نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال هجدهم، شماره ۴۸، بهار ۹۷

شبیه سازی احتمال وقوع زمین لغزش با استفاده از منطق فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی(مورد مطالعه: حوضه آبخیز پیوه‌ژن- ارتفاعات جنوبی بینالود)

دریافت مقاله: ۹۵/۷/۱۶ پذیرش نهایی: ۹۶/۱۲/۱۳

صفحات: ۱۳۰-۱۱۵

ملیحه محمدنیا : دانشجوی دکتری ژئومرفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران.[۱]
malihe.mohamadnia@yahoo.com
غلامعباس فلاح قالهری: دانشیار اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزوای، ایران.
ab_fa789@yahoo.com

چکیده

زمین لغزش به علت ماهیت خطرناک خود در مناطق کوهستانی مورفولوژی را به طور ناگهانی بر هم می‌زند و خسارت هایی عمده به مناطق مسکونی، جاده ها، زمین های کشاورزی و... وارد می‌کند. در این مطالعه با استفاده از مدل AHP و عملگرهای منطق فازی به ارزیابی و پهنه بندی حساسیت زمین لغزش در حوضه پیوه‌ژن در استان خراسان رضوی پرداخته شده است. مجموعا هشت معیار اصلی ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، زمین شناسی و کاربری اراضی مرتبط با وقوع پدیده زمین لغزش مورد بررسی قرار گرفت. زیرمعیارها با استفاده از مدل نسبت فراوانی وزن‌دهی و فازی سازی شدند. وزن معیارها نیز با استفاده از مدل AHP تعیین گردید. سپس نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از عملگرهای فازی ۰/۰،۸/۹ و ۰/۷ تهیه و با استفاده از منحنی ROC صحت سنجی گردیدند. نتایج نشان داد عامل شیب بیشترین تاثیر و عامل کاربری اراضی کمترین اثر را در وقوع لغزش در حوضه داشته است. نتایج اعتبار سنجی مدل گویای دقت۹۰ درصدی نقشه حساسیت زمین لغزش با عملگر ۰/۷ در حوضه بوده است. بنابراین مدل فازی گاما با عملگر ۰/۷ بهترین شکل نقشه حساسیت زمین لغزش در حوضه پیوه ژن را ارائه داده است.

کلیدواژگان: زمین لغزش، پهنه بندی حساسیت، مدل AHP، منطق فازی، حوضه پیوه‌ژن.

۱. **نویسنده مسئول:** سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، گروه جغرافیای طبیعی.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3]
[DOI: 10.29252/jgs.18.48.115]

مقدمه

ناپایداری دامنه های طبیعی یکی از پدیده های ژئومورفولوژیکی و زمین شناسی است که در تغییر شکل سطح زمین نقش موثری دارد(مددی و همکاران ۱۲۵:۱۳۹۴ و بلاسیو ۵:۲۰۱۱). زمانی که این فرایند فعالیت‌های انسانی را تحت تاثیر قراردهد به پدیده ای خطرناک تبدیل می‌شوند(فاطمی عقدا و همکاران ۲۹:۱۳۸۲ و پائولتی و همکاران ۱۴۷:۲۰۱۳). یکی از وظایف مهم دانش ژئومورفولوژی کاربردی بررسی موقعیت مکان های خطر پذیر در برابر انواع مخاطرات ژئومورفولوژیک است(ابراهیمی و همکاران ۱۴۴:۱۳۹۴). ازمیان حرکات دامنه ای زمین لغزش‌ها با توجه به تکرار وقوع این پدیده و خسارات زیان بار آن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است(میرصانعی و کاردان ۷۰:۱۳۷۸). زمین لغزش عبارت است از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها(محمودی ۳۸:۱۳۸۷). این پدیده زمانی رخ می‌دهد که نیروی حاصل از وزن مواد بیش از نیروی مقاومت ناشی از نیروی برشی خاک باشد(علی‌پور و ملکیان ۱۶۶:۱۳۹۴). امروزه نیاز فزاینده‌ای برای مدیریت خطر زمین‌لغزش به صورت کمی و پهنه بندی آن وجود دارد(فل و همکاران ۸۶:۲۰۰۸). تهیه نقشه خطر وقوع زمین لغزش ابزاری اساسی برای فعالیت های مدیریت بحران در نواحی کوهستانی است(کومار ۴۹۶:۲۰۰۸). مدیریت ریسک و ارزیابی خطر زمین لغزش‌ها با شناسایی جامع و تهیه نقشه آن‌ها شروع می‌شود و این امر می‌تواند مبنایی جهت کسب آگاهی از توزیع مکانی و زمانی آن‌ها بکار رود(گازتی ۹۰:۲۰۰۰ برادینونی و همکاران ۱۸۰:۲۰۰۳).

کشور ایران به دلیل مساعد بودن شرایط جغرافیایی، ضعف مدیریت جامع و عدم رعایت آستانه های محیطی، به عنوان یک کشور پرمخاطره به شمار می‌رود(یاراحمدی و همکاران ۴۴:۱۳۹۴). ایران از نظر بلایای طبیعی جزء ده کشور اول دنیا بوده و هر ساله وقوع زمین لغزش‌ها در مناطق مختلف کوهستانی آن خسارات و صدمات جبران ناپذیری به بار می‌آورد(حجازی و رنجبریان شادباد،۱۱۵:۱۳۹۳). زمین لغزش‌های ایران به عنوان یکی از بلایای طبیعی هر ساله نقش بسزایی در تخریب جاده های ارتباطی، تخریب مراتع و باغات، مناطق مسکونی و همچنین فرسایش خاک و انتقال حجم بالای رسوب در حوضه های آبخیز کشور دارند(پورهاشمی و همکاران۸۲:۱۳۹۴ و کریمی و همکاران ۹۶:۱۳۹۰). با تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش می‌توان مناطق حساس به زمین لغزش را شناسایی و درباره برنامه های مورد نظر تصمیم گیری کرد(صابر چناری و همکاران ۱۰۶:۱۳۹۴).

در زمینه پهنه بندی حساسیت زمین لغزش در داخل و خارج از کشور مطالعات زیادی صورت گرفته است. زارع و همکاران(۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان پهنه بندی حساسیت خطر زمین لغزش با استفاده از مدل نروفازی در حوضه آبخیز واز نقشه حساسیت زمین لغزش در این حوضه را تهیه نمود. نتایج نشانگر حساسیت بالای حوضه مورد مطالعه در بروز زمین لغزش می‌باشد. میرنظری و همکاران(۱۳۹۳)، در حوضه آبریز پشت تنگ سر پل ذهاب به ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و عملگرهای منطق فازی پرداختند. در این پژوهش نه معیار کاربری اراضی، خاک، نهشته های سطحی، خطوط همباران، پوشش گیاهی، شیب، ژئومورفولوژی، زمین شناسی و ارتفاع استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان داد مدل فازی گاما بهترین شکل نقشه خطر زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه را ارائه داده است. در همین سال در پژوهشی مشابه عابدینی و فتحی به پهنه بندی حساسیت زمین لغزش در حوضه آبخیز خلخال چای با استفاده از مدل منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که حدود ۷۴ درصد از لغزش‌های رخ داده در کلاس حساسیت زیاد و

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3]
[DOI: 10.29252/jgs.18.48.115]

خیلی زیاد واقع گردیده است(عابدینی و فتحی ۱۳۹۳). صفاری و اخدر(۱۳۹۱) به مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه بندی خطر زمین لغزش در جاده سنندج- مریوان پرداختند. نتایج نشان داد نقشه پهنه بندی خطر با گامای ۰/۸ مدل نسبت فراوانی تطابق بیشتری با پهنه های لغزشی رخ داده دارد.

