

"مقاله پژوهشی"

پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز نکارود با استفاده از منطق فازی و سنجش از راه دور

بهناز سرائی^۱ و صیاد اصغری سراسکانرود^۲

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، (نویسنده مسوول: saraei.behnaz@gmail.com)

۲- دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۲۱

صفحه: ۵۲ تا ۶۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: بحران‌های طبیعی همچون زمین لغزش قادر به تحمیل خسارات جبران ناپذیری به انسان و محیط هستند. از این رو ارزیابی ریسک به منظور مدیریت مناسب و کاهش خسارت، حیاتی است. ارزیابی ریسک با فرآیند برآورد احتمال وقوع یک رویداد و اهمیت یا شدت اثرات زیان آورد آن مشخص می‌شود. هدف از پژوهش، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز نکارود با استفاده از منطق فازی و سنجش از راه دور می‌باشد.

مواد و روش‌ها: مهم‌ترین لایه‌های مورد استفاده در پژوهش شامل: بارش، ارتفاع، زمین‌شناسی، شاخص NDVI، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، شیب پس از بررسی ادبیات تحقیق و نظرات کارشناسان مشخص گردید.

یافته‌ها: در نقشه‌های پهنه‌بندی استنتاج فازی عملگر AND، ۱ درصد در طبقه خطر خیلی کم، ۲ درصد در طبقه خطر کم، ۳ درصد در پهنه خطر متوسط، ۱۸ درصد در پهنه خطر زیاد و ۷۶ درصد در پهنه خطر خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. منطق AND به دلیل اشتراک گیری بین معیارها، مناطق زیادی را در معرض خیلی زیاد پهنه‌بندی نموده و ۸۰ درصد از حوضه را با ریسک بالا تشخیص داده است. مناطق پرخطر در این مدل در کل حوضه قرار گرفته‌اند. در مدل پهنه‌بندی OR، به ترتیب ۷۲، ۱۲، ۴، ۱۰، ۲ درصد در مناطق با خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارند.

بنابراین بیشترین مساحت در این مدل پهنه‌بندی در طبقه خیلی کم قرار دارد و این منطق به دلیل اجتماع گیری بین معیارها مناطق بسیاری را بدون خطر می‌داند که در غرب و مرکز حوضه قرار دارد و تنها بخش بسیار کوچکی از مرکز منطقه مطالعاتی با خطر بسیار زیاد در شرق حوضه تشخیص داده شده است. و در نهایت مدل پهنه‌بندی عملگر GAMA، به ترتیب ۴۹، ۱۴، ۱۵، ۱۳ درصد در طبقات خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد قرار داشته‌اند. و طبقه خطر خیلی کم قسمت اعظم منطقه مطالعاتی را پوشانده است.

نتیجه‌گیری: در این پهنه‌بندی بیشترین مناطق آسیب‌پذیر، در قسمت شرق حوضه مطالعاتی واقع گردیده‌اند و تطابق بیشتری با واقعیت دارد. و همان‌طور که نتایج تحقیق حاضر نشان داد استفاده از فن‌آوری RS و GIS ابزاری مفید و قوی در زمینه پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زمین لغزش دانست.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، زمین لغزش، منطق فازی، حوضه نکارود

مقدمه

زمین لغزش نوعی حرکت توده‌ای است که در اثر عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی و یا هر دو این عوامل در مناطق شیب‌دار به وجود می‌آید و طی آن حجم زیادی از مواد تشکیل‌دهنده دامنه به سمت پایین جابه‌جا می‌شود. تلفات انسانی، تخریب اراضی کشاورزی، باغ‌ها، سازه‌های مهندسی و راه‌های ارتباطی و هدر رفت سریع خاک از آثار زمین لغزش‌ها به شمار می‌روند. با توجه به وسعت خسارات ذکر شده، می‌توان به صراحت بیان نمود که هزینه بررسی و مطالعه چنین پدیده‌ای برای شناخت و برنامه‌ریزی 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 مهم‌ترین و ضروری‌ترین اقدامات برای جلوگیری یا کاهش صدمات زمین لغزش به شمار می‌رود (۱۰). بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که تا اوایل سال ۱۳۷۸ حدود ۲۵۹۰ زمین لغزش در کشور اتفاق افتاده که سبب مرگ ۱۶۲ نفر، تخریب ۱۷۶ باب خانه، خسارت مالی به مبلغ ۱۸۶۶ میلیارد ریال، تخریب ۶۷۶۳ هکتار جنگل، تخریب ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی و حجم ۹۶۳۸۰۷ مترمکعب رسوب سالیانه شده است (۱۹). بنابراین بررسی این پدیده‌ی مخرب و شناسایی مناطق حساس کمک زیادی در کاهش خسارات احتمالی می‌نماید. با استفاده از نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش، می‌توان

مناطق حساس به زمین لغزش را شناسایی و در مورد برنامه‌های موردنظر تصمیم‌گیری نمود (۲). بروز پدیده زمین لغزش می‌تواند ناشی از عوامل متعدد زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، بیولوژیکی و انسانی باشد، ولی معمولاً در شروع زمین لغزش تنها یک نیروی محرک خارجی (تیگر) نقش محوری دارد. بارندگی شدید، ذوب سریع برف، تغییرات ناگهانی در سطح آب زیرزمینی، زلزله و فرسایش با سرعت زیاد از مهم‌ترین عوامل ماشه‌ای زمین لغزش‌ها برشمرده می‌شوند (۲۷). اگرچه رخداد لغزش به عواملی مانند بارندگی زیاد، وجود چشمه‌های فراوان، جنس لایه‌های زمین و تأثیر گسل‌ها، هم‌جهت بودن شیب لایه‌ها و شیب طبیعی زمین و دخالت انسان بستگی دارد (۱۵)، لیکن شواهد میدانی نشان می‌دهد زلزله مهم‌ترین محرک ناپایداری دامنه‌ها می‌باشد (۳۲). خسارت‌های ناشی از زمین لغزش‌ها بسیار بیشتر از آنچه شناسایی شده، می‌باشد. بسیاری از خسارت‌های ناشی از زمین لغزش‌ها به ثبت نرسیده است زیرا عموماً در خبرها به همراه سیل، طوفان و زلزله اشاره شده‌اند. به عنوان مثال خسارت ناشی از زمین لغزش در ایران حدود ۵۰۰ میلیارد ریال در سال برآورد شده است (۹). استفاده از داده‌های درست و روش‌های مناسب یکی از بهترین گزینه‌ها در شناسایی مناطق خطرپذیر است. جی آی اس و آر اس در زمره ابزارهای قوی در زمینه پهنه‌بندی زمین لغزش است و تحقیقات محققان مؤید این مطلب است:

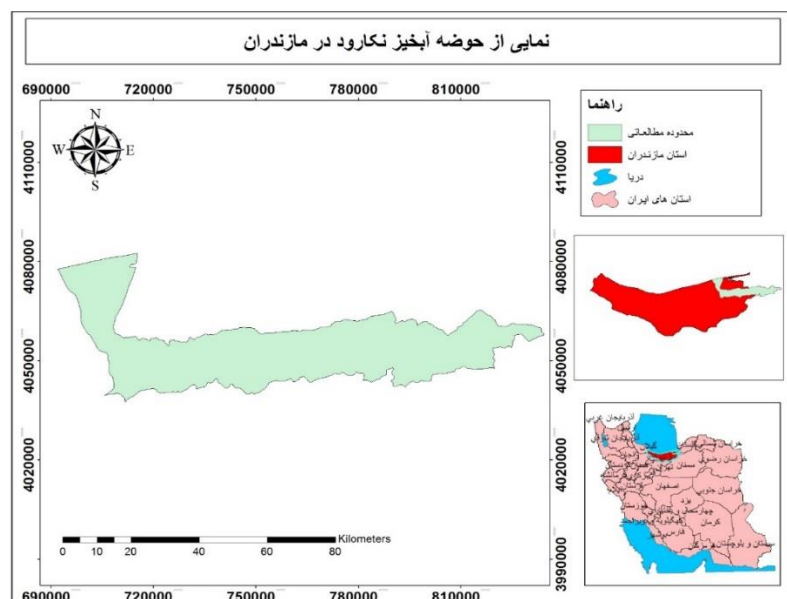
حفره‌های لانه زنبوری را پیشنهاد دادند. بیلار و همکاران (۴)، در مطالعه با عنوان تجزیه و تحلیل تجربی سونامی ناشی از برخورد زمین لغزش با تحرک بالا، با ایجاد یک سری امواج آزمایشگاهی به بررسی هدف خود پرداختند. رکتی و همکاران (۲۲)، هم شرایط بارندگی برای وقوع زمین لغزش‌های کم عمق و هم روندهای بارندگی در ارتفاع پورتوفینو، که در دریای لیگوریا گسترش می‌یابد، جایی که بارندگی شدید و اثرات زمینی مرتبط اغلب رخ می‌دهد را مورد بررسی قرار دارند. با توجه به مطالب مطرح شده و لزوم بررسی خطر زمین لغزش و تبعات ناشی از آن که به تخریب اراضی و خطرات انسانی منجر می‌شود در این پژوهش به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز نکارود با استفاده از منطق فازی و سنجش از راه دور پرداخته شد. هدف از پژوهش بررسی کارایی سنجش از دور و جی آی اس در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی محدوده مطالعاتی

