تهیه نقشه حساسیت به خطر زمین‌لغزش و ارزیابی آن با استفاده از اپراتورهای فازی

حمیدرضا پورقاسمی[۱]، حمیدرضا مرادی[۱*]، مجید محمدی[۱] و محمدرضا مهدویفر[۲]

(تاریخ دریافت: ۸۶/۱۱/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۷/۲۱)

چکیده

شناخت نواحی مستعد وقوع زمین لغزش یکی از اقدامات اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای و عمرانی است. هدف از این تحقیق، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در بخشی از حوزه آبخیز هراز در حد فاصله روستای وانا تا امامزاده علی با استفاده از توابع عضویت فازی و اپراتورهای فازی است. ابتدا نقاط لغزشی با استفاده از عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی مشخص و متعاقب آن نقشه پراکنش زمین لغزش منطقه تهیه گردید. سپس هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه از قبیل شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از گسل و نقشه همباران در محیط GIS تهیه گردید. داده‌های مذکور در فرمت‌های برداری و رستری در محیط نرم افزار Ilwis ذخیره و برای انجام تحلیل‌های مبتنی بر تئوری مجموعه‌های فازی مورد استفاده قرار گرفت. تحلیل‌های فازی با استفاده از نرم‌افزار Idrisi و پس از تعیین مقادیر و توابع عضویت فازی صورت گرفت. در این تحقیق از اپراتورهای فازی مختلفی همچون And، Or، Sum، Product و Gamma استفاده گردید. نتایج نشان داد اپراتور فازی گاما با مقدار $\lambda = ۰/۹۷۵$ بیشترین دقت را در تهیه نقشه حساسیت به خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه دارد.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، منطق فازی، اپراتورهای فازی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، حوزه آبخیز هراز

مقدمه

بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای و خطر زمین لغزش مانند بسیاری از موضوعات زمین‌شناسی محیطی(Geo Environment) به دلیل تنوع عوامل مؤثر در وقوع آن، بسیار پیچیده است. وجود عدم قطعیت که ناشی از مبهم بودن شرایط و مفاهیم مرتبط با پارامترهایی نظیر زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، تکتونیکی، پوشش گیاهی، بارندگی و فرسایش در بروز ناپایداری دامنه‌ای می‌باشد، لزوم استفاده از روش‌های دقیق و مناسب را در بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای، منطقی می‌نماید. در حالی که بسیاری از اطلاعات بالا به صورت محاوره‌ای بوده و از نوع اطلاعات غیر دقیق می‌باشند. این گونه محدودیت‌ها دقیقاً ایده اساسی تئوری فازی می‌باشد (۳ و۷). از جمله مطالعاتی که در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی انجام شد عبارت‌اند از: مهدویفر(۱۳۷۶) در منطقه خورش رستم در جنوب غربی شهرستان خلخال به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش پرداخت. در این مطالعه، منطقه خورش رستم با استفاده از شبکه منظم به

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۲. استادیار پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: morady5hr@yahoo.com

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.59.3]

۵۰۷۱ واحد مربع شکل با ابعاد ۵۰۰ متر تقسیم گردید. سپس واحدهای مذکور از نظر وجود عوامل مختلف لغزش همچون زمین‌شناسی، درصد شیب دامنه، تیپ اراضی، فاصله از گسل و نهشته‌های لغزشی مورد بررسی قرار گرفته و به وسیله مجموعه‌های فازی پهنه‌بندی گردیدند. جانگ و همکاران در جنوب تایوان به بررسی و تهیه نقشه ناپایداری دامنه با استفاده از مجموعه‌های فازی پرداختند(۱۸). به این منظور ۴ طبقه از عوامل مؤثر در پایداری دامنه‌های طبیعی شامل زمین شناسی، توپوگرافی، عوامل زیست‌محیطی (پوشش گیاهی و کاربری اراضی) و داده‌های هواشناسی (ماکزیمم بارش روزانه) به منظور تجزیه و تحلیل به عنوان لایه‌های اطلاعاتی مورد بررسی قرار گرفت. در این تحلیل، بیشتر سطح منطقه در کلاس خطر متوسط تا زیاد (۰/۶۲-۰/۷۲) قرار گرفته است. بیناگی و همکاران در ایتالیا با استفاده از دو روش فاکتور اطمینان و تئوری فازی Dempster-Shafer به ارزیابی و مقایسه خطر لغزش پرداختند(۱۲). در این مطالعه شش عامل مؤثر بر زمین-لغزش از قبیل زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، جهت، فاصله از گسل و فاصله از شبکه آبراهه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که دو روش فوق پتانسیل بالایی در تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش بخصوص در مناطق با لایه‌های اطلاعاتی محدود، دارا می‌باشند. چی و همکاران در کشور کره به منظور تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش از منطق فازی استفاده کردند. در این تحقیق از شبکه‌های استنتاج فازی با عملگرهای مختلف، به ویژه ترکیبی از عملگرهای Or و λ (گاما) استفاده گردید(۱۳). نتایج نشان داد که تئوری مجموعه فازی با روش‌های کمی پهنه‌بندی و ترسیم نقشه خطر زمین‌لغزش تفاوت زیادی داشته و از انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به آن برخوردار است. ارکانگلو و همکاران در شمال غربی ترکیه به ارزیابی و تهیه نقشه حساسیت به زمین‌لغزش با استفاده از مجموعه‌های فازی و قوانین اگر- آنگاه(If-Then) پرداختند(۱۴). نتایج نشان داد که ۵۳ درصد لغزش‌های اتفاق افتاده در کلاس‌های حساسیت بالا به خطر لغزش [زیاد (۲۸٪) و خیلی زیاد (۲۵٪)] قرار دارند.

پیستوچی و همکاران در کوه‌های آپنین ایتالیا به بررسی و تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش با روش‌های مدل احتمالی بیس، منطق فازی، عملگرهای جبری فازی و فاکتور اطمینان پرداختند(۲۱). نتایج نشان داد که منطق فازی دقت بیشتری در تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش نسبت به مدل احتمالی بیس و فاکتور اطمینان دارد. تنگستانی در حوزه آبخیز کاکان در شمال غربی استان فارس به بررسی و تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش با استفاده از عملگر فازی گاما در محیط GIS پرداخت(۲۴). نتایج نشان داد که عملگر فازی گاما با مقدار λ =۰/۹۴ بهترین شکل نقشه حساسیت به خطر زمین‌لغزش را در حوزه آبخیز کاکان نشان داده است. ارکانگلو و همکاران در ترکیه از روابط فازی در تهیه نقشه حساسیت به زمین‌لغزش برای مناطق مستعد به لغزش استفاده کردند(۱۴). نتایج نشان داد که ۶/۹ درصد از منطقه حساسیت خیلی بالا،۱۰/۳ درصد حساسیت بالا، ۸/۹ درصد متوسط، ۲۷/۵ درصد حساسیت کم و ۴۳/۸ درصد حساسیت بسیار کمی به لغزش دارند. زو و همکاران در ۳ منطقه چین به تهیه نقشه حساسیت به خطر زمین‌لغزش با استفاده از GIS، قضاوت کارشناسی و منطق فازی پرداختند(۲۶). در این تحقیق، مفاهیم منطق فازی به منظور تهیه نقشه خطر لغزش به صورت مقادیر عضویت فازی (کلاس‌های مختلف حساسیت‌پذیری به لغزش) ارائه و از موتور استنتاج فازی به منظور تخمین درجه عضویت فازی برای عوامل مؤثر بر لغزش از قبیل زمین‌شناسی، توپوگرافی، پوشش‌گیاهی و کاربری اراضی استفاده گردید. نتایج نشان داده که درجه عضویت تخمین زده شده در تهیه نقشه خطر لغزش بسیار مناسب بوده است. اسکرنتانر در منطقه ریو بلانکو کشور نیکاراگوئه به آنالیز و تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی پرداخت(۲۳). در این تحقیق توپوگرافی، زمین‌شناسی، بافت خاک و پوشش‌گیاهی به عنوان عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش انتخاب و با استفاده از عملگر فازی گاما وزن‌دهی گردیدند. مقادیر مختلفی از عملگر فازی گاما (۰/۵، ۰/۷ و ۰/۸) برای تهیه نقشه خطر لغزش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملگر فازی گاما با مقدار