اکسوی و اورکانگلو (۲۰۱۲) در مطالعه ای برای تشخیص مناطق حساس به زمین لغزش در غرب دریای سیاه از طبقه بندی تصاویر ماهواره ای و همچنین منطق فازی برای شناسایی زمین لغزش‌های این ناحیه استفاده نمودند.نتایج نشان داد که عملگر فازی از نظر دقت نسبت به سایر توابع عضویت فازی با وضع موجود تطابق بیشتری دارد. چامپاتی ری و همکاران(۲۰۰۷) به ارزیابی خطر زمین لغزش در مناطق زلزله خیز هیمالیا با استفاده از منطق فازی پرداختند. در این پژوهش مقادیر مختلفی از عملگر فازی گاما برای تهیه نقشه زمین لغزش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملگر فازی گاما با مقدار ۰/۹۸ بهترین شکل نقشه حساسیت به زمین لغزش را در منطقه مورد مطالعه نشان داده است.

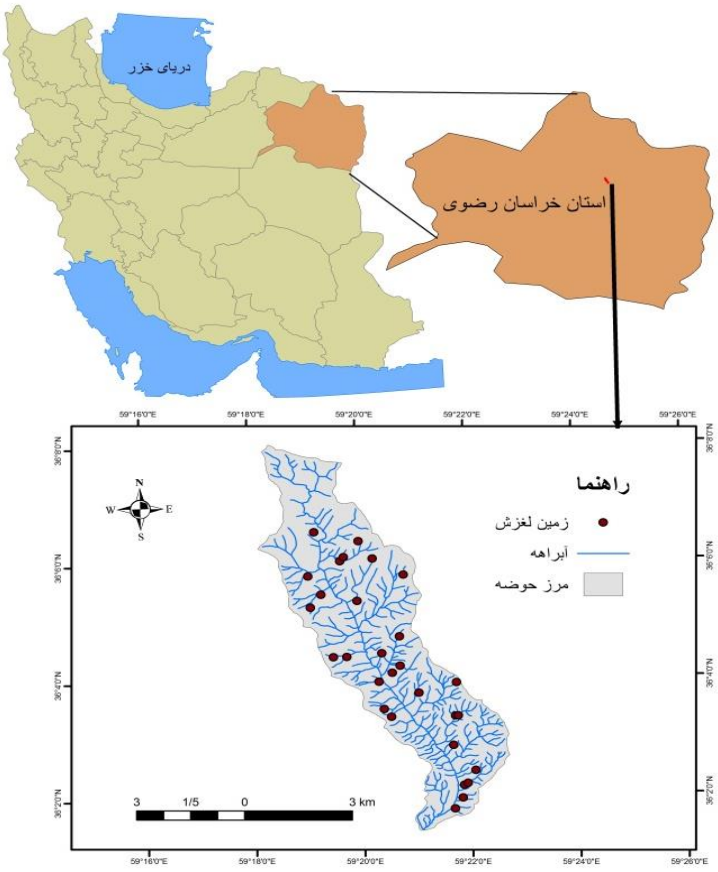
روش‌های بسیاری برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش وجود دارد ولی به‌طور کلی این روش‌ها به دو دسته روش‌های مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شوند. روش‌های مستقیم پهنه‌بندی، بر پایه قضاوت‌های متکی بر مناطق لغزش‌یافته صورت می‌گیرد، ولی روش‌های غیرمستقیم بر پایه شناسایی عوامل کنترل‌کننده و تلفیق این عوامل به‌عنوان معرّف‌های پتانسیل زمین‌لغزش، در پهنه‌بندی است(قنواتی و همکاران؛ ۱۳۹۳: ۹). با توجه به پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در حوضه مطالعاتی و وجود آثار و شواهد وقوع زمین‌لغزش‌های مکرر در محدوده، تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش و ارائه راهکارهایی جهت مدیریت خطر، ضروری بنظر می‌رسد. بر همین اساس، عوامل موثر در وقوع رخداد زمین‌لغزش در حوضه پیوه‌ژن شناسایی و میزان تاثیر آن با استفاده از روش AHP و منطق فازی مشخص و نقشه حساسیت زمین لغزش برای حوضه تهیه گردید.

روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه

محدوده حوضه آبخیز پیوه‌ژن در ۷۰ کیلومتری جنوب غربی شهر مشهد و ۵۵ کیلومتری شرق نیشابور ودر حاشیه شمالی جاده ترانزیتی در دامنه‌های جنوبی کوههای بینالود و بین دو طول ″۱۰ ′۳۷ °۵۴ و ″۵۶ ′ ۴۱ ° ۵۴ و عرض‌های "۴۶ ′۰۲ °۳۶ تا ″۱۰ ′۰۶ ° ۳۶ شمالی قرار گرفته است. شکل(۱) موقعیت حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. حوضه آبخیز پیوه‌ژن از اهمیت زیادی به دلیل احداث شهرک صنعتی ومسکونی بینالود در قسمت جنوبی حوضه برخوردار است. روستای پیوه‌ژن در داخل حوضه واقع است. به دلیل رونق نظام باغداری وصعب العبور بودن مراتع و شرایط استقرار نامناسب روستای پیوه ژن جهت فعالیتهای دامی وزمستان سخت و طولانی دامداری رونق چندانی نداشته و مراتع روستای پیوه ژن قابلیت چرای کمتری دارد. از نظر اقتصادی سه بخش کشاورزی، خدمات و دامداری به ترتیب مهمترین منابع درآمدی روستا را تشکیل می‌دهند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3]
[DOI: 10.29252/jgs.18.48.115]



شکل(۱). موقعیت حوضه مورد مطالعه

شناسایی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش مهم‌ترین مرحله پهنه بندی این رویداد خطر است. در این پژوهش به منظور پهنه بندی خطر زمین لغزش معیارهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، کاربری زمین و زمین‌شناسی مورد ارزیابی قرار گرفت.نقشه های معیارهای مذکور از طریق نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره ای ETM جمع آوری و در محیط GIS آماده شد. آمار مربوط به زمین لغزش‌های رخ داده نیز از اداره آبخیزداری استان خراسان رضوی تهیه گردید. جهت وزن‌دهی به معیارهای مورد نظر از روش نسبت فراوانی استفاده گردید. باتوجه به اینکه پهنه بندی در این روش بر مبنای تطبیق نقشه زمین لغزش‌های حادث شده در منطقه با نقشه معیارهای موثر در زمین لغزش صورت می‌گیرد لایه پراکنش نقاط لغزش یافته حاصل از اداره آبخیزداری در Google Earth و با استفاده از بازدیدهای میدانی تبدیل به پهنه های لغزشی گردید. تلفیق نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها با معیارهای مورد نظر، تعداد پیکسل‌های لغزش یافته در هر طبقه از لایه های عاملی را بدست می آورد. در مدل نسبت فراوانی وزن هر یک از عوامل و کلاس های مرتبط از رابطه (۱) محاسبه می‌شود(لی و سمباث، ۲۰۰۶):

