Geographical Engineering of Territory
P-ISSN: 2538-1490
E-ISSN: 2538-3922
www.jget.ir

Vol. 9 Issue 4 (No. 26), Winter 2025, Pp. 141-154
DOI: 10.22034/jget.2025.474392.1572

Research Article

Landslide Risk Assessment and Zoning in Izeh County

Hojat Sheikhi [1*] , Mohammad Salavarzizadeh [2], Atefeh Saeedi [3]

[1.] Associate Professor of Department of Architecture and Urban Planning, Ilam University, Ilam, Iran.
[2.] Assistant Professor of Department of Architecture and Urban Planning, Ilam University, Ilam, Iran
[3.] M.S Student of Urban Planning, Ilam University, Ilam, Iran.
* Corresponding Author, h.shaykhi@ilam.ac.ir

Receive Date: 20 August 2024
Accept Date: 07 May 2025

ABSTRACT

Introduction: Landslides are one type of slope movement that has always caused great damage in the country. In addition to financial losses, transferring part of the slope sediments downwards will also cause significant human risks; therefore, identifying areas prone to landslides can prevent this phenomenon as much as possible and effectively protect the lives and property of people at risk.
Objectives: The purpose of this study is to prioritize the effective components in the occurrence of landslides and zone the risk of their occurrence in Izeh County. Nine factors have been considered for prioritizing and zoning the risk of landslides. These nine factors include distance from the road, distance from the fault, distance from the river, altitude, slope, slope direction, precipitation, land use, and geology.
Methodology: The method used in landslide zoning is the Analytical Hierarchy Process (AHP), and Geographic Information System (GIS) software has been used to combine the layers. In the analytic hierarchy process method, the weight of each of the nine factors is calculated according to their importance in the occurrence of landslides in the desired area and applied to the desired layers. By superimposing the layers, a landslide risk zoning map is produced.
Geographical Context: Izeh County is one of the counties of Khuzestan Province located in the south of Iran. The center of this county is Izeh City.
Results and Discussion: The results of this study indicate that the slope, slope direction, and elevation factors have the greatest impact, and road and land use have the least impact on the occurrence of landslides in this area. Based on the results, about 19.30 percent of the area is in the high to very high-risk range, about 69.35 percent is in the low to very low-risk range, and the rest is in the medium potential range of landslide occurrence.
Conclusion: Decision-makers and managers can use This study's findings to reduce landslide risks. Therefore, environmental planning and any intervention in environmental conditions should be carried out with precise and scientific studies so as not to increase slope instability and environmental hazards.

KEYWORDS: Landslide, Geographic Information System, Zoning, Izeh.

مهندسی جغرافیایی سرزمین
شاپای چاپی ۱۴۹۰- ۲۵۳۸
شاپای الکترونیکی ۳۹۲۲- ۲۵۳۸
www.jget.ir

دوره ۹، شماره ۴ (پیاپی ۲۶)، زمستان ۱۴۰۴، صص. ۱۴۱-۱۵۴
DOI: 10.22034/jget.2025.474392.1572

مقاله پژوهشی

ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان ایذه

حجت شیخی[1*]، محمد سلاورزی‌زاده[2]، عاطفه سعیدی[3]

۱. دانشیار گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۲. استادیار گروه معماری و شهرسازی ، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه ریزی شهری، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
* نویسنده مسئول، Email: h.shaykhi@ilam.ac.ir

تاریخ دریافت: ۳۰ مرداد ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۷ اردیبهشت ۱۴۰۴

چکیده

مقدمه: پدیده زمین لغزش یکی از انواع حرکت‌های دامنه‌ای است که همواره خسارات زیادی را در کشور به وجود آورده است. انتقال بخشی از رسوبات دامنه به سمت پایین آن علاوه بر خسارت‌های مالی، خطرات جانی زیادی را نیز در پی خواهد داشت ؛ بنابراین شناسایی مناطقی که مستعد زمین لغزش می‌باشند می‌تواند در حد ممکن از وقوع این پدیده جلوگیری کند و با عث حفظ جان و مال انسان‌های در معرض خطر شود.

هدف: هدف از این پژوهش اولویت‌بندی مؤلفه‌های مؤثر در وقوع زمین لغزش و پهنه‌بندی خطر وقوع آن در سطح شهرستان ایذه است. برای اولویت‌بندی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش ۹ عامل در نظر گرفته شده، این عوامل ۹ گانه شامل: فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، ارتفاع، شیب، جهت شیب، بارش،کاربری اراضی و زمین‌شناسی است.

روش شناسی: روش مورد استفاده در پهنه‌بندی زمین لغزش فرایند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) است و برای تلفیق لایه‌ها نیز از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است. درروش فرایند تحلیل سلسله مراتبی وزن هریک از عوامل ۹ گانه با توجه به اهمیت هر یک از آنها در وقوع زمین لغزش در منطقه مورد نظر محاسبه شده و در لایه های مورد نظر اعمال می‌شود و با رویهم قرارگیری لایه‌ها، نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش تولید می‌شود.

قلمرو جغرافیایی پژوهش: شهرستان ایذه یکی از شهرستان‌های استان خوزستان واقع در جنوب ایران است. مرکز این شهرستان، شهر ایذه است.

یافته‌ها و بحث: نتایج این تحقیق بیانگر آن است که عامل شیب، جهت شیب و ارتفاع از بیشترین تاثیر و جاده و کاربری اراضی نیز کمترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش در این منطقه داشته است. بر اساس نتایج حدود ۳۰/۱۹ درصد منطقه در محدود خطر زیاد تا خیلی زیاد، حدود ۳۵/۶۹ درصد منطقه در محدوده پتانسیل کم تا خیلی کم خطر و مابقی منطقه در محدوده با پتانسیل متوسط وقوع زمین لغزش واقع شده‌اند.

نتیجه گیری: یافته‌های این مطالعه می‌تواند توسط تصمیم‌گیرندگان و مدیران برای کاهش خطرات زمین لغزش استفاده شود. لذا برنامه‌ریزی‌های محیطی و هرگونه دخالت در شرایط محیط بایستی با مطالعات دقیق و علمی صورت گیرد تا منجر به تشدید ناپایداری شیب‌ها و مخاطرات محیطی نشود.

کلیدواژه‌ها: زمین لغزش، سیستم اطلاعات جغرافیایی، پهنه‌بندی، ایذه.

مقدمه

زمین لغزش‌ها، به عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در مناطق کوهستانی و یا سطوح شیب‌دار هستند که به واسطه دخالت‌های انسانی و یا عوامل طبیعی به وجود می آیند. عوامل موثر در ناپایداری دامنه، خاک و سنگ ها را با کمک نیروی جاذبه به طرف پایین انتقال داده و زمین لغزش را موجب می‌شوند (لجم اورک و پیری، ۱۴۰۲: ۱۹۴). در این پدیده حرکت توده سنگ، واریزه و یا خاک به سمت پایین شیب که عامل اصلی آنها آب است، جزء زمین لغزش محسوب می‌گردد (غلامی کلاته و همکاران، ۱۳۹۹: ۱).