حوضه انتخابی تحقیق، حوضه نکارود می‌باشد که در استان مازندران، واقع گردیده است. رودخانه نکارود از شاه کوه البرز در گرگان سرچشمه می‌گیرد. این حوضه از چندین رودخانه کوچک و بزرگ تشکیل شده که دره اصلی آن برخلاف اکثر رودخانه‌های استان روند شرقی- غربی دارد. این روند در نزدیک شهر نکا با چرخش ۹۰ درجه روند شمالی - جنوبی پیدا کرده و شهر نکا نیز بر روی مخروط افکنه آن واقع شده است. این حوضه یکی از حوضه‌های کوهستانی شمال کشور است که با مساحت ۲۲۵۷,۹۴ کیلومتر مربع، بین مختصات جغرافیایی ۵۳ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (سازمان نقشه‌برداری (۱۰)). شکل عمومی حوضه کشیده است و امتداد شرقی- غربی دارد. در شکل ۱ و ۲، نمایی از حوضه مطالعاتی مشاهده می‌گردد.

صالحی و همکاران (۲۴)، به بررسی اثرات زمین لغزش‌های رخ داده در استان چهارمحال و بختیاری و آنالیز آماری آن‌ها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که ایجاد شبکه‌های زهکشی بهترین راه حل به منظور تثبیت زمین لغزش‌های مورد نظر می‌باشد. کامران زاد و همکاران، با استفاده از روش‌های تحلیل آماری (داده محور) و قضاوت کارشناسی (تحلیل سلسله مراتبی) به تعیین میزان خطر و تهیه نقشه پهنه‌بندی در محدوده استان تهران پرداختند (۱۴). ابراهیمی مقدم و عباس‌نژاد (۷)، به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش استان کرمان با مدل‌های فازی، ای اچ بی و تکنیک جی آی اس پرداختند و به این نتیجه رسیدند که عملکرد گامای فازی با لاندای ۰/۷ نسبت به سایر روش‌های ارائه شده دارای مطلوبیت بهتری در پهنه‌بندی لغزش استان کرمان داشت. کوه‌پیمای و فیض‌نیا (۱۶)، به دنبال پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش فاصله‌ی ماه‌الانویس در حوزه‌ی لتیان مطالعه‌ای را انجام دادند. حسینی و همکاران (۱۱)، هدف مطالعه خود را کمک به کاهش خطرات ناشی از زمین لغزش و پشتیبانی از سیاست‌های توسعه‌ی اراضی در مقیاس حوضه‌ی آبخیز بیان کردند. آوند و همکاران، به ارزیابی کارایی مدل‌های یادگیری ماشین در تهیه نقشه احتمال خطر سیل پرداختند (۱). محمدی و نور، هدف مطالعه خود را تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل تلفیقی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی-تراکم سطح در محیط جی آی اس، در بخشی از حوزه آبخیز هراز ابراز داشتند (۲۰). اسکریزی پزاک (۲۸)، در پژوهش خود به بررسی علل رانش زمین، طبقه‌بندی رانش زمین، چندین نمونه از رانش زمین و آسیب‌های ناشی از رانش زمین پرداختند. مارتینو و همکاران (۱۸)، با هدف بررسی تأثیر زمین لغزش بر روی مسیرهای حمل و نقل در طول زلزله‌شناسی ۲۰۱۶-۲۰۱۷ ایتالیا مرکزی مطالعه‌ای را انجام دادند. جیو و همکاران (۸)، در مطالعه‌ای با عنوان اثر کاهش لغزش زمین با استفاده از خط لوله زیردریایی لانه زنبوری، یک خط لوله زیردریایی با



شکل ۱- نمایی از محدوده مطالعاتی
Figure1. A view of the study area



شکل ۲- نمایی از محدوده مطالعاتی در تصاویر Google earth
Figure 2. A view of the study area in pictures Google earth

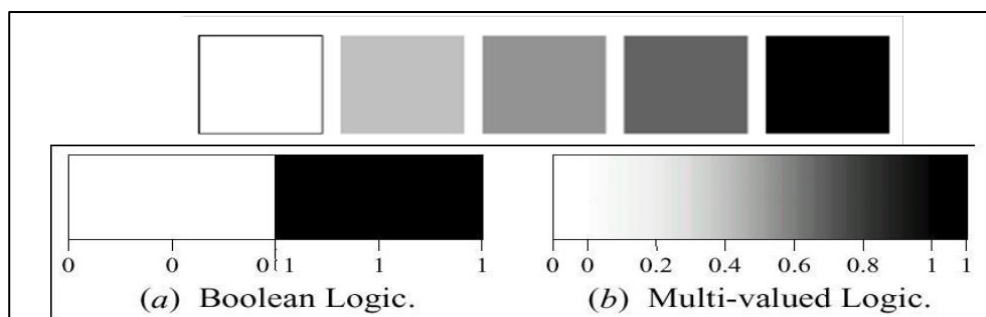
روش تحقیق

روش پژوهش، از نظر هدف کاربردی و از نظر نحوه انجام کار، تحلیلی مکانی است. داده‌های تحقیق، از نقشه‌های طرح‌های جامع و تفصیلی شهر، نقشه‌های وضع موجود، به دست آمد. به منظور تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای آرک جی آی اس برای پردازش، لایه‌ها، از اتوکد برای آماده‌سازی داده‌ها استفاده شد. جهت استانداردسازی و همسان‌سازی شاخص‌های انتخابی تحقیق از توابع عضویت فازی و جهت همپوشانی از منطق فازی استفاده شد. منطق فازی را برای اولین بار لطفعلی، زاده معرف، کرد (۳۴، ۳۳). یک مجموعه فازی مجموعه‌ای بدون مرز دقیق و یا تعریف مشخص است که شامل عناصری با درجه‌ی جزئی از عضویت است برناردینز (۳). منطق فازی ویژگی‌های منحصربه‌فردی را ارائه می‌دهد که آن را به‌منزله‌ی روشی مناسب برای مواجهه با عدم قطعیت مشخص می‌سازد (۳۳). در سال ۱۹۶۵، با مطرح شدن تئوری فازی حوزه‌ای جدید در علم ریاضیات گشوده شد که بسیار بحث‌برانگیز بود. واژه‌ی فازی در لغت به معنای «مبهم، گنگ، نادقیق، مغشوش، درهم و نامشخص» می‌باشد. گرچه تئوری فازی به منظور مدل کردن پدیده‌های غیرخطی و نامشخص به کار می‌رود، ولی خود تئوری فازی، یک تئوری کاملاً دقیق می‌باشد. به کمک این تئوری منطق انسانی و زبان طبیعت وارد ریاضیات می‌گردد (۳۴، ۳۳). علم فازی ابزار مناسبی است که هم به عنوان یک روش، تصمیم‌گیری در حل مسائل به کار برده می‌شود و هم اینکه عدم قطعیت‌ها و گنگی‌ها را مدل‌سازی می‌نماید (۳۰).