رابطه(۱):

$$\mathrm{Fr} = \frac{A}{B}$$

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3]
[DOI: 10.29252/jgs.18.48.115]

در رابطه(۱) Fr نسبت فراوانی، A درصد پیکسل‌های لغزشی، و B درصد پیکسل‌های فاقد لغزش است.
برای تجزیه و تحلیل‌های فازی در ابتدا وزن‌های بدست آمده از روش نسبت فراوانی نرمال سازی(بین صفر و یک) و سپس وارد نرم افزار Arc GIS 10 شد و هر کدام از نقشه های مذکور فازی گردید. سپس جهت محاسبه وزن معیارها از روش AHP استفاده گردید. در نهایت نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از عملگر گاما تهیه شد.

منطق فازی

تئوری فازی در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی زاده در مقاله ای با عنوان مجموعه های فازی در مجله اطلاعات و کنترل ارائه گردید. تئوری فازی شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کنند. لطفی زاده ادعا نمود که برای مشخص شدن اعضای یک مجموعه می‌باید تابع عضویت تعریف شود یعنی میزان عضویت می‌تواند دقیقا صفر و یک نباشد بلکه مقادیری مابین این دو است. صفر به این معنی است که هیچ عضویتی در آن مجموعه ندارد و یک یعنی به طور کامل عضو آن مجموعه می‌باشد(ژو و اسکات مای، ۲۰۰۱).

پس از محاسبه وزن های نسبت فراوانی نرمال سازی لایه ها با استفاده از رابطه (۲) انجام شد و تمام لایه های اطلاعاتی براساس رابطه (۲) دارای ویژگی کمی با دامنه ای از ارقام پیوسته صفر تا یک شدند(ال محسن، ۲۰۰۹).

$$f(x)=\begin{cases} ۱ & x>a \\ (x_{max}-x)/\Delta x & b>x>a \\ ۰ & b>x \end{cases}$$

رابطه(۲)

بعد از فازی سازی تمام زیر معیارها ضرایب بدست آمده از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) برای هر یک از نقشه ها اعمال گردید. سپس نقشه های تهیه شده با استفاده از دستور Fuzzy overlay روی هم اندازی و نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از عملگر گامای ۰/۹، ۰/۸ و ۰/۷ تهیه گردید.

ارزیابی روش پهنه بندی

از آن‌جا که نمی‌توان جهت ارزیابی کارایی و صحت نقشه حساسیت زمین لغزش از نقشه پراکنش زمین لغزش استفاده کرد(ایمندو و همکاران ۲۰۰۳) جهت حل این مشکل از دو سوم داده ها جهت پهنه بندی و یک سوم جهت کالیبره کردن مدل استفاده گردید(کوماک ۲۰۰۶).

منحنی تجمعی روشی مفید در نشان دادن کیفیت تشخیص‌های احتمالاتی و قطعی و سیستم‌های پیش‌بینی است. منحنی ROC یکی از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در تعیین خصوصیات، شناسایی و پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمّی برآورد می‌کند(ون وسترن، ۲۰۰۲:۲). در منحنی ROC ایده‌ال‌ترین مدل، دارای بیشترین سطح زیر منحنی است و مقادیر AUC از ۰/۵ تا ۱ متغیر است. چنانچه مدلی نتواند رخداد لغزشی را بهتر از دیدگاه احتمالی(تصادفی)تخمین زند مقدار AUC آن ۰/۵ است و زمانی که منحن ROC، سطح زیرمنحنی برابر با یک داشته باشد بیانگر بهترین دقت از نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه‌شده، است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3]
[DOI: 10.29252/jgs.18.48.115]

همبستگی کمی- کیفی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین عبارتند از است: (۱-۰,۹ عالی، ۰,۹-۰,۸ خیلی خوب، ۰,۸-۰,۷ خوب، ۰,۷-۰,۶ متوسط، ۰,۶-۰,۵ ضعیف)(ون وسترن،۲۰۰۲:۳).

نتایج

شناخت عوامل موثر بر زمین لغزش و پهنه بندی آن در مناطق مختلف از نیازهای اساسی و بسیار مهمی است که برنامه ریزان به آن محتاج می‌باشند(رنجبر و روغنی ۲۲:۱۳۸۸). در این تحقیق ابتدا عوامل هشت گانه: ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، کاربری اراضی و زمین شناسی به عنوان عوامل موثر در بروز زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه شناسایی گردید. پس از روی هم اندازی نقشه های عاملی کلاس بندی شده با نقشه زمین لغزش های بوقوع پیوسته، وزن هر واحد از نقشه های عاملی با مدل نسبت فراوانی تعیین و سپس فازی سازی(بین صفر و یک) گردید. با استفاده از این وزن ها نقشه رستری هر معیار به صورت فازی تهیه گردید. شکل های(۲ تا ۹). در جدول(۱) مقادیر عضویت فازی مربوط به معیارهای موثر در وقوع زمین لغزش از طریق روش نسبت فراوانی محاسبه شده است. این مقادیر برای تهیه نقشه های فازی هر معیار مورد استفاده قرار گرفت.

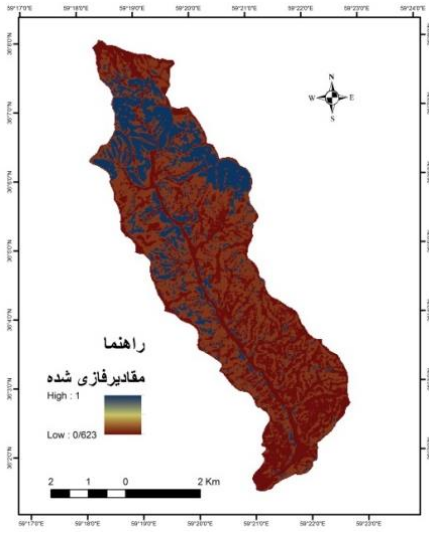
جدول(۱). مقادیر عضویت فازی مربوط به معیارهای مختلف در منطقه مورد مطالعه