زمین لغزش از متداول ترین پدیده‌های طبیعی تغییر شکل‌دهنده سطح زمین بوده و بعد از زلزله و سیل بیشترین خسارت را به انسان وارد می کند (شادفر و همکاران، ۱۴۰۱: ۶۶). از مهم ترین عواملی که با عث به وجود آمدن زمین لغزش می شوند و یا اینکه شرایط مساعدی را برای وقوع آن فراهم می کنند می‌توان به میزان شیب، جهت شیب، جنس زمین، ارتفاع منطقه، بارندگی، شبکه آب های سطحی، گسل، راه‌ها و همچنین کاربری اراضی اشاره کرد. پهنه بندی خطر زمین لغزش یکی از راه های شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش با استفاده از عوامل یاد شده است (لی و همکاران، ۲۰۱۹؛ صادقی و جوان، ۱۴۰۳). زمین لغزش نوعی حرکت توده‌ای است که در اثر عوامل طبیعی و فعالیت های انسانی و یا هر دو این عوامل در مناطق شیب دار به وجود می آید و طی آن حجم زیادی از مواد تشکیل دهنده دامنه به سمت پایین جابه جا می شود. تلفات انسانی، تخریب اراضی کشاورزی، باغ ها، سازه های مهندسی و راه های ارتباطی و هدر رفت سریع خاک از آثار زمین لغزش ها به شمار می روند. با توجه به وسعت خسارات ذکرشده، می توان به صراحت بیان نمود که هزینه بررسی و مطالعه چنین پدیده ای برای شناخت و برنامه ریزی بهتر به منظور پیشگیری یا کاهش خسارات ناشی از آن به مراتب کمتر از خسارات آن است. بنابراین شناخت عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش و تشخیص مناطق مختلف از نظر حساسیت به وقوع آن یکی از مهم ترین و ضروری ترین اقدامات برای جلوگیری یا کاهش صدمات زمین لغزش به شمار می رود (سرایی و اصغری، ۱۴۰۰: ۵۲؛ صادقی و جوان، ۱۴۰۴). روابط فضایی موجود بین منطقه وقوع زمین لغزش و عوامل موثر محیطی، عناصر کلیدی در بررسی حساسیت زمین لغزش است. ازآنجا که پیش بینی زمان رخداد زمین لغزش ها امکان پذیر نیست، شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش و پهنه بندی این مناطق بر اساس پتانسیل خطر اهمیت این مطالعات را آشکار می کند (ناعمی تبار و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۱۳). درک مکانیسم زمین لغزش و پهنه‌بندی مناطق مستعد به خطر وقوع زمین لغزش برای برنامه‌ریزی‌های کاربری زمین ضروری است و ممکن است به عنوان یک ابزار استاندارد برای حمایت از تصمیم‌گیری‌ها در مناطق مختلف در نظر گرفته شود (عمادالدین و همکاران، ۱۴۰۰: ۷۶).

کشور ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی، تنوع زئومورفولوژیکی، توپوگرافی، زمین ساختی، افزایش جمعیت و فشار بر منابع طبیعی با تغییر کاربری اراضی و در نتیجه تنوع شرایط اقلیمی با مخاطرات و بلایای طبیعی مانند زمین لغزش رو به روست (غلامی کلاته و همکاران، ۱۳۹۹: ۲). چنین وضعیتی لرزوم پهنه بندی حساسیت و ارزیابی پتانسیل منطقه به وقوع زمین لغزش را در راستای برنامه ریزی و اجرای برنامه های عمرانی آشکار می سازد.

در سال‌های اخیر امکان ارزیابی پتانسیل خطر زمین لغزش با استفاده از تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش فراهم و توسعه فزاینده‌ای پیداکرده (برا و همکاران، ۲۰۱۹) و به روش موثری جهت ارزیابی و مدیریت کاهش خطر تبدیل شده است(هونگ و همکاران، ۲۰۱۶). نقشه‌های حساسیت زمین لغزش به مثابه سنگ بنایی برای تصمیم‌گیران برای پیشنهاد اقدامات فنی، نظارتی و یا ترکیبی از این دو می‌باشد. این نقشه‌ها همچنین ابزار مهمی برای مهندسان، دانشمندان علوم زمین، برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران به منظور انتخاب مکان‌های مناسب برای کشاورزی، ساخت و ساز و سایر فعالیت‌های توسعه‌ای محسوب می‌شوند (کرنژادی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش از جمله روش‌هایی است که با استفاده از آن می توان مناطقی را که در معرض خطر وقوع زمین لغزش هستند تعیین کرد و با استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی شده جهت تقلیل خسارات ناشی از آن برنامه‌ریزی و مدیریت انجام داد (روستایی و جانانه، ۱۳۹۸: ۱۶۹). در سال‌های اخیر مدل‌های فرآیند محور متنوعی توسط تعدادی از محققان مانند کانگ و

همکاران (۲۰۱۹)، وانگ و همکاران (۲۰۲۰)، وان بوت و همکاران (۲۰۲۰) مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج یافته‌های آنها نشان داد که لیتولوژی و فاصله از گسل، به عنوان موثرترین عوامل در ایجاد زمین لغزش محسوب می‌شوند. بررسی‌های مارین و همکاران (۲۰۲۰) بیانگر ان است که شدت بارندگی و عامل شیب به عنوان اصلی‌ترین متغیرهای موثر در وقوع و پیش‌بینی خطر زمین لغزش‌ها محسوب می‌شود. پسومیادیس و همکاران (۲۰۲۰) به تهیه نقشه و ارزیابی حساسیت زمین لغزش قسمت‌های غربی جزیره کرت پرداختند. در این تحقیق از روش‌های تحلیل مکانی و داده‌های دورسنجی برای بررسی تاثیر عوامل مختلف فیزیکی و انسانی بر روی زمین لغزش و ارزیابی حساسیت به زمین لغزش استفاده شد. بررسی های فرانی و همکاران (۲۰۲۱) حاکی از ان است که سرعت وقوع زمین لغزش و شیب باعث تفاوت در عمق وقوع لغزش در هر دامنه می شود. گایانو وهمکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل های شبیه سازی پایداری دامنه ها نشان دادند که شیب و جهت شیب از عوامل موثر در زمین لغزش هستد. آبای و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از AHP در اتیوپی پرداخته اند. نتایج این پژوهش نشان می دهد که سنگ شناسی، نزدیکی به گسل، شیب، کاربری اراضی و ارتفاع نقش مهمی در وقوع زمین لغزش ها دارند. بهاروند و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از تئوری آنتروپی در ارزیابی عوامل کنترل کننده زمین لغزش و پهنه بندی خطر وقوع آن در حوضه احمدآباد، استان لرستان پرداختند نتایج نشان داد که به ترتیب عوامل لیتولو ژی، کاربری اراضی و شیب، بیشترین تأثیرگذاری را در رخداد لغزش های منطقه دارد. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده ، به ترتیب،۱۴/۶ ۲۸/۸، ۲۸/۸، ۲۰/۰ و ۷/۸ درصد از مساحت منطقه در کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. زارعی و همکاران (۱۴۰۲) به ارزیابی و پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوزه آبخیز بیونیز، استان کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان داد که متغییرهای شیب، فاصله از جاده، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، ارتفاع، سنگ شناسی، فاصله از رودخانه، بارندگی، جهت شیب و فاصله از گسل به ترتیب بیشترین تا کمترین تأثیرگذاری بر وقوع زمین لغزش های منطقه را دارا می باشند عابدینی و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه ای به بررسی و پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه نیرچای با استفاده از مدل ANP پرداختند. نتایج پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش نیز حاکی از این است که حدود ۹/۸ درصد از سطح حوضه نیرچای در کلاس خطر بسیار زیاد و در حدود ۱۹/۳ درصد آن نیز در کلاس خطر زیاد قرار می گیرد. پهنه های بسیار پرخطر و پرخطر عمدتاً در قسمت های میانی حوضه نیرچای پراکنده شده اند. محمدی (۱۴۰۴) در پژوهشی به ارزیابی پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در مجاورت سدهای قلمروهای کوهستانی با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: سد چراغ ویس؛ شهرستان سقز) پرداخته است. برای این منظور 11 عامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله تا جاده، فاصله تا رودخانه، تراکم جاده، تراکم رودخانه، انحنا، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص توان جریان رودخانه و پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان می دهد که هر دو مدل در تشخیص مناطق حساسیت کم تا حساسیت بسیار بالا، تا حدودی شبیه به هم عمل کردند. در هر دو مدل بیش از نیمی از مساحت منطقه مستعد زمین لغزش است.

