پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز قطورچای شهرستان خوی با استفاده از روش ANP

موسی عابدینی [۱*]، محمد قربانزاده موکویی [۲]

۱*- استاد گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

* ایمیل نویسنده مسئول:: abedini@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۲

چکیده

پدیده زمین‌لغزش یکی از مهم ترین مخاطرات ژئومورفولوژیکی به شمار می رود که همه ساله خسارات جانی و مالی متعددی را به همراه دارد. یکی از گام‌های اساسی برای کاهش اثرات این مخاطره در ارتباط با تهیه نقشه‌های خطر وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. در پژوهش حاضر به ارزیابی مکانی و پهنه-بندی خطر زمین‌لغزش در سطح حوضه آبریز قطورچای خوی پرداخته میشود. به منظور پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش حوضه آبریز قطورچای از ۱۰ متغیر تاثیرگذار بر وقوع زمین مانند: عامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، طول دامنه، لیتولوژی، گسل‌ها، بارش، فاصله از آبراهه ها، پوشش‌گیاهی و فاصله از جاده. در پژوهش حاضر از مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) برای محاسبه وزن معیارهای موثر بر خطر زمین‌لغزش بهره گرفته شد. در مدل ANP ساختار مدل شبکه ای بوده و ارتباطات بین عناصر و مولفه‌های مدل می‌تواند متقابل و دوسویه باشد. نتایج پهنه‌بندی با کاربست مدل ANP در حوضه اوغان بیانگر این است که در حدود ۲۹ درصد حوضه در طبقات چهارگانه در محدوده خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. از بین لایه‌های موضوعی مورد استفاده، عامل شیب با ضریب وزنی (۰/۲۱۵)، لیتولوژی با ضریب وزنی (۰/۱۸۲) و فاصله از جاده با ضریب وزنی (۰/۱۷۳) از بالاترین میزان اهمیت برخوردارند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی نهایی خطر وقوع زمین‌لغزش بیانگر این است که حوضه آبریز قطورچای از پتانسیل بالایی در وقوع زمین‌لغزش برخوردار است. در حدود ۸ و ۱۹ درصد حوضه آبریز قطورچای در کلاس با خطر بسیار زیاد و زیاد قرار گرفته است.