ارتفاع به متر				
عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسلهای فاقد لغزش	درصد پیکسلهای لغزشی	کلاس
۰/۷۳	۰/۹۹	۱۵/۸۲	۱۵/۷۳	۱۶۰۰-۱۸۰۰
۰/۶۴	۰/۸۷	۳۰/۲۲	۲۶/۳۷	۱۸۰۰-۲۰۰۰
۰/۹۳	۱/۲۶	۲۶/۶۴	۳۳/۶۱	۲۰۰۰-۲۲۰۰
۱	۱/۳۴	۱۴/۳۴	۱۹/۲۷	۲۲۰۰-۲۴۰۰
۰/۲۸	۰/۳۸	۱۲/۹۵	۵/۰۱	بیشتر از ۲۴۰۰
شیب به درجه				
عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسلهای فاقد لغزش	درصد پیکسلهای لغزشی	کلاس
۰/۶۴	۰/۸۱	۱۰/۶۶	۸/۷۱	۰-۱۰
۰/۷۲	۰/۹۱	۲۶/۳۵	۲۴/۱۲	۱۰-۲۰
۰/۷۵	۰/۹۵	۴۳/۷۰	۴۱/۸۷	۲۰-۳۰
۱/۰۳	۱/۳۱	۱۹/۲۸	۲۵/۲۸	بیشتر از۳۰
جهت شیب				
عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسلهای فاقد لغزش	درصد پیکسلهای لغزشی	کلاس
۰/۷۱	۱/۲۵	۱/۶۵	۲/۰۸	مسطح
۱	۱/۷۶	۵/۲۹	۹/۳۲	شمال
۰/۷۷	۱/۳۶	۱۰/۹۰	۱۴/۹۱	شمالشرق
۰/۳۷	۰/۶۶	۱۴	۹/۳۴	شرق
۰/۵۷	۱/۰۱	۱۴/۲۳	۱۴/۴۸	جنوب شرق
۰/۵۹	۱/۰۴	۱۴/۳۵	۱۴/۹۷	جنوب
۰/۴۲	۰/۷۴	۱۸/۰۲	۱۳/۴	جنوب غرب
۰/۴۲	۰/۷۴	۱۴/۰۶	۱۰/۴۷	غرب
۰/۸۳	۱/۴۷	۷/۴۵	۱۰/۹۸	شمالغرب
فاصله از آبراهه به متر				

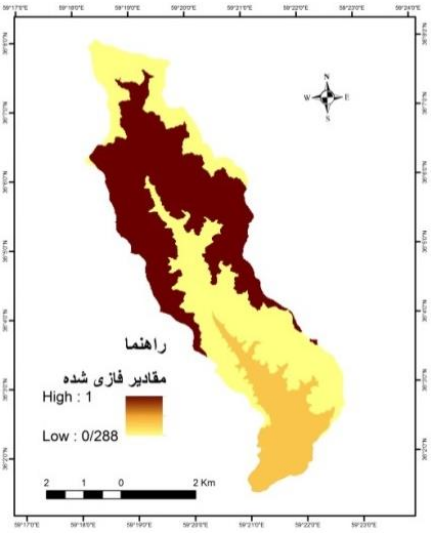
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3]
[DOI: 10.29252/jgs.18.48.115]

عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسلهای فاقد لغزش	درصد پیکسلهای لغزشی	کلاس
۰/۸۷	۰/۹۵	۴۵/۹۷	۴۴/۱۰	۵۰-۰
۰/۹۸	۱/۰۷	۳۰/۹۶	۳۳/۱۸	۱۰۰-۵۰
۱	۱/۰۹	۱۳/۲۹	۱۴/۵۲	۱۵۰-۱۰۰
۰/۷۶	۰/۸۳	۹/۷۶	۸/۱۸	بیشتر از ۱۵۰
فاصله از جاده				
عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسلهای فاقد لغزش	درصد پیکسلهای لغزشی	کلاس
۰/۶۸	۰/۸۷	۱۶/۸۸	۱۴/۸۳	۱۰۰-۰
۰/۸۶	۱/۱۰	۱۲/۱۰	۱۳/۴	۲۰۰-۱۰۰
۱	۱/۲۸	۱۱/۰۴	۱۴/۱۵	۳۰۰-۲۰۰
۰/۹۱	۱/۱۷	۱۰/۰۶	۱۱/۷۸	۴۰۰-۳۰۰
۰/۶۹	۰/۸۸	۸/۹۵	۷/۹۵	۵۰۰-۴۰۰
۰/۷۲	۰/۹۲	۴۰/۹۴	۳۷/۸۶	بیشتر از ۵۰۰
فاصله از گسل				
عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسلهای فاقد لغزش	درصد پیکسلهای لغزشی	کلاس
۰/۷۸	۱/۲۸	۱۵/۹۹	۲۰/۵۱	۱۰۰-۰
۱	۱/۴۷	۱۶/۶۳	۲۴/۴۶	۲۰۰-۱۰۰
۰/۷۶	۱/۱۲	۱۶/۸۱	۱۸/۹۶	۳۰۰-۲۰۰
۰/۴۷	۰/۶۹	۱۴/۹۵	۱۰/۴۱	۴۰۰-۳۰۰
۰/۴۸	۰/۷۲	۳۵/۵۹	۲۵/۶۳	بیشتر از ۴۰۰
کاربری اراضی				
عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسلهای فاقد لغزش	درصد پیکسلهای لغزشی	کلاس
۰/۱۸	۰/۳۱	۴/۶۱	۱/۴۳	Dfg(باغات دیم)
۰/۵۶	۰/۹۵	۶/۶۰	۶/۲۸	Ifg(باغات آبی)
۰	۰	۰/۴۱	۰	U(مناطق مسکونی)
۱	۱/۶۹	۱۵/۰۲	۲۵/۴۷	Rack(اراضی صخره ای)
۰/۵۴	۰/۹۱	۷۲/۸۸	۶۶/۸۱	Ra(مراتع)
۰	۰	۰/۴۶	۰	Rw(بستر مسیل)
زمین شناسی				
عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسلهای فاقد لغزش	درصد پیکسلهای لغزشی	کلاس
۰	۰	۳/۶۲	۰	SD(ماسه سنگ وشیل)
۰/۷۲	۱/۱۱	۱۲/۸۶	۱۴/۴۰	Db(سازند بهرام)
۱	۱/۵۴	۳/۹۱	۶/۰۳	Qt2(تراس های جوان)
۰/۶۵	۱/۰۱	۷۱/۵۲	۷۲/۷۲	TR3-J1(سری مایان)
۰	۰	۰/۴۶	۰	Qa1(پادگانه های قدیمی)
۰/۵۸	۰/۸۹	۷/۶۰	۶/۸۳	S-D(ماسه سنگ-کوارتزیت-سنگ آهک)

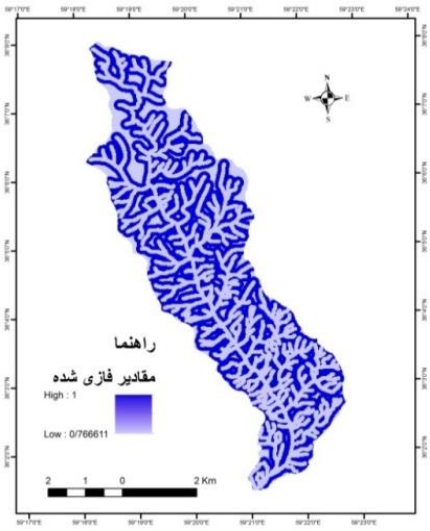
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3]
[DOI: 10.29252/jgs.18.48.115]