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.59.3]

λ =۰/۸ بهترین شکل نقشه حساسیت بـه لغـزش را در منطقـه مورد مطالعه نشان داده است. گورسوسکی و همکاران به منظور تهیه نقشه خطر زمین‌لغـزش، از منطـق فـازی و فرآینـد تحلیـل سلسله مراتبی استفاده کردند(۱۷). نتایج نشان داد که ایـن روش به علت انعطاف‌پذیری و دقت بالایی که دارد، می‌تواند به عنوان یک ابزار در تصمیم‌گیری و تهیه نقشه خطر لغـزش مـؤثر واقـع شود. لی در کره با استفاده از عملگرهای جبری فـازی بـه تهیـه نقشه خطر زمین‌لغزش پرداخت(۲۰). در این تحقیق مکـان‌هـای لغزشی با استفاده از تصاویر ماهواره KOMPSAT-1 و مطالعات صحرایی مشخص گردید. عوامل مـؤثر بـر لغـزش در منطقـه از قبیل شیب، جهت، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، بافت خـاک و کـاربری اراضـی بـا اسـتفاده از عملگرهـای فـازی وزن‌دهـی گردیدند. نتایج نشان داد که در بین عملگرهـای فـازی، عملگـر گامـا (λ =۰/۹۷۵) بیـشترین دقـت (۸۴/۶۸٪) در تهیـه نقـشه حساسیت به لغزش را دارد. نتـایج حاصـله از تحقیقـات انجـام شده نشان می‌دهد که استفاده از مجموعه‌های فازی به دلیـل در نظر گرفتن محدوده‌ای از امکان‌ها بـه جـای اعـداد، محـدودیت روش‌های کمی را برطرف ساخته و تحلیل دقیـق‌تـری از نقـش عوامل طبیعی نسبت به سایر روش‌های کمی ارائه کرده اسـت و به مراتب دقت بیشتری در پیش‌بینـی وقـوع حـوادث طبیعـی از جمله زمین لغزش‌ها دارد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در استان مازندران در بخش مرکزی سلـسله جبال البرز قرار دارد که خـود بخـشی از زیـر حـوزه رودخانـه هرازمی‌باشد. مقطع انتخابی بخشی از مسیر جـاده ارتبـاطی بـین شهرهای آمل و تهران به مساحت ۱۱۴ کیلومترمربـع مـی‌باشـد. این منطقه در دو برگه ۱:۵۰۰۰۰ به نام‌های شنگلده و رینه قـرار دارد. منطقه مورد مطالعه بین طول‌های جغرافیایی"۳۸ ´۰۶ °۵۲ تا "۲۴ ´۱۷ °۵۲ شرقی و عـرض‌هـای "۳۹´۴۹ °۳۵ تـا "۱۱´۵۷ °۳۵ شمالی استقرار یافته است. ارتفاع بیشینه و کمینـه منطقـه مـورد مطالعه به ترتیب ۳۲۹۰ متـر و ۱۲۰۰ متـر مـی‌باشـد (شـکل۱). منطقه مورد مطالعه از طرف شمال به قله دماوند با ارتفاع ۵۶۷۱ متر و از جنوب به کوه قروقچی با ارتفاع ۳۰۵۹ متـر و از شـرق به روستای وانا و از غرب به روستای پلور ختم می‌شود. وجـود رشته کوه البرز از یـک طـرف و دریـای خـزر از طـرف دیگـر موجب بوجود آمدن وضعیتی ویژه در اقلـیم ایـن منطقـه گـشته است. فصل‌های بهار و زمستان پرباران‌ترین فصل‌های سال بوده و در زمستان بارندگی عموماً به شکل برف است. ویژگی اصـلی اقلیم منطقه، وجود یک فصل خشک در تابـستان اسـت کـه ۳ و گاهی تا ۵ ماه به طول می انجامد.

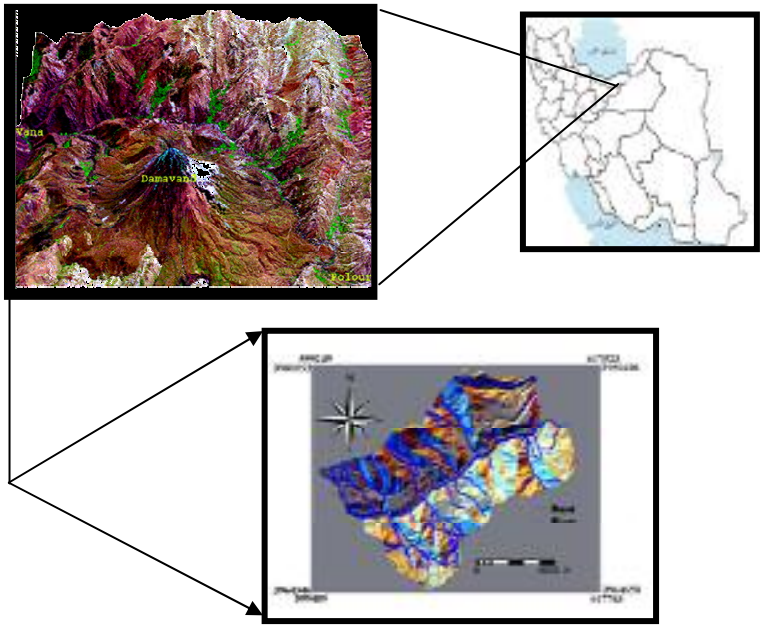
روش تحقیق

برای آنالیز خطر احتمالی زمین لغزش، شناسایی صـحیح منـاطق لغزشی امری ضروری بـه حـساب مـی‌آیـد. لـذا بـا اسـتفاده از عکس‌های هوایی موجود نقاط لغزشـی شناسـایی و بـه منظـور ارزیابی نتایج تفسیر عکس‌های هوایی، بازدیـدهای صـحرایی از منطقه مورد مطالعه صورت پذیرفت. هر یک از عوامل مـؤثر بـر وقوع زمین لغزش در منطقه شناسایی و نقـشه‌هـای مربوطـه در محیط نرم‌افزار ILWIS رقومی گردیـد. نقـشه‌هـای پایـه مـورد استفاده در تحقیق عبـارت‌انـد از: نقـشه توپـوگرافی در مقیـاس ۱:۵۰۰۰۰، نقـشه زمـین‌شناسـی بـا مقیـاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نقـشه کـاربری اراضـی بـا مقیـاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و بـا اسـتفاده از آمـار بارندگی ایستگاه‌های باران سنجی، نقشه همبـاران تهیـه گردیـد. آنگـاه بـا اسـتفاده از مـدل احتمـالی نـسبت فراوانـی (Frequency Ratio) سطح هم‌بستگی بین نقاط لغزشی موجـود و هر یک از عوامل مؤثر تعیـین گردیـد. بـرای محاسـبه نـسبت فراوانی هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغـزش مـشخص، سـپس بـا اسـتفاده از سـامانه اطلاعـات جغرافیـایی درصـد سلول‌های(Pixels) لغزشی و فاقد لغـزش منطقـه مـورد مطالعـه تعیـین و نهایتـاً نـسبت فراوانـی بـرای هـر یـک از عوامـل و کلاس‌های مرتبط با آن با اسـتفاده از رابطـه ۱ محاسـبه گردیـد (جداول ۱ تا ۹).

$$FR = A/B \qquad [۱]$$

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.59.3]



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. مقادیر عضویت فازی مربوط به عامل شیب

مقادیر عضویت فازی	Frequency ratio	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزشی	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس بر حسب درصد
۰	۰	۰	۰	۱/۴۳	۴۰۲۵۱	۰-۵
۰/۳۴	۰/۶۰۸	۳/۶۴	۲	۵/۹۹	۱۶۸۴۹۷	۵-۱۵
۱	۱/۷۹۴	۲۱/۸۲	۱۲	۱۲/۱۶	۳۴۱۹۴۸	۱۵-۳۰
۰/۸۴	۱/۵۰۱	۳۶/۳۶	۲۰	۲۴/۲۳	۶۸۱۰۲۸	۳۰-۵۰
۰/۳۸	۰/۶۸۹	۱۸/۱۸	۱۰	۲۶/۳۹	۷۴۱۸۱۲	۵۰-۷۰
۰/۳۷	۰/۶۷۱	۲۰	۱۱	۲۹/۷۹	۸۳۷۵۳۵	>۷۰

که در آن A: درصد پیکسل‌های لغزشی و B: درصد پیکسل‌های فاقد لغزش است.