در محدوده مورد مطالعه با توجه به وضعیت زمین شناسی و تکتونیک منطقه در هر بخش از منطقه شرایط خاصی از نظر توپوگرافی ایجاد شده است. جنس رسوبات در مرکز و اطراف دریاچه میانگران دانه ریز تا متوسط رس، رس سیلتی همراه مقدار کمی ماسه و در دامنه و حاشیه ارتفاعات دانه درشت و متوسط گراول و واریزه های آهکی می باشد. شرایط هیدرولوژیکی ناحیه به نحوی است، که موجب تجمع کلیه نزولات جوی از طریق آبراهه های آبراک و کهشور در دریاچه میانگران و بندان شده است. با توجه به ویژگی های محیطی و توپوگرافی خاص منطقه از نظر برخورداری از عوامل موثر در وقوع این پدیده، بررسی زمین لغزش در این منطقه ضروری می باشد. لذا هدف از این پژوهش اولویت بندی و تهیه نقشه پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در سطح شهرستان ایذه است.

روش شناسی

در این مطالعه، ابتدا عوامل مؤثر در ایجاد زمین لغزش محدودهٔ مورد مطالعه؛ شامل: فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، ارتفاع، شیب، جهت شیب، بارش،کاربری اراضی و زمین شناسی، با مطالعه و مرور منابع از کانال‌هایی همچون مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای، بررسی ادبیات موضوع و پیمایش نظرات افراد صاحب نظر و با توجه به شرایط طبیعی و انسانی منطقه شناسایی شد. ابزارهای تحقیق شامل نقشه های توپوگرافی با مقیاس ۵۰۰۰۰ :۱، نقشه زمین شناسی منطقه با مقیاس ۱۰۰۰۰۰ :۱، و نقشه قابلیت اراضی شهرستان ایذه، همچنین از تصاویرماهواره ای Google Earth در شناسایی و تطبیق عوارض و محدوده مورد مطالعه بر روی زمین استفاده شد. روش مورد استفاده در پهنه-بندی زمین لغزش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است و برای تلفیق لایه‌ها نیز از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

مدلی که به منظور تلفیق اطلاعات مذکور مورد استفاده قرار گرفته در اصل یک مدل وزنی بر اساس مدل AHP در این مدل معیارها در نظام سلسله مراتبی قرار گرفته و به صورت زوجی مقایسه شده و به هر یک وزنی خاص در مقیاس ۱ تا ۹ داده می‌شود. در روشAHP (فرآیند تحلیل سلسله مراتبی) ابتدا فرم پرسشنامه معیارها توسط افراد متخصص پر می‌شود سپس فرد تصمیم‌گیرنده باید برای هر جفت از معیارهای دخیل در تصمیم‌گیری یک مقایسه انجام دهد که این قیاس در مرحله اول به شکل توصیفی و در مرحله بعد به شکل کمّیتی در یک مقیاس از ۱ تا ۹ مطابق با جدول (۱) (Saaty, 1980, 2000) انجام می‌شود و در نهایت از این قیاس جفتی ماتریسی به دست می‌آید. به واسطه مقایسه زوجی در روش AHP از طریق قضاوت‌هایی که به صورت شفاهی، عددی یا حتی گرافیکی انجام می‌گیرد، وزن‌ها یا اولویت‌ها برای معیارهای دخیل در تصمیم‌گیری به شکل اعداد نسبی استخراج می‌گردد (KheirkhahZarkesh,2005).

جدول ۱. تعیین ارزش معیارها نسبت به یکدیگر توسط نظرات کارشناسی

ترجیحات	ارزش عددی
کاملاً ارجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر	۹
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	۷
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی ارجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	۳
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۲ و ۴ و ۶ و ۸

هر کدام از معیارهای اصلی توسط کارشناسان مربوطه بصورت شفاهی مورد مقایسه قرار گرفتند و وزن هر کدام محاسبه شد. پس از استخراج تمامی معیارهای مورد نیاز در این مطالعه و تهیه فرم‌های نظرخواهی متخصصان (فرم پرسشنامه)، بایستی نظرات کارشناسی مورد ارزیابی قرار گیرد تا نرخ ناسازگاری آن به‌دست آید. کنترل نرخ ناسازگاری قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان بر اساس روابط ریاضی و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice صورت گرفت. پس از وارد کردن معیارها در این نرم افزار میزان نرخ ناسازگاری آن‌ها برای تعیین درستی ماتریس‌های مقایسه زوجی، محاسبه گردید. نرخ ناسازگاری اگر کمتر از ۰/۱ باشد می‌توان نتیجه گرفت که سطح مطلوبی از سازگاری در مقایسات زوجی وجود داشته است و در غیر این صورت این نرخ نشان دهنده قضاوت ناسازگاری می‌باشد (Ishizaka and Labib,2009; Malczewski,2006; Oswald, 2004; Saaty, 2002;).

روش فازی

مدل‌سازی به روش فازی داده محور بر اساس تئوری مجموعه فازی (Zedeh, 1965) بنا شده است. فازی‌سازی، فرایند تبدیل مقادیر عددی شواهد و معیارهای فضایی به مجموعه‌های صفر و یک است. یک مجموعه فازی به صورت گروه-

هایی از عضوها است که میزان عضویت و تعلق آنها به مجموعه، با توجه به تخصیص عددی بین (۰ و ۱) تعیین می‌شود (Zedeh, 1965).

برای اجرای تکنیک فازی نیاز به عملگرهای اجتماع، اشتراک، ضرب جبری، جمع جبری و گاما است. در این مطالعه از عملگر گامای فازی استفاده شده است. عملگر فازی گاما، حالت کلی روابط عملگرهای ضرب و جمع فازی است و می‌توان با انتخاب صحیح مقدار گاما، پارامترهای کاهشی و افزایشی را همزمان تلفیق نموده، به مقادیری در خروجیها دست یافت که حاصل سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های افزایشی و کاهشی دو عملگر ضرب و جمع می‌باشند. مقدار λ بین صفر و یک است که مقدار آن از طریق قضاوت کارشناسانه تعیین می‌شود. گامای صفر معادل ضرب فازی و گامای یک معادل جمع فازی است (Lee, 2007:847).

در پایان جهت تایید نتایج نهایی مدل از شاخص زمین‌لغزش جهت ارزیابی کارایی روش پهنه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. که به صورت رابطه (۱) تعریف شده است (Van Westen et al., 1997).

