که همه‌ساله صدمات و تلفات مالی و جانی زیادی در مناطق مختلف جغرافیایی و فرسایش شدید خاک را به دنبال دارد. دهستان ژاورود در منطقه شاهو و شهرستان کامیاران در استان کردستان به لحاظ موقعیت خاص توپوگرافی و جغرافیایی خود به‌عنوان یکی از مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش انتخاب گردیده است. به‌منظور بررسی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع لغزش در این تحقیق از ۸ پارامتر شیب، جهت آن، ارتفاع، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه و فاصله از راه ارتباطی به‌عنوان عوامل مؤثر در مسئله تحقیق و همچنین از دو روش منطق فازی و فرایند تحلیل شبکه جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و انتخاب مکان بهینه استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه پتانسیل لغزش‌پذیری کمابیش بالایی دارد. بر اساس نتایج این تحقیق، منطقه ازنظر پتانسیل لغزش در ۴ رده طبقه‌بندی و میزان لغزش‌پذیری منطقه از خیلی زیاد (۷/۵ درصد)، زیاد (۲۷ درصد)، متوسط (۳۱ درصد) و کم (۳۴/۵ درصد) متغیر است. با توجه به تراکم نواحی روستایی و جمعیت‌پذیری در این ناحیه و همچنین گردشگر پذیر بودن منطقه، لازم است که مسئولان با در نظر گرفتن مناطق مستعد وقوع لغزش، اقدامات و تدابیر کنترلی و حفاظتی لازم را اتخاذ نمایند.

واژه‌های کلیدی: *دهستان ژاورود، پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، منطق فازی، روش ANP*

Identification and zoning of susceptible area of landslide in the Javroud rural district

Javad Jamalabadi*[1], Farahnaz Safari[2], Ali Barabadi[3], Maryam Al-Mohammad[4]

Abstract:

The dynamics of the natural environment causes changes in spatial and temporal scales. These changes can lead to morphogenesis processes that sometimes lead to destructive and irreversible effects. One of these changes is the mass movement, especially the landslide, which causes a lot of financial and human losses in different geographic areas each year, resulting in severe erosion of the soil. Shaho area in Kurdistan province and Kamyaran city has been selected as one of the areas susceptible to landslide in terms of its specific topographic and geographical location. n this research, in order to investigate and zoning the susceptible areas of slipping, 8 slope parameters, slope, elevation, lithology, land use, distance from fault, distance from the river and distance from communication were used as factors affecting the research problem. Also, two methods of fuzzy logic and ANP were used to analyze the data and select the optimal location. The results show that the study area has a relatively high slip potential. According to the results of this research, the study area was classified in terms of slip potential in four classes. The degree of slipperiness of the region varies greatly (7.5%), high (27%), moderate (31%) and low (34.5%). Due to the density of rural areas and population density in the area as well as tourist status of the area, it is necessary for the authorities to identify the areas susceptible to landslides to take necessary protective measures and measures.

Key words: *Javaroud district, zoning, landslide, fuzzy, ANP*

1 – Ph.D. in Geomorphology (Environmental Planning) Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran . javadjamalabadi@yahoo.com
2 – Graduate Student, Department of Geomorphology, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.
3 – MSc in Geography and Urban Planning.
4 –Master's degree in geomorphology, Kharazmi University, Tehran, Iran

مقدمه

محیط طبیعی همواره در حال تغییر است و این تغییرات در مقیاس جهانی تا مقیاس‌های خیلی کوچک صورت می‌گیرد [۱]. این تغییرات می‌تواند به وقوع برخی فرایندهای شکل زا منجر شده که گاهی آثار مخرب محیطی را نیز در پی خواهد داشت. یکی از این رخدادها حرکات دامنه‌ای است. حرکات دامنه‌ای می‌تواند به‌صورت واحد و یا توده‌ای ظاهر گردد [۲]. لغزش فرایندی توده‌ای است که به‌طور طبیعی بر روی دامنه‌ها عمل می‌کند؛ هرچند عوامل غیرطبیعی آن را تحریک و یا تشدید می‌کنند. درواقع لغزش، حرکت توده‌ای مواد از دامنه به سمت پایین‌دست است که تحت تأثیر گرانش قرار دارد [۴،۳]. این پدیده شامل جریان، کشیدن، سرازیر شدن، سقوط و یا پخشِ توده‌ای خاک است و بسیاری از لغزش‌ها در یک‌زمان یا در طول عمر لغزش، نشان‌دهنده ترکیبی از انواع مختلف حرکات است که در بسیاری از موارد، تهدیدی جدی برای جمعیت ایجاد می‌کند [۵]. وقوع پدیده زمین‌لغزش، موجب تخریب پوشش گیاهی، باغ‌ها و اراضی زراعی شده و حتی می‌تواند به‌صورت فاجعه‌ای مرگبار برای جوامع انسانی ظاهر شود. گذشته از این موارد، پدیده فرسایش خاک درنتیجه وقوع این حرکات توده‌ای بسیار تشدید می‌شود. پدیده‌های مختلفی بر روی لغزش تأثیرگذار هستند و در افزایش وقوع آن نقشی مستقیم دارند که ازجمله آن‌ها می‌توان به بارش، ذوب برف، تغییرات دما، زلزله، فعالیت آتش‌فشانی و فعالیت‌های انسانی اشاره کرد [۶]. بر این اساس بعضی از مناطق پتانسیل بالایی در وقوع لغزش از خود نشان می‌دهند؛ لذا تفکیک مناطق در ساخت‌وسازهای شهری ازلحاظ پایداری، ناپایداری و استعداد اراضی به حرکات توده‌ای به‌ویژه برای اجرای پروژه‌های عمرانی مهم است [۷]. ایران با توپوگرافی اغلب کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد و شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، بیشترین شرایط طبیعی برای رخداد زمین‌لغزش‌ها را دارا است [۸]. منطقه کوهستانی شاهو یکی از مناطق مستعد حرکات دامنه‌ای است، به‌طوری‌که در طی سال‌های اخیر لغزش‌های متعددی در این منطقه رخ داده است. به همین دلیل در تحقیق حاضر سعی شده است تا به ارزیابی وضعیت لغزش در دهستان ژاورود واقع در منطقه شاهو پرداخته شود. ازآنجایی‌که شناسایی و بخش‌بندی نواحی مستعد لغزش و پهنه‌بندی خطر آن، گامی مهم در ارزیابی خطرهای محیطی محسوب می‌شود، در این تحقیق به شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد زمین‌لغزش پرداخته شده است.