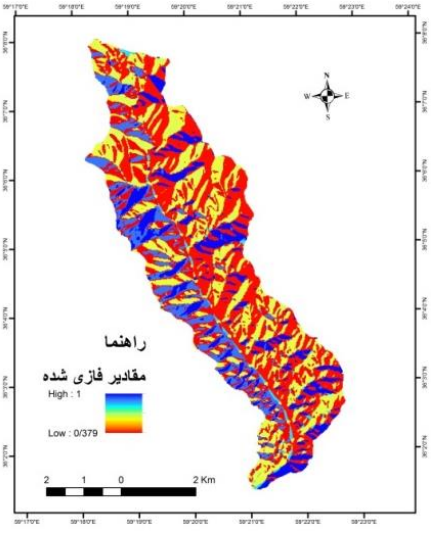
شکل(۳). نقشه فازی شیب



شکل(۲). نقشه فازی ارتفاع

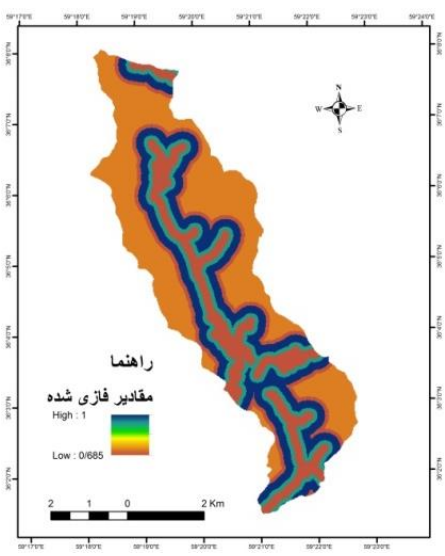


شکل(۵). نقشه فازی فاصله از آبراهه

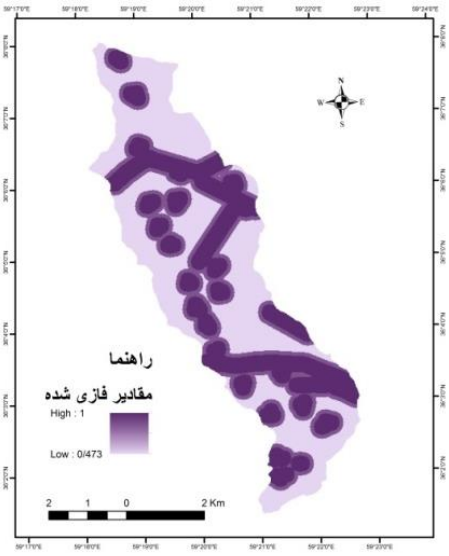


شکل(۴). نقشه فازی جهت شیب

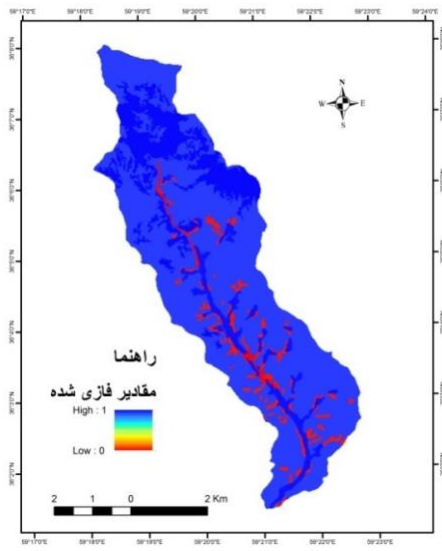
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3]
[DOI: 10.29252/jgs.18.48.115]



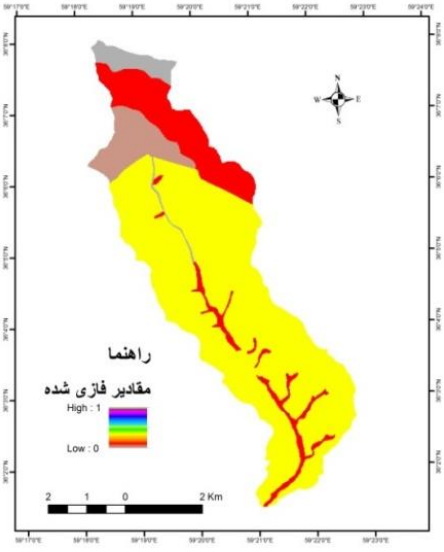
شکل(۷). نقشه فازی فاصله از جاده



شکل(۶). نقشه فازی فاصله ازگسل



شکل(۹). نقشه فازی کاربری اراضی



شکل(۸). نقشه فازی زمین شناسی

در مرحله بعد معیارهای مورد نظر با توجه به اهمیت نسبی هرکدام نسبت به وقوع پدیده زمین لغزش و روابط بین آن‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به صورت زوجی و به صورت ماتریسی مقایسه شدند. بعد از مشخص شدن وزن های نهایی مقدار سازگاری بدست آمد(۰/۰۵۶۶) و به دلیل اینکه کمتر از ۰/۱ بود صحت آن تایید شد. جداول(۲ و ۳).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3]
[DOI: 10.29252/jgs.18.48.115]

جدول(۲). امتیازهای تعلق گرفته به هرکدام از زیرمعیارها به روش AHP

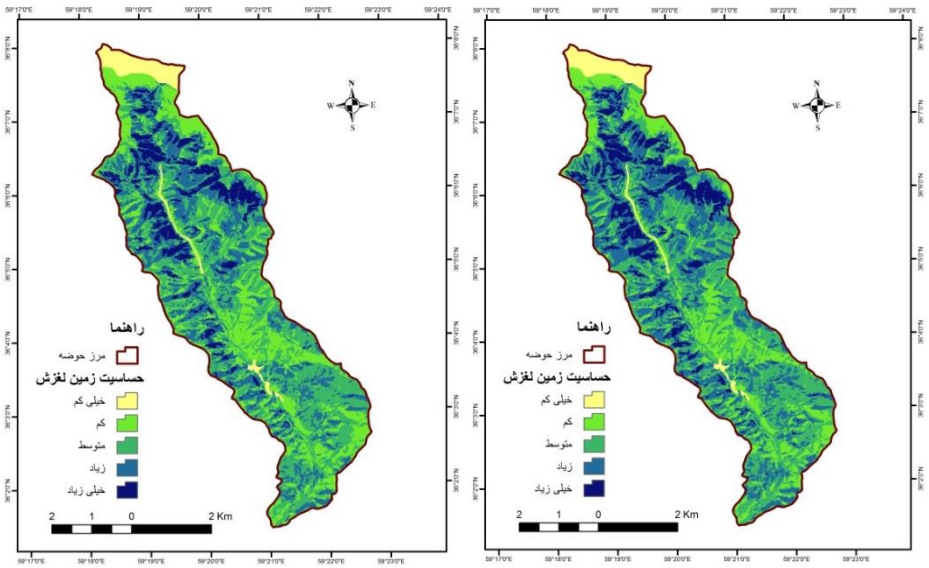
	ارتفاع	شیب	جهت شیب	فاصله از آبراهه	فاصله از جاده	فاصله از گسل	زمین شناسی	کاربری اراضی
ارتفاع	۱	۰/۳۳	۰/۵	۰/۵	۲	۳/۳۳	۱/۶۶	۱/۲۵
شیب		۱	۱/۲۵	۱/۱۱	۳/۳۳	۳/۳۳	۲	۵
جهت شیب			۱	۱/۱۱	۲/۵	۱/۶۶	۱/۴۲	۲/۵
فاصله از آبراهه				۱	۳/۳۳	۲/۵	۱/۴۲	۳/۳۳
فاصله از جاده					۱	۱/۲۵	۱/۴۲	۲
فاصله از گسل						۱	۱/۶۶	۵
زمین شناسی							۱	۲
کاربری اراضی								۱