به منظور تجزیه و تحلیل‌های فازی در ابتدا وزن‌های به دست آمده از روش نسبت فراوانی نرمال‌سازی (بین صفر و یک) وارد نرم افزار Idrisi شد. با انتخاب نوع و شکل تابع عضویت، هر یک از نقشه‌های مذکور فازی گردید. آنگاه با استفاده از روابط ۲ تا ۶ نقشه‌های خطر برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از اپراتورهای فازی And (رابطه ۲)، Or (رابطه ۳)، Product (رابطه ۴)، Sum (رابطه ۵) و Gamma (رابطه ۶) تهیه گردید (۱۱، ۱۳ و ۲۰).

$$\mu_{\text{combination}} = \text{MIN}(\mu_A, \mu_B, \mu_C, ...) \qquad [۲]$$

که در آن $\mu_{\text{combination}}$: تابع عضویت فازی تخمینی، μ_A: مقدار عضویت عامل A، μ_B: مقدار عضویت عامل B و ... اپراتور فازی And، عملگر اشتراک مجموعه‌هاست. بدین صورت که حداقل درجه عضویت اعضا را استخراج می‌کند. یعنی در بین کلیه لایه‌های اطلاعاتی حداقل ارزش (وزن) هر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.59.3]

جدول ۲. مقادیر عضویت فازی مربوط به عامل جهت شیب

مقادیر عضویت فازی	Frequency ratio	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس
۱	۴/۳۱۲	۱۰/۹۱	۶	۲/۵۳	۷۰۸۹۱	شمال
۰/۱۷	۰/۷۲۰	۱۲/۷۳	۷	۱۷/۶۷	۴۹۵۱۱۰	شمال شرقی
۰/۱۳	۰/۵۷۵	۷/۲۷	۴	۱۲/۶۵	۳۵۴۴۲۶	شرق
۰/۳۴	۱/۴۵۷	۲۰	۱۱	۱۳/۷۳	۳۸۴۴۶۷	جنوب شرقی
۰/۲۲	۰/۲۱۹	۱۲/۷۳	۷	۱۳/۴۴	۳۷۶۳۹۰	جنوب
۰/۳۶	۱/۵۶۴	۱۶/۳۶	۹	۱۰/۴۶	۲۹۳۰۱۳	جنوب غربی
۰/۳۸	۱/۶۴۹	۱۲/۷۳	۷	۷/۷۲	۲۱۶۳۳۷	غرب
۰	۰/۵۴۵	۷/۲۷	۴	۱۳/۳۳	۳۷۳۲۶۰	شمال غربی

جدول ۳. مقادیر عضویت فازی مربوط به عامل لیتولوژی

مقادیر عضویت فازی	Frequency ratio	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس
۱	۴/۳۳۳	۳/۶۴	۲	۰/۸۴	۳۶۲۶۸۶	EK^{tv}
۰	۰	۰	۰	۳/۳۱	۹۳۴۵۹	J_d
۰	۰	۰	۰	۶/۲۳	۱۷۵۹۷۰	J_l
۰/۵	۲/۱۶۱	۳۴/۵۵	۱۹	۱۵/۹۹	۴۷۱۷۸۷	J_S
۰	۰	۰	۰	۰/۷۴	۲۱۰۴۹	K_2
۰/۲۶	۱/۱۰۵	۵/۴۵	۳	۴/۹۳	۱۳۹۳۶۳	K_t
۰	۰	۰	۰	۰/۲۶	۷۲۷۹	P_d
۰	۰	۰	۰	۰/۸۶	۲۴۴۰۹	PE_f
۰	۰	۰	۰	۰/۸۶	۲۴۳۹۳	PE_Z
۰	۰	۰	۰	۱/۱	۳۱۱۳۱	Q^{ag}
۰	۰	۰	۰	۰/۵۷	۱۶۱۵۱	Q^b
۰	۰	۰	۰	۰/۰۳	۷۳۴	$E_K{}^{gy}$
۰/۲۱	۰/۹۲۰	۲۷/۲۷	۱۵	۲۹/۶۳	۸۳۸۶۴۵	Q^{SC}
۰/۸۳	۳/۵۹۳	۲۳/۶۴	۱۳	۶/۵۸	۱۸۵۹۶۰	$Q^t{}_1$
۰	۰	۰	۰	۳/۹۴	۱۱۱۳۵۵	$Q^t{}_2$
۰/۱۱	۰/۴۷۹	۵/۴۵	۳	۱۱/۳۷	۳۲۱۲۶۳	Q^{ta}
۰	۰	۰	۰	۰/۴	۱۱۳۸۳	Q^{tu}
۰	۰	۰	۰	۰/۳	۸۴۳۹	TR_{el}

EK^{tv}: توف سبز، جریان‌های گدازه و گدازه‌های برشی شده آندزیتی- بازالتی، J_d: سنگ آهک تخمی-تخریبی با لایه‌بندی خوب، سنگ آهک مارنی، J_l: سنگ آهک چرت‌دار توده‌ای تا لایه‌ای، J_S : شیل و ماسه سنگ تیره رنگ همراه با آثار گیاهی زغالسنگ و سازند شمشک، K_2: سنگ آهک بیوژنیک و چرتی، K_t: سنگ آهک اوربیتولین‌دار (سازند تیزکوه)، P_d: ماسه سنگ کوارتزیتی با لایه‌بندی متقاطع (سازند دورود)، PE_f: کنگلومرا، آگلومرا، کمی مارن و سنگ آهک (سازند فجن)، PE_Z: سنگ آهک نومولیت و آلوئومین‌دار، کنگلومرا (سازند زیارت)، Q^{ag}: آگلومرا، Q^b: اولیوین بازالت (قبل از دماوند)، $E_K{}^{gy}$: سنگ گچ، Q^{SC}: واریزه، $Q^t{}_1$: پادگانه‌های آبرفتی قدیمی، $Q^t{}_2$: پادگانه‌های آبرفتی جدید، Q^{ta}: جریان‌های گدازه تراکی-آندزیتی، Q^{tu}: خاکستر توف، لاپیلی توف، TR_{el}: سنگ آهک نازک لایه.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.59.3]

جدول ۴. مقادیر عضویت فازی مربوط به عامل ارتفاع از سطح دریا

مقادیر عضویت فازی	Frequency ratio	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس بر حسب متر
۰	۰	۰	۰	۲/۴۵	۶۹۳۹۲	۱۲۰۰–۱۵۰۰
۱	۲/۵۲۱	۳۴/۵۴	۱۹	۱۳/۷۰	۳۸۷۲۰۲	۱۵۰۰–۱۸۰۰
۰/۵۶	۱/۵۱۲	۴۰	۲۲	۲۶/۴۶	۷۴۷۹۳۴	۱۸۰۰–۲۱۰۰
۰/۱۹	۰/۴۷۶	۱۲/۷۳	۷	۲۶/۷۳	۷۵۵۶۱۵	۲۱۰۰–۲۴۰۰
۰/۲۴	۰/۵۹۷	۱۰/۹۱	۶	۱۸/۲۶	۵۱۶۱۵۸	۲۴۰۰–۲۷۰۰
۰/۰۷	۰/۱۶۶	۱/۸۲	۱	۱۰/۹۷	۳۱۰۱۸۵	۲۷۰۰–۳۰۰۰
۰	۰	۰	۰	۱/۴۳	۴۰۳۰۴	>۳۰۰۰