با توجه به نقش و اهمیت لغزش‌ها در فرسایش و تولید رسوب، تحقیقات متعددی در سطح ایران و جهان در این زمینه صورت گرفته است [۹]. با استفاده از منطق فازی به بررسی مناطق مستعد زمین‌لغزش در منطقه گانجنانگ کره پرداخته می‌شود. در این پژوهش ابتدا از روش FR به‌منظور ارزیابی زمین‌لغزش در منطقه استفاده و سپس مناطق مستعد زمین‌لغزش با ترکیب عملگرهای عضویت فازی و روش نسبت فراوانی تعیین شده است. پس از تطبیق نقشه تولید شده با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها به همراه بازدید میدانی، عملگر گامای ۹/. به‌عنوان بهترین عملگر با درجه اطمینان ۸۴ درصد معرفی شده است.

نقشه حساسیت زمین‌لغزش برای منطقه آردسن ترکیه را [۱۰] بر مبنای سامانه اطلاعات جغرافیائی و با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و آماره دومتغیره تهیه کرد و به این نتیجه رسید که متغیرهای سنگ‌شناسی، هوازدگی، کاربری زمین و شیب، مهم‌ترین عوامل مؤثر در بروز زمین‌لغزش در منطقه هستند؛ همچنین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، روش تحلیل سلسله مراتبی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل معرفی شد.

ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه کارل اونری در اسلواکی با استفاده از توزیع دومتغیره آماری انجام شد [۱۱]. از شاخص آنتروپی برای محاسبه وزن لایه‌های مورد بررسی در این منطقه استفاده و درنهایت نقشه پهنه‌بندی خطر منطقه ارائه گردید. در تحقیقی در بخش آراکلی استان ترابزون کشور ترکیه کیفیت عوامل و آثار آن‌ها در تولید نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های چی-اسکوار و وزن دهی فیشر مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۲] که از روش تحلیل سلسله مراتبی[۲] نیز به‌عنوان روش بنچ مارک برای اعتبارسنجی و مقایسه عملکرد وزن‌های عامل‌های زمین‌لغزش استفاده کرده است. همچنین تحقیقی در منطقه چیتاگونگ بنگلادش به بررسی عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش‌های منطقه و تأثیر آن بر مسائل اجتماعی، اقتصادی مردم محلی پرداخته است [۱۳]. این تحقیق بر مبنای کارهای میدانی و تحلیل داده‌ها انجام شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که علت اصلی زمین‌لغزش در منطقه به ترتیب ایجاد ترانشه و زیر شویی، وجود ساختمان ضعیف خاک و تغییرات کاربری اراضی است.

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز کارون بزرگ با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی [۱۴] عنوان تحقیق دیگری در این زمینه است. در این تحقیق پس از وزن دهی لایه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS باهم تلفیق شده‌اند و درنهایت نقشه نهایی پهنه‌بندی مناطق خطر تهیه شده است. نتایج نشان می‌دهد که نواحی پرخطر و خیلی پرخطر اغلب در مجاورت مراتع و تپه‌ماهور با حاشیه دامنه‌های بلند و متوسط ارتفاع در مجاورت روستاها هستند.

مناطق متأثر از خطر زمین‌لغزش در طول جاده تبریز-مرند عنوان پژوهش دیگری است که در آن محققان [۱۵] با استفاده از متغیرهای لیتولوژی، شیب دامنه، کاربری اراضی، پوشش زمین، فاصله از اراضی خطی (جاده، رود، گسل) و هم‌پوشانی آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ساختار خاص زمین‌شناسی، شرایط اقلیم محلی و تراکم نهشته‌های کواترنری در کنار گرادیان شیب از عوامل اصلی بروز زمین‌لغزش است. از دیگر پژوهش‌ها می‌توان به مطالعات پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مسیر آزادراه خرم آباد-پل زال [۱۶] اشاره نمود که پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی صورت گرفته است. نتایج این تحقیق بیانگر این است که ضمن اینکه این مدل کارایی مناسبی جهت تشخیص مناطق مستعد لغزش دارد، در کنار عامل شیب و

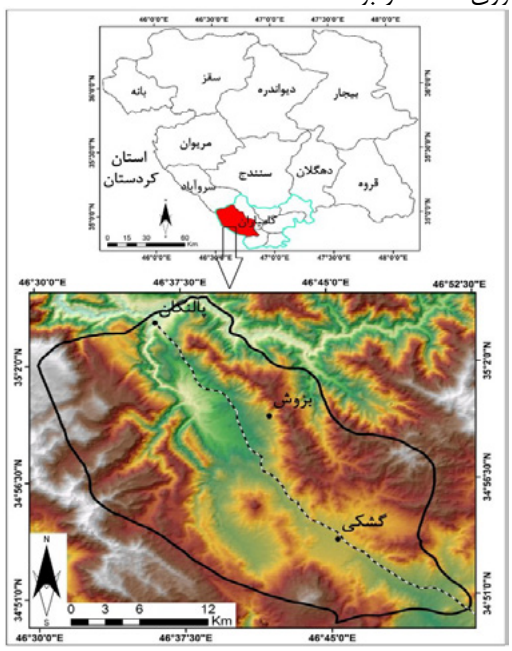
سنگ‌شناسی به‌عنوان عوامل اصلی رخداد لغزش، احداث جاده وقوع لغزش‌ها را تشدید نموده است. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدوده شهری بیجار از دیگر تحقیقات مشابه است [۱۷]. در این تحقیق از مدل تحلیل شبکه‌ای استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان داده است که ۴۱ درصد از محدوده شهر بیجار جزء مناطق دارای خطر زمین‌لغزش محسوب می‌شود. نتایج دقیق‌تر نشان داده است که از بین متغیرهای مؤثر فاصله از گسل و ارتفاع بیشترین و کاربری اراضی کم‌ترین تأثیر را داشته‌اند.

تحقیقی در سال ۱۳۹۵ به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز سیمینه‌رود بوکان با تلفیق مدل‌های آماری، فرایند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات مکانی پرداخت [۱۸]. در این تحقیق از ۹ معیار اصلی جهت شناسایی مناطق مستعد لغزش استفاده شده است؛ سپس نقشه حساسیت زمین‌لغزش با همپوشانی لایه‌های وزن طبقات و اعمال وزن اهمیت هر لایه ایجاد و طبقه‌بندی برای حوضه سیمینه‌رود تولید شده است. نتیجه نهایی تلفیق داده بیانگر این است که حدود ۱۶ درصد زمین‌لغزش مورد استفاده در تهیه نقشه در طبقه خطر زیاد نقشه پهنه‌بندی قرار گرفته است.

ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه ولدیان با استفاده از روش آنبالاگان [۱۹] با استفاده از لایه‌های زمین‌شناسی، شیب، بارندگی، زلزله و جهت شیب به‌عنوان عوامل مؤثر بر خطر وقوع زمین‌لغزش منطقه صورت گرفته و مناطق مستعد خطر شناسایی و پهنه‌بندی گردید. نتایج تحلیل نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به‌دست‌آمده مشخص نمود که حدود ۹ درصد از سطح روستا در محدوده خطر خیلی بالا قرار دارد. از تحقیقات اخیر می‌توان به پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با مدل‌های آنتروپی و منطق فازی در شهرستان کرمانشاه اشاره نمود [۲۰]. در این تحقیق پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از دو روش مدل آنتروپی و روش منطق فازی و ۹ پارامتر لیتولوژی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از جاده، شیب، جهت شیب، ارتفاع، کاربری اراضی و بارش صورت گرفته است. ارزیابی صورت گرفته با استفاده از شاخص احتمال تجربی نشان می‌دهد که مدل فازی با مقدار شاخص احتمال تجربی ۹۰ درصد روش کارآمدتری نسبت به مدل آنتروپی با مقدار شاخص ۵۰ درصد در برآورد خطر زمین‌لغزش در شهرستان کرمانشاه است. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار در حوضه ده سفید را مورد مطالعه قرار داده‌اند [۲۱]. در این تحقیق ابتدا لایه‌های اطلاعاتی در محیط ARCGIS جمع‌آوری و پس از استانداردسازی داده‌ها به روش منطق فازی از طریق مدل تحلیل سلسله مراتبی ارزش‌گذاری شده‌اند. درنهایت با تلفیق کلیه لایه‌ها با استفاده از مدل ترکیب خطی وزن‌دار، نقشه نهایی مناطق مستعد لغزش در حوضه ده سفید به‌دست آمده است. نتایج این تحقیق بیانگر این است که حدود ۳/۷ درصد از منطقه در پهنه خیلی زیاد وقوع زمین‌لغزش قرار دارد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی شامل دهستان ژاورود واقع در شهرستان کامیاران و استان کردستان در مختصات جغرافیایی ۵۴ درجه ۳۰ دقیقه تا ۴۶ درجه ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی است (شکل۱). انتخاب محدوده مطالعاتی به جهت پتانسیل بالای منطقه جهت وقوع حرکات دامنه‌ای بوده است که بخشی از کوه‌های کارستی شاهو محسوب می‌شود. این منطقه در زون زاگرس مرتفع قرار گرفته و ازنظر ساختاری نیز از خصوصیات این زون پیروی می‌کند. زاگرس مرتفع نوار طویل و کمابیش باریکی به عرض ۱۰ تا ۶۵ کیلومتر است که در فاصله بین گسل اصلی و گسل زاگرس مرتفع قرار گرفته است [۲۲].



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به‌منظور بررسی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع لغزش از ۸ پارامتر شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه و فاصله از راه ارتباطی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در مسئله تحقیق؛ همچنین از دو روش منطق فازی و فرآیند تحلیل شبکه‌ای جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و انتخاب مکان بهینه استفاده شده است. در ادامه این دو روش تشریح شده است.

منطق فازی: تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی به‌عنوان نظریه ریاضی برای مدل‌سازی ابهام و عدم قطعیت ابزارهای بسیار کارآمد و مفید به شمار می‌روند. این تئوری روشی است که قضاوت‌های فردی و مبهم در مورد یک پدیده منحصربه‌فرد را وارد مدله‌های احتمالی یا ریاضی می‌نماید و زمینه برای استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم می‌آورد. در منطق کلاسیک درجه عضویت برای همه اجزا در گروه برابر با یک است و تمام اجزا ارزش مشابهی برای سیستم دارد. به‌عبارت‌دیگر در منطق بولین، عضویت یک عنصر در مجموعه‌ای به‌صورت صفر (عدم عضویت) و یک (عضویت) بیان می‌شود؛ اما قطعیت موجود در منطق بولین در منطق فازی وجود ندارد و میزان عضویت یک عنصر در یک مجموعه، با مقداری در بازه یک (عضویت کامل) تا صفر (عدم عضویت کامل) تعریف می‌شود.

رابطه (۱):

$$A = \{X_{1}, \mu_{A}(x) | x \in x\} \mathrm{O} \leq \mu_{A(x)} \leq 1$$

درجه عضویت پذیری، اجتماع و اشتراک، متمم، ضرب، جمع، گاما توان‌های اساسی این مدل تلفیق محسوب می‌شوند. درجه عضویت به‌طورمعمول با یک تابع عضویت بیان می‌شود که شکل تابع می‌تواند به‌صورت خطی، غیرخطی، پیوسته و یا ناپیوسته باشد [۲۳]. شکل ۲ مثالی از تابع عضویت در دو روش منطق فازی و کلاسیک را نشان می‌دهد.

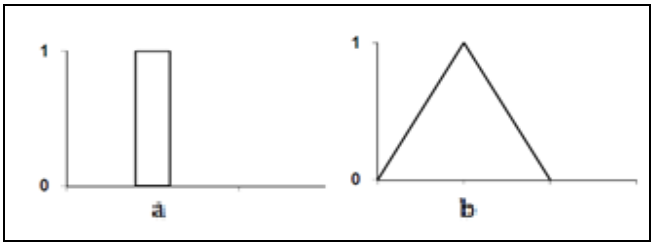
مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای: روش‌های ارزیابی چند معیارِ کاربرد وسیعی در علوم مختلف ازجمله ژئومورفولوژی پیدا کرده‌اند. یکی از این روش‌ها فرایند تحلیل شبکه‌ای است. فرایند تحلیل شبکه‌ای شکل کامل شده تحلیل سلسله مراتبی است. در تحلیل سلسله مراتبی ابتدا مسئله یا موضوع موردنظر را به یک ساختار سلسله مراتبی تبدیل می‌کند که در آن عناصر تشکیل‌دهنده این ساختار که از اجزاء تصمیم نیز تلقی و مستقل از یکدیگر فرض می‌شوند؛ بنابراین یکی از محدودیت‌های جدی تحلیل سلسله مراتبی این است که وابستگی‌های متقابل بین عناصر تصمیم، یعنی وابستگی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها را در نظر نمی‌گیرد و ارتباط بین عناصر تصمیم را سلسله مراتبی و یک‌طرفه فرض می‌کند. این فرض ممکن است در بعضی از موارد صادق نباشد و در چنین شرایطی نتیجه روش تحلیل سلسله مراتبی ممکن است موجب برعکس شدن رتبه‌ها شود، یعنی با حذف گزینه‌ای ممکن است نتیجه رتبه‌بندی گزینه‌ها تغییر کند؛ بنابراین باید در استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی اندکی محتاط بود زیرا کلیه مسائل و مشکلات لزوماً دارای ساختار سلسله مراتبی نیستند.