جدول(۳). امتیاز تعلق گرفته به معیارها

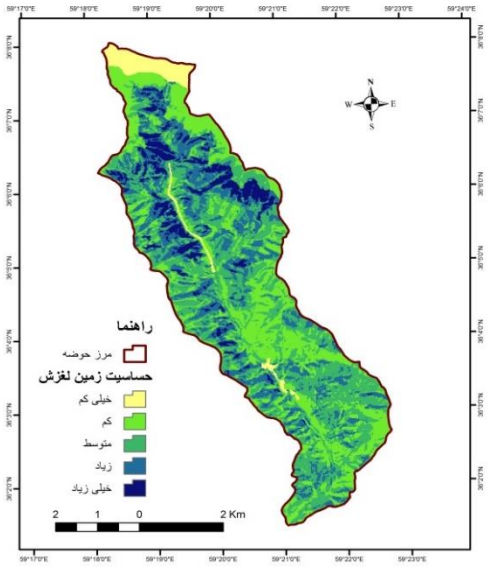
عامل	وزن نسبی
ارتفاع	۰/۱۲۱۶
شیب	۰/۲۳۱۴
جهت شیب	۰/۱۶۱۵
فاصله از آبراهه	۰/۱۸۱۴
فاصله از جاده	۰/۰۷۷۲
فاصله از گسل	۰/۰۹۴۸
زمین شناسی	۰/۰۸۴۱
کاربری اراضی	۰/۰۴۷۹
CR: ۰/۰۵۶۶	

در مرحله قبل لایه های مورد نظر فازی سازی شدند و این فرایند بر روی هر یک از معیارها صورت گرفت. در این حالت از اهمیت تک تک معیارها نسبت به هم صرفنظر شد. به عبارت دیگر طبقه بندی بر روی هر کدام از معیارها انجام گرفت و ارزش هر کدام از آن‌ها با استفاده از روش فازی معین شد. در این مرحله وزن های مشخص شده برای معیارها با مدل AHP در هر کدام از لایه های فازی تاثیر داده شد. سپس نقشه حساسیت زمین لغزش با عملگر گامای فازی با عملگر ۰/۹، ۰/۸ و ۰/۷ تهیه شد. سپس نقشه‌های خطر تهیه شده براساس شکست های طبیعی به پنج کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم گردید. شکل‌های(۱۰ تا ۱۲).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3]
[DOI: 10.29252/jgs.18.48.115]



شکل(۱۰). نقشه گامای فازی با عملگر ۰/۹ شکل(۱۱). نقشه گامای فازی با عملگر ۰/۸



شکل(۱۲). نقشه گامای فازی با عملگر ۰/۷

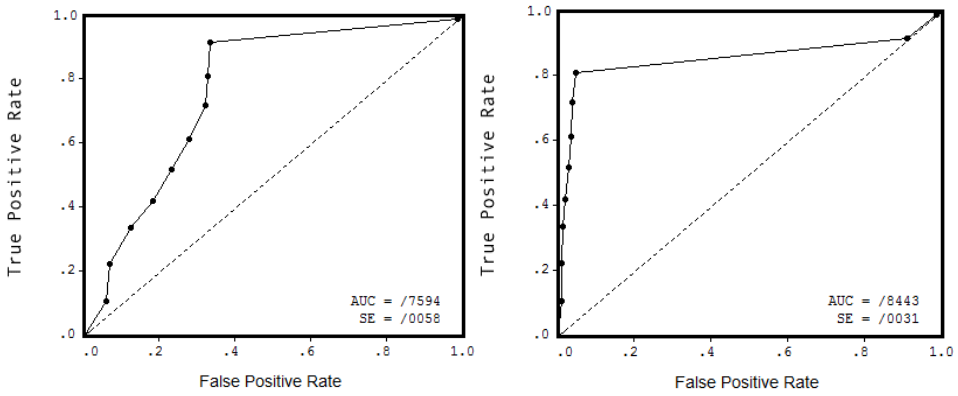
نتایج بررسی طبقات معیارهای مورد بررسی نشان داد که در معیار ارتفاع، طبقات ارتفاعی ۲۲۰۰-۲۴۰۰ و ۲۰۰۰-۲۲۰۰ به ترتیب بیشترین وزن و طبقه ارتفاعی بیشتر از ۲۴۰۰ متر کمترین وزن را به خود اختصاص داده است. به طور کلی با افزایش ارتفاع درصد وقوع زمین لغزش افزایش یافته اما مجدد در ارتفاعات بیش از ۲۴۰۰ متر روند کاهشی بوده است. که می‌توان به علت عدم وجود خاک و فرایندهای خاک سازی در این ارتفاعات باشد. بررسی عامل شیب نشان از همبستگی مثبت درجه شیب با وقوع لغزش‌ها در حوضه دارد. به طوری که کمترین

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3]
[DOI: 10.29252/jgs.18.48.115]

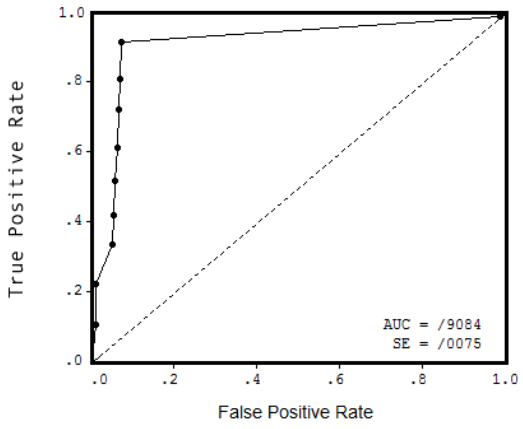
درصد وقوع لغزش در کلاس اول شیب(۰-۱۰ درجه) بوده و با افزایش درجه شیب درصد وقوع لغزش افزایش داشته و در کلاس چهارم(بیشتر از ۳۰ درجه) بیشترین درصد وقوع زمین لغزش اتفاق افتاده است.