شاید بتوان ادعا کرد که دو مورد (ه) و (و) جزو اساسی‌ترین ویژگی‌های تئوری فازی می‌باشند. قابلیت مدل کردن توصیفات کیفی باعث شده است تا تئوری فازی به شکل گسترده‌ای مورد استفاده قرار گیرد. چرا که همین توصیفات کیفی، مبنای ارتباط و اظهارنظر بشر می‌باشد (۳۴). بر این اساس، تصور می‌شود که بتوان از تئوری فازی در بحث ارزیابی ریسک‌ها نیز استفاده کرد؛ چراکه اکثر پارامترهای مورد استفاده در گزارش‌های ارزیابی ریسک‌ها و خسارات آن‌ها، به شکل کیفی بیان می‌شود. در تئوری کلاسیک مجموعه‌ها یک عنصر یا عضو مجموعه است یا نیست (صفر و یک). تئوری مجموعه‌های فازی این مفهوم را گسترش داده و عضویت درجه‌بندی شده را مطرح می‌کند. به این ترتیب که یک عنصر می‌تواند تا درجاتی، و نه کاملاً، عضو یک مجموعه باشد. به بیان دیگر یک مجموعه فازی، مجموعه‌ای از المان‌ها با ویژگی‌های مشابه است که در آن، مجموعه درجه‌ای مشخص از صفر تا یک دارد. صفر به معنی عدم عضویت و یک به معنی عضویت کامل است (۵). در هر مجموعه از منطق فازی مانند A وابستگی یک عضو X از مجموعه مرجع به آن، از طریق تابع عضویت آن به صورت رابطه ۱، تعریف می‌شود.

$$\text{رابطه (۱)} \quad A = \{\mu_A(X)\}$$

در رابطه فوق X عضوی از مجموعه مرجع و $A(X)$ درجه وابستگی به مجموعه فازی A می‌باشد.



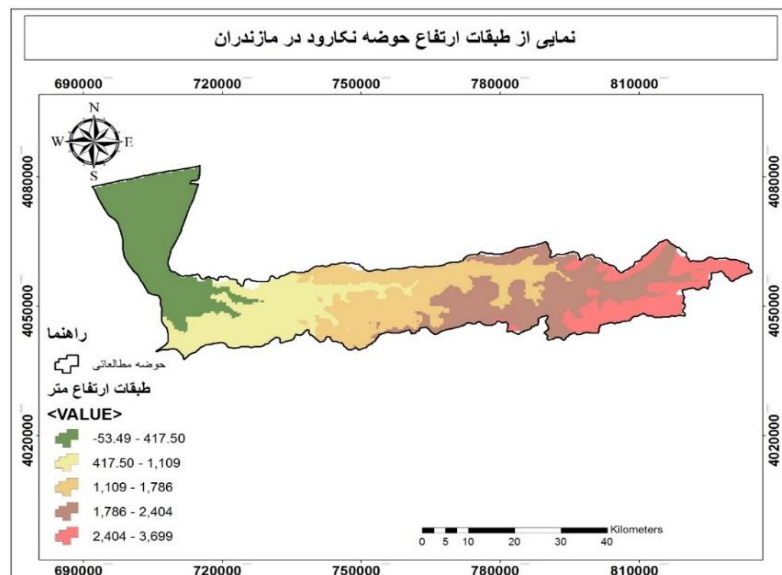
شکل ۳- تئوری کلاسیک و فازی مجموعه‌ها
Figure 3. Classical and fuzzy theory of sets

اصلی در خروجی‌های این سیستم‌ها می‌باشد. خروجی روش سوگنو عضو توابعی است که می‌تواند خطی و یا ثابت باشد، ولی در استنباط ممدانی انتظار داریم که خروجی، توابع عضویت مجموعه‌های فازی باشند. روش سوم دارای خروجی غیر فازی بوده (به فرم عدد صحیح، به‌عنوان مثال کلاس‌های مختلف برای آسیب‌پذیری) و نیازی به غیر فازی سازی ندارد (کانیز (۱۵)).

عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش

با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری، نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه آماده شد. محدوده مطالعاتی پژوهش دارای دامنه ارتفاعی ۵۳/۴۹ - تا ۳/۶۹ متر از سطح دریا است. بنابراین حوضه مطالعاتی هم از بخش جلگه‌ای و پست، هم از بخش مرتفع تشکیل گردیده است که در شکل ۴، نشان داده شده است.

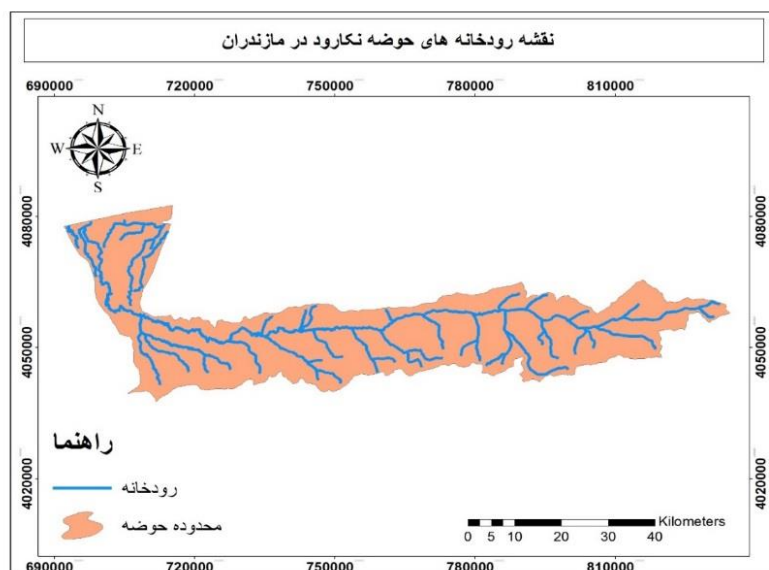
مقیاس معمولی برای استفاده در منطق فازی مقیاسی بین صفر و یک است، لیکن از آنجایی که طیف رنگ‌ها در کامپیوتر بیش از ۲۵۶ طیف نخواهد بود، می‌توان به جای مقیاس بین ۰ تا ۱ از مقیاس ۰ تا ۲۵۶ نیز استفاده نمود (۶). مرحله‌ی پردازش که به آن موتور استنباط نیز گفته می‌شود بر اساس مجموعه‌ای از قوانین فازی عمل می‌کند. هر سیستم فازی تعدادی قانون دارد که در پایگاه دانش آن ذخیره می‌گردد (۳۰). هر تابع زبانی نیز مطابق یک تابع عضویت می‌باشد. سه رویه عمده برای استنباط وجود دارد (کانیز (۱۵)). نوع اول مدل استنباط فازی ممدانی بوده که توسط آقای ابراهیم ممدانی در ۱۹۷۵ ارائه شد (۱۷). نوع دوم استنباط فازی، روش تاکاگی-سوگنو می‌شود که در ۱۹۸۵ ارائه شده است (۲۹). نوع سوم روش ساده شده می‌باشد که پس از دو روش اول ارائه گردید (۱۵). این سه روش در بسیاری از جنبه‌ها، مانند فازی سازی ورودی‌ها و عملگرهای فازی، یکسان می‌باشند. اما تفاوت



شکل ۴- نقشه طبقات ارتفاع حوضه مطالعاتی
Figure 4. Map of elevation classes of the study area

طول رودخانه‌ها و آبراهه‌های محدوده مطالعاتی تحقیق، ۱۶۰ کیلومتر می‌باشد. طول رودخانه نکارود در آن، ۱۹۲،۱۱ کیلومتر می‌باشد که در شکل ۵، مشاهده می‌گردد.

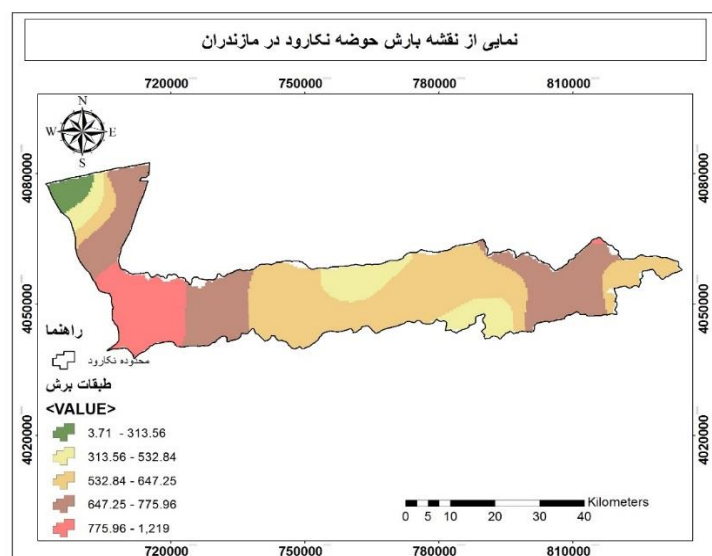
جهت تهیه نقشه آبراهه‌های محدوده مطالعاتی، از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور ویرایش سال ۱۳۹۰ استفاده شد و آبراهه‌ها و رودخانه‌ها از آن استخراج گردید.



