



"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 سراسکانیرو^۲

(sarai.behnaz@gmail.com)

۲- دانشیار دانشگاه حقوق اردبیل، اردبیل، ایران

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

صفحه: ۵۷ تا ۶۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: پحرانه‌های طبیعی همچون زمین‌لغزش قادر به تحمل خسارات جبران‌نایزی به انسان و محیط هستند. ازین‌رو ارزیابی ریسک بهمنظور مدیریت مناسب و کاهش خسارت، حیاتی است. ارزیابی ریسک با فرآیند برآورد احتمال وقوع یک رویداد و اهمیت یا شدت اثرات زیان آور آن مشخص می‌شود. هدف از پژوهش، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش 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، شبی 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 بدليل 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 ۲۰، ۱۲، ۴، ۷۲ 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 به‌دلیل 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 سیار زیاد در شرق حوضه تشخیص داده شده است. و در نهایت مدل پهنه‌بندی عملگر GAMA، به ترتیب ۱۳، ۱۵، ۱۴، ۹، ۴۹ خطر خیلی کم قرار گرفته‌اند. طبقه خطر خیلی کم قسمت اعظم منطقه مطالعاتی را پوشانده است.

نتیجه گیری: 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 زمین‌لغزش داشت.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، زمین‌لغزش، منطق فازی، حوضه نکارود

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

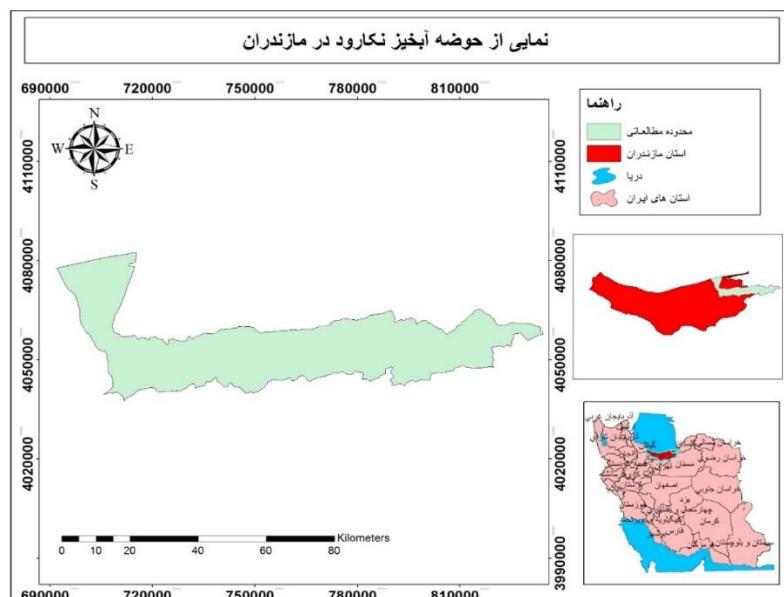
مقدمه
زمین‌لغزش نوعی حرکت توده‌ای است که در اثر عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی و یا هر دو این عوامل در مناطق شبی‌دار به وجود می‌آید و طی آن حجم زیادی از مواد تشکیل‌دهنده‌ی دامنه به سمت پایین جابه‌جا می‌شود. تلفات انسانی، تخریب اراضی کشاورزی، باغ‌ها، سازه‌های مهندسی و راه‌های ارتباطی و هدر رفت سریع خاک از آثار زمین‌لغزش‌ها به شمار می‌رond. با توجه به وسعت خسارات ذکر شده، می‌توان به صراحت بیان نمود که هزینه بررسی و مطالعه چنین پدیده‌ای برای شناخت و برنامه‌ریزی بهتر به‌منظور پیشگیری یا کاهش خسارات ناشی از آن به مراتب کمتر از خسارات آن است. بنابراین شناخت عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و تشخیص مناطق مختلف از نظر حساسیت به وقوع آن یکی از مهم‌ترین و ضروری‌ترین اقدامات برای جلوگیری یا کاهش خدمات زمین‌لغزش به شمار می‌رود (۱۰). بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که تا اوایل سال ۱۳۷۸ حدود ۲۵۹۰ زمین‌لغزش در کشور اتفاق افتاده که سبب مرگ ۱۶۲ نفر، تخریب ۱۷۶ باب خانه، خسارت مالی بهمبلغ 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 نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش، می‌توان

حفره‌های لانه زنبوری را پيشنهاد دادند. بيلار و همكاران (۴)، در مطالعه با عنوان تجزيه و تحليل تجربى سونامي ناشی از برخورد زمين‌لغزش با تحرك بالا، با ايجاد يك سري امواج آزمایشگاهی به برسی هدف خود پرداختند. ركتى و همكاران (۲۲)، هم شرابط بارندگى برای وقوع زمين‌لغزش‌های کم عمق و هم روندهای بارندگی در ارتفاع بور توفينو، که در دریاچه ليکوريما گسترش می‌يابد، جايی که بارندگى شديد و اثرات زمينی مرتبط اغلب رخ می‌دهد را موربررسی قرار دارند. با توجه به مطالب مطرح شده و لزوم برسی خطر زمين‌لغزش و تبعات ناشی از آن که به تخريب اراضي و خطرات انساني منجر می‌شود در اين پژوهش به پهنه‌بندي خطر زمين‌لغزش در حوضه آبخيز نكارود با استفاده از منطق فازی و سنجش از راه دور پرداخته شد. هدف از پژوهش برسی کاريبي سنجش از دور و جي آي اس در پهنه‌بندي خطر زمين‌لغزش می‌باشد.