رابطه (۱)

$$Li = \frac{\frac{S_i}{A_i}}{\sum_1^n \frac{S_i}{A_i}}$$

که در آن Li عبارت است از شاخص خطر وقو لغزش در هر پهنه خطر به درصد

Si: مجموع مساحت زمین‌لغزش‌های واقع در هر رده خطر؛

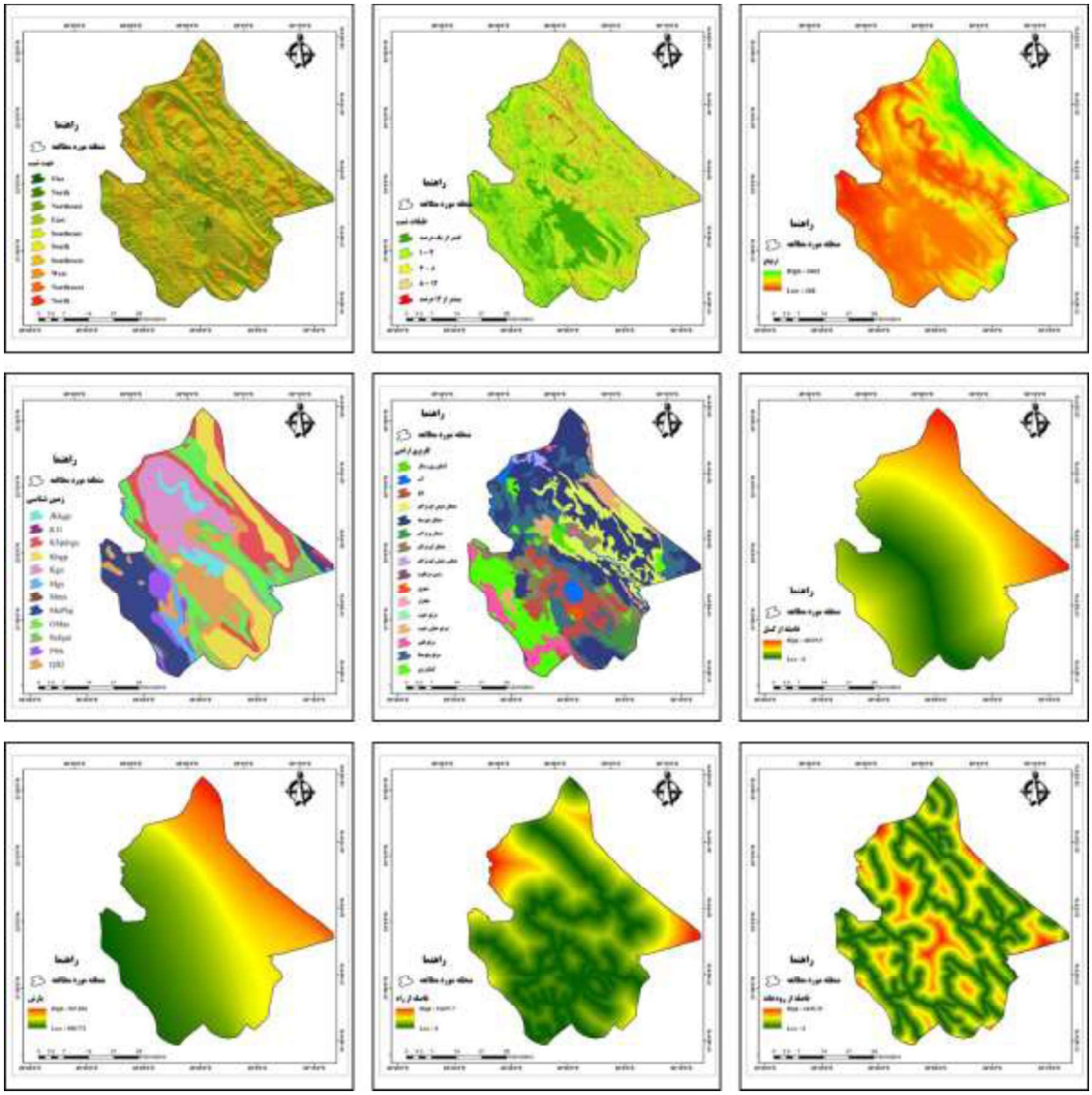
Ai: مساحت i مین رده خطر در یک نقشه پهنه‌بندی؛

و n: تعداد رده‌های خطر می‌باشد.

یافته ها و بحث

رستری کردن لایه‌ها

معیارهای ارتفاع، شیب، جهت شیب از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) در محیط Spatial Analysis از بسته نرم‌افزاری ARC GIS 10.3 ساخته شد. چون اساس کار مدل‌سازی با داده‌های رستری هست باید لایه‌ها را به رستر تبدیل کنیم. در این پژوهش، بعضی از لایه‌ها مثل ارتفاع، جهت و شیب که رستری بودند و لایه‌های فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، فاصله از راه که از نوع خطی و نقطه‌ای بودند از دستور Distance و کاربری اراضی و زمین شناسی که از نوع پلیگون بودند با اجرای دستور Convert feature to raster به رستر تبدیل شدند و لایه خطوط همباران از دستور topo to raster تبدیل به رستر شد. پس در اولین گام به آماده‌سازی لایه‌ها اقدام شد (شکل۲).



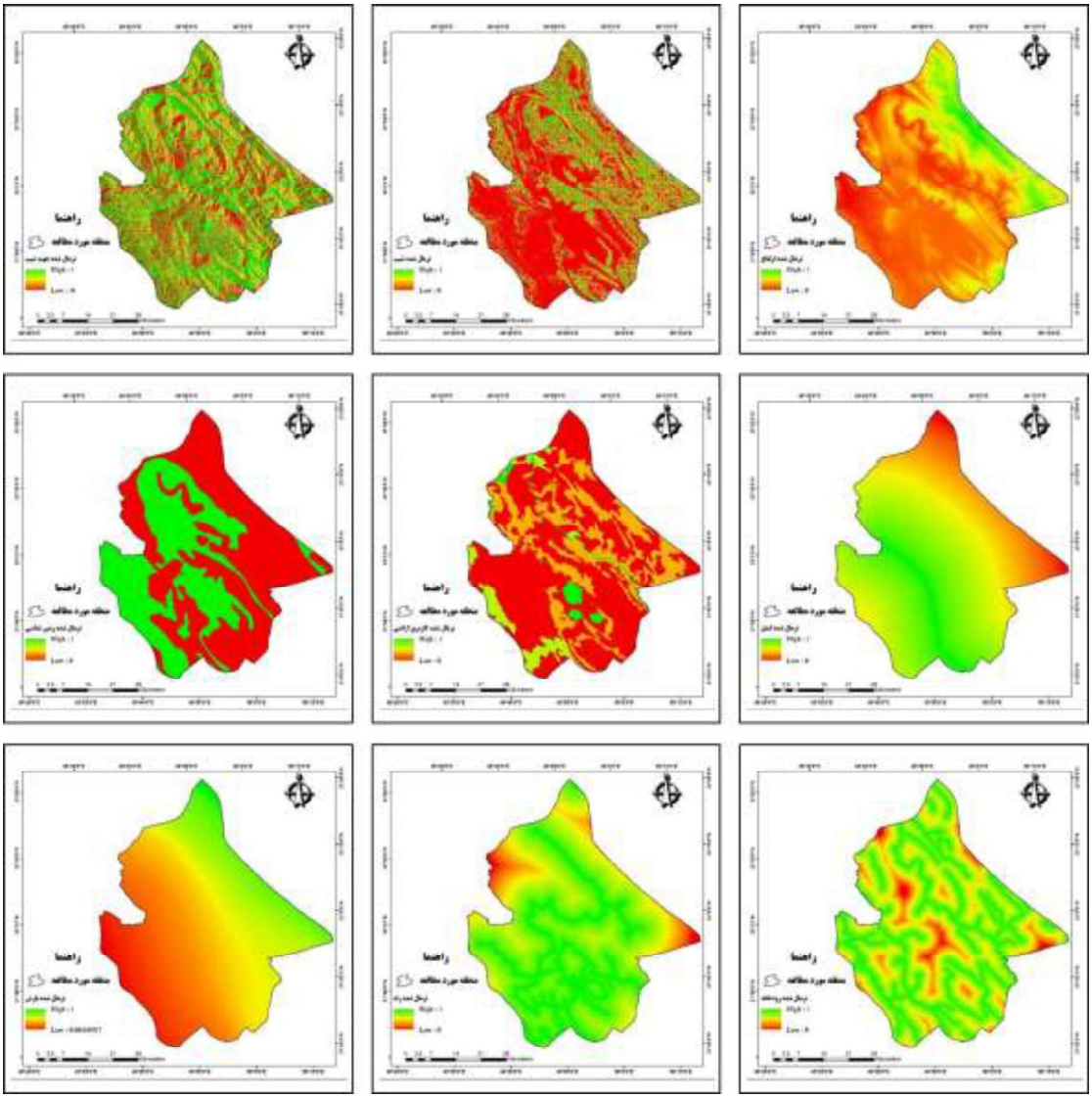
شکل ۱. نقشه رستری معیارها به ترتیب : ارتفاع- شیب- جهت شیب- گسل-کاربری اراضی- زمین شناسی – رودخانه – بارش و فاصله از راه