شکل ۵- نقشه رودخانه‌های حوضه مطالعاتی
Figure 5. Map of rivers in the study area

ایستگاه‌های هواشناسی در بازه زمانی ۲۰ ساله از ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ که در حوضه مطالعاتی قرار دارد استفاده گردید که در شکل ۶ نشان داده شده است.

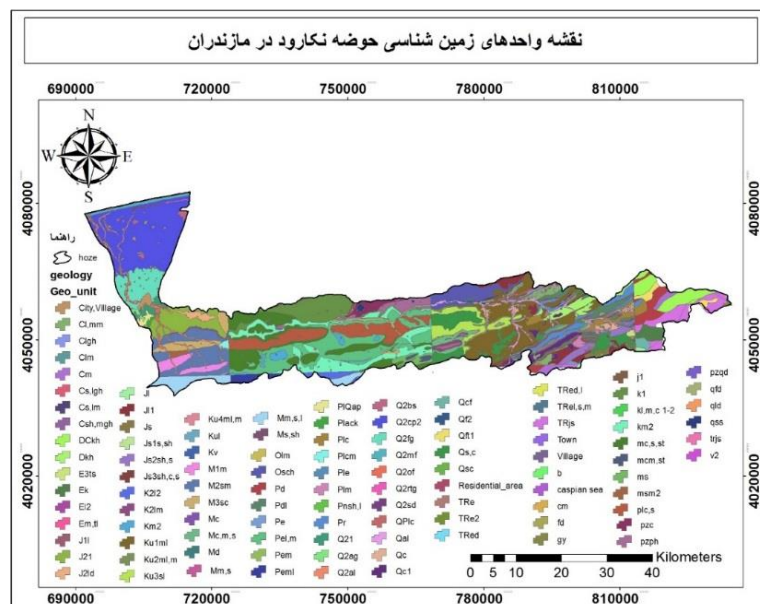
بارندگی یکی از عوامل مؤثر در ایجاد ناپایداری دامنه‌هاست. بیشترین تعداد گسیختگی دامنه‌ها پس از بارندگی‌های سنگین و یا ذوب برف در بهار و به علت نفوذ آب در شکاف‌ها صورت می‌گیرد (۲۶). جهت تهیه نقشه بارش، اطلاعات آماری



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی بارش حوضه مطالعاتی
Figure 6. Map of rivers in the study area

نقشه‌های سال ۱۳۷۹، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ دریافت شد. محدوده مطالعاتی تحقیق در نقشه‌های زمین‌شناسی ۷ شیت را در برمی‌گرفت که از این ۷ شیت محدوده برش زده شد.

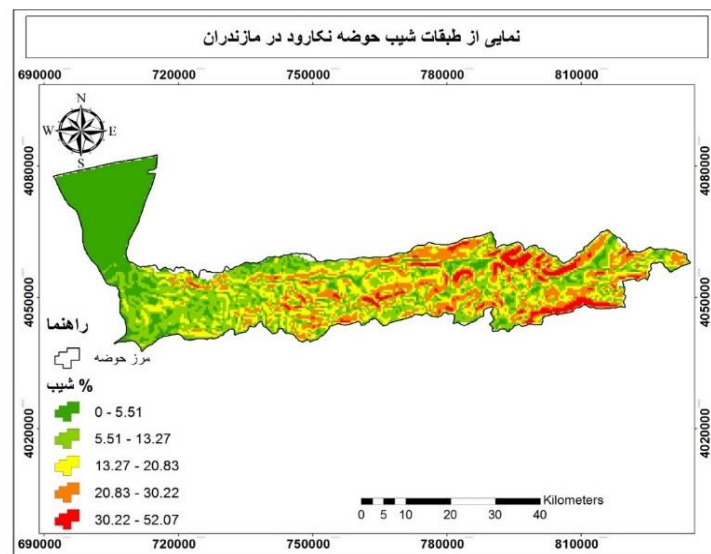
جنس سازندها نیز از پارامترهای مهم در وقوع زمین‌لغزش است. در سازندهای حساس وقوع زمین‌لغزش با سرعت بیشتری می‌باشد. در این مرحله لایه جی‌آی‌اس زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی از سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی



شکل ۷- نقشه واحدهای زمین‌شناسی حوضه مطالعاتی
Figure 7. Geological units map of the study area

حوضه مطالعاتی در قسمت شمالی حوضه و نواحی ساحلی مشاهده می‌گردد و نواحی پرشیب حوضه در قسمت‌های جنوبی، غربی و مرکز حوضه مشاهده می‌گردد که در شکل ۸، نشان داده است.

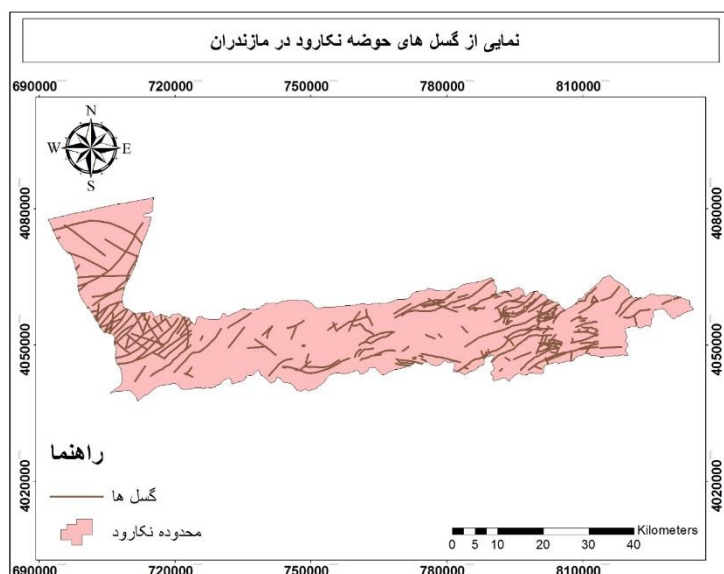
جهت شیب نشان دهنده تأثیر متفاوت میزان دریافت نور خورشید، بادهای گرم و خشک و میزان بارش در جهات مختلف است (سپهوند ۲۵). رده بندی جهت شیب با توجه به حضور عوامل مختلف در جهات مختلف شیب دامنه و تفاوت در روند گسترش دامنه ها صورت می‌گیرد. مناطق کم شیب



شکل ۸- نقشه درصد شیب حوضه مطالعاتی
Figure 8. Slope percentage map of the study area

گسل نیز می‌تواند به نوعی شروع لغزش در دامنه باشد (۲۱). گسل‌های حوضه مطالعاتی نیز، از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی استخراج گردید. در حوضه نکارود، گسل‌های زیادی وجود دارد و طول گسل‌های آن ۹۲۳/۸۸ کیلومتر می‌باشد که در شکل ۹، نشان داده شده است.

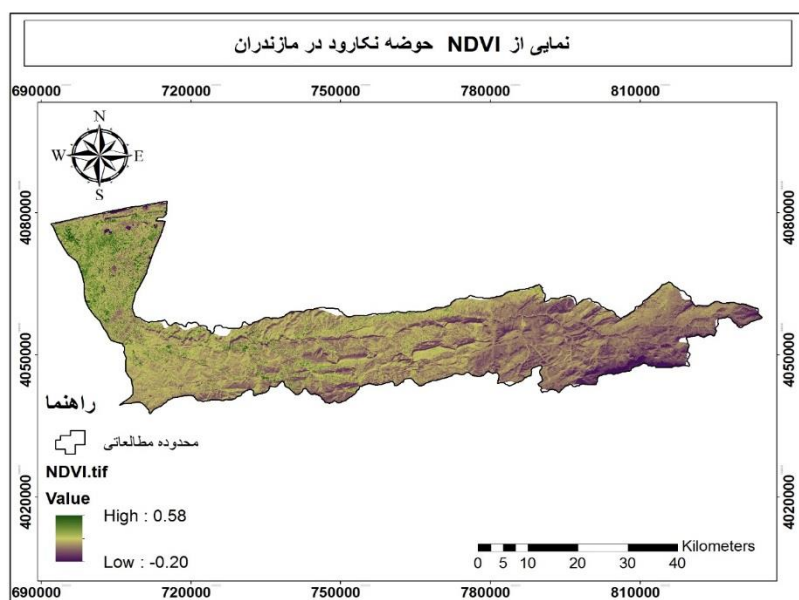
گسل‌ها در ایجاد و یا فعال‌سازی دوباره مناطق دارای پتانسیل لغزش نقش مؤثری دارند. خردشدگی و برشی شدن در مناطق گسلی، نفوذ آب از این مناطق به درون دامنه‌ها، پیدایش ناپیوستگی در پیرامون گسل و اختلاف فرسایش در دامنه‌ها از جمله اثراتی است که می‌توان به آن‌ها اشاره کرد. حرکت



شکل ۹- نقشه گسل های حوضه مطالعاتی
Figure 9. Fault map of the study area

بازتاب در طول موج قرمز تغییر نمی کند و بازتاب طول موج مادون قرمز نزدیک افزایش می یابد. این سبب می شود که مقدار NDVI آن تغییر نکند. در تحقیق حاضر جهت تهیه نقشه شاخص NDVI، با توجه به اینکه در ماهواره لندست ۸ باند ۴ باند قرمز و باند ۵، مادون قرمز استفاده و نقشه شاخص NDVI حاصل به صورت شکل ۱۰، به دست آمد.