مواد و روش‌ها معرفی محدوده مطالعاتی

حوضه انتخابي تحقیق، حوضه نکارود می‌باشد که در استان مازندران، واقع گردیده است. رودخانه نکارود از شاه کوه البرز در گرگان سرچشمه می‌گيرد. اين حوضه از چندين رودخانه کوچک و بزرگ تشکيل شده که دره اصلی آن برخلاف اکثر رودخانه‌های استان روند شرقی- غربی دارد. اين روند در نزدیک شهر نکا با چرخش ۹۰ درجه روند شمالی - جنوبی پیداکرده و شهر نکا نيز بر روی مخروط افکنه آن واقع شده است. اين حوضه يكی از حوضه‌های کوهستانی شمال کشور است که با مساحت ۲۲۵۷,۹۴ کيلومترمربع، بين مختصات جغرافیابي ۳۳ درجه و ۶ دقيقه تا ۵۳ درجه و ۲۰ دقيقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۷ دقيقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقيقه عرض شمالی واقع شده است (سازمان نقشه‌برداری) (۱۰). شكل عمومي حوضه کشیده است و امتداد شرقی- غربی دارد. در شكل ۱، نمایی از حوضه مطالعاتي مشاهده می‌گردد.

صالحي و همكاران (۲۴)، به بررسی اثرات زمين‌لغزش‌های رخ داده در استان چهارمحال و بختيارى و آناليز آمارى آنها پرداختند و به اين نتيجه رسيدند که ايجاد شبکه‌های زهکشي پنهان‌رين راه حل بهمنظر ثبت زمين‌لغزش‌های مورد نظر می‌باشند. كامران زاد و همكاران، با استفاده از روش‌های تحليل آمارى (داده محور) و قضاوتوت كارشناسى (تحليل سلسنه مراتبي) به تعين ميزان خطر و تهيه نقشه پهنه‌بندي در محدوده استان تهران پرداختند (۴). ابراهيمى مقدم و عباس‌نژاد (۷)، به پهنه‌بندي خطر زمين‌لغزش استان كرمان با مدل‌های فازى، اى اچ بى و تكنيك جي آى اس پرداختند و به اين نتيجه رسيدند که عملگر گامای فازى با لاندای ۰/۷ نسبت به ساير روش‌های ارائه شده داراي شده مطلوبت بهترى در پهنه‌بندي لغزش استان كرمان داشت. كوهپيماء و فضي نيا (۱۶)، به دنبال پهنه‌بندي حساسيت زمين‌لغزش با استفاده از روش فاصله‌ي ماها‌انوبيس در حوزه‌لييان مطالعه‌اي را انجام دادند. حسيني و همكاران (۱۱)، هدف مطالعه خود را كمک به کاهش خطرات ناشی از زمين‌لغزش و پشتيبانی از سياست‌های توسعه‌ي اراضي در مقیاس حوضه‌ي آبخيز بیان کردن. آوند و همكاران، به ارزیابي کاريبي مدل‌های يادگيري ماشین در تهيه نقشه احتمال خطر سيل پرداختند (۱). محمدى و نور، هدف مطالعه خود را تهيه نقشه حساسيت زمين‌لغزش با استفاده از مدل تلفيقی فرايابد تحليل سلسنه مراتبي-تراكم سطح در محيط جي آى اس، در بخشی از حوزه آبخيز هراز ابراز داشتند (۲۰). اسکرزى پزاک (۲۸)، در پژوهش خود به بررسی علل رانش زمين، طبقه‌بندي رانش زمين، چندين نمونه از رانش زمين و آسيب‌های ناشی از رانش زمين پرداختند. مارتينو و همكاران (۱۸)، با هدف بررسی تأثير زمين‌لغزش بر روی مسیرهای حمل و نقل در طول زلزله‌شناسي ۲۰۱۷-۲۰۱۶ ايتاليا مرکزی مطالعه‌اي را انجام دادند. جيو و همكاران (۸)، در مطالعه‌اي با عنوان اثر كاهش لغزش زمين با استفاده از خط لوله زيردریابي لانه زنبوری، يك خط لوله زيردریابي با



شکل ۱- نمایی از محدوده مطالعاتی
Figure 1. A view of the study area



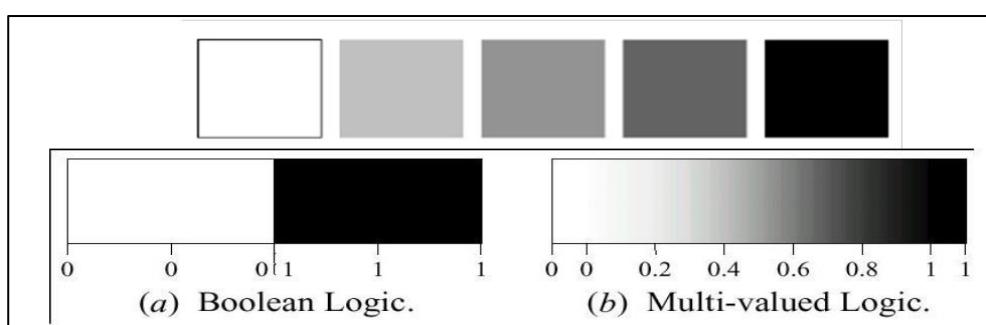
شکل ۲- نمایی از محدوده مطالعاتی در تصاویر Google earth
Figure 2. A view of the study area in pictures Google earth

شاید بتوان ادعا کرد که دو مورد (۵) و (۶) جزو اساسی ترین ویژگی های تئوری فازی می باشند. قابلیت مدل کردن توصیفات کیفی باعث شده است تا تئوری فازی به شکل گسترهای مورداستفاده قرار گیرد. چرا که همین توصیفات کیفی، مبنای ارتباط و اظهارنظر بشر می باشد (۳۴). بر این اساس، تصور می شود که بتوان از تئوری فازی در بحث ارزیابی ریسکها نیز استفاده کرد؛ چراکه اکثر پارامترهای مورداستفاده در گزارش های ارزیابی ریسکها و خسارات آن ها، به شکل کیفی بیان می شود. در تئوری کلاسیک مجموعه ها یک عنصر یا عضو مجموعه است یا نیست (صفر و یک). تئوری مجموعه های فازی این مفهوم را گسترش داده و عضویت درجه بندی شده را مطرح می کند. به این ترتیب که یک عنصر می تواند تا درجه تی، و نه کاملاً، عضو یک مجموعه باشد. به بیار، دیگر یک مجموعه فازی، مجموعه ای از المان ها با ویژگی های مشابه است که در آن، مجموعه درجه ای 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 می شود.

$$\text{رابطه } (1) \quad A = \{\mu_X(X)\}$$

در رابطه فوق X عضوی از مجموعه مرجع و A(X) درجه در مجموعه فازی A می باشد.