جدول ۵. مقادیر عضویت فازی مربوط به عامل کاربری اراضی

مقادیر عضویت فازی	Frequency ratio	درصد پیکسل های لغزشی	تعداد پیکسل های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس
۰/۰۳	۰/۸۳۰	۱۸/۱۸	۱۰	۲۱/۹۱	۶۱۷۴۸۲	مرتع خوب
۰	۰/۶۷۸	۴۳/۶۲	۲۴	۶۴/۳۲	۱۸۱۲۸۱۰	مرتع متوسط
۰/۰۷	۲/۱۶۰	۲۹/۱	۱۶	۱۳/۴۷	۳۷۹۷۷۷	مخلوط باغ و کشاورزی
۱	۳۰/۳۳۳	۹/۱	۵	۰/۳	۸۳۳۷	مسکونی

جدول ۶. مقادیر عضویت فازی مربوط به عامل فاصله از گسل

مقادیر عضویت فازی	Frequency ratio	درصد پیکسل های لغزشی	تعداد پیکسل های لغزشی	درصد پیکسل های فاقد لغزش	تعداد پیکسل های فاقد لغزش	کلاس
۰/۷۷	۱/۸۴۵	۷/۲۷	۴	۳/۹۴	۱۱۱۳۹۰	۱۰۰–۰
۰/۸۰	۱/۹۲۳	۷/۲۷	۴	۳/۷۸	۱۰۶۸۶۰	۲۰۰–۱۰۰
۱	۲/۴	۹/۱	۵	۳/۷۹	۱۰۷۰۰۴	۳۰۰–۲۰۰
۰/۳۹	۰/۹۴۵	۳/۶۴	۲	۳/۸۵	۱۰۸۹۳۱	۴۰۰–۳۰۰
۰	۰/۸۶۰	۷۲/۷۲	۴۰	۸۴/۶۴	۲۳۹۲۶۰۵	>۴۰۰

پیکسل را استخراج کرده و در نقشه نهایی منظور می‌کند به همین دلیل این اپراتور در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تقریباً تمام سطح منطقه را در کلاس خطر کم قرار می‌دهد.

$$\mu_{\text{combination}} = \text{MAX}(\mu_A, \mu_B, \mu_C, ...) \qquad [۳]$$

اپراتور فازی Or، عملگر اجتماع مجموعه‌هاست. بدین صورت که حداکثر درجه عضویت اعضاء را استخراج می‌کند. یعنی در بین کلیه لایه‌های اطلاعاتی حداکثر ارزش (وزن) هر پیکسل را استخراج و در نقشه نهایی منظور می‌کند به همین دلیل این اپراتور در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تقریباً تمام سطح منطقه را در کلاس خطر خیلی زیاد قرار می‌دهد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.59.3]

جدول ۷. مقادیر عضویت فازی مربوط به عامل فاصله از شبکه آبراهه

مقادیر عضویت فازی	Frequency ratio	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس
۱	۲/۵۳۶	۶۰	۳۳	۲۳/۶۶	۶۶۸۷۸۶	۱۰۰-۰
۰/۲۰	۰/۵۱۶	۹/۱	۵	۱۷/۶۴	۴۹۸۵۶۶	۲۰۰-۱۰۰
۰/۴۱	۱/۰۴۵	۱۴/۵۳	۸	۱۳/۹۰	۳۹۲۹۹۲	۳۰۰-۲۰۰
۰	۰/۳۱۹	۳/۶۴	۲	۱۱/۳۹	۳۲۱۹۹۰	۴۰۰-۳۰۰
۰/۱۵	۰/۳۸۱	۱۲/۷۳	۷	۳۳/۴۱	۹۴۴۴۵۶	>۴۰۰

جدول ۸. مقادیر عضویت فازی مربوط به عامل فاصله از جاده

مقادیر عضویت فازی	Frequency ratio	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس
۱	۳/۶۸۶	۴۳/۶۴	۲۴	۱۱/۸۴	۳۳۴۷۰۳	۱۰۰-۰
۰/۱۶	۰/۵۷۰	۵/۴۵	۳	۹/۵۶	۲۷۰۱۷۸	۲۰۰-۱۰۰
۰/۲۴	۰/۸۸۵	۷/۲۷	۴	۸/۲۱	۲۳۲۲۰۰	۳۰۰-۲۰۰
۰/۲۷	۰/۹۹۴	۷/۲۷	۴	۷/۳۱	۲۰۶۷۶۰	۴۰۰-۳۰۰
۰/۲۲	۰/۸۲۱	۵/۴۵	۳	۶/۶۴	۱۸۷۶۴۲	۵۰۰-۴۰۰
۰	۰/۵۴۸	۳۰/۹۲	۱۷	۵۶/۴۴	۱۵۹۵۳۰۷	۵۰۰>

جدول ۹. مقدار QS اپراتورهای مختلف فازی به منظور ارزیابی بهترین نقشه خطر لغزش

ردیف	روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش	Qs
۱	اپراتور AND	۰/۳۵۶۵
۲	اپراتور OR	۰/۱۵۱۱
۳	اپراتور Sum	۰/۰۰۲۶
۴	اپراتور Product	۱/۰۴۰۸
۵	اپراتور Gamma (۰/۵)	۱/۳۱۹
۶	اپراتور Gamma (۰/۸)	۱/۷۹۷
۷	اپراتور Gamma (۰/۹)	۲/۰۷۹
۸	اپراتور Gamma (۰/۹۷۵)	۲/۱۴۹

$$\mu_{combination} = \prod_{i=1}^{n} \mu_i , \qquad [۴]$$

که در آن μ_i تابع عضویت فازی می‌باشد. در این اپراتور تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند. این اپراتور باعث می‌شود تا در شکل خروجی، اعداد کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کند و در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس حساسیت به خطر زیاد و خیلی زیاد به لغزش قرار گیرد.

$$\mu_{combination} = 1 - \prod_{i=1}^{n} \mu_i (1 - \mu_i) \qquad [۵]$$

در این اپراتور، متمم ضرب متمم مجموعه‌ها محاسبه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.59.3]

می‌شود. بنابراین در شکل خروجی، ارزش پیکسل‌ها بـه سـمت یک میل می‌کند و در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خطر بالا و خیلی بالا قرار می‌گیرند و بـه همـین دلیـل ایـن اپراتـور حساسیت خیلی کمی در پهنه‌بندی دارد.

جهت تعدیل حساسیت خیلی بـالای اپراتـور ضـرب فـازی (Product) و دقت خیلی کم اپراتور فازی جمع (Sum)، اپراتور دیگری به نام فازی گاما معرفی شده که در زیر نشان داده شـده است.

$$\mu_{combination} = (\text{Fuzzy algebraic sum})^{\lambda} * (\text{Fuzzy algebraic product})^{1-\lambda} \quad [۶]$$

بر طبق رابطه ۷ اگر $\lambda = ۱$ باشـد نقـشه خروجـی همـان نقـشه حاصل از Fuzzy Sum خواهـد بـود و اگـر $\lambda = ۰$ باشـد نقـشه خروجی، نقشه حاصل از Fuzzy Product خواهد بود. بنـابراین محدوده تغییرات λ بین صفر و یک می‌باشد. در این تحقیـق از تابع فازی گامای مختلفی مانند ۰/۵، ۰/۸، ۰/۹ و ۰/۹۷۵ استفاده گردید.