این محدودیت‌های عمده روش تحلیل سلسله مراتبی باعث شده تا ابداع‌کننده آن توماس ساعتی[۳] روش فرایند تحلیل شبکه‌ای را ارائه و معرفی کند که در آن ارتباط پیچیده بین عناصر تصمیم، از طریق جایگزینی ساختار سلسله مراتبی با ساختار شبکه‌ای در نظر گرفته می‌شود. فرایند تحلیل شبکه‌ای، حالت عمومی و گسترده تحلیل سلسله مراتبی محسوب می‌شود [۲۴] که در آن موضوعات با وابستگی متقابل و بازخورد را نیز می‌توان در نظر گرفت. به همین دلیل در سال‌های اخیر استفاده از مدل تحلیل شبکه به‌جای تحلیل سلسله مراتبی در اغلب زمینه‌ها افزایش یافته است. این روش می‌تواند ارتباطات پیچیده بین عناصر تصمیم را با به‌کارگیری ساختار شبکه‌ای به‌جای ساختار سلسله مراتبی در نظر گیرد. مدل تحلیل شبکه از سلسله‌مراتب کنترل، خوشه‌ها، عناصر و روابط متقابل بین خوشه‌ها و عناصر تشکیل می‌شود. معیارها برای مقایسه خوشه‌های سیستم و گزینه‌های برای مقایسه عناصر با توجه به هدف سیستمی (شبکه‌ای) مورد بررسی به کار می‌روند.

بحث و نتایج

به‌منظور بررسی وضعیت حوضه مورد مطالعه از نظر پتانسیل وقوع زمین‌لغزش از ۸ پارامتر استفاده شده است که در زیر به تشریح هرکدام از آن‌ها پرداخته شده است:

ارتفاع و فاصله از رودخانه: ارتفاع به‌طور غیرمستقیم می‌تواند احتمال وقوع لغزش را افزایش دهد. بدین‌صورت که مقدار ریزش برف با افزایش ارتفاع به‌ویژه بالاتر از ۱۵۰۰ متر افزایش یافته و با ذوب برف در فصل بهار، آبراهه‌ها را پر آب و در زیر بری دامنه‌های پرشیب در پادگانه‌های شنی نقش مهمی داشته است. بر این اساس دو پارامتر ارتفاع و فاصله از رودخانه به‌عنوان عوامل مؤثر در نظر گرفته شده‌اند که در شکل ۲ نقشه این عوامل ارائه شده است. مطابق این شکل، مناطق غربی حوضه ارتفاع بالاتری دارند به‌طوری‌که کوهستان‌های غربی حوضه دارای ارتفاع بالای ۲۰۰۰ متر هستند و از این نظر پتانسیل بالاتری برای زمین‌لغزش دارند.

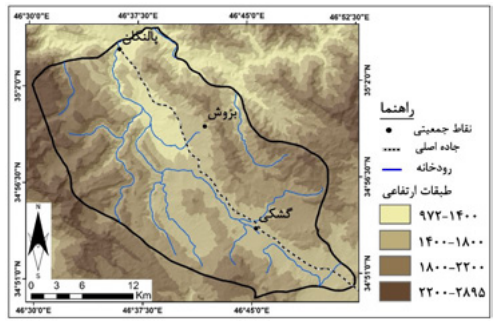


شکل ۲. توابع عضویت در روش کلاسیک (a) و منطق فازی (b)

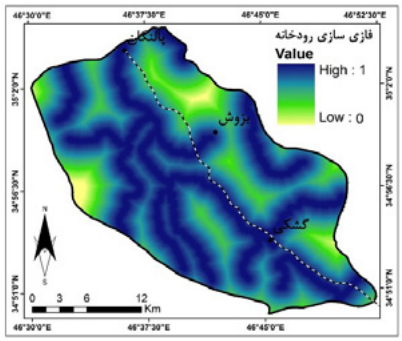
با توجه به اینکه هدف از تحقیق حاضر شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش است، هرکدام از پارامترها برحسب هدف تحقیق فازی سازی شده‌اند. بر این اساس لایه وضعیت ارتفاعی و فاصله از رودخانه نیز فازی سازی شده و در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. فازی سازی این لایه‌ها به این صورت انجام شده است که مناطق دارای ارتفاع زیاد و نزدیک به رودخانه ارزش نزدیک به ۱ و مناطق کم ارتفاع و دور از رودخانه ارزش نزدیک به صفر دارند.

شیب و جهت شیب: شیب از عوامل بسیار مهم در وقوع زمین‌لغزش‌ها بوده است که در صورت مهیا بودن سایر شرایط، توده لغزشی در اثر نیروی ثقل به‌طرف پایین دامنه حرکت خواهد کرد. مطابق شکل ۵ با توجه به کوهستانی بودن منطقه، بخش عمده‌ای از منطقه را مناطق پرشیب در برگرفته است که پتانسیل زیادی برای زمین‌لغزش دارند. همچنین با توجه به اینکه دامنه‌های شمالی انرژی کم‌تری از دامنه‌های جنوبی دریافت می‌کنند، میزان رطوبت در این دامنه‌ها بیشتر از سایر دامنه‌ها است و با توجه به اینکه وجود رطوبت می‌تواند تشدیدکننده لغزش باشد، جهات شیب به‌عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در نظر گرفته شده است. در شکل ۶ جهت شیب منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

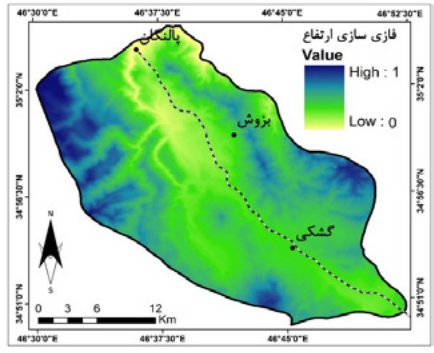
همانند پارامترهای قبلی، لایه شیب و جهت شیب نیز به‌صورت فازی شده درآمده است که در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. مطابق نقشه‌های مذکور، فازی سازی شیب به این صورت انجام شده است که مناطقی پرشیب ارزش نزدیک به ۱ و مناطق کم شیب ارزش نزدیک به صفر دارند و همچنین برای جهت شیب نیز مناطق دارای جهت شمالی ارزش نزدیک به ۱ و مناطق دارای جهت جنوبی ارزش نزدیک به صفر دارند.