روش تحقیق
روش پژوهش، از نظر هدف کاربردی و از نظر نحوه انجام کار، تحلیلی مکانی است. داده های تحقیق، از نقشه های طرح های جامع و تفصیلی شهر، نقشه های وضع موجود، به دست آمد. به منظور تحلیل داده ها از نرم افزارهای آرک جی آی اس برای برداش، لایه ها، از اتوکد برای آماده سازی داده ها استفاده شد. جهت استانداردسازی و همسان سازی شاخص های انتخابی تحقیق از توابع عضویت فازی و جهت همپوشانی از منطق فازی استفاده شد. منطق فازی را برای اولین بار لطفعلی، زاده معرفی کرد (۳۴، ۳۳). یک مجموعه فازی مجموعه ای بدون مرز دقیق، یا تعريف مشخص است که شامل عناصری با درجه هی جزئی از عضویت است بر این دنبیز (۳). منطق فازی ویژگی های منحصر به فردی را ارائه می دهد که آن را به منزله روشنی مناسب برای مواجهه با عدم قطعیت مشخص می سازد (۲۳). در سال ۱۹۶۵، با مطرح شدن تئوری فازی حوزه ای جدید در علم ریاضیات گشوده شد که بسیار بحث برانگیز بود. واژه فازی در لغت به معنای «میهمان، گنگ، نادقيق، مشوش»، درهم و ناشخص» می باشد. گرچه تئوری فازی به منظور مدل کردن پدیده های غیرخطی و نامشخص به کار می رود، ولی خود تئوری فازی، یک تئوری کاملاً دقیق می باشد. به کمک این تئوری منطق انسانی، و زبان طبیعت وارد ریاضیات می گردد (۳۴، ۳۳). علم فازی ابزار مناسب، است که هم به عنوان، یک روش، تصمیم گیری در حل مسائل به کار برده می شود و هم اینکه عدم قطعیت ها و گنگی ها را مدل سازی می نماید (۳۰).



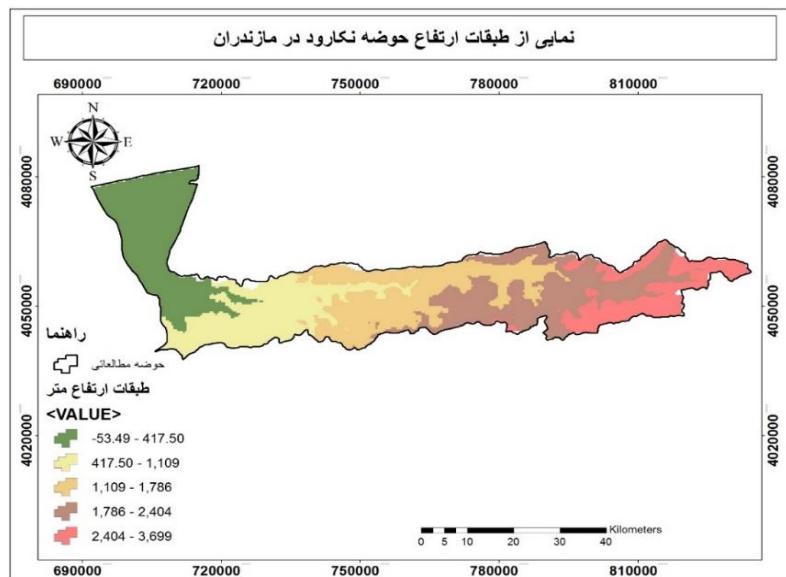
شکل ۳- تئوری کلاسیک و فازی مجموعه ها
Figure 3. Classical and fuzzy theory of sets

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

عوامل مؤثر بر موقعیت زمین‌لغزش

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

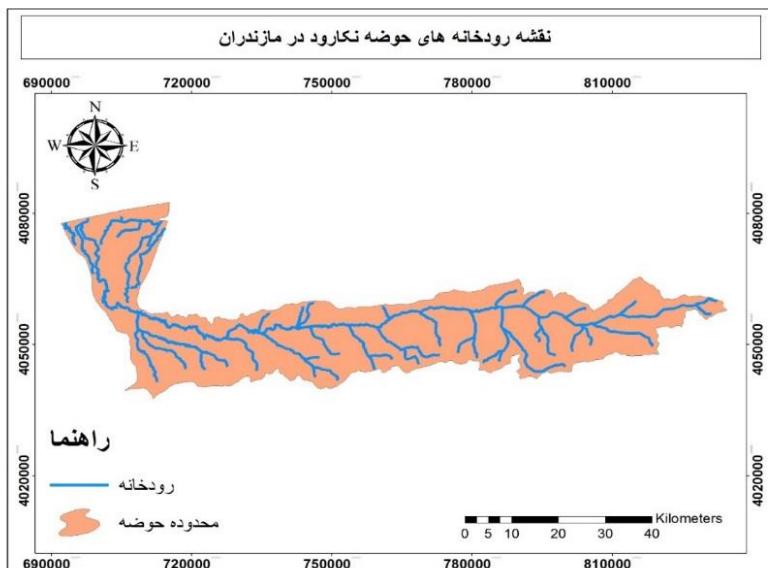
مقیاس معمولی برای استفاده در منطقه فازی مقیاسی بین صفر و یک است، لیکن از آنجایی که طیف رنگ‌ها در کامپیوتر بیش از ۲۵۶ طیف نخواهد بود، می‌توان به جای مقیاس بین ۰ تا ۱ از مقیاس ۰ تا ۲۵۶ نیز استفاده نمود (۶). مرحله‌ی پردازش که به آن موتور استنباط نیز گفته می‌شود بر اساس مجموعه‌ای از قوانین فازی عمل می‌کند. 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 ممداً بوده که توسط آقای ابراهیم ممداً 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 و رودی‌ها 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.