گام بعدی استاندارسازی یا همان نرمال‌سازی لایه‌های رستری شده است. بارش با تأثیر بر روی فشار آب منفذی و سطح آب زیرزمینی، افزایش بار دامنه و زیر شویی و از بین بردن تکیه‌گاه‌های جانبی به‌عنوان یک عامل محرک در وقوع حرکت توده‌ای عمل می‌نماید (کورکی نژاد، ۱۳۸۴) و زمین لغزش در نواحی با بارش بیشتر امکان وقوع آن بیشتر است لذا با استفاده از تابع خطی فازی افزایشی اقدام به نرمال‌سازی آن گردید. برای نرمال‌سازی لایه ارتفاع، بر اساس اینکه با افزایش میزان ارتفاع میزان خطر زمین‌لغزش بیشتر می‌شود و نوع تابع برای فازی‌سازی آن خطی افزاینده می‌باشد، که نقشه نرمال شده آن در شکل (۲) آمده است. در رابطه با شیب باید گفت که معمولاً دامنه‌هایی با شیب بیشتر در شرایط یکسان آمادگی بیشتری برای لغزش دارند، چرا که بالا رفتن شیب باعث افزایش حجم و وزن نسبی توده لغزشی بر واحد سطح صفحه لغزش می‌شود (فرهی، ۹۴:۱۳۹۰). برای نرمال‌سازی لایه شیب، با توجه به اینکه با افزایش میزان شیب، میزان خطر زمین‌لغزش بیشتر می‌شود و نوع تابع برای فازی‌سازی آن خطی افزاینده می‌باشد. جهت شیب از دیگر پارامترهای تاثیر گذاردر زمین لغزش هست چرا که با کنترل مواردی هم چون میزان بارش،

رطوبت، تراکم پوشش گیاهی و تابش افتاب بر رخداد زمین لغزش تاثیر می‌گذارد (Suzen and Doyuran 2004; Komac, 2006). که در شیب‌های شمالی بدلیل وجود بارش بیشتر و همین‌طور رطوبت بیشتر خطر زمین لغزش نیز بیشتر خواهد بود (شکل ۲). جهت شیب در حقیقت همان جهت بیشترین مقدار شیب نسبت به شمال جغرافیایی است، که یکی از عوامل تاثیر گذار در تهیه نقشه حساسیت به خطر زمین لغزش می‌باشد. زیرا جهت شیب نشان دهنده تاثیر متفاوت نور آفتاب(تشعشعات خورشید) ، بادهای گرم و خشک و بارش در جهت‌های مختلف می‌باشدکه در نیمکره شمالی سطوحی که به سمت جنوب شیب دارند به علت کاهش میزان رطوبت لغزش کمتری اتفاق می‌افتد. برخی از محققان اظهار داشته اند که جهت شیب در وقوع زمین لغزش تاثیری ندارد ولی برخی دیگر به ارتباط بین جهت شیب و زمین لغزش های اتفاق افتاده در هر منطقه در جهت خاصی نظیر شمال بوده است تا در جهات دیگر جغرافیایی و اظهار می‌دارند که در شیب‌های شمالی به دلیل وجود چندین سیکل مرطوب و خشک در هیمالیا باعث وقوع زمین لغزش‌های زیادی درآن منطقه شده است (Gomez and Kavzoglu ,2005). از جمله مهمترین پارامترهای تاثیر گذار در وقوع زمین لغرش، عامل سنگ‌شناسی هست. واحدهای مختلف سنگ‌شناسی دارای درجه حساسیت متفاوتی در زمین لغزش هستند (Nefeslioglu et al.,2008:176). وجود سازندهای سست و حساس نظیر مارن، رس و مواد هوازده عمیق درصد وقوع زمین لغزش در یک منطقه خاص را افزایش می‌دهد. برای فازی‌سازی لایه زمین‌شناسی، بر اساس اینکه با افزایش میزان و مقاومت سازندها، خطر زمین‌لغزش کمتر می‌شود، نوع تابع برای فازی-سازی آن خطی کاهشی اقدام می‌باشد. لایه زمین شناسی از نوع پلیگون (سطح) می‌باشد، به منظور استاندارد سازی این لایه ابتدا به هر کدام از سطوح مقادیری را نسبت می‌دهیم. با توجه به آئین نامه‌ها و نظر کارشناسان به هر یک از سازندهای موجود در منطقه با توجه به تاثیر در زمین لغزش وزنی اختصاص داده شده است سپس با استفاده از تابع Feature To Raster نقشه مربوط تبدیل به رستر شده است و سپس با استفاده از تابع خطی افزایشی نقشه فازی سازی (استاندارسازی) زمین شناسی که بین صفر تا یک است بدست آمده است (شکل ۲). آبراهه‌ها نیز به صورت قابل توجهی پایداری دامنه را از طریق فرسایش و اشباع بخش‌های پایینی دامنه تحت تاثیر قرار می‌دهند (Dai et al., 2001). با توجه به این امر با افزایش فاصله از آبراهه، پتانسل زمین لغزش کاهش می‌یابد. برای نرمال سازی لایه فاصله از شبکه رودخانه، بر اساس اینکه با افزایش فاصله از رودخانه، میزان خطر زمین‌لغزش کمتر می‌شود، بنابراین امتیاز کمتری داده می‌شود. نوع تابع برای نرمال‌سازی آن خطی کاهشی می‌باشد. برای نرمال‌سازی لایه کاربری اراضی، براساس اینکه با افزایش کاربری‌های شهری و پوشش گیاهی و باغی و جنگلی، میزان خطر زمین‌لغزش کمتر می‌شود، نوع تابع برای نرمال‌سازی آن خطی کاهشی می‌باشد. گسل‌ها با تخریب و خورد کردن سنگ‌ها در محل و نیز حرکت شان باعث تشدید زمین لغزش می‌شوند که با افزایش فاصله از آن تاثیرش کمتر می شود. بر اساس اینکه هر چه فاصله به گسل‌ها نزدیکتر باشد، میزان خطر زمین‌لغزش بیشتر می‌شود، بنابراین با فاصله گرفتن از گسل میزان لغزش کمتر می شود و نوع تابع برای نرمال‌سازی آن خطی کاهشی می‌باشد (شکل۲). با توجه به اینکه در حریم جاده‌ها فعالیت های عمرانی صورت می‌گیرد، که با تحریک دامنه‌ها و خالی کردن بخش پایینی دامنه باعث تشدید عمل زمین لغزش در محل می‌شود. بنابرای هر چه به جاده نزدیکتر باشیم خطر لغزش بیشتر هست و نوع تابع نرمال سازی آن خطی کاهشی می باشد. نقشه کاربری اراضی نیز توسط نرم افزار GIS، تهیه گردید. این نقشه نیز به جهت مرتبط شدن با پدیده‌ی زمین لغزش براساس طبقات کاربری تقسیم شده است (جدول۱). لایه کاربری اراضی نیز از لحاظ تاثیر بر روی زمین لغزش دارای اهمیت است. بنابراین به هریک از کاربری های براساس تاثیرشان در وقوع خطر زمین لغزش امتیازی تعلق گرفته است. این لایه از نوع پلیگون (سطح) می‌باشد، به منظور استاندارد سازی این لایه ابتدا به هر کدام از سطوح مقادیری را نسبت داده می شود. با توجه به آئین نامه‌ها و نظر کارشناسان به هر یک از کاربری‌های موجود در منطقه با توجه به اهمیت‌شان در پهنه بندی خطر زمین لغزش وزنی اختصاص داده شده است که ابتدا با استفاده از تابع Feature To Raster در نقشه مربوط تبدیل به رستر شده است (شکل۲) و سپس با استفاده از تابع خطی افزایشی نقشه استانداردسازی کاربری اراضی که بین صفر تا یک می‌باشد بدست آمده است (شکل ۲).