جهت تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی نقشه، شاخص پوشش گیاهی NDVI در سال ۲۰۱۹ استفاده شده است. شاخص گیاهی نرمال شده است که مقدارش در پوشش های گیاهی مختلف در بازه $[-1]$ و $[1]$ قرار دارد. هرچه پوشش گیاهی متراکم تر باشد و کیفیت بالاتری داشته باشد مقدار شاخص NDVI بزرگ تر شده و به یک نزدیک تر می شود. در پوشش گیاهی بسیار متراکم با افزایش پوشش گیاهی، مقدار



شکل ۱۰- نقشه NDVI محدوده مطالعاتی
Figure 10. NDVI map of the study area

نیز با استفاده از تابع Euclidean Distance تبدیل به فرمت رستر گردید. همسان سازی اندازه پیکسل ها نیز در هنگام تبدیل به رستر انجام شد تا در هنگام استفاده از عملگرها و اعمال وزن ها خطای محاسباتی ایجاد نشود. سپس با استفاده از توابع عضویت فازی، ارزش گذاری معیارها در هر یک از

نتایج و بحث

پس از تعیین معیارها، در قالب لایه های اطلاعاتی آماده سازی شد. بدین ترتیب که سیستم مختصات آن ها یکسان گردید. در این بخش لایه های اطلاعاتی با استفاده از تابع polygon to raster و برای برخی لایه های اطلاعاتی

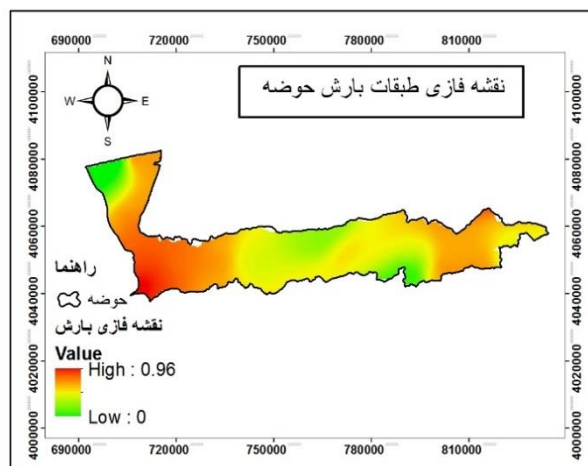
لایه‌ها به دست آورد که در جدول ۱، نشان داده شده است. نقشه‌های فازی شده در شکل‌های ۱۲ تا ۱۸ نشان داده شده است. ارزش‌گذاری جدول ۱ بر اساس نظرات کارشناسان و بررسی منابع و مقالات پیشین انجام پذیرفت.

لایه‌ها در فاصله‌ای بین ۰ تا ۱ انجام شد. جهت انجام عملیات ریاضی بر لایه‌های اطلاعاتی می‌بایست همگی در دامنه ارزشی برابر باشند و ارزش‌های پیکسلی مشابه در نقشه‌های مختلف یکسان شوند تا بتوان نتایج قابل قبولی از تلفیق

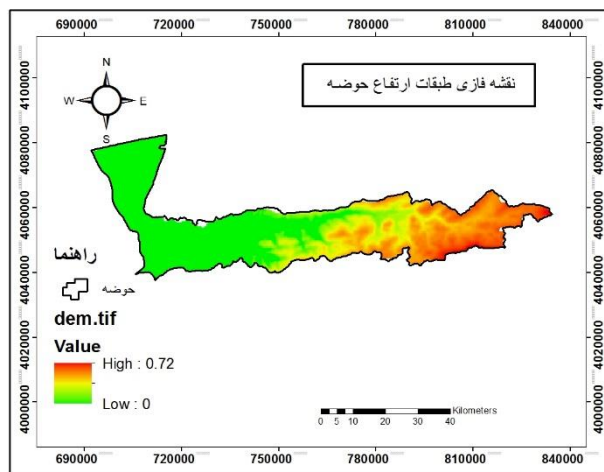
جدول ۱- ارزش‌گذاری معیارها بر مبنای نظر کارشناسان و بررسی ادبیات تحقیق

Table 1. Valuing criteria based on experts opinion and research literature review

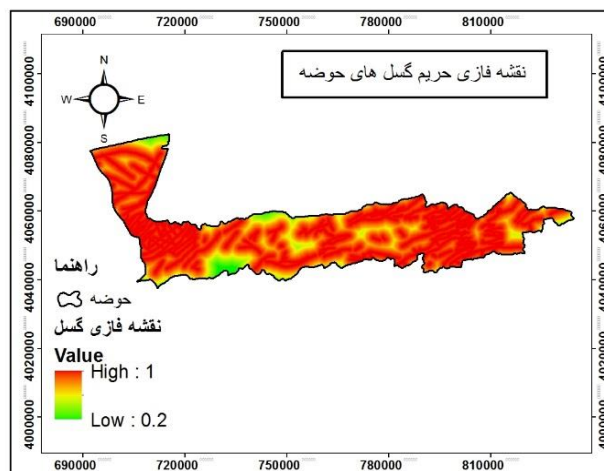
نام معیار	زیر معیار	حساسیت به زمین‌لغزش	نوع معیار
طبقات بارش (میلی‌متر)	۱۰۰ - ۳,۷۱	خیلی کم	هزینه
	۲۰۰ - ۱۰۰	خیلی کم	
	۳۰۰ - ۲۰۰	کم	
	۴۰۰ - ۳۰۰	کم	
	۵۰۰ - ۴۰۰	کم	
	۶۰۰ - ۵۰۰	متوسط	
	۷۰۰ - ۶۰۰	متوسط	
	۸۰۰ - ۷۰۰	زیاد	
	۹۰۰ - ۸۰۰	زیاد	
	۱,۲۱۹ - ۹۰۰	خیلی زیاد	
طبقات ارتفاع (متر)	۳۰۰ - -۵۲,۴۹	خیلی کم	هزینه
	۶۰۰ - ۳۰۰	خیلی کم	
	۹۰۰ - ۶۰۰	کم	
	۱,۲۰۰ - ۹۰۰	کم	
	۱,۵۰۰ - ۱,۲۰۰	متوسط	
	۱,۸۰۰ - ۱,۵۰۰	متوسط	
	۲,۱۰۰ - ۱,۸۰۰	زیاد	
	۲,۵۰۰ - ۲,۱۰۰	زیاد	
	۲,۸۰۰ - ۲,۵۰۰	خیلی زیاد	
	۳,۶۹۹ - ۲,۸۰۰	خیلی زیاد	
زمین‌شناسی	پهنه رسی، پهنه‌های متشکل از نمک و رس، ماسه‌سنگ، سیلتستون و گلسنگ و تناوب لایه‌هایی از زغال‌سنگ، مارن، مارن ژیس دار و سنگ آهک	خیلی کم	در سازندهای حساس هزینه است
	کنگلومرای پلی متالو ماسه‌سنگ، شیل تیره توف دار با میان لایه‌هایی از توف (عضو زیرین توف)، سنگ آهک ضخیم لایه آرزبلی با ترک‌های کرمی شکل، سنگ آهک توده‌ای- نازک لایه خاکستری روشن (سازند لار)	کم	در سازندهای حساس هزینه است
	سنگ آهک الیپی، سنگ آهک شیلی، دولومیت، سنگ آهک دولومیتی (سازند الیکا)، پریدوتیت شامل: هارزبورژیت، دونیت، لوزولیت و ویستریت	متوسط	در سازندهای حساس هزینه است
	دولومیت ضخیم لایه، تناوبی از دولومیت، سنگ آهک و شیل (سازند یاروت)	زیاد	در سازندهای حساس هزینه است
	آهک و مارن سفید توده‌ای ضخیم لایه، ذخایر تراسی، آبراهه‌ای، آهک کلازیک و بیومتریکی جلبیکی و متریک	خیلی زیاد	در سازندهای حساس هزینه است
NDVI (درصد)	تراکم خیلی زیاد	خیلی کم	سود
	تراکم زیاد	کم	
	تراکم متوسط	متوسط	
	تراکم کم	زیاد	
	تراکم خیلی کم	خیلی زیاد	
فاصله از رودخانه (متر)	۱۰۰۰-۰	خیلی زیاد	هزینه
	۲۰۰۰-۱۰۰۰	زیاد	
	۳۵۰۰-۲۰۰۰	متوسط	
	۵۰۰۰-۳۵۰۰	کم	
	۶۸۸۱-۵۰۰۰	خیلی کم	
فاصله از گسل (متر)	۱۰۰۰-۰	خیلی زیاد	هزینه
	۲۰۰۰-۱۰۰۰	زیاد	
	۴۰۰۰-۲۰۰۰	متوسط	
	۶۰۰۰-۴۰۰۰	کم	
	۸۱۰۱-۶۰۰۰	خیلی کم	
شیب (درصد)	۵-۰	خیلی کم	هزینه
	۱۰-۵	کم	
	۱۵-۱۰	متوسط	
	۲۰-۱۵	زیاد	
	۲۰ >	خیلی زیاد	