تحلیل تقاطع لغزش‌ها با جهات مختلف شیب نشان داد که لغزش‌ها تقریبا در تمام جهات شیب رخ داده اند اما بیشترین میزان وقوع مربوط به دامنه های شمالی و کمترین میزان در دامنه های شرقی به وقوع پیوسته است. دامنه های شرقی به علت عدم وجود رطوبت لغزش کمتری داشته است. فواصل ۵۰-۱۵۰ متری از آبراهه،۱۰۰-۴۰۰ متری از جاده و ۱۰۰-۳۰۰ متری از گسل ها نیز پتانسیل بالایی در وقوع لغزش در منطقه داشته است. بررسی عامل کاربری اراضی نیز نشان داد که اراضی صخره ای بدون پوشش گیاهی بیشترین درصد لغزش های رخ داده را به خود اختصاص داده است. در بستر مسیل و مناطق مسکونی هیچ لغزشی رخ نداده است. بررسی عامل زمین شناسی نیز نشان داد که تراس های جوان مستعد ترین مناطق لغزشی و پادگانه های قدیمی و آهک و شیل سازندهای با حساسیت پذیری بالایی در برابر خطر زمین لغزش می‌باشند.

سپس نتایج با استفاده از منحنی ROC صحت سنجی گردید و بهترین نقشه به لحاظ دقت برای محدوده مورد مطالعه پیشنهاد گردید. نتایج صحت سنجی نشان داد نقشه تهیه شده با عملگر ۰/۷ بیشترین دقت(دقت عالی) و عملگر ۰/۸ کمترین دقت (خوب) را دارا می‌باشد. شکل‌های(۱۳ تا ۱۵).



شکل(۱۳). منحنی Roc مربوط به نقشه گامای ۰/۹ شکل(۱۴). منحنی Roc مربوط به نقشه گامای ۰/۸



شکل(۱۵). منحنی Roc مربوط به نقشه گامای ۰/۷

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3]
[DOI: 10.29252/jgs.18.48.115]

نتیجه گیری

زمین‌لغزش یکی از مخاطره‌آمیزترین بلایای طبیعی است که دولت و موسسه‌های پژوهشی هر ساله برای ارزیابی میزان خسارت و نشان دادن توزیع فضایی آن تلاش می‌کنند. در این پژوهش هشت عامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، زمین شناسی و کاربری اراضی در وقوع زمین لغزش در منطقه شناسایی و با استفاده از مدل نسبت فراوانی وزن‌دهی گردید. سپس وزن های حاصله فازی سازی و وزن معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مشخص گردید. نتایج روی هم اندازی لایه های عاملی با نقشه لغزش های رخ داده نشان داد که ارتفاع ۲۲۰۰-۲۴۰۰، شیب های بیشتر از ۴۰ درجه، دامنه های شمالی، فواصل۵۰-۱۵۰ متری از آبراهه، ۱۰۰-۴۰۰ متری از جاده، ۰-۳۰۰ متری از گسل و اراضی صخره ای و تراس های جوان بیشترین لغزش های رخ داده را به خود اختصاص داده است. نتایج وزن دهی به معیارهای موثر در وقوع زمین لغزش به روش تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که موثرترین عامل در وقوع زمین لغزش های حوضه عامل شیب(۰/۲۳) و پس از آن عامل فاصله از آبراهه(۰/۱۸) و جهت شیب(۰/۱۶) می‌باشد. عامل کاربری اراضی با ۰/۰۴ به عنوان کم اهمیت ترین عامل در منطقه شناسایی گردید. وزن های حاصله از روش AHP و نسبت فراوانی با استفاده از روش گامای فازی(عملگر ۰/۹ ۰/۸ و ۰/۷) به صورت نقشه های حساسیت زمین لغزش تهیه و با استفاده از منحنی ROC صحت سنجی گردید که مشخص شد گامای ۰/۷ با سطح زیر منحنی ۰/۹ بهترین عملکرد را در سطح حوضه داشته . نقشه تهیه شده با این عملگر به عنوان نقشه خروجی حساسیت زمین لغزش با درصد بالای دقت و خطای کم به عنوان نقشه نهایی پیشنهاد می‌گردد. با توجه به مطالب اشاره شده در بالا و نیز نتایج ارزیابی و نقشه نهایی می‌توان اذعان کرد مدل قابلیت خوبی در منطقه از لحاظ پیش بینی زمین لغزش دارد.

منابع

ابراهیمی، مجید، حبیب اللهیان، محمود، امیراحمدی، ابوالقاسم، زنگنه اسدی، محمدعلی (۱۳۹۴)، **بررسی اثر جاده سازی بر وقوع زمین لغزش‌های سطحی با استفاده از مدل پایداری دامنه‌ها، مطالعه موردی: حوضه آبخیز کلات**، مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۵(۱۵): ۱۵۶-۱۴۳.

پورهاشمی، سیما، امیراحمدی، ابوالقاسم، اکبری، الهه (۱۳۹۴)، **مدلسازی و برآورد حجم پهنه‌های زمین لغزش بر پایه مساحت(مطالعه موردی: حوضه بقیع نیشابور)**، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۶(۵۹): ۹۸-۸۱.

حجازی، سید اسدالله، رنجبریان شادباد، مریم (۱۳۹۳)، **شناسایی عوامل موثر و پهنه بندی خطر زمین لغزش در بخش غربی حوضه آبریز سرندچای**، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳(۳): ۱۲۹-۱۱۴.

زارع، محمد، مقدم نیا، علیرضا، تالی خشک، صادق، سلمانی، حسین (۱۳۹۴)، **پهنه بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل نروفازی در حوضه آبخیز واز**، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، ۱۱: ۱۱۰-۱۰۱.

صابر چناری، کاظم، سلمانی، حسین، محمدی، مجتبی (۱۳۹۴)، **ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات و LNRF** ، اکوهیدرولوژی، ۲(۱): ۱۱۶-۱۰۵.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3]
[DOI: 10.29252/jgs.18.48.115]

صفاری، امیر، اخدر، آرش (۱۳۹۱)، **مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه بندی خطر زمین لغزش(مطالعه موردی: جاده ارتباطی مریوان- سنندج)**، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱(۴): : ۹۶-۷۹.

رنجبر، محسن، روغنی، پریسا (۱۳۸۸)، **پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهرستان اردل با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبیAHP**، فصلنامه جغرافیایی چشم انداز زاگرس، ۱(۲): ۳۰-۲۱.

فاطمی عقدا، محمود، غیومیان، جعفر، اشقلی فراهانی، عقیل(۱۳۸۲)، **ارزیابی کارایی روش‌های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین لغزش**، فصلنامه علوم زمین، ۱۱(۴۸-۴۷): ۴۷-۲۸.

علی‌پور، حمید، ملکیان، آرش (۱۳۹۴)، **پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز جهان اسفراین خراسان شمالی**، فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۱۳(۳۹): ۱۸۰-۱۶۵.

کریمی، حاجی، نادری، فتح الله، مرشدی، ابراهیم، نیک سرشت، مهدی (۱۳۹۰) **پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز چرداول ایلام با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی**، فصلنامه زمین شناسی کاربردی، ۷(۴): ۳۳۲-۳۱۹.

محمودی، فرج الله (۱۳۸۷)، **ژئومورفولوژی دینامیک**، چاپ دوم، انتشارات پیام نور، ۲۸۳ صفحه.