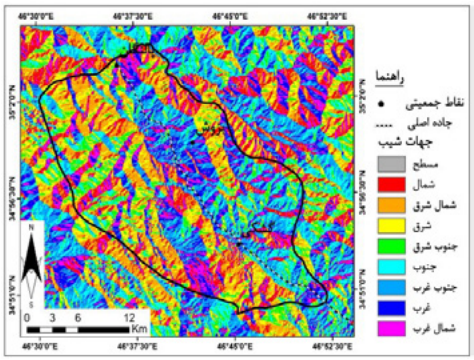
شکل ۲. نقشه طبقات ارتفاعی و رودخانه منطقه مورد مطالعه



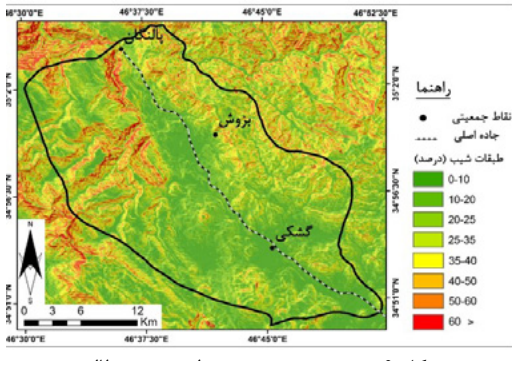
شکل ۳. نقشه فازی شده وضعیت ارتفاعی منطقه مورد مطالعه



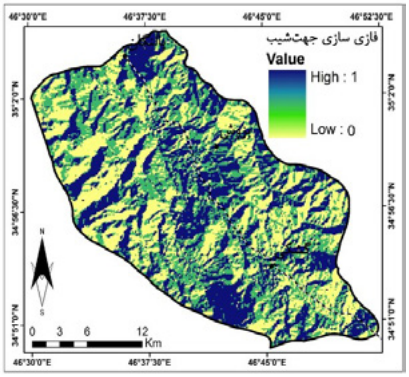
شکل ۴. نقشه فازی شده فاصله از رودخانه منطقه مورد مطالعه



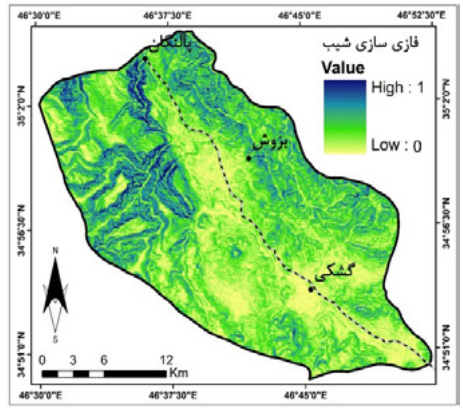
شکل ۵. نقشه شیب منطقه مورد مطالعه



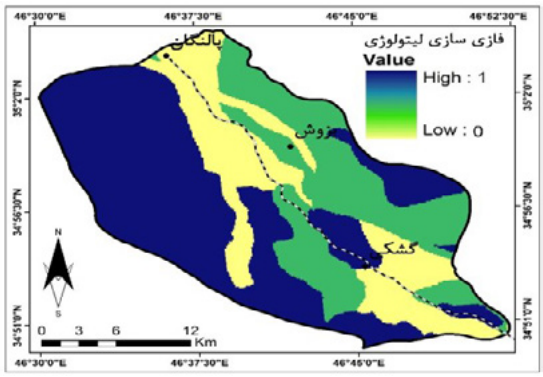
شکل ۶. نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه



شکل ۷. نقشه فازی شده شیب منطقه مورد مطالعه



شکل ۸. نقشه فازی شده جهت شیب منطقه مورد مطالعه

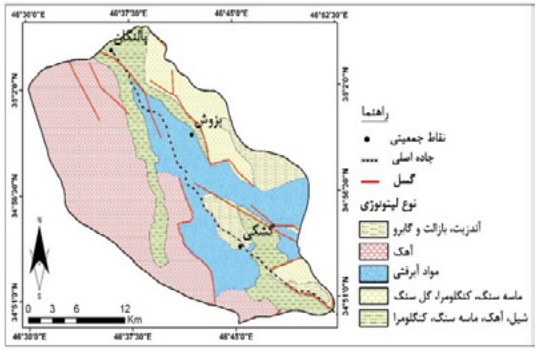


شکل ۹. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

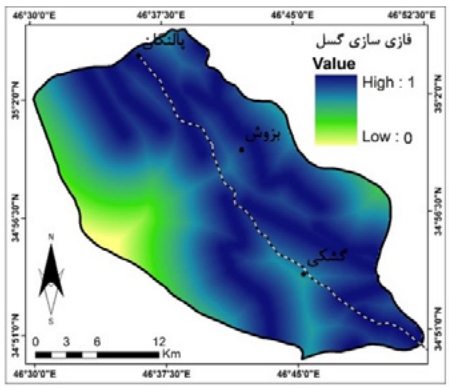
زمین‌شناسی: با توجه به تنوع ترکیب واحدهای زمین‌شناسی در منطقه و حساسیت متفاوت این واحدها در لغزش، عامل لیتولوژی نقش مؤثری در پراکندگی زمین‌لغزش‌های منطقه دارند. در شکل ۹ نقشه وضعیت زمین‌شناسی منطقه ارائه شده است که مطابق شکل مذکور بخش عمده‌ای از محدوده مورد مطالعه را مناطق آهکی در برگرفته است که این سازند نسبت به سازندهای آذرین ازجمله بازالت پتانسیل بیش‌تری برای لغزش دارد. سازندهای آهکی به دلیل داشتن حساسیت بالا در برابر انحلال می‌تواند با نفوذ آب از طریق انحلال و همچنین از طریق درز و شکاف صورت پذیرفته و در صورت ورود به لایه سخت‌تر با نفوذپذیری کمتر می‌تواند زمینه لغزش را با ایجاد سطح انفصال فراهم سازد. استعداد این سنگ‌ها برای پدیده لغزش کمتر از رسوبات سست‌تر مثل رس مارن و ماسه‌سنگ و بیشتر از سازندهای آذرین است. همچنین در حوضه مورد مطالعه خطوط گسلی تراکم بالایی دارند و ازآنجایی‌که تراکم سیستم درزه‌ها، شکستگی‌ها و خردشدگی‌ها نقش بسیار مهمی در ناپایدار دارند و گسل‌ها می‌توانند خردشدگی را به وجود آورند، لایه گسل نیز به‌عنوان یکی از پارامترها در نظر گرفته شده است.