ارزیابی روش پهنه‌بندی

در روش آماری نسبت فراوانـی بـرای وزن‌دهـی بـه لایـه‌هـای مختلـف اطلاعـاتی از نقـشه پـراکنش حرکـات تـوده‌ای منطقـه استفاده شد. بعد از تهیه نقشه‌های وزنی بر اسـاس رابطـه مـدل، نقشه پهنه‌بندی حرکات توده‌ای تهیه و سـپس بـر اسـاس رونـد تغییرات منحنی هیستوگرام طبقه‌بندی گردید. لذا نمی‌توان جهت ارزیابی نقـشه پهنـه‌بنـدی حرکـات تـوده‌ای، از نقـشه پـراکنش حرکات توده‌ای حوزه استفاده کرد (۲۲). جهت حل این مـشکل از ۷۸ نقطه لغزشـی کـه در منطقـه شناسـایی گردیـد ۲/۳ نقـاط لغزشی (۵۵ نقطه لغزشی) برای مدل سازی و ۱/۳ نقاط لغزشـی (۲۳ نقطه لغزشی) برای کالیبره کردن مدل استفاده گردیـد (۱۹). سپس نقشه حاصله با نقشه پراکنش حرکات تـوده‌ای مقایـسه - گردید. یک نقشه خطر خوب، نقشه‌ای است که بهترین جدایش را بین مناطق با تراکم بالای زمین‌لغزش و مناطق با تراکم پـایین زمین لغزش ایجاد نماید. بدین منظور بر اساس رابطه [۷] مقدار جمع کیفی هر یک از نقشه‌های تهیه شده با اپراتورهای مختلف فازی تعیین گردید. هـر چـه مقـدار Qs بـالاتر باشـد، نمایـانگر جدایش بهتر بین رده‌های خطر مختلف است. (۱۰ و ۱۶).

$$Qs = \sum_{i=۱}^{n} (Dr - ۱)^{۲} * S \quad [۷]$$

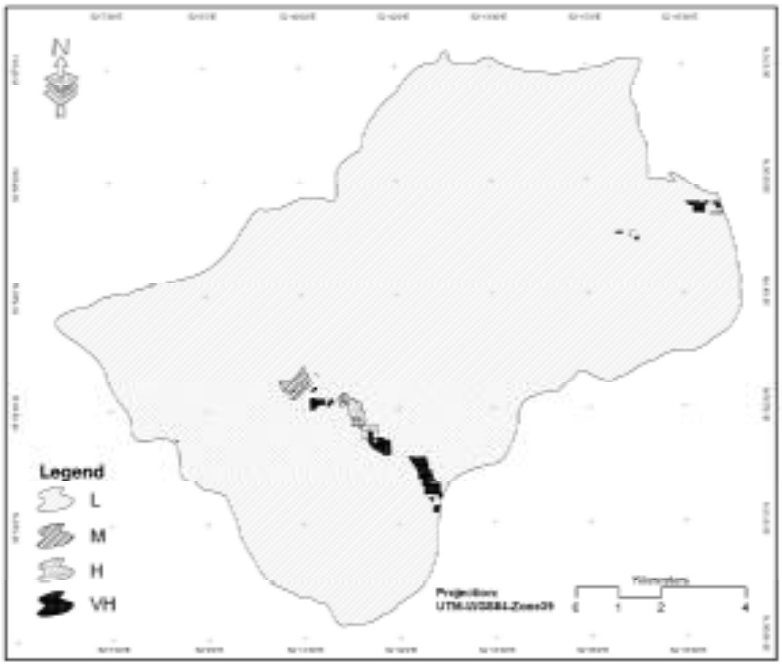
که در آن Qs: جمع کیفی، n: تعداد رده‌هـای خطـر، Dr: نـسبت تراکم که بر اساس تقسیم تراکم زمین‌لغزش در رده خطر خاص به تراکم متوسط زمین‌لغزش‌ها بر مبنای تراکم سطحی و یا تعداد زمین‌لغزش محاسبه می‌گردد و S: مساحت رده خطر بـه درصـد در منطقه است.

نتایج و بحث

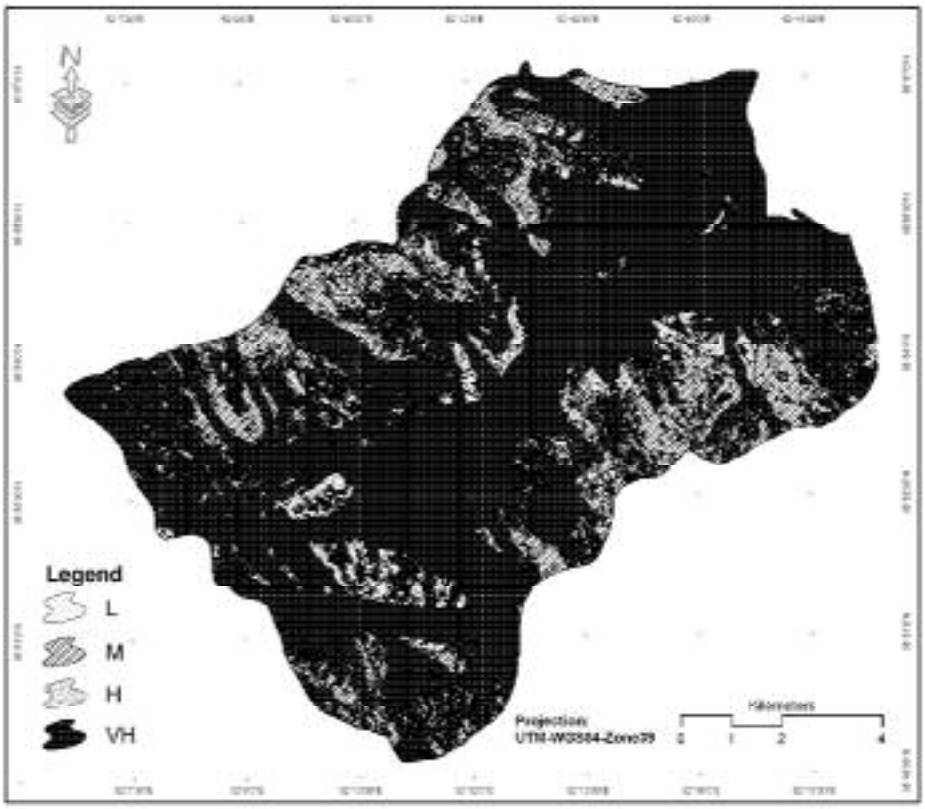
نتایج حاصل از مقادیر عضویت فازی و ارتباط بین عوامل مـؤثر بر وقوع زمین لغـزش و لغـزش‌هـای رخـداده در منطقـه مـورد مطالعه در جدول ۱ تا ۹ ارائه گردید. نتایج بررسی درصد شـیب نشان می‌دهـد که بیشـتر لغـزش‌هـای منطقـه در کـلاس شـیب ۱۵-۳۰ درصد اتفاق افتاده که با نظرات برخی محققـین (۱، ۸ و ۲۰) مطابقت دارد. شایان ذکر اسـت کـه کـلاس شـیب ۳۰-۵۰ درصد در درجه دوم اهمیـت قـرار دارد. نتـایج بررسـی جهـت شیب نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های اتفاق افتـاده در جهـات شمال و غرب می‌باشد که دلیل این امـر را مـی تـوان بـه تـاثیر رطوبت به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر وقوع حرکـات تـوده‌ای نسبت داد که با نظـرات (احمـدی و همکـاران (۱)، محمـدی و همکاران(۸) مطابقت دارد. بررسی طبقات ارتفـاعی، نـشان داده که کلاس ارتفاعی ۱۵۰۰-۱۸۰۰ (۳۴/۵۴٪) و ۱۸۰۰-۲۱۰۰ متر (۴۰٪) بیشـترین درصـد لغـزش‌ها را به خـود اختـصاص داده که دارای بیشـترین وزن بـوده و کـلاس ارتفـاعی ۱۲۰۰-۱۵۰۰ متر هیچ‌گونه حسـاسیتی بـه لغـزش در منطـقه مـورد مطالعـه نداشتـه است. بررسی لیتولوژی حوزه مذکـور نـشان داده کـه بیشترین لغـزش در سـازندهای EKtv ، Qt1 و JS رخـداده کـه به ترتیب از تـوف سـبز، جریـان گـدازه، پادگانـه‌هـای آبرفتـی قـدیمی، شـیل، ماسـه سـنگ تیـره همـراه بـا آثـار