مددی، عقیل، غفاری گیلانده، عطا، پیروزی، الناز (۱۳۹۴)، **ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل ویکور(مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق لاقان چای)**، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳(۴): ۱۴۱-۱۲۴.

میرصانعی، سید رضا، کاردان، رحمت الله(۱۳۷۸)، **نگرش تحلیلی بر ویژگی‌های زمین لغزش کشور**، مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین شناسی مهندسی محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.

میرنظری، جواد، شهابی، هیمن، خضری، سعید (۱۳۹۳)، **ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و عملگرهای منطق فازی در حوضه آبریز پشت تنگ سرپل ذهاب(استان کرمانشاه)**، جغرافیا و توسعه، ۱۲(۳۷): ۷۰-۵۳.

یاراحمدی، جمشید، روستایی، شهرام، شریفی کیا، محمد، روستایی، مه آسا (۱۳۹۴)، **شناسایی و پایش ناپایداری دامنه‌ای به روش اینترفرومتری تفاضلی مطالعه موردی: حوضه آبریز گرمی چای میانه**، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳(۴): ۵۹-۴۴.

Aksoy, B., Ercanoglu, M., (2012), **Landslide identification and classification by object-based image analysis and fuzzy logic: An example from the Azdavay region (Kastamonu, Turkey)**, Computers & Geosciences, 38: 92-97.

Alipour, H., Malekian, A., (2015), **Landslide hazard zonation in Jahan watershed of Esfarayen, North Khorasan,** Journal of Geography and Development, 13(39): 165-180.

Al-Mohseen, K.A.A., (2009), **Drought Index Assessment for Fatha Region Using Fuzzy Logic Approach**, Proceedings of the Georgia Water Resources Conference, held 23-27, at the University of Georgia. Athens, Georgia.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3]
[DOI: 10.29252/jgs.18.48.115]

Brardinoni, F., O. Slaymaker, M.A. Hassan, (2003). **Landslide inventory in a rugged forested watershed: a comparison between air-photo and field survey data**, Geomorphology, 54: 179–196.

Champati-ray, P.K., Dimri, S., Lakhera, R.C., and Sati, S. (2007), **Fuzzy-based method for landslide hazard assessment in active seismic zone of Himalaya,** Landslides, 4: 101-111.

Ebrahimi M Habibollahian M Amirahmadi A ZanganeAsadi M A NejadSoleymani H (2015) **Investigating the effect of road construction on surface landslides occurrence using slope stability model, Case study: Kalat watershed**, Preparation of geographic space. 5(15): 143-156.

Emendo, J., Gonzales, A., Teran, J., Cendrero, A., Fabbri, A. and Chung, C. (2003). **Validation of landslide susceptibility maps, examples and applications from a case study in northern Spain**, Natural Hazard, 30(4): 437-449.

Fatemi Aghda, M., Ghayomian, J., Farahani, A., (2001), **Evaluating the Efficiency of Statistical Methods in Determining Landslide Risk Potential**, Journal of Earth Sciences, 11(47-48): 1-16.

Fell, R., Corominas, J., Bonnard, CH., Cascini, L., Leroi, E., Savage, Z.S., (2008), **Guidelines for Lanslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for land Use Planning**, Engineering Geology,102: 85-98.

Guzzetti, F., (2000), **Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy**, Engineering Geology, 58(2):89-107.

Hejazi, S. A., Ranjbarian Shadbash, M., (2014), **Identification of effective factors and zoning of landslide risk in the western part of Sarandachai catchment area**,. Quantitative geomorphology research, 3(3): 114-129.

Hu, A.X., and Scott Mackay, D. 2001. **Effects of spatial detail of soil information on watershed modeling**. Journal of Hydrology, 284: 57-77.

Karimi, H., Nareri, F. A., Morshedi, A., Nik Seresht, M., (2012), **Landslide hazard zonation in Chardavul Ilam watershed using Geographic Information System**, Journal of Applied Geology, 7 (4): 319-332.

Komac, M. (2006), **A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia**, Geomorphology, 74: 17–28.

Kumar Dahal, R., (2008), **Predictive Modeling of Rainfall-induced landslide in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights of evidence**, Geomorphology, 102: .496-510.

Lee, S., Sambath, T. (2006). **Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models**. Environmental Geology 50: 847-855.

Madadi, A., Ghaffari Gilandeh, A., Pirozy, A (2015), **Landslide hazard assessment and zoning using the VIKOR model (Case study: Agh Laqan Chai watershed),** Research of the geomorphology quantitatively, 3(4): 124 - 141.

Mahmoudi, F., (2008), **Dynamic Geomorphology**, Second Edition, Payam-e Noor publication, 283 pp.

Mirnazari, J., Shahabi, H., Khezri, S., (2014), **Landslide hazard assessment and zoning using the AHP model and fuzzy logic operators in the the Tang-**

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3]
[DOI: 10.29252/jgs.18.48.115]

e Posht catchment area of Sarpol-e Zahab (Kermanshah province), Geography and development, 37(12): 53-70.

Mirsanei, R., Kardan, R. A., (2008), **An Analytical Attitude on Landslide Features of the Country**, Proceedings of First Conference on Environmental Engineering Geology of Iran, Tarbiat Moallem University of Tehran.

Paoletti, V.,Tarallo, D., Matano, F., Rapolla A., (2013), **Level-2 susceptibility zoning on seismicinducedlandslides: An application to Sannio and Irpinia areas, Southern Italy**. Physics and Chemistry of the Earth 63:147–159.

Pourhashemi, S., Amirahmadi, A., Akbari, E., (2015), **Modeling and estimating the volume of landslide zones based on area (case study: Baqi basin of Nishapur**), Geography and Environmental Planning. 26(59): 81-98.

Ranjbar, M., Roghani, P., (2009), **Landslide hazard zonation in Ardal city using Analytical Hierarchy Process (AHP)**, Journal of the Zagros geographic perspective, 1(2): 22-88.

Saber Chenari, K., Salmani, H., Mohamadadi, M., (2015), **Landslide risk assessment using Information Value Model and LNRF,** Eco Hydrology, 2(1): 105-116.

Saffari, A., Akhdar, A., (2012), **Compare the relative frequency and fuzzy membership functions in landslide hazard zonation (Case study: Marivan-Sanandaj road link)**, Geography and environmental hazards, 1(4): 79-96.

Van Western, CJ., (2002), **Use of weights of evidence modeling for Landslide susceptibility mapping**, 21 pp.

Vittorio De Blasio, F. (2011), **Introduction to the physics of landslides**. Springer, 408 pp.

Yarahmadi, J., Rostaie, S., honorable Kia, M., Rostaie, M., (2015), **Detecting and Monitoring of Domain Instability by Differential Interferometer Method, Case Study: Garmi Chay Basin of Mianeh,** the research of geomorphology quantity, 3(4):44-59.

Zare, M,. Moghadam Nia, A, R., Talikhoshk, S., Salmani, H., (2015), **Landslide sensitivity zoning using Neuro-Fuzzy model in Waz watershed**, Basin Management Journal, 11:101-110.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1397.18.48.2.3]

[DOI: 10.29252/jgs.18.48.115]