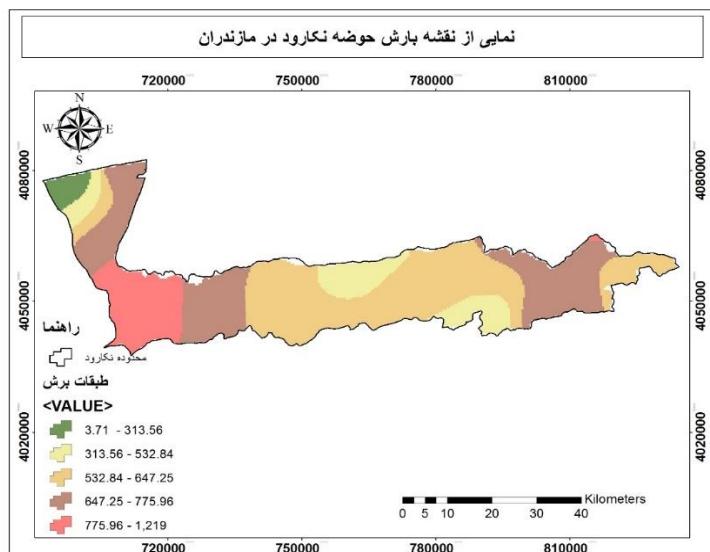
جهت تهیه نقشه آبراهه‌های محدوده مطالعاتی، از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور ویرایش سال ۱۳۹۰ استفاده شد و آبراهه‌ها و رودخانه‌ها از آن استخراج گردید.



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

ایستگاه های هواشناسی در بازه زمانی ۲۰ ساله از ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ که در حوضه مطالعاتی قرار دارد استفاده گردید که در شکل عرض نشان داده است.

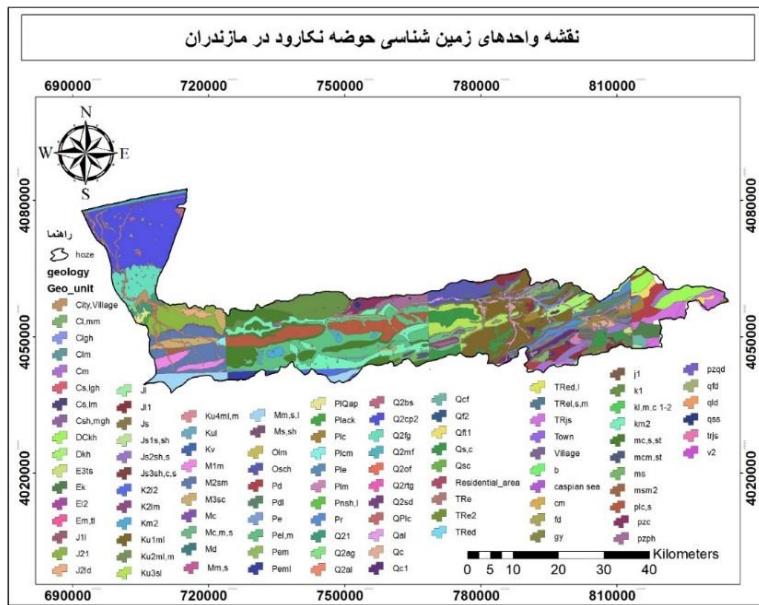
بارندگی یکی از عوامل مؤثر در ایجاد ناپایداری دامنه هاست. بیشترین تعداد گسیختگی دامنه ها پس از بارندگی های سنگین و یا ذوب برف در بهار و به علت نفوذ آب در شکافها صورت می گیرد (۲۶). جهت تهیه نقشه بارش، اطلاعات آماری



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

نقشه های سال ۱۳۷۹، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ دریافت شد. محدوده مطالعاتی تحقیق در نقشه های زمین شناسی ۷ شیت را در بر می گرفت که از این ۷ شیت محدوده برش زده شد.

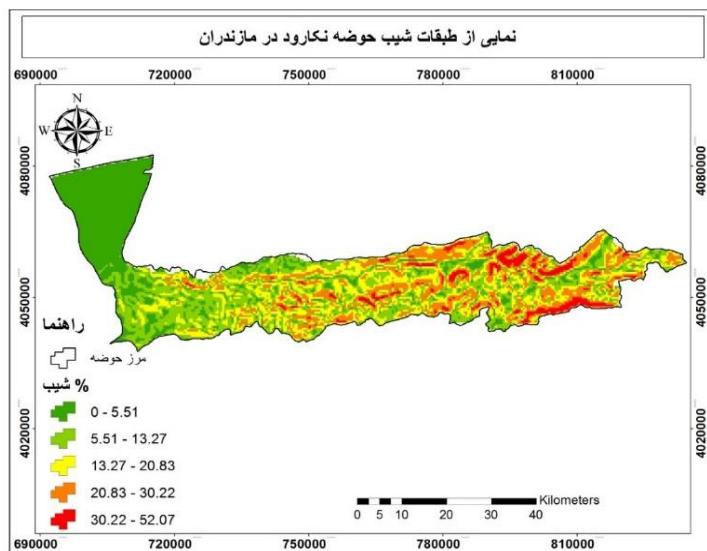
جنس سازندها نیز از پارامترهای مهم در وقوع زمین لغزش است. در سازندهای حساس وقوع زمین لغزش با سرعت بیشتری می باشد. در این مرحله لایه جی آئی اس زمین شناسی منطقه مطالعاتی از سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی



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 قسمت های جنوبی، غربی و مرکز حوضه مشاهده می‌گردد که در شکل ۸، نشان داده است.