جدول ۱. ارزش‌گذاری کابری های براساس تاثیر در لغزش

تاثیر در لغزش	نوع
۱	باغ، کشاورزی ابی و دیم
۲	مرتع خوب و جنگل
۳	مرتع متوسط
۴	مرتع ضعیف
۵	شهری
۶	آب



شکل۲. نقشه نرمال شده معیارها به ترتیب : ارتفاع- شیب- جهت شیب- گسل-کاربری اراضی- زمین شناسی- رودخانه – بارش و فاصله از راه

وزن هر فاکتور نشان دهنده میزان اهمیت و ارزش آن نسبت به فاکتورهای دیگر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می-باشد. بنابراین انتخاب آگاهانه و صحیح وزن‌ها کمک بزرگی در جهت تعیین نواحی مستعد خطر زمین لغزش می نماید. پس از اعمال توابع فازی به لایه ها، با توجه به اینکه هریک از آنها تأثیر متفاوتی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش دارند،

وزن‌دهی به لایه ها ضرورت می یابد. عملیات وزن دهی فاکتورها با استفاده از دانش کارشناسی انجام می گیرد. در این روش با در نظر گرفتن نظرات ۱۰ کارشناس متخصص در زمینه کاربرد مورد نظر و با در نظر گرفتن خصوصیات محدوده مطالعاتی، وزن مناسب برای هر فاکتور به دست آمد. برای محاسبه وزن لایه ها و معیارها به دلیل عدم وجود چارچوب خاصی در این زمینه از روش سلسله مراتبی که یکی از روش های دانش مبنا است، استفاده شده است. در این روش ابتدا ماتریس مقایسه زوجی هر یک از لایه‌ها نسبت به یکدیگر براساس تاثیر آنها نسبت به هدف مورد استفاده، ایجاد شد. پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی و تکمیل آن با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن هر یک از لایه ها مشخص شد. برای انجام این کار از نرم افزار Export choice استفاده شده و با وارد کردن داده های جدول مقایسه زوجی، ارزش هر لایه نسبت به لایه دیگر ذکر شده و وزن لایه‌های مدنظر بدست آمده است (جدول ۲). سپس هر یک از ورن لایه‌ها بر روی لایه مدنظر خودش در نرم افزار ArcGIS10.3 اعمال شده است.

جدول۲. معیارهای استفاده‌شده و وزون های به‌دست‌آمده از روش AHP

لایه اطلاعاتی	وزن نهایی
شیب	۰/۲۱۱
جهت شیب	۰/۱۹۶
ارتفاع	۰/۱۳۹
زمین شناسی	۰/۱۲۴
گسل	۰/۰۹۲
رودخانه	۰/۰۷۳
بارش	۰/۰۶۵
جاده	۰/۰۵۱
کاربری اراضی	۰/۰۴۹

منبع: محاسبات نگارندگان، ۱۴۰۳

با توجه به اینکه معیارهای موثر، دارای وزن‌های مختلفی می‌باشند و بایستی همه آن‌ها در همپوشانی شرکت کنند، از عملگر گامای فازی برای همپوشانی معیارها استفاده شده است. با انجام این عمل نقشه‌ای بدست آمده که به آن نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش گفته می‌شود (شکل۳).

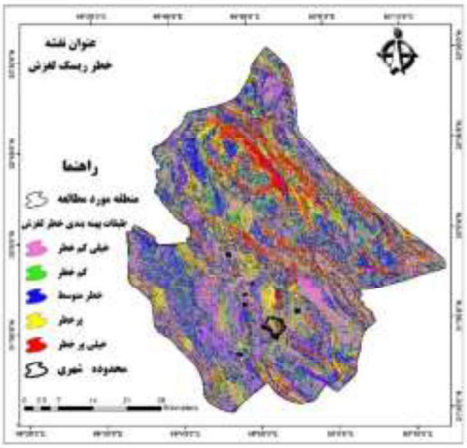
شکل ۳. نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با عملگر گامای فازی

سپس نقشه خطر زمین لغزش را براساس شکستگی‌های طبیعی به پنج طبقه تقسیم نموده و مساحت و درصد هر یک از پهنه های لغزشی محاسبه شده است (جدول۳) و (شکل۴).

جدول۳. مساحت و درصد پهنه‌های لغزشی براساس عملگر گامای فازی

پهنه‌های لغزشی	مساحت به هکتار	درصد پهنه لغزشی
خیلی پر خطر	۲۳۷۸۷	۹/۴۷
پر خطر	۵۲۰۲۸/۵	۲۰/۷۲
خطر متوسط	۸۵۶۴۳/۲	۳۴/۱۱
کم خطر	۳۹۴۹/۶	۱۵/۵۵
خطر خیلی کم	۵۰۵۹۱/۲	۲۰/۱۴

منبع: محاسبات نگارندگان، ۱۴۰۳



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با عملگر گامای فازی

سپس با استفاده از نقشه زمین‌لغزش های اتفاق افتاده، اقدام به ارزیابی روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش گردید. جهت انجام این امر، نقشه پراکنش با نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در سیستم اطلات جغرافیایی، ارتباط داده شدند. به منظور ارزیابی رده‌های خطر در نقشه‌های پهنه‌بندی از شاخص زمین‌لغزش (رابطه ۱) استفاده گردید. نتایج حاصل از تلاقی نقشه پهنه بندی خطر با نقشه پراکنش و محاسبه شاخص زمین لغزش برای مدل ارائه شده به صورت جدول (۴) است. مقادیر شاخص مزبور حاکی از وجود روند صعودی از پهنه خطر خیلی 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 پهنه های 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. بنابراین به لحاظ داشتن انطباق بیشتر زمین‌لغزش ها با پهنه خطر بالا و همچنین توانایی در تفکیک طبقه‌های خطر، مدل مدنظر دارای دقت مناسب می-باشد؛ زیرا شاخص زمین‌لغزش نشان می‌دهد که حدود ۵۲ درصد زمین‌لغزش ها در طبقه‌های پرخطر و خیلی پرخطر اتفاق افتاده‌اند.