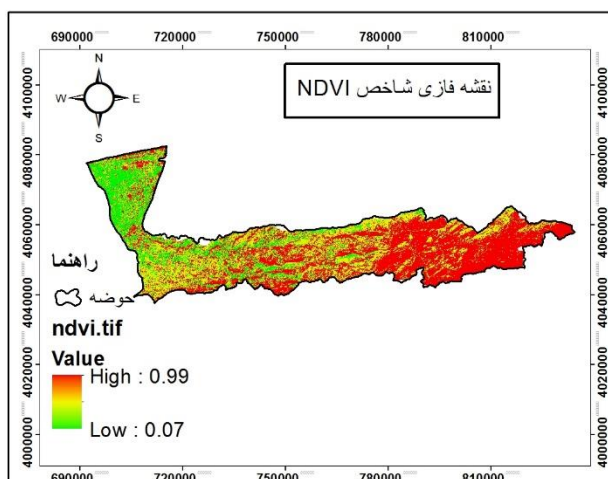
شکل ۱۲- نقشه فازی بارش محدوده مطالعاتی
Figure 12. Fuzzy precipitation map of the study area



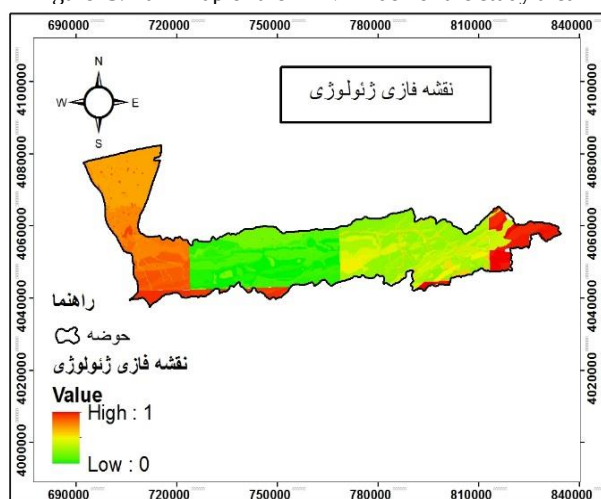
شکل ۱۳- نقشه فازی طبقات ارتفاع محدوده مطالعاتی
Figure 13. Fuzzy map of height classes of the study area



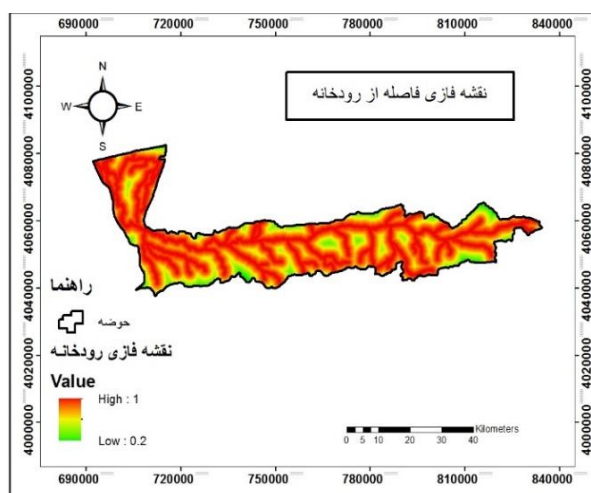
شکل ۱۴- نقشه فازی فاصله از گسل محدوده مطالعاتی
Figure 14. Fuzzy map of the distance from the fault of the study area



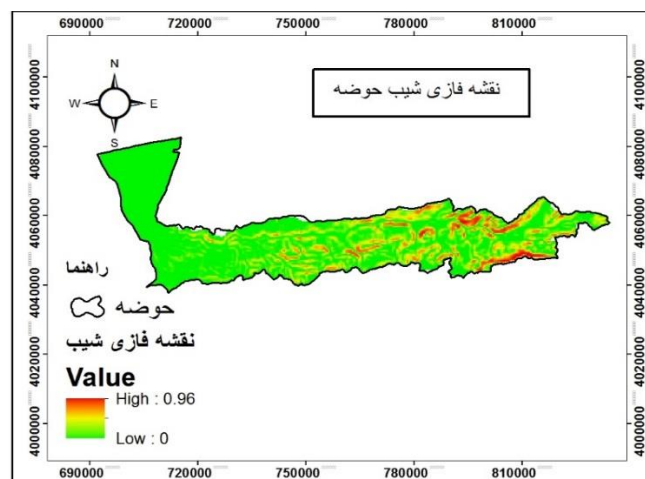
شکل ۱۵- نقشه فازی شاخص NDVI محدوده مطالعاتی
Figure15. Fuzz map of the NDVI index of the study area



شکل ۱۶- نقشه فازی ژئولوژی محدوده مطالعاتی
Figure16. Geological fuzzy map of the study area

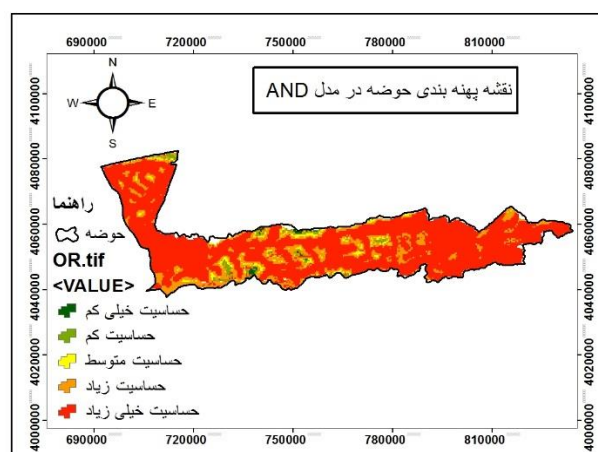


شکل ۱۷- نقشه فازی فاصله از رودخانه محدوده مطالعاتی
Figure17. Fuzzy map of the distance from the study area river

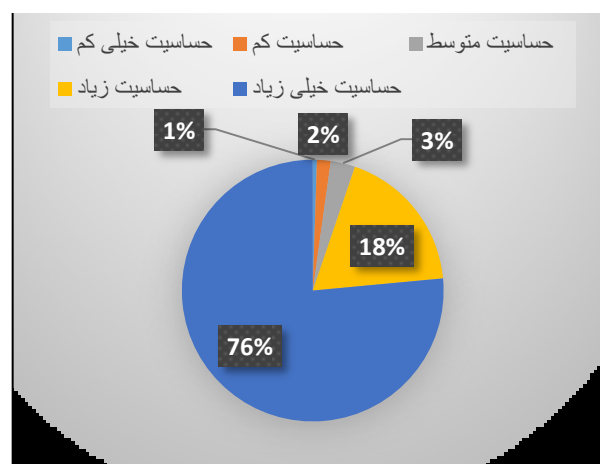


شکل ۱۸- نقشه فازی شیب محدوده مطالعاتی
Figure 18. Fuzzy slope map of the study area

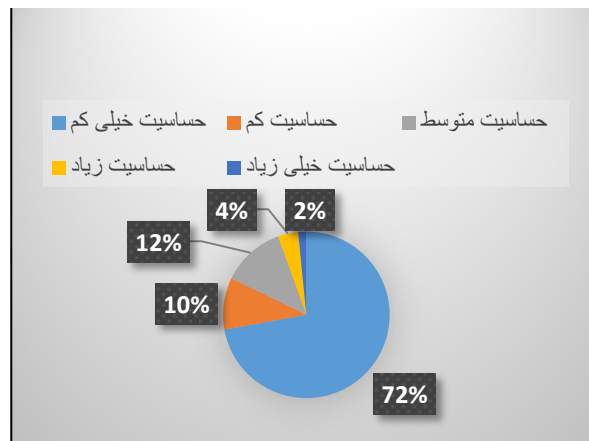
در نهایت نقشه‌ها با استفاده از عملگرهای فازی AND، OR و GAMA با یکدیگر همپوشانی شدند تا پهنه‌های مناسب و نامناسب وقوع زمین لغزش شناسایی گردد که در شکل‌های ۱۹، ۲۰ و ۲۱ نشان داده شده است.