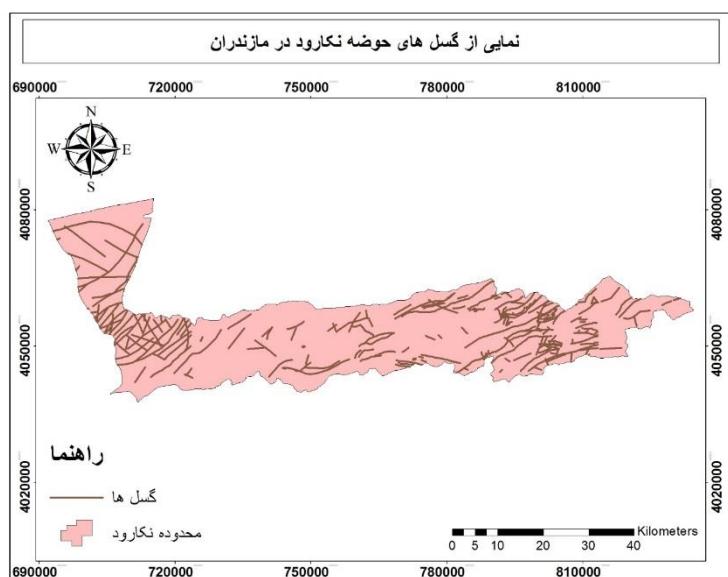
جهت شیب نشان دهنده تأثیر متفاوت میزان دریافت نور خورشید، بادهای گرم و خشک و میزان بارش در جهات مختلف است (سپهوند) (۲۵). رده بندی جهت شیب با توجه به حضور عوامل مختلف در جهات مختلف شیب دامنه و تفاوت در روند گسترش دامنه ها صورت می‌گیرد. مناطق کم شیب



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 $\frac{۹۲۳}{۸۸}$ کیلومتر می‌باشد که در شکل ۹، نشان داده شده است.

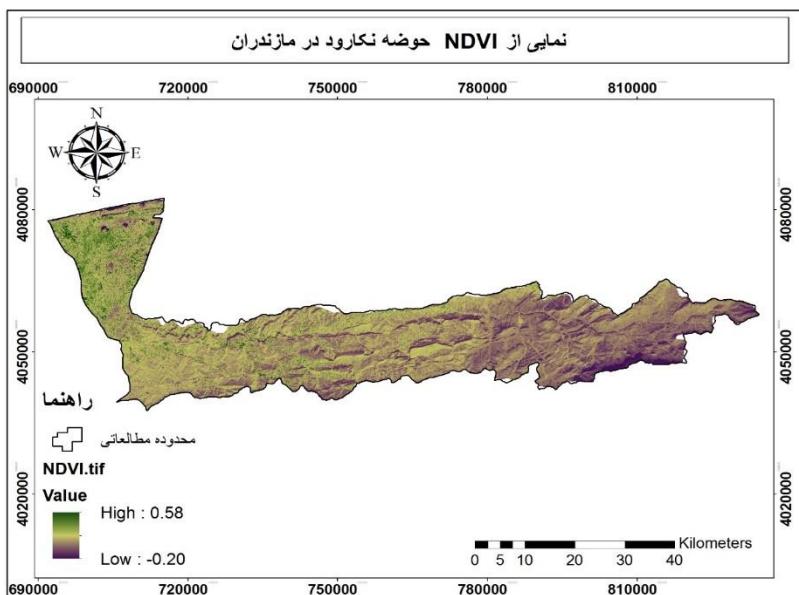
گسل‌ها در ایجاد و یا فعال‌سازی دوباره مناطق دارای پتانسیل لغزش نقش مؤثری دارند. خردشگی و برشی شدن در مناطق گسلی، نفوذ آب از این مناطق به درون دامنه‌ها، پیدا شدن ناپیوستگی در پیرامون گسل و اختلاف فرسایش در دامنه‌ها از جمله اثراتی است که می‌توان به آن‌ها اشاره کرد. حرکت



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 [۱۰ و ۱] قرار دارد. هرچه پوشش گیاهی متراکم تر باشد و کیفیت بالاتری داشته باشد مقدار شاخص NDVI بزرگ تر شده و به یک نزدیکتر 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 ازتابع 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 ازتابع polygon to raster و برای برخی لایه های اطلاعاتی

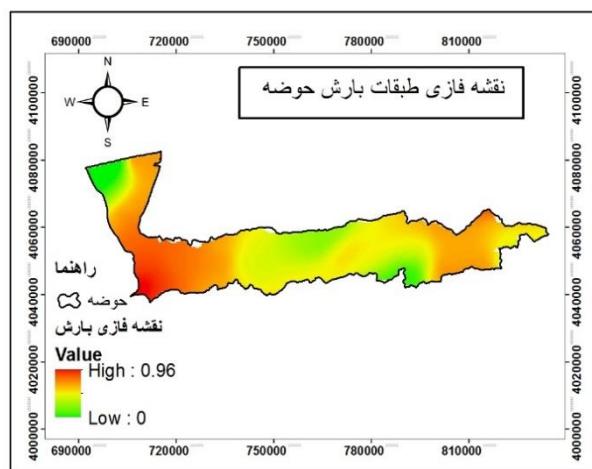
لایه‌ها به دست آورد که در جدول ۱، نشان داده شده است. نقشه‌های فازی شده در شکل‌های ۱۲ تا ۱۸ نشان داده شده است. ارزش‌گذاری جدول ۱ بر اساس نظرات کارشناسان و بررسی منابع و مقالات پیشین انجام پذیرفت.