جدول۴. اعتبار سنجی مدل برای روش شاخص زمین لغزش

گستره لغزشی	مساحت به (هکتار)	مساحت به درصد	مساحت ناحیه لغزش به (هکتار)	شاخص زمین لغزش %
خیلی پر خطر	۲۳۷۸۷	۹/۴۷	۴۴۰	۱۷/۹۰
پر خطر	۵۲۰۲۸/۵	۲۰/۷۲	۸۲۵	۳۳/۵۸
خطر متوسط	۸۵۶۴۳/۲	۳۴/۱۱	۶۵۰	۲۶/۴۶
کم خطر	۳۹۴۹/۶	۱۵/۵۵	۳۱۷	۱۲/۹۰
خطر خیلی کم	۵۰۵۹۱/۲	۲۰/۱۴	۲۲۵	۹/۱۶
جمع	۲۵۱۰۹۹/۵	۱۰۰	۲۴۵۷	۱۰۰

منبع: محاسبات نگارندگان، ۱۴۰۳

نتیجه گیری

پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش از جمله روش هایی است که با استفاده از آن می‌توان مناطقی را که در معرض خطر وقوع زمین لغزش هستند تعیین کرد و با استفاده از نقشه های پهنه بندی شده جهت تقلیل خسارات ناشی از آن برنامه ریزی و مدیریت انجام داد. در فرآیند تهیه نقشه پهنه بندی، دقت نقشه های پایه بسیار مهم است. از این رو در این تحقیق سعی شده از میان عوامل متعدد، عوامل مهم و مؤثر در فرآیند پهنه بندی دخالت داده شود و نقشه های پایه با دقت مناسب تهیه گردند. در راستای پهنه بندی خطر زمین لغزش در سطح شهرستان ایذه از ۹ متغیر مهم موثر بر وقوع زمین لغزش مشتمل بر فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، ارتفاع، شیب، جهت شیب، بارش،کاربری اراضی و زمین شناسی بهره گرفته شد. برای حصول میزان اهمیت این متغیرها در وقوع زمین-لغزش‌های منطقه از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) بهره گرفته شد. نتایج مقایسات زوجی متغیرها نشان داد که چهار متغیر شیب (۰/۲۱۱)، جهت شیب (۰/۱۹۶)، ارتفاع (۰/۱۳۹) و زمین‌شناسی (۰/۱۲۴) از بیشترین میزان اهمیت برخوردار می‌باشند. سپس تمامی لایه ها با استفاده از نرم افزار GIS به فضای رستری منتقل و بر اساس نوع تاثیر لایه در لغزش با تابع مناسب فازی نرمال سازی شدند. وزن بدست آمده از مقایسه زوجی بر روی معیارهای اعمال شد و در مرحله بعد عملگر گامای فازی بر روی لایه ها پیاده شد و نقشه خطر زمین لغزش منطقه در ۵ کلاس خطر خیلی کم، کم خطر، متوسط، پرخطر و خطر خیلی زیاد استخراج شد و مساحت و درصد هر یک از پهنه های لغزشی محاسبه شده است. براساس نتایج به دست آمده حدود ۳۰ درصد از منطقه در کلاس با خطر بالا و خطر خیلی بالا قرار گرفته است. در واقع، عملکرد مشترک بسیاری از متغیرهای موثر بر رخداد زمین‌لغزش باعث شده که این پهنه‌ها از پتانسیل لغزشی بالایی برخوردار باشند. وجود شیب‌های مناسب زمین‌لغزش (مخصوصا شیب‌های بیش از ۱۲ درصد)، سازندهای زمین‌شناسی هوازده، ارتفاع متوسط، تراکم زهکشی بالا، نزدیکی به گسل، کشاورزی غیراصولی و غیره منجر به حساسیت بالای قسمت های مناطق پرخطر نسبت به زمین‌لغزش شده است. با توجه به نتایج به دست آمده در منطقه مطالعاتی پیشنهادات زیر توصیه می‌شود:

- در اجرای پروژه های عمرانی در بخش‌های حساس محدوده مطالعاتی در برابر زمین لغزش، نسبت به رعایت ضوابط و مقرارات زیست محیطی و پایداری دامنه ها اهتمام ویژه ای به عمل آید.
- با توجه به حساسیت اراضی زارعی دیم در منطقه مورد مطالعه نسبت به وقوع زمین لغزش توصیه می‌شود از تغییر کاربری اراضی و توسعه زراعت دیم در منطقه مطالعاتی اجتناب شود.
- با توجه به وقوع زمین لغزش در اراضی با شیب ملایم از هر گونه ساخت و ساز در شیب‌ها اجتناب گردد.
- ایجاد دیواره‌های محافظ در دامنه‌های حاشیه جاده ها به ویژه در بخش های ناپایدار دامنه با هدف افزایش پایداری دامنه ها و تثبیت آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار است.
- با توجه به دقت بالای نقشه پهنه‌بندی تهیه شده، نقشه تهیه شده می‌تواند برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی و ساخت تاسیسات زیربنایی مانند جاده مفید باشد.

منابع

بهاروند، سیامک، امیری، وهاب، سوری، سلمان (۱۴۰۱). استفاده از تئوری آنتروپی در ارزیابی عوامل کنترل کننده زمین لغزش و پهنه بندی خطر وقوع آن در حوضه احمدآباد، استان لرستان، پژوهش های فرسایش محیطی، ۱۲(۴۸): ۱۲۴- ۱۴۰.

روستایی، شهرام، جانانه، کریستینه (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر وقوع ناپایداری دامنه ای در حوضه آبریز بالقلو چای اردبیل با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی، جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۳ (۷۰)، ۱۶۹- ۱۸۸.

زارعی، مهدی، مرادی، حدیث، علوی نیا، سیدحسن، علی آبادی، کاظم (۱۴۰۲. ارزیابی و پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوزه آبخیز بیونیز، استان کرمانشاه، مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی، ۴ (۱): ۱۶۹- ۱۸۸.

سرائی، بهناز، اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۴۰۰). پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز نکارود با استفاده از منطق فازی و سنجش از راه دور، تخریب و احیاء اراضی طبیعی، ۲ (۴): ۵۲- ۶۷.

شادفر، صمد، نصیری هند خاله، اسماعیل، گلمهر، احسان، نصیری، محمد (۱۴۰۱). پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در قلمرو کوچ نشینان (مطالعه موردی: حوضه طالقان)، مطالعات برنامه ریزی کوچ نشینان، ۲ (۴): ۶۵- ۷۶.

صادقی، حجت و جوان، فرهاد. (۱۴۰۳). ارزیابی روستاهای گردشگری ایران از لحاظ آسیب‌پذیری ژئوفیزیکی با استفاده از سناریوهای فازی. پژوهش های روستائی، ۱۵(۴)، ۸۵-۱۰۰.