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.59.3]



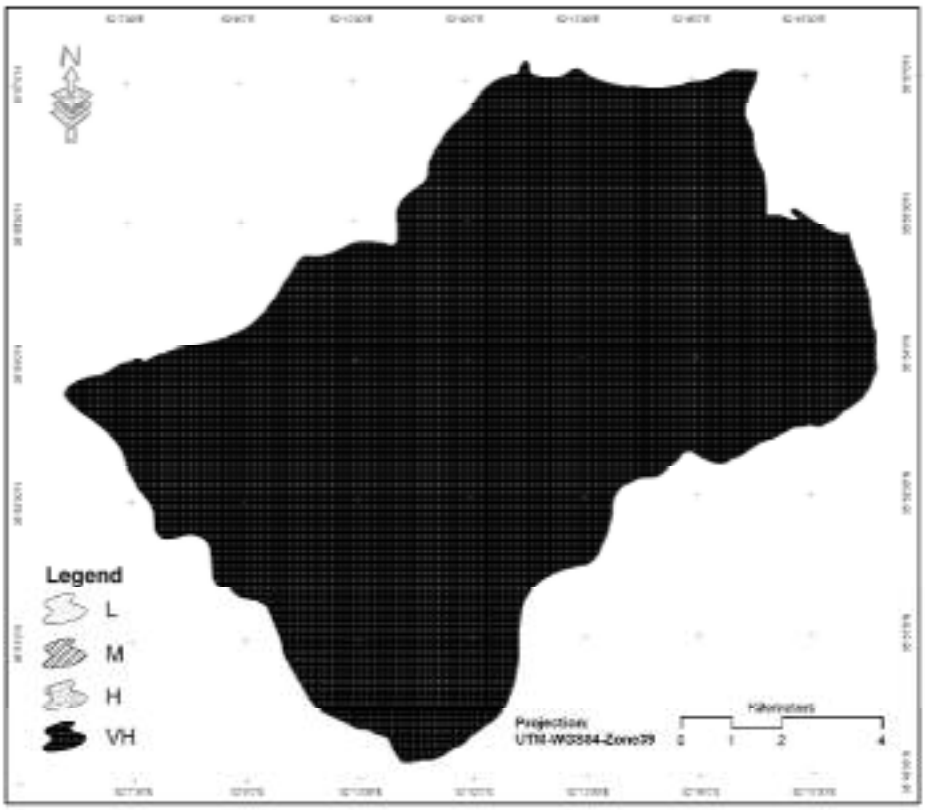
شکل ۲. نقشه خطر لغزش با اپراتور And



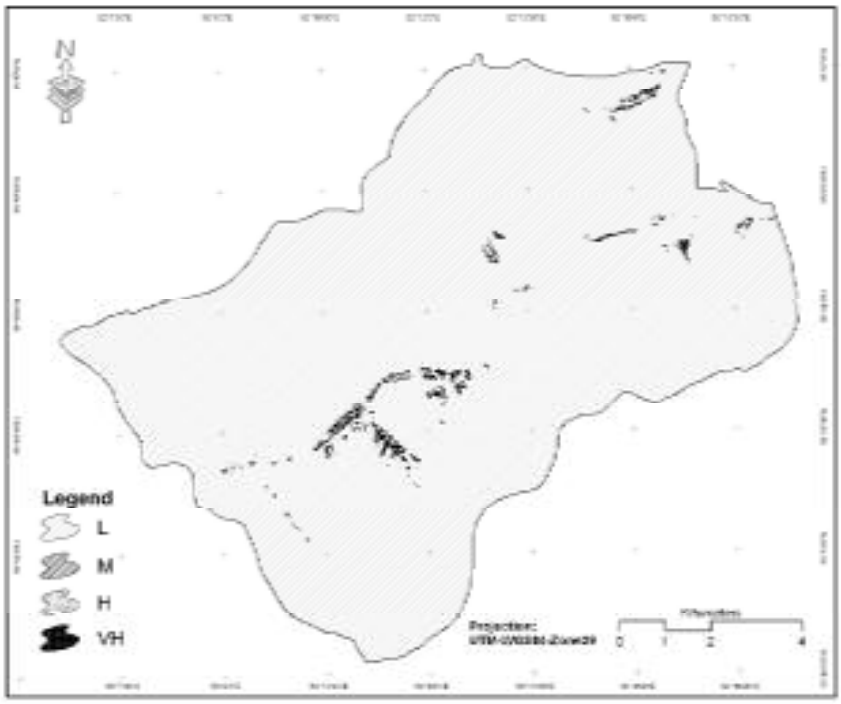
شکل ۳. نقشه خطر لغزش با اپراتور Or

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.59.3]



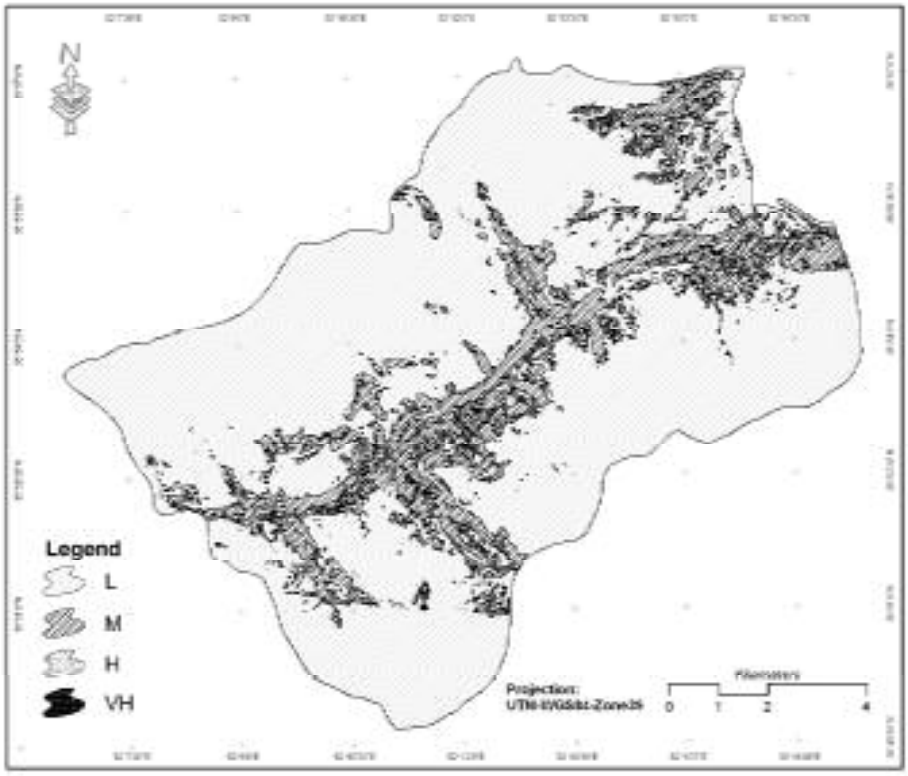
شکل ۴. نقشه خطر لغزش با اپراتور Sum



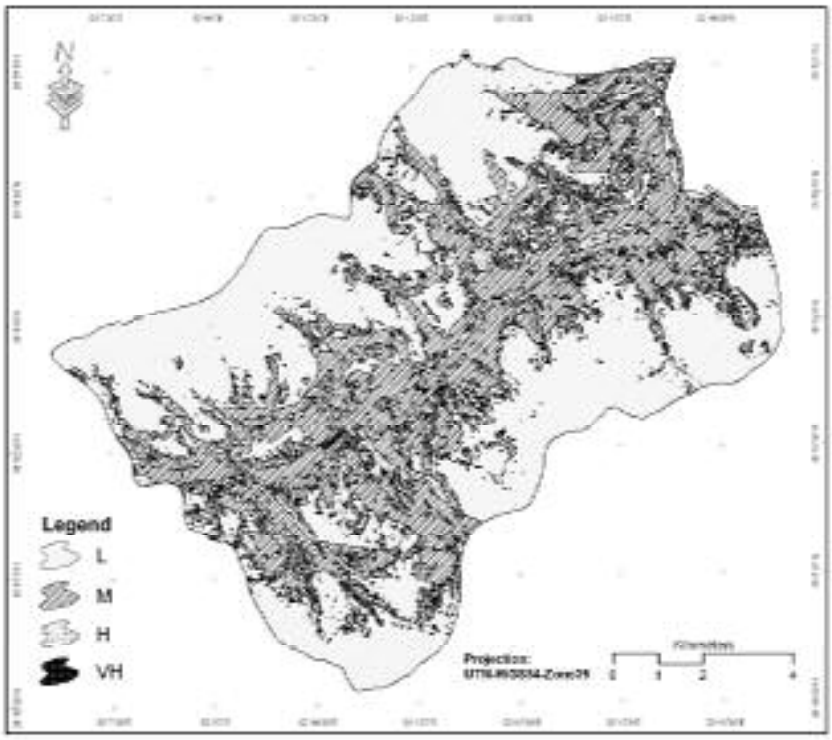
شکل ۵. نقشه خطر لغزش با اپراتور Product

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.59.3]