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

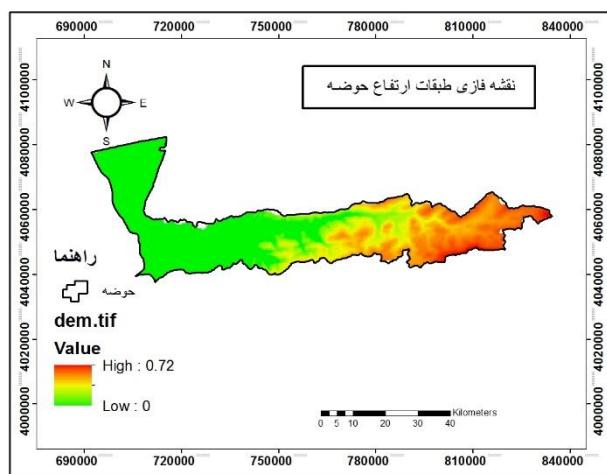
جدول ۱- ارزش‌گذاری معیارها بر مبنای نظر کارشناسان و بررسی ادبیات تحقیق

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

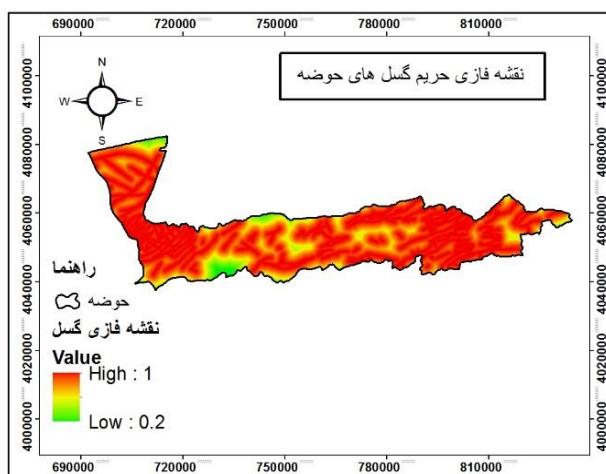
نام معیار	زیر معیار	حساسیت به زمین‌لغزش	نوع معیار
طبقات بارش (میلی‌متر)	۱۰۰ - ۳۷۱	خیلی کم	هزینه
	۲۰۰ - ۱۰۰	خیلی کم	
	۳۰۰ - ۲۰۰	کم	
	۴۰۰ - ۳۰۰	کم	
	۵۰۰ - ۴۰۰	کم	
	۶۰۰ - ۵۰۰	متوسط	
	۷۰۰ - ۶۰۰	متوسط	
	۸۰۰ - ۷۰۰	زیاد	
	۹۰۰ - ۸۰۰	زیاد	
	۱,۸۱۹ - ۹۰۰	خیلی زیاد	
طبقات ارتفاع (متر)	۳۰۰ - ۵۳۴۹	خیلی کم	هزینه
	۶۰۰ - ۳۰۰	خیلی کم	
	۹۰۰ - ۶۰۰	کم	
	۱,۲۰۰ - ۹۰۰	کم	
	۱,۵۰۰ - ۱,۸۰۰	متوسط	
	۱,۸۰۰ - ۱,۵۰۰	متوسط	
	۲,۱۰۰ - ۱,۸۰۰	زیاد	
	۲,۵۰۰ - ۲,۱۰۰	زیاد	
زمین‌شناسی	۲,۸۰۰ - ۲,۵۰۰	خیلی زیاد	هزینه
	۳,۶۹۹ - ۲,۸۰۰	خیلی زیاد	
	پهنه رسی، پهنه‌های متشکل از نمک و رس، ماسه‌سنگ، سیلت‌سنگ و گلسنگ و تابو لایه‌هایی از زغال‌سنگ، مارن، مارن ژیس دار و سنک آهک	خیلی کم	در سازندهای حساس هزینه است
	کنگلومراز پلی‌تالو ماسه‌سنگ، شل تبره توف دار با میان لایه‌هایی از توف (عضو زیرین توف)، سنگ‌آهک	کم	در سازندهای حساس هزینه است
	ضخیم لایه ارزیلی با ترکهای کرمی شکل، سنگ‌آهک توده‌ای - بازک لایه خاکستری روشن (سازنده لار)		
	سنگ‌آهک الیتی، سنگ‌آهک شلیل، دولومیت، سنگ‌آهک دولومیتی (سازنده الیکا)، پریدوتیت شامل: هارزبورزیت، دونیت، لرزولیت و ویستریت	متوسط	در سازندهای حساس هزینه است
	دولومیت ضخیم لایه، تاتوبی از دولومیت، سنگ‌آهک و شلیل (سازنده باروت)	زیاد	در سازندهای حساس هزینه است
	آهک و مارن سفید توده‌ای ضخیم لایه، ذخایر تراصی. آبراهه‌ای، آهک کلازیک و بیومتریک جلبکی و متربک	خیلی زیاد	در سازندهای حساس هزینه است
	تراکم خیلی زیاد	خیلی کم	سود
	تراکم زیاد	کم	
فاصله از رودخانه (متر)	تراکم متوجه	متوسط	هزینه
	تراکم کم	زیاد	
	تراکم خیلی کم	خیلی زیاد	
	۱۰۰۰	خیلی زیاد	
	۲۰۰۰-۱۰۰۰	زیاد	
فاصله از گسل (متر)	۳۵۰۰-۲۰۰۰	متوسط	هزینه
	۵۰۰۰-۳۵۰۰	کم	
	۶۸۸۱ - ۵۰۰۰	خیلی کم	
	۱۰۰۰	خیلی زیاد	
	۲۰۰۰-۱۰۰۰	زیاد	
شیب (درصد)	۴۰۰۰-۲۰۰۰	متوسط	هزینه
	۶۰۰۰-۴۰۰۰	کم	
	۸۱۰۱ - ۶۰۰۰	خیلی کم	
	۵-	خیلی کم	
	۱۰-۵	کم	