برای لایه لیتولوژی عمل فازی سازی برحسب پتانسیل نوع لیتولوژی برای لغزش صورت گرفته است (شکل ۱۰). آندزین، بازالت و گابرو کم‌ترین ارزش نزدیک به صفر را با توجه به مقاومت بیش‌تر سنگ‌های آذرین در برابر لغزش دارند. همچنین مواد آبرفتی به دلیل داشتن سستی و مقاومت کم‌تر دارای ارزش نزدیک به ۱ هستند. بعد از سنگ‌های آذرین مناطق آهکی به دلیل یکپارچه بودن و نداشتن تناوب لایه‌ای مقاومت بیش‌تری نسبت به ماسه‌سنگ و کنگلومرا داشته و ازنظر عدم پتانسیل لغزش در مرتبه دوم بعد از توده‌های آذرین قرار می‌گیرند. برای لایه گسل نیز فازی سازی به این صورت بوده است که مناطق نزدیک به خطوط گسلی ارزش نزدیک به ۱ و مناطق دورتر ارزش نزدیک به صفر دارند (شکل ۱۱).

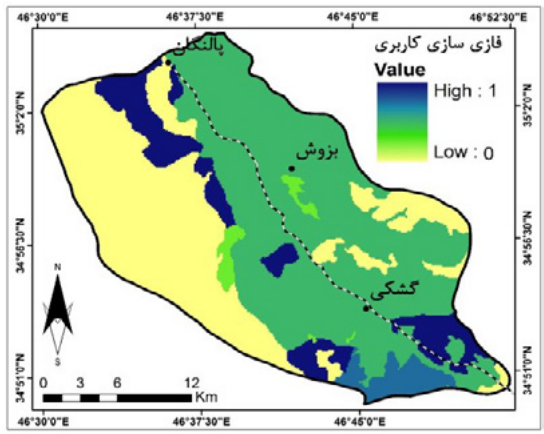
کاربری اراضی و راه ارتباطی: یکی از عوامل تأثیرگذار بر حرکات دامنه‌ای به‌خصوص لغزش‌ها، دخالت عوامل انسانی ازجمله راه‌سازی است. تأثیر راه‌های ارتباطی به‌ویژه در مناطق دارای لیتولوژی سستی بسیار چشم‌گیر است. معیار انسانی دیگر، نوع کاربری اراضی است. کاربری اراضی می‌تواند در تشدید و یا کاهش حرکات دامنه‌ای مؤثر باشد، به‌طوری‌که میزان لغزش در مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم، کم‌تر از مناطق بدون پوشش خواهد بود. همچنین ممکن است بعضی از کاربری‌های غیراصولی به‌خصوص در مناطق پرشیب سبب تشدید حرکات دامنه‌ای شود. در شکل ۱۲ نقشه کاربری اراضی و راه ارتباطی حوضه مورد مطالعه ارائه شده است.



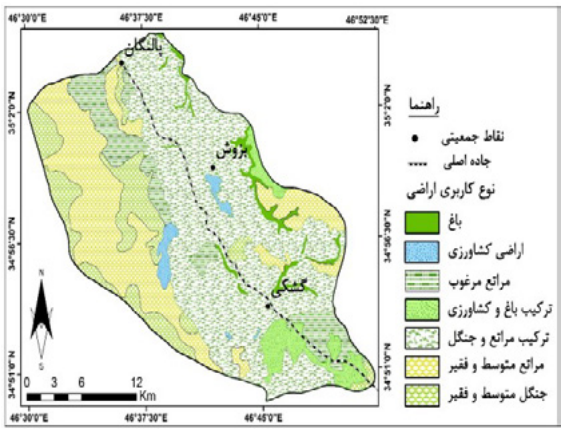
شکل ۱۰. نقشه فازی شده لیتولوژی منطقه مورد مطالعه



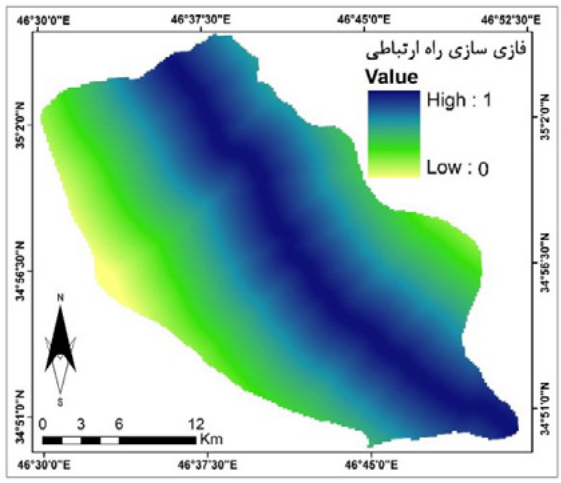
شکل ۱۱. نقشه فازی شده فاصله از گسل منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۲. نقشه کاربری اراضی و راه ارتباطی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۳. نقشه فازی شده کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

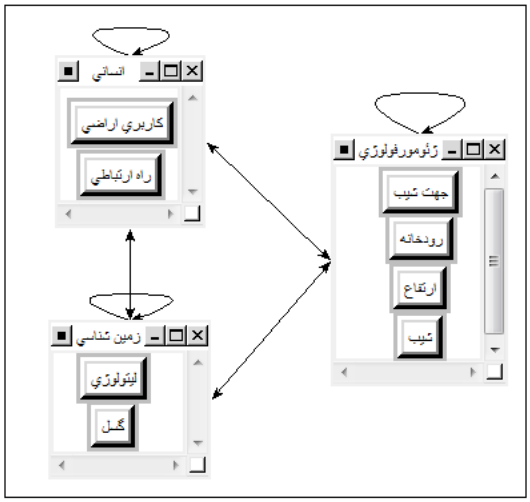


شکل ۱۴. نقشه فازی شده فاصله از راه ارتباطی منطقه مورد مطالعه

با توجه به اینکه مناطق دارای پوشش گیاهی به دلیل نقش تثبیت‌کننده گیاهان، پتانسیل کم‌تری برای لغزش دارند، فازی سازی لایه کاربری اراضی بر این مبنا صورت گرفته است. به همین دلیل مراتع مرغوب دارای ارزش نزدیک به صفر و مراتع فقیر و متوسط ارزشی نزدیک به ۱ دارند (شکل ۱۳). همچنین برای راه ارتباطی نیز، مناطق نزدیک به آن دارای ارزش نزدیک به ۱ و مناطق دورتر دارای ارزش نزدیک به صفر هستند (شکل ۱۴).