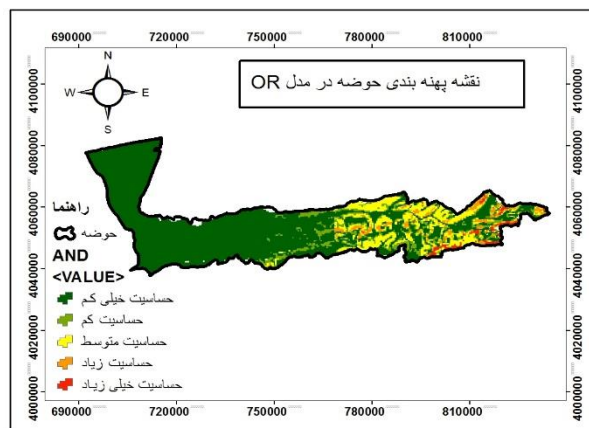
شکل ۱۹- نقشه پهنه‌بندی نهایی مدل AND فازی
Figure 19. The final zoning map of the fuzzy AND model



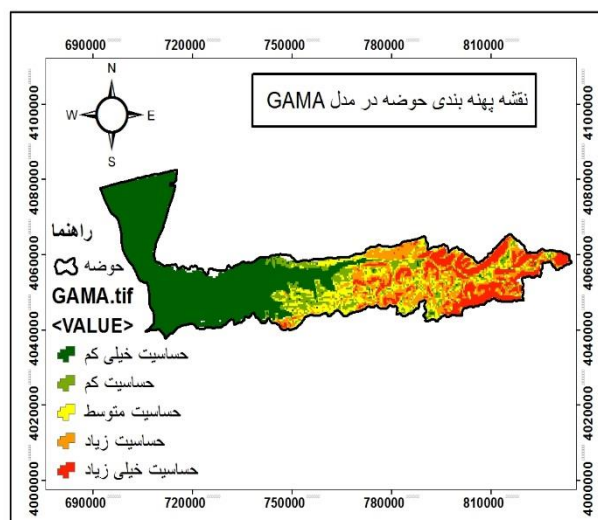
شکل ۲۰- مساحت کلاس‌های نقشه مدل AND در منطقه مورد مطالعه
Figure 20. The area of model AND map classes in the study area



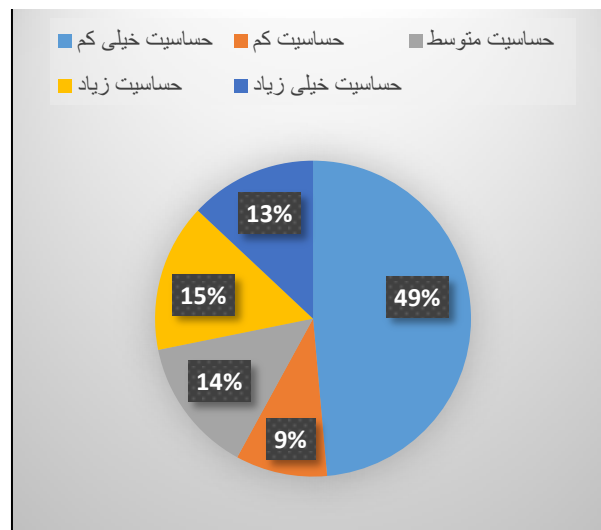
شکل ۲۱- مساحت کلاس‌های نقشه مدل OR در منطقه مورد مطالعه
Figure 21. The area of model OR map classes in the study area



شکل ۲۲- نقشه پهنه‌بندی حوضه در مدل OR
Figure 22. Basin zoning map in model OR



شکل ۲۳- نقشه پهنه‌بندی نهایی مدل OR فازی
Figure 23. The final zoning map of the fuzzy OR model



شکل ۲۴- مساحت کلاس‌های نقشه مدل GAMA در منطقه مورد مطالعه
Figure 24. The area of GAMA model map classes in the study area

نتیجه‌گیری کلی

۱۰، ۲ درصد در مناطق با خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. بنابراین بیشترین مساحت در این مدل پهنه‌بندی در طبقه خیلی کم قرار دارد و این منطق به دلیل اجتماع‌گیری بین معیارها مناطق بسیاری را بدون خطر می‌داند که در غرب و مرکز حوضه قرار دارد و تنها بخش بسیار کوچکی از مرکز منطقه مطالعاتی با خطر بسیار زیاد در شرق حوضه تشخیص داده شده است. و در نهایت مدل پهنه‌بندی عملگر GAMA، به ترتیب ۹، ۱۴، ۱۵، ۱۳ درصد در طبقات خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد قرار داشته‌اند و طبقه خطر خیلی کم قسمت اعظم منطقه مطالعاتی را پوشانده است. در این پهنه‌بندی بیشترین مناطق آسیب‌پذیر، در قسمت شرق حوضه مطالعاتی واقع گردیده‌اند و تطابق بیشتری با واقعیت دارد. نتایج تحقیق با نتایج تحقیقات حسنی (۹)، که بیان کرد استفاده از داده‌های درست و روش‌های مناسب یکی از بهترین گزینه‌ها در شناسایی مناطق خطرپذیر است. GIS و RS در زمره ابزارهای قوی در زمینه پهنه‌بندی زمین لغزش است که در این تحقیق استفاده شده است. همچنین با تحقیقات کوه پیمای و فیض‌نیا (۱۶)، جیو و و همکاران (۸)، رکتی و همکاران (۲۲)، که همگی از معیارهای مختلف و فن‌آوری RS و GIS در پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زمین لغزش استفاده کردند و آن را ابزاری مفید و قوی در این زمینه دانستند مطابقت داشت.

در این تحقیق تلاش شد که مدلی بر اساس تحلیل فضایی برای بررسی میزان آسیب‌پذیری زمین لغزش در حوضه نکارود ارائه شود و با شناسایی مناطق آسیب‌پذیر، تمهیدات لازم پس از وقوع زمین لغزش اندیشیده شود که بتواند معیاری برای میزان خطرپذیری ناشی از زمین لغزش در منطقه باشد. سیستم GIS با داشتن قابلیت‌هایی نظیر دریافت داده، آنالیز، بازیابی، تجزیه و تحلیل، به روز سازی و نمایش اطلاعات مکانی، کاربردهای زیادی در زمینه سنجش آسیب‌پذیری زمین لغزش دارد که از این قابلیت‌ها برای مدل‌سازی و هدف استفاده شده است. مهم‌ترین شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل: طبقات بارش، طبقات ارتفاع، زمین‌شناسی، NDVI، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، شیب پس از بررسی ادبیات تحقیق و نظرات کارشناسان مشخص گردید. در نقشه‌های پهنه‌بندی استنتاج فازی عملگر AND، ۱ درصد در طبقه خطر خیلی کم، ۲ درصد در طبقه خطر کم، ۳ درصد در طبقه خطر متوسط، ۱۸ درصد در پهنه خطر زیاد و ۷۶ درصد در پهنه خطر خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. منطق AND به دلیل اشتراک‌گیری بین معیارها، مناطق زیادی را در معرض خیلی زیاد پهنه‌بندی نموده و ۸۰ درصد از حوضه را با ریسک بالا تشخیص داده است. مناطق پرخطر در این مدل در کل حوضه قرار گرفته‌اند. در مدل پهنه‌بندی OR، به ترتیب ۷۲، ۱۲، ۴،

منابع

- Avand, M.T., S. Janizadeh and F. Jafari. 2020. Evaluation of the efficiency of machine learning models in preparing the map of flood risk. Destruction and rehabilitation of natural lands, first year, No. (1): 19-32 pp (In Persian).
- Ahmadi, H., A. Esmaeeli. S. Feiznia and M. Jafari. 2003. Zonation mass movements using Multivariate Regression (MR) and Analytical Hierarchy Process AHP (case study: Garmchay basin). Iranian journal of Natural Resources, 4: 24- 34 (In Persian).
- Bernardinis, Larry. 1993. Clear Thinking on Fuzzy Logic. Machine Design, Vol. 64: No (8) 46-52.
- Bullard, G.K., R.P. Mulligan, A. Carreira and W.A. Take. 2019. Experimental analysis of tsunamis generated by the impact of landslides with high mobility. Coastal Engineering, 152: 103538. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103538>.