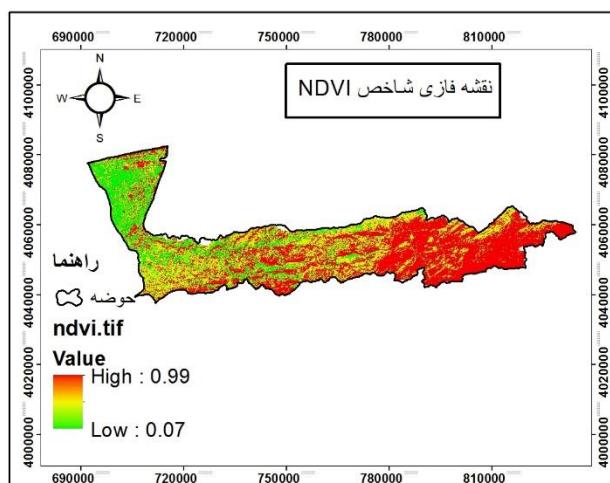
شکل ۱۲- نقشه فازی بارش محدوده مطالعاتی
Figure 12. Fuzzy precipitation map of the study area



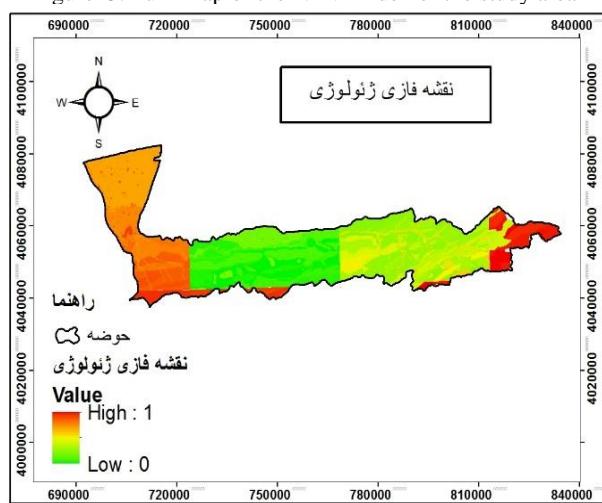
شکل ۱۳- نقشه فازی طبقات ارتفاع محدوده مطالعاتی
Figure 13. Fuzzy map of height classes of the study area



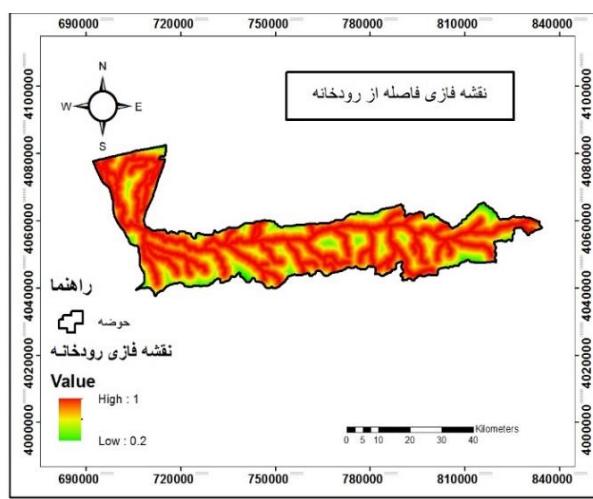
شکل ۱۴- نقشه فازی فاصله از گسل محدوده مطالعاتی
Figure 14. Fuzzy map of the distance from the fault of the study area



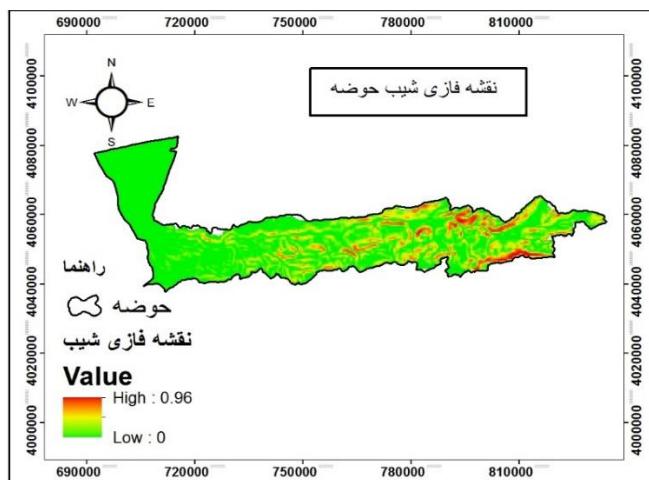
شکل ۱۵- نقشه فازی شاخص NDVI محدوده مطالعاتی
Figure 15. Fuzz map of the NDVI index of the study area



شکل ۱۶- نقشه فازی ژئولوژی محدوده مطالعاتی
Figure 16. Geological fuzzy map of the study area



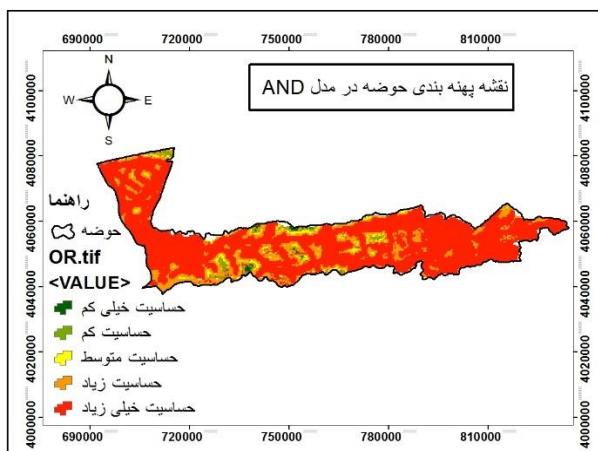
شکل ۱۷- نقشه فازی فاصله از رودخانه محدوده مطالعاتی
Figure 17. Fuzzy map of the distance from the study area river



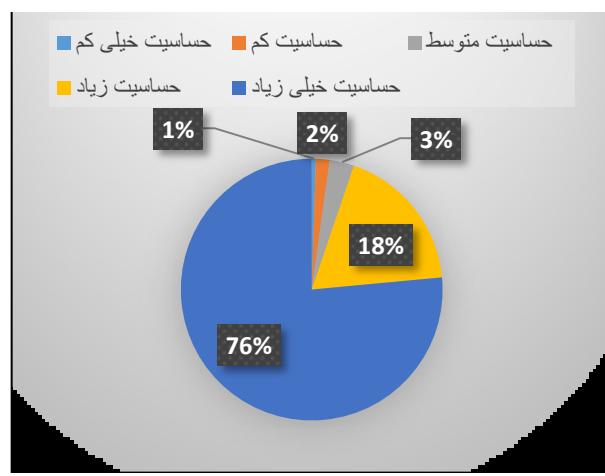
شکل ۱۸- نقشه فازی شبیه محدوده مطالعاتی
Figure 18. Fuzzy slope map of the study area

نامناسب وقوع زمین لغزش شناسایی گردد که در شکل های ۲۰، ۲۱ و ۲۱ نشان داده است.