وزن دهی به لایه‌ها با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای

پس از به دست آوردن لایه‌های اطلاعاتی از مدل تحلیل شبکه‌ای برای وزن دهی به آن‌ها استفاده شده است. برای این

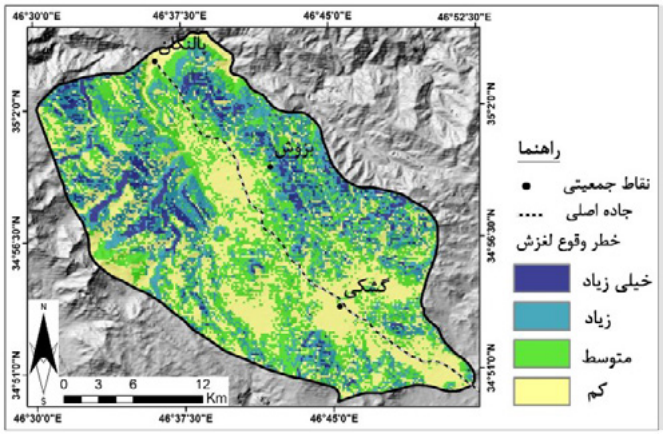


شکل ۱۵. ساختار شبکه‌ای معیارها

منظور پس از تشکیل ساختار شبکه‌ای (شکل ۱۵) از طریق نرم‌افزار EXPERT CHOISE و با توجه به رابطه درونی و بیرونی معیارها، از ماتریس مقایسه‌ای شامل ۸ سطر و ۸ ستون برای تعیین رابطه و میزان اهمیت هر یک از این معیارها و زیرمعیارها استفاده شده است. به‌منظور امتیازدهی به معیارها از طریق پرسش‌نامه و دیدگاه‌های کارشناسان و متخصصان (متخصص در ژئومورفولوژی شامل اعضای اساتید و دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته ژئومورفولوژی) استفاده شده است. برای انجام محاسبات از نرم‌افزار Super Decisions استفاده شد و پس از به دست آوردن وزن‌های نهایی هرکدام از معیارها (جدول ۱)، در نرم‌افزار Arc GIS و IDRISI بر روی لایه‌های نقشه‌ای اعمال گردیدند.

جدول ۱. وزن لایه‌های اطلاعاتی در مدل ANP

معیار	زمین‌شناسی		ژئومورفولوژی				انسانی	
	لیتولوژی	گسل‌ها	شیب	جهت شیب	ارتفاع	رودخانه	کاربری اراضی	راه ارتباطی
وزن در مدل ANP	۰/۱۰۸	۰/۰۹۷	۰/۲۰۹	۰/۰۷۴	۰/۰۸۰	۰/۱۶۱	۰/۰۹۷	۰/۱۷۵



شکل ۱۶. نقشه مناطق وقوع لغزش بر اساس مدل تلفیقی منطق فازی و ANP

تلفیق و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی

پس از استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی به‌منظور شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش، لایه‌های اطلاعاتی بر اساس وزن به‌دست‌آمده با استفاده از منطق فازی باهم تلفیق و ترکیب شده‌اند. جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر فازی ضرب و همچنین حساسیت خیلی کم فازی جمع، از عملگر فازی گاما استفاده شده است. برای عملگر گاما پس از تلفیق و ارزیابی هرکدام درنهایت از گامای ۰/۷ استفاده گردید. لذا پس از هم‌پوشانی لایه‌ها مناطق مستعد وقوع لغزش بر اساس گامای فازی ۰/۷ استخراج شد (شکل ۱۶).

جدول ۲. مساحت و درصد مساحت طبقات مستعد لغزش (برحسب کیلومترمربع)

پتانسیل لغزش	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم
مساحت	۳۹	۱۴۱	۱۶۱	۱۸۲
درصد مساحت	۷/۵	۲۷	۳۰/۸	۳۴/۸

نتیجه‌گیری

دهستان ژاورود در یک منطقه کوهستانی واقع شده است. فراهم بودن شرایط اقلیمی، لیتولوژی، توپوگرافی و هیدرولوژیکی و سایر شرایط در منطقه سبب شده است تا حرکات دامنه‌ای به‌خصوص لغزش به‌عنوان یکی از مخاطرات ژئومورفولوژیکی منطقه مطرح باشد. نتایج تحقیق نشان داده است که بخش زیادی از منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل لغزش‌پذیری بالایی است. بر اساس نتایج تحقیق، منطقه مورد مطالعه ازنظر پتانسیل لغزش در ۴ رده طبقه‌بندی می‌گردد که میزان لغزش‌پذیری منطقه را خیلی زیاد تا کم نشان داده است. مطابق نقشه نهایی و جدول ۲، رده اول شامل طبقه لغزش‌پذیری خیلی زیاد است که این رده با ۳۹ کیلومترمربع، وسعتی حدود ۷/۵ درصد از دهستان ژاورود را به خود اختصاص داده است. این طبقه بیشتر در مناطق مرتفع پرشیب و نزدیک خطوط گسلی، راه ارتباطی و رودخانه قرار دارد. طبقه دوم رده با پتانسیل لغزش‌پذیری زیاد است که این طبقه با ۱۴۱ کیلومترمربع وسعت، ۲۷ درصد از وسعت منطقه را به خود اختصاص داده است. این طبقه نیز اغلب در مناطق پرشیب، مرتفع، نزدیک رودخانه و راه ارتباطی قرار دارد. طبقه سوم نیز با پتانسیل متوسط لغزش‌پذیری است که این طبقه با ۱۶۱ کیلومترمربع وسعت، حدود ۳۱ درصد از وسعت منطقه را به خود اختصاص داده است. این منطقه نسبت به طبقات اول و دوم در مناطق کم شیب‌تر و کم ارتفاع‌تر واقع شده است. همچنین طبقه چهارم نیز به رده لغزش‌پذیری کم اختصاص داده شده است که با ۱۸۲ کیلومترمربع وسعت، حدود ۳۵ درصد از منطقه را به خود اختصاص داده است. این رده بیشتر در دشت‌های میانی دهستان ژاورد و مناطق کم شیب منطقه واقع شده است. نتایج فوق بیانگر این است که منطقه مورد مطالعه پتانسیل لغزش‌پذیری بالایی دارد و با توجه به تراکم نواحی روستایی در منطقه و همچنین گردشگر پذیر بودن منطقه، لازم است که مسئولان بر اساس وسعت و توزیع مناطق مستعد وقوع لغزش، اقدامات کنترل‌کننده لازم را انجام دهند.