صادقی، حجت و جوان، فرهاد. (۱۴۰۴). آسیب پذیری روستاهای گردشگری ایران از لحاظ مخاطره زمین لغزش با استفاده از GIS. جغرافیا (نشریهٔ انجمن جغرافیایی ایران)، ۲۳(۸۴)، ۱۵۳-۱۷۰.

عابدینی، موسی، اسمعیلی نیری، لیلا، پاسبان، امیرحسام، پیروزی، الناز (۱۴۰۲). بررسی و پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه نیرچای با استفاده از مدل ANP، مطالعات علوم محیط زیست، ۸ (۱): ۵۹۸۷- ۶۰۰۲.

عماد الدین، سمیه، طاهری، واله، محمد قاسمی، مسعود، نظری گزیک، زهرا (۱۴۰۰). پهنه بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل های نسبت فراوانی و شاخص آماری در حوضه آبخیز اوغان، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۹ (۴): ۷۵-۹۵.

غلامی کلاته، غلامرضا، کردوانی، پرویز، رنجبر، محسن (۱۳۹۹). پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان استان گلستان با استفاده از مدل فازی، آمایش جغرافیایی فضا، ۱۰ (۳۶): ۱- ۱۴.

کورکی نژاد، مسعود (۱۳۸۴). پهنه بندی خطر زمین لغزش، مجله زمین شناسی،۱۰ (۳): ۲۴-۳۰.

کرنژادی، آیدینگ، اونق، مجید، پورقاسمی، حمیدرضا، بهره مند، عبدالرضا. معتمدی، منوچهر (۱۳۹۹). پیش بینی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل های ترکیبی فاصله ماهالانوبیس و یادگیری ماشین (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اوغان، استان گلستان،) مجله پژوهش های دانش زمین، ۱۱ (۲): ۱- ۱۸.

لجم اورک، مرتضی، پیری، زهرا (۱۴۰۲). پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فن GIS (مطالعه موردی: شهرستان باغملک)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۲ (۴۷): ۱۹۳- ۲۱۵.

محمدی، ایوب (۱۴۰۴). پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در مجاورت سدهای قلمروهای کوهستانی با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: سد چراغ ویس؛ شهرستان سقز)، پژوهش های محیطی در قلمروهای کوهستانی، ۱ (۱): ۱۵- ۲۴.

ناعمی تبار، مهناز، زنگنه اسدی، محمد علی، کرمی، مختار (۱۴۰۰). پهنه بندی و ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل های عامل اطمینان، تراکم سطح و هیبریدی قضیه بیز(مطالعه موردی: حوضه بقیع ، نیشابور)، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۱۰ (۱):۱۱۲- ۱۲۹.

Abay Asmelash, Barbieri Giulio, Woldearegay,Kifle., (2019). GIS-based landslide susceptibility evaluation using analytical hierarchy procsses (AHP) approach: the case of Tarmaber District,Ethiopia,Momona Ethiopian Journal of Scince 11(1):pp 14-36.

Bera, S., Guru, B., & Ramesh, V. (2019). Evaluation of landslide susceptibility models: A comparative study on the part of Western Ghat Region, India. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 13, 39-52.

Chang, J. M., Chen, H., Jou, B. J. D., Tsou, N. C. & Lin, G. W. (2017). Characteristics of rainfall intensity, duration, and kinetic energy for landslide triggering in Taiwan. Engineering Geology, 231, 81-87.

Colkesen, I., Sahin, E. & Kavzoglu, T. (2016). Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression. Journal of African Earth Sciences, 118, 53-64.

Dai, F. C., Lee, C. F., Li, J. &Xu, Z. W. (2001). Assessment of landslidesusceptibilityonthe natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. Environmental Geology43 (3): 381–391.

Feranie a, S., Khoiriyah T. M., Jabbar, F.D. E, Tohari A., (2021). The Effect of Rainfall Intensity to Landslide Run-out Prediction and Velocity: A Parametric Study on LandslideZones in West JAVA-INDONESIA, Journal of Southwest JIAOTONG University., 56 (3),

Gariano, S.L.; Sarkar, R.; Dikshit, A.; Dorji, K.; Brunetti, M.T.; Peruccacci, S.; Melillo, M., (2019). Automatic calculation of rainfall thresholds for landslide occurrence in Chukha Dzongkhag, Bhutan. Bull. Eng. Geol. Environ. 78, pp:4325–4332.

Hong, H., Pradhan, B., Jebur, M.N., Bui, D.T., Xu, C., & Akgun, A. (2016). Spatial prediction of landslide hazard at the Luxi area (China) using support vector machines, *Environmental Earth Sciences*, 75(1): 40-52.

Ishizaka, A. and Labib, A. (2009,) . Analytic Hierarchy Process and Expert Choice: Benefits and Limitations, ORInsight, 22(4): 201–220.

Kang, K., Ponomarev, A., Zerkal, O., Huang, S., & Lin, Q., (2019). Shallow Landslide Susceptibility Mapping in Sochi Ski-Jump Area Using GIS and Numerical Modelling. ISPRS Int. J. Geo Inf., 8, pp:148.

KheirkhahZarkesh, M. (2005). DSS for floodwater site selection in Iran, PhD Thesis, Wageningen University. 273 p.

Komac, M (2006). A landslidesusceptibilitymodelusingtheanalyticalhierarchyprocessmethod and multivariatestatistics in prialpineSlovenia, Geomorphology,74, 17-28.

Li, Y. Ping, M. (2019). A unified Landslide classification system for Loess slopes: a critical review. Geomorphology, vol 340, pp: 67-83.

Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International, Journal of Geographical Information Science, 20(7): 703–726.

Marin , R., Alvaro Mattos, J., Marin-Londono,J., (2020). Physically-based definition of rainfall thresholds for shallow landslides in a tropical mountain watershed of the Colombian Andes, 13th International Symposium on Landslides , Landslides: Risk.

Oswald, M. (2004). Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS. Computers and Geosciences, 30: 637–646.

Psomiadis, E., Papazachariou, A., Soulis, X. k., Alexiou, D., Charalampopoulos, I.(2020). Landslide Mapping and Susceptibility Assessment Using Geospatial Analysis and Earth Observation Data. Land, 9(5), pp:133.

Saaty, T. L. (1980). The Analytical Hierarchy Process. McGraw Hill, New York. 350 pp.

Saaty, T. L. (2002). Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. European Journal of Operational Research, 145: 85–91.

Suzen M. L., V. Doyuran. (2004). A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate. J. Environ. Geol. 45:665-679.

Van den Bout, B., Lombardo, L., Chiyang, M., van Westen, C. J., & Jetten, V. (2021). Physically-based catchmentscale prediction of slope failure volume and geometry.Engineering geology, 284, 1-16.https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105942.

Van Westen, C.J., Rengers, N., Terline, M.T.J., and Soeters, R. (1997). Predication of the Occurrence of slope Instability Phenomena through GIS-Based Zonation. Journal of Geologisches Rundschau, No. 86, Pp: 404- 414.

Wang, S., Zhang, K., van Beek, L. P. H., Tian, X., & Bogaard, T. A., (2020). Physicallybased landslide prediction over a large region: Scaling low-resolution hydrological model results for high-resolution slope stability assessment. Environmental Modelling.

Zedeh, L.A.(1965). Fuzzy sets, IEEE Information and Control 8(3): 338-353.