5. Duman, T.Y., T. Can, C. Gokceoglu, H.A. Nefeslioglu and H. Sonmez. 2006. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area. *Environmental Geology*, 51: 241-256.
6. Eastman, J.R. 1997. IDRISI for windows user's guide. Version 2.0, Clark labs for cartographic technology and Geographic Analysis, Clark University.
7. Ebrahimi Moghadam, F. and A. Abbasnejad. 2015. Landslide risk assessment and zoning in Kerman province with fuzzy and AHP models. *Journal of Environmental Geology*, 10(37): 25-44 (In Persian).
8. Guo, Xing-sen., N. Ting-kai. F.W. Wang and U. Zheng. 2019. Landslides impact reduction effect by using honeycomb-hole submarine pipeline. *Ocean Engineering* 187, 10:61-55.
9. Hassani, H. 2008. New methods of trench management in roads and railways. *Jihad Daneshgahi Publications, Amirkabir Industrial Branch*, 184 p (In Persian).
10. Hassanzadeh Nafuti, M. 2000. Landslide risk zoning in Shalmanroud watershed (case study: Gilan province). Master of degree thesis in watershed field, Tehran University (In Persian).
11. Hosseini, S.A., E. Arabian, R. Ghorbani, S. Amoshahi and W. Tahmasebi. 2019. Landslide risk zoning using multi-criteria spatial evaluation (SMCE) method (Case study: Frieden watershed). *Environmental Science and Technology*, Volume 21, Number Four, 80-90 pp (In Persian).
12. Islah, M., S. Malekzadeh Bafghi, A. Hassanabadi and P. Ebrahimi. 2015. Landslide risk assessment and zoning using SMCE method (Case study: Koohrang watershed, Chaharmahal and Bakhtiari). *National Geomatics Conference, Islamic Azad University*, Volume 23 (In Persian).
13. Kainz, W. 2010. Introduction to Fuzzy Logic and Applications in GIS. *Cartography and Geoinformation Department of Geography and Regional Research. University of Vienna, University ätsstrasse*.
14. Kamranzad, F., E. Mohsel Afshar, M. Mojreb and H. Memarian. 2015. Landslide risk zoning in Tehran province using data-driven methods and hierarchical analysis. *Earth Sciences*, 97: 101-114 pp (In Persian).
15. Khazai, B. and N. Sitar. 2004. Evaluation of Factors Controlling Earthquake-Induced Landslides Caused by Chi-Chi Earthquake and Comparison with the Northridge and Loma Prieta Events. *Engineering Geology*, 71(1-2): 79-95.
16. Kuh-e Pima, A and S. Feyznia. 2018. Investigation of factors affecting landslides and zoning of its sensitivity in Latian watershed. *Rangeland and Watershed Management*, 71 (4): 1073-1083 (In Persian).
17. Lotfali Askar, Z. 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8: 338-353.
18. Lotfali Askar, Z. 1973. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 3(1): 28-44.
19. Mamdani, E. H and S. Assilian. 1975. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1): 1-13 pp.
20. Martino, S., F. Bozzano and P. Caporossi. 2019. Impact of landslides on transportation routes during the 2016–2017 Central Italy seismic sequence. *Landslides*, (16): 1221-1241.
21. Mir Sanei, R.V. and R. Kardan. 2000. Analytical approach to the features landslide Country. *Proceedings of First Conference on Environmental Engineering Geology of Iran*. First edition, Tarbiat Moallem University, Tehran.
22. Mohammadi, M. and H. Noor. 2019. Landslide sensitivity zoning using a new hybrid method in the GIS environment. *Environmental Science and Technology*, (91): 135-146 pp (In Persian).
23. Rakaei, B., M. Khamechian, P. Abdul Maleki and P. Giahchi. 2007. Application of artificial neural network system in landslide risk zoning (Case study: Sefidar herd area in Semnan province). *Journal of Science, University of Tehran*, 33(1): 57-64 pp (In Persian).
24. Roccati, A., G. Paliaga, F. Luino, F. Faccini and L. Turconi. 2020. Rainfall Threshold for Shallow Landslides Initiation and Analysis of Long-Term Rainfall Trends in a Mediterranean Area. *Atmosphere*, 11-12.
25. Roy, A. 1999. A Comparison of Rough Sets. *Fuzzy sets and Non-monotonic Logic*, Staffordshire, University of Keele.
26. Salehi, M., M. Safamehr, M. Nasri and H. Bour. 2016. Impact of landslide on road safety and rural areas in Iran and their stabilization strategies (Case study: Landslides of Naghan-Karun 4 axis). *Housing and Rural Environment*, 36(158): 77-88 pp (In Persian).
27. Sepahvand, A. R. 2010. Landslide Hazard Zoning Using Artificial Neural Network in a Part of Haraz Watershed, M.Sc. Thesis. Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University (In Persian).
28. Shadfar, P and M. Yamani. 2007. Landslide risk zoning in Jalsan watershed using LNRF model. *Geographical Research*. (62):11-23 (In Persian).
29. Sidle, R.C and H. Ochiai. 2006. Landslides: Processes Prediction and Land use Water Resource Monograph. AGU books, ISSN: 0170-9600.
30. Skrzypczak, I., W. Kokoszka and J. Kogut. 2017. The impact of landslides on local infrastructure and the environment. in Proc of 10th International Conference "Environmental Engineering", Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania, 27-28 pp.

31. Takagi, T and M. Sugeno.1985. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 116-132 pp.
32. Wang, L., M. Tashneh Lab and D. Nima Saffarpour.1999. "Fuzzy Systems and Fuzzy Control" Publications, Opium. Khajeh Nasreddin Tusi University of Technology, 1999.
33. Yager, R.1980. "On a general class of fuzzy connectives", Fuzzy sets and systems, 235-242 pp.
34. Yin, Y., F. Wang and P. Sun. 2009. Landslide Hazards Triggered by the 2008 Wenchuan Earthquake, Sichuan, China, Landslides, 6(2): 139-151.

Landslide Risk Zoning in the Nekarood Watershed using Fuzzy Logic and Remote Sensing

Behnaz Saraei¹ and Sayad Asghari Saraskanroud²

1- Ph.D. student of Geomorphology, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran,
(Corresponding author: saraei.behnaz@gmail.com)

2- Associate Professor of Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
Received: 11 October, 2021 Accepted: 12 November, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: Natural crises such as landslides are capable of inflicting irreparable damage on humans and the environment. Therefore, risk assessment is critical in order to properly manage and reduce damage. Risk assessment is characterized by the process of estimating the probability of an event occurring and the significance or severity of its adverse effects. The aim of the present study is landslide risk zoning in Nekarud watershed using fuzzy logic and remote sensing.

Material and Methods: The most important indicators used in the research include: precipitation classes, altitude classes, geology, NDVI, distance from the river, distance from the fault, slope were identified after reviewing the research literature and expert opinions.

Results: In the AND operator fuzzy inference zoning maps, 1% are in the very low risk category, 2% in the low risk category, 3% in the medium risk zone, 18% in the high risk zone, and 76% in the very high risk zone. The logic of AND, because of the sharing between the criteria, has zoned many highly exposed areas and identified 80% of the basin as high risk. High-risk areas in this model are located in the whole basin. In the OR zoning model, 72, 12.4, 10, 2% are located in very low, low, medium, high and very high risk areas, respectively. Therefore, most of the area in this zoning model is in a very low class, and this logic considers many areas as safe due to the aggregation between criteria, which are located in the west and center of the basin, and only a very small part of the center of the study area is very risky. Highly detected in the eastern basin. Finally, the GAMA operator zoning model was 49%, 9%, 14%, 15%, 13%, respectively, in the very low, low, medium, high, very high risk classes, and the very low risk class covered most of the study area.

Conclusion: In this zoning, most of the vulnerable areas are located in the eastern part of the study basin and are more in line with reality. As the results of the present research showed, the use of RS and GIS technology is a useful and powerful tool in the field of zoning and landslide risk assessment.

Keywords: Fuzzy logic, Landslide, Nekarud basin, Vulnerability