پی‌نوشت

1. Analytical Network Process (ANP)
2. 2 Analytical Hierarchy Process (AHP)
3. Tomas saaty

منابع

1. Wood. J.L., Harrison, S., Turkington, T., Reinhardt L (2016), Landslides and synoptic weather trends in the European Alps, *Clim. Chang.*, 136 , pp. 297-308.
2. Bellugi, D.G. Milledge, W.E. Dietrich, J.A. McKean, J.T. Perron, E.B. Sudderth, B. Kazian (2015), A spectral clustering search algorithm for predicting shallow landslide size and location J. *Geophys. Res.*, 120 (2015), pp. 300-324
3. Cruden, D.M., Varnes, D.J., (1996). Landslide types and processes. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), Landslides, Investigation and Mitigation, *Transpor-*

tation Research Board Special Report 247, Washington D.C., pp. 36–75.

4. Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L (2013), The Varnes classification of landslide types, an update, Volume 11, Issue 2, pp 167–194.

5. Petley. D (2012), Global patterns of loss of life from landslides, *Geology*, 40 (10), pp. 927-930

6. Sidle, R.C., Ochiai, H (2006), Landslides: processes, prediction, and land use, *Water Resour. Monogr.* Ser., 18, AGU, Washington, 312 pp.

۷. عابدینی، موسی؛ بهاره قاسمیان، شیرزادی، عطار (۱۳۹۳)، مدل‌سازی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: استان کردستان، شهرستان بیجار). *مجله جغرافیا و توسعه شماره ۳۷* ، صص ۸۵ تا ۱۰۲.

۸. علیجانی، بهلول؛ قهرودی تالی، منیژه؛ امیراحمدی، ابولقاسم (۱۳۸۴)، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های شمالی شاه جهان با استفاده از GIS (مطالعه موردی: حوضه اسطرخی شیروان)، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، دوره ۲۲، شماره ۱ (پیاپی ۸۴).

9. Lee, S., (2007). Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibi mapping. *Environmental Geology* 52, pp 615-623.

10. Yalcin, A., (2008) GIS based landslide susceptibility maping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey), Comparisons of result and confirmation *Catena* ,72,1-12.

11. Bednarik, M., Magulova, B., Matys, M., Marschalko, M., (2010), Landslide SusceptibilityAssessment of the Kral´ovany–Liptovsky´ Mikulaš Railway Case Study, *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 35, PP.162-171.

12. Emrehan, K. S., Cengizhan, I. and Taskin, K. (2015). "A Comparison of Feature and Expert-Based Weighting Algorithms in Landslide Susceptibility Mapping." *Procedia Earth and Planetary Science* 15 (2015), 462-467.

13. Mia, MT, Sultana N, Paul A(2016), Studies on the Causes, Impacts and Mitigation Strategies of Landslide in Chittagong city, Bangladesh. J. *Environ. Sci.* Nat 8(2):1-5.

۱۴. یمانی، مجتبی؛ حسن‌پور، سیروس؛ مصطفایی، ابوالفضل؛ شادمان رودپشتی، مجید (۱۳۹۰)، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP در محیط GIS، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، سال ۲۳، شماره ۴.

۱۵. روستایی، شهرام؛ احمدزاده، حسن (۱۳۹۱) پهنه‌بندی مناطق متأثر از خطر زمین‌لغزش در جاده تبریز – مرند با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، شماره ۱، صص ۵۸-۴۷.

۱۶. یمانی، مجتبی؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ گورابی، ابوالقاسم؛ رحمتی، مریم (۱۳۹۲)، تعیین مرز پهنه‌های خطر زمین‌لغزش در مسیر آزادراه خرم آباد- پل زال با روش تحلیل سلسله مراتبی- فازی، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، سال چهاردهم، شماره ۳.

۱۷. نیری، هادی؛ کرمی، محمدرضا؛ سالاری، ممند (۱۳۹۵)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از طریق ارزیابی متغیرهای محیطی با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای (مطالعه موردی: شهر بیجار)، *مجله پژوهش‌های کمی*، سال پنجم، شماره ۴ .

۱۸. جمالی، لقمان؛ فلاحی، غلامرضا (۱۳۹۵)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز سیمینه‌رود بوکان با تلفیق مدل‌های آماری، فرایند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات مکانی، *نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری*، دوره ششم، شماره ۴.

۱۹. حاجی حسینلو، حسن؛ مقدم دیزج هریک، مهسا (۱۳۹۵)، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه ولدیان با استفاده از روش آنبالاگان (شرق شهرستان خوی)، *فصلنامه جغرافیایی سرزمین، علمی- پژوهشی*، سال سیزدهم، شماره ۵۲.

۲۰. صفاری، امیر؛ هاشمی، معصومه (۱۳۹۵)، پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با مدل‌های آنتروپی و منطق فازی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه)، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، سال نهم، شماره ۴۳.

۲۱. بهاروند، سیامک ؛ سارویی، حمزه؛ سوری، سلمان (۱۳۹۶)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (مطالعه موردی: حوضه ده سفید لرستان)، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، سال دهم.

۲۲. آقانباتی، (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، چاپ اول، انتشارات صنوبر، *سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور*.

23. Kosko, B. 1992- Fuzzy systems as universal approximators Fuzzy Systems (1992), *IEEE International Conference on San Diego*, CA.

24. Saaty, T. L (1999), "Fundamentals of the Analytic Network Process", *Proceedings of ISAHP* 1999, Kobe, Japan.