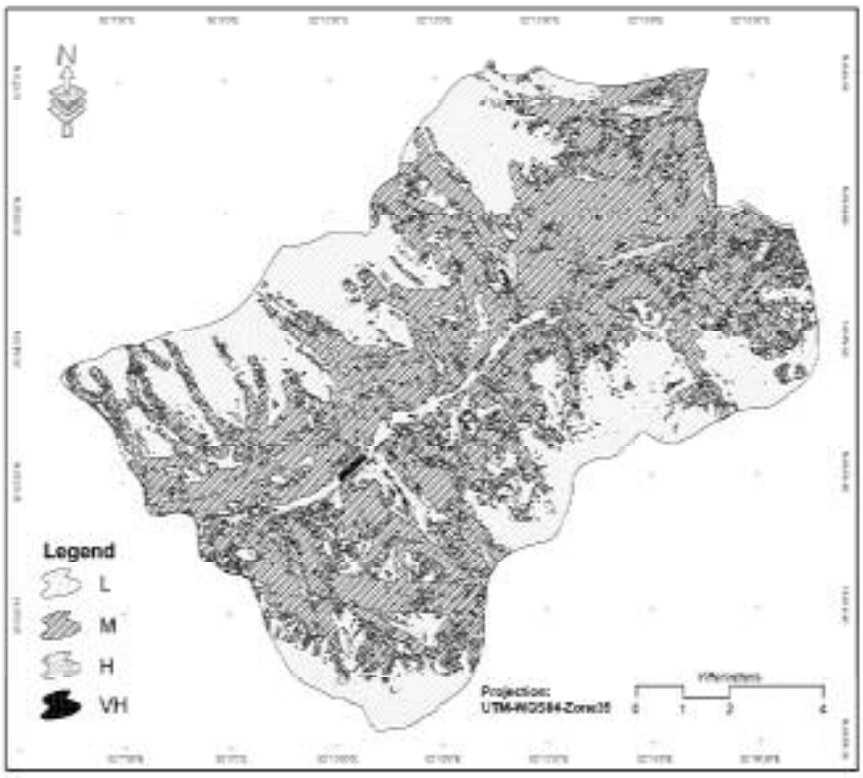
شکل ۶. نقشه خطر لغزش با اپراتور گامای ۰/۵



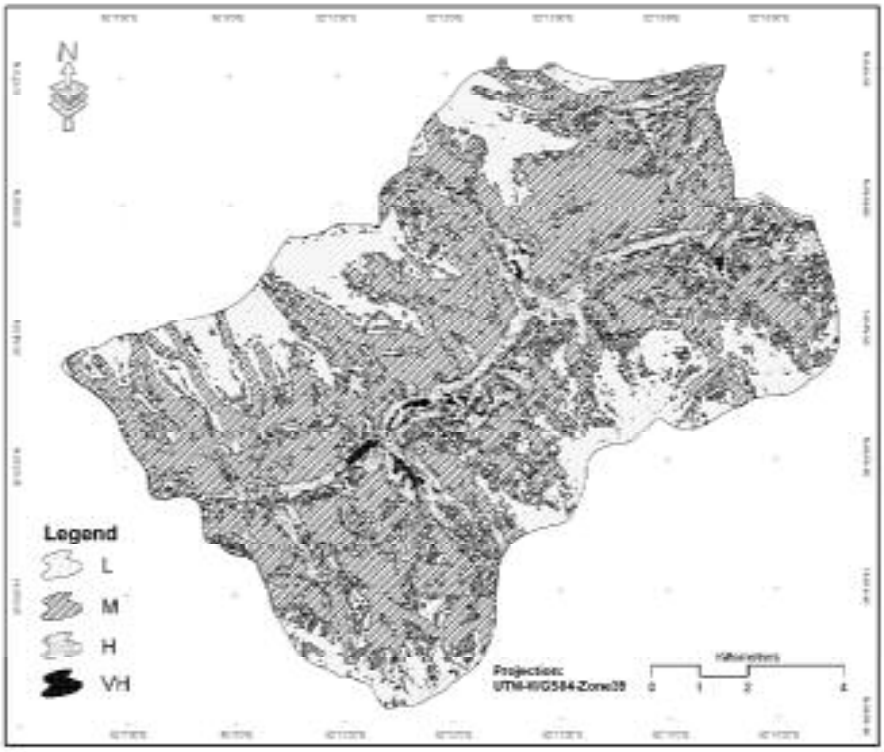
شکل ۷. نقشه خطر لغزش با اپراتور گامای ۰/۸

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.59.3]



شکل ۸. نقشه خطر لغزش با اپراتور گامای ۰/۹



شکل ۹. نقشه خطر لغزش با اپراتور گامای ۰/۹۷۵

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.59.3]

گیاهی زغالسنگ تشکیل شده که بسیار حساس به حرکات توده‌ای می باشند که با نتایج به دست آمده توسط شادفر و همکاران (۵) و محمدی و همکاران (۸) مطابقت دارد. بررسی کاربری اراضی منطقه نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های منطقه در کاربری مسکونی اتفاق افتاده که دلیل آن را می توان به نقش مؤثرانسان در اکوسیستم‌های طبیعی و تخریب‌هایی که بواسطه تغییرات کاربری اراضی از جمله ساخت و ساز در منطقه بوجود آمده نسبت داد که با نظرات (احمدی و همکاران(۱)، شادفر و همکاران(۵)، فاطمی عقدا و همکاران(۷)، و محمدی و همکاران(۸)، مطابقت دارد. بررسی نتایج فاصله از گسل نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های اتفاق افتاده در فاصله ۲۰۰-۳۰۰ متری از گسل مشاهده شده است. بررسی عامل فاصله از شبکه آبراهه و فاصله از جاده نشان داد که به ترتیب ۶۰٪ و ۴۳/۶۴٪ لغزش‌های اتفاق افتاده منطقه در فاصله ۱۰۰ متری از جاده و شبکه آبراهه مشاهده شده است که بیشترین فراوانی را از نظر لغزش به خود اختصاص داده‌اند که با نظرات شادفر و همکاران (۵) و فاطمی عقدا و همکاران (۷) مطابقت دارد. نتایج پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تابع عضویت فازی در شکل‌های ۲ تا ۹ ارائه گردید. دقت در شکل‌های ارائه شده نشان می‌دهد که نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تهیه شده با استفاده از اپراتور فازی And (شکل ۲) تقریباً تمام سطح منطقه مورد مطالعه را, در کلاس خطر کم (Low) قرار داده است. اما استفاده از اپراتور فازی Or (شکل ۳) منجر شده که قسمت اعظم منطقه در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گیرد. نتیجه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با اپراتور Sum، در شکل (۴) ارائه گردید. از آنجا که در این اپراتور ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خطر بالا و خیلی بالا قرار می‌گیرند و به همین دلیل این اپراتورحساسیت خیلی کمی در پهنه‌بندی دارد. همچنین نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با اپراتور فازی Product در شکل ۵ نشان داده شد. از آنجایی که در این اپراتور تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند. لذا این اپراتور باعث شده تا در شکل خروجی، اعداد کوچکتر شده و به سمت صفر میل کند و در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس حساسیت به خطر زیاد و خیلی زیاد به لغزش قرار گرفت. به منظور تعدیل حساسیت خیلی بالای اپراتور ضرب فازی و دقت خیلی کم اپراتور فازی جمع، اپراتور دیگری به نام فازی گاما مورد استفاده قرار گرفت که با نظرات An و همکاران (۱۹۹۱)، چی و همکاران (۱۱) و لی (۲۰) مطابقت دارد. مقادیر مختلفی از اپراتور فازی گاما از قبیل ۰/۵، ۰/۸، ۰/۹ و ۰/۹۷۵ به کار گرفته شد (۲۰). نتایج نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با اپراتور فازی گاما با مقادیر مختلف در شکل‌های ۶ تا ۹ ارائه گردید. دقت در شکل‌های ارائه شده نشان می‌دهد که هر چه مقدار گامای انتخابی از ۰/۵ به سمت ۰/۹۷۵ تمایل پیدا می‌کند نقشه‌های حاصله دارای کلاس‌های مختلف شده، جدایش بهتری بین کلاس‌های ارائه شده حاصل گردیده و دقت نقشه‌های تهیه شده بیشتر می‌گردد که با نتایج نظرات چی و همکاران (۱۳)؛ تنگستانی (۲۴)؛ اسکرنتانر (۲۳)؛ لی (۲۰) مطابقت داشته است. نتایج ارزیابی مدل‌های تهیه شده با اپراتورهای فازی مختلف و بر مبنای ۱/۳ نقاط لغزشی شاهد در جدول ۹ نشان داده شده است. دقت در جدول مذکور نشان می‌دهد نقشه خطر زمین‌لغزش تهیه شده با اپراتور فازی گاما ۰/۹۷۵ بیشترین دقت و صحت را با توجه به رابطه ۷ و مقدار QS (۲/۱۴۹) داشته است.