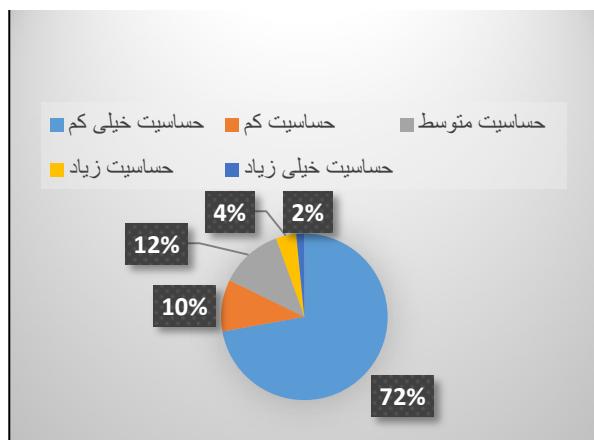
در نهایت نقشه ها با استفاده از عملگرهای فازی OR و GAMA با یکدیگر همپوشانی شدند تا پهنه های مناسب و



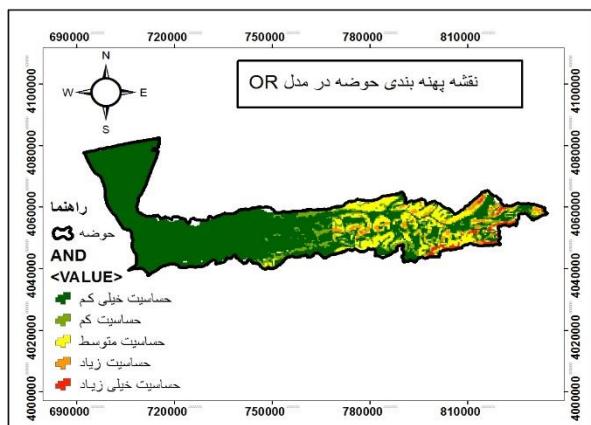
شکل ۱۹- نقشه پهنه بندی نهایی مدل AND فازی
Figure 19. The final zoning map of the fuzzy AND model



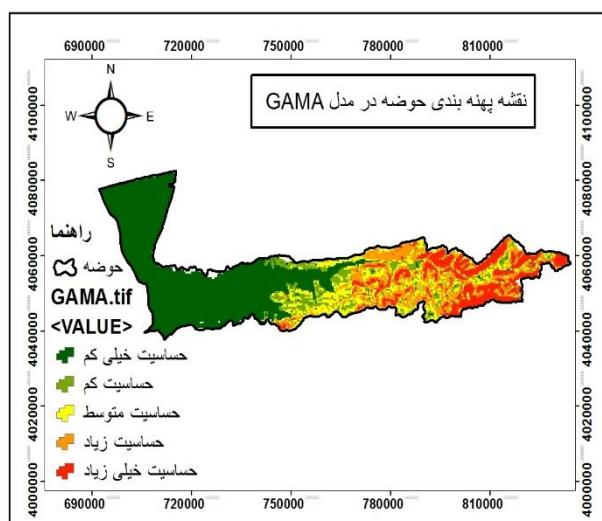
شکل ۲۰- مساحت کلاس های نقشه مدل AND در منطقه موردمطالعه
Figure 20. The area of model AND map classes in the study area



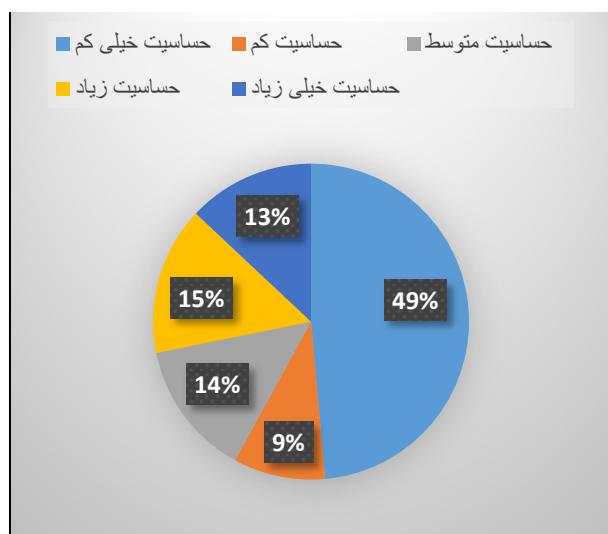
شکل ۲۱- مساحت کلاس‌های نقشه مدل OR در منطقه موردمطالعه
Figure 21. The area of model OR map classes in the study area



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

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 منطقه 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 ۱۳، ۱۵، ۱۴، ۹، ۴۹ 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 زمرة ابزارهای قوی در زمینه پهنه‌بندی زمین لغزش است که در این تحقیق استفاده شده است. همچنین با تحقیقات کوه پیما و فیض نیا (۱۶)، جیو و همکاران (۸)، رکتی و همکاران (۲۲)، که همگی از معیارهای مختلف و فن آوری 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.

نتیجه‌گیری کلی

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، تمهدیات 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، شبیه‌پس 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 پهنه‌خطر متوسط، ۱۸ درصد در پهنه‌خطر زیاد و ۷۶ درصد در پهنه‌خطر 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 پر خطر 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. Nefesioglu 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 ätstrasse.
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 Jalisan 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