منابع مورد استفاده

۱. احمدی، ح.، ش. محمد خان، س. فیض نیا و ج. قدوسی. ۱۳۸۴. ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های کیفی و تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP)، مطالعه موردی حوزه آبخیز طالقان، مجله منابع طبیعی ایران ۵۸: ۱۴-۳.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.59.3]

۲. اشقلی فراهانی، ع. ۱۳۸۰. ارزیابی خطر ناپایداری دامنه‌های طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت معلم، تهران.

۳. پورقاسمی، ح.ر.، ح. ر. مرادی، س. م. فاطمی عقدا و م. محمدی. ۱۳۸۵. مقدمه‌ای بر منطق فازی و کاربرد آن در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، مجموعه مقالات همایش منابع طبیعی و توسعه پایدار در عرصه‌های جنوبی دریای خزر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، ۱۷ اسفند، ۸۵۰-۸۵۵.

۴. تاناکا، ک. ۱۳۸۳. *مقدمه‌ای بر منطق فازی برای کاربردهای عملی آن* (ترجمه علی وحیدیان کامیاد و حامدرضا طارقیان)، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۵. شادفر، ص.، م. یمانی و م. نمکی. ۱۳۸۴. پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRE در حوزه چالکرود، مجله آب و آبخیز. ۳: ۶۸-۶۲.

۶. شفاهی، ی. و س. نظری. ۱۳۸۲. تحلیل مساله انتخاب وسیله نقلیه در سفرهای کاری با به کارگیری سیستم‌های ژنتیک-فازی، مجموعه مقالات چهارمین همایش مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن، دانشگاه مازندران، ۷ و ۸ خرداد، ۱۳۸۲، صفحات ۱۱۱-۱۱۸.

۷. فاطمی عقدا، س. م.، ج. غیومیان، م. تشنه لب و ع. اشقلی فراهانی. ۱۳۸۴. بررسی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه رودبار)، مجله علوم دانشگاه تهران ۳۱ (۱): ۴۳-۶۴.

۸. محمدی، م.، ح. ر. مرادی، ح. ر. پورقاسمی و م. داودی. ۱۳۸۶. بررسی ناپایداری دامنه‌های طبیعی و کاربرد آن در آمایش سرزمین با استفاده از GIS. مجموعه مقالات اولین همایش ملی جغرافیا و آمایش سرزمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، ۲۰ و ۲۱ خرداد، ۹۱-۹۲.

۹. مهدویفر، م.ر.۱۳۷۶. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه خورش رستم (جنوب غربی شهرستان خلخال)، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۱۰.میرصانعی، ر. ۱۳۸۲. ارزیابی و کاربرد نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس۱:۲۵۰۰۰۰ با استفاده از GIS (مطالعه موردی: تهران)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم، تهران.

11. An, P., W.M. Moon and A. Renez. 1991. Application of fuzzy set theory to integrated mineral exploration. Canad. J. Exploration Geophys. 27 (1), 1-11.
12. Binaghi, E., L. Luzi, P. Madella, F. Pergalani and A. Rampini. 1998. Slope instability zonation: a comparison between certainty factor and fuzzy dempster–shafer approaches. Natur. Hazards 17: 77–97.
13. Chi, K.H., N.W. Park and C.J. Chung. 2002. Fuzzy logic integration for landslide hazard mapping using spatial data from Boeun, Korea. Symposium Geospatial Theory, Processing and Aplications, Ottawa.
14. Ercanoglu, M. C. Gokceoglu. 2002. Assessment of landslide susceptibility or a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkye) by fuzzy approach. Environ. Geol. 41: 720–730.
15. Ercanoglu, M., C. Gokceoglu. 2004. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). Eng. Geol. 75: 229–250.
16. Gee, M.D. 1991. Classification of landslide hazard zonation methods and a test of predictive capability. PP. 947-952. *In*: B. Landslides (Ed.), Balkema, Rotterdam.
17. Gorsevski, P.V., P. Jankowski and P.E. Gessler. 2006. Heuristic approach for mapping landslide hazard integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process. Control and Cybernetics 35: 1-26
18. Juang, C.H., D.H. Lee and C. Sheu. 1992. Mapping slope failure potential using fuzzy sets. J. Geotech. Eng. ASCE 118(3): 475-493.
19. Komac, M.A. 2006. Landslide susceptibility model using the Analytical Hiererchy Process method and multivariate statistics in perialpine Sloveni. Geomorfology 74: 17-28.
20. Lee, S. 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping. Environ. Geol. 52: 615-623.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.59.3]

21. Pistocchi, A., L. Luzi and P. Napolitano. 2002. The use of predictive modeling techniques for optimal exploitation of spatial databases: a case study in landslide hazard mapping with expert system-like methods. Environ. Geol. 41: 765–775.
22. Remendo, J., A. Gonzales, J. Teran, A. Cendrero, A. Fabbri and C. Chung. 2003. Validation of landslide susceptibility maps, examples and applications from a case study in northern Spain, Natural Hazard, 437-449.
23. Schernthanner, H. 2005. Fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping (Rio Blanco, Nicaragua). Msc Thesis, Institute of Geography, NAWI, Paris Lodron University Salzburg.
24. Tangestani, M.H. 2003. Landslide susceptibility mapping using fuzzy gamma operation in GIS, Kakan catchment area, Iran. Proceedings of the Map India 2003 Conference, copyright GIS Development .
25. Zhu, A.X., D. Scott Mackay. 2001. Effects of spatial detail of soil information on watershed modeling. J. Hydrol. 284: 57-77.
26. Zhu, A.X., R.X. Wang, J.P. Qiao, Y.B. Chen, Q.G. Cai and C.H. Zhou. 2003. Mapping landslide susceptibility in the three gorges area, China using GIS, expert knowledge and fuzzy logic. GIS and Remote Sensing in Hydrology, Water Resources and Environment (Proceedings of ICGRHWE held at the Three Gorges Dam, China, and September 2003). IAHS Publ. 289, 2004.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-07-04]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.59.3]