کلمات کلیدی : " زمین لغزش "، " مدل ANP "، " حوضه قطورچای"، " پهنه بندی "،

۱- مقدمه

زمین‌لغزش‌ها جزو فرآیندهای ژئومورفیک موثر بر تکامل چشم‌انداز مناطق کوهستانی به‌شمار می‌روند که تحت تاثیر شرایط ژئومورفولوژیک، هیدرولوژیک و زمین شناسی محلی مختلفی اتفاق می‌افتند (Roering et al, 2005). در تعریفی ساده به حرکت توده ای مواد تشکیل دهنده زمین، از یک دامنه (شیب) به طرف پایین زمین لغزش می گویند. این حرکت رو به پایین مواد سطحی، به واسطه ی تاثیر نیروی ثقل زمین اتفاق می افتد و میزان تحرک و جابجایی این مواد با حضور آب موجود در رسوبات افزایش پیدا می کند (Pareta et al,2012). زمین لغزش ها سالانه باعث تلفات و خسارت های جانی و مالی سنگینی می شوند که در برخی از موارد جبران این خسارت ها امکان پذیر نیست و یا مستلزم صرف وقت و هزینه بسیار است. ازاین رو، برنامه ریزی به منظور جلوگیری از این خسارت ها، از اهمیت خاصی برخوردار است. در این رابطه، نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش، برای دستگاه های اجرایی ذی ربط این امکان را میسر می سازد که پهنه های حساس و آسیب پذیر به زمین لغزش را شناسایی نموده و درباره برنامه های مورد نظر تصمیم گیری کنند (گرایی، ۱۳۹۰). در کشور ما به دلیل تنوع توپوگرافی کوهستانی، فعالیت های نئوتکتونیکی و لرزه خیزی زیاد، تنوع آب و هوایی و زمین شناختی، افزایش جمعیت و فشار بی رویه بر منابع طبیعی و تغییرات کاربری اراضی در طی دهه های اخیر، شرایط طبیعی برای رخداد طیف متنوعی از مخاطرات مرتبط با زمین لغزش ها فراهم است (ایمانی و همکاران، ۱۳۹۱). حوضه آبریز قطورچای خوی یکی از حوضه هایی در شمال غرب کشور است که در آن ناپایداری های دامنه ای از فرایندهای مهم در تحول چشم اندازهای منطقه محسوب می گردد. این گونه ناپایداری ها در برخی موارد سکونتگاه ها و زیرساخت های موجود در سطح منطقه را مورد تهدید قرار می دهند. در تحقیق حاضر خطر وقوع زمین لغزش در محدوده این حوضه مورد پهنه بندی قرار می گیرد . روستایی و همکاران (۱۳۹۴) پتانسیل رخداد زمین لغزش در محدوده محور و مخزن سد قلعه چای را با استفاده از فرایند تحلیل شبکه ای (ANP) مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از چندین معیار شامل شیب سطح زمین، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری زمین، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و طبقات ارتفاعی به منظور شناسایی پهنه های مستعد لغزش استفاده گردیده است. معیارهای مذکور در چارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه گردیده و با توجه به ضرایب یا وزن های حاصل از مدل فرایند تحلیل شبکه ای (ANP) ترکیب شدند. نتایج بیانگر این است که فرآیند تحلیل شبکه با نقشه توزیع فضایی زمین‌لغزش‌ها ۶۷/۳۳ درصد تناسب دارد. تفسیر ضرایب حاصل از مدل ANP نشان داد که، معیارهای کاربری اراضی، جهت شیب و طبقات ارتفاعی از بالاترین میزان اثرگذاری در وقوع زمین لغزش های منطقه مطالعاتی برخوردارند. غلامی کلاته و همکاران (۱۳۹۶) خطر زمین لغزش در حوضه آبریز اوغان استان گلستان را با بهره گیری از مدل فرایند تحلیل شبکه ای (ANP) مورد ارزیابی قرار دادند. بدین منظور، در گام نخست لایه های موضوعی موثر بر وقوع زمین لغزش شامل: شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، بارش، فاصله از جاده، فاصله از گسل،

فاصله از آبراهه، کاربری ارضی، لیتولوژی و همچنین لایه توزیع فضایی زمین لغزش ها در محیط نرم افزار ArcGIS تهیه شده و در مرحله دوم وزن هر یک از عوامل موثر بر رخداد زمین لغزش با بهره گیری از مدل ANP استخراج شده و براساس ضرایب محاسباتی ترکیب شدند. دقت نقشه پهنه بندی زمین لغزش با استفاده شاخص نسبت تراکمی (Dr)مورد سنجش قرار گرفت . جعفری و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه ای (ANP) به پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز بدرانلو پرداختند. در این پژوهش برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در گام نخست تعداد ۶۹ زمین لغزش در سطح حوضه مطالعاتی مورد شناسایی قرار گرفت. در گام بعدی فاکتورهای دخیل بر وقوع زمین لغزش شامل لیتولوژی، کاربری اراضی، شیب زمین، جهت شیب، میانگین بارش سالانه، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و فاصله از مراکز سکونتی از نظر مکانی ارزیابی شده و به صورت لایه های موضوعی در محیط GIS تهیه شدند. این فاکتورها با بهره گیری از نظر کارشناسی و فرایند تحلیل شبکه ای ANP اولویت بندی گردیده و بر این اساس ترکیب شدند. در نهایت، حوضه مطالعاتی از نظر حساسیّت به خطر وقوع زمین لغزش، به سه کلاس طبقه بندی شد. نتایج بیانگر این است که تعداد ۲۱ لغزش با مساحت ۷۵۶۰۰ مترمربع در کلاس لغزشی با خطر متوسط، تعداد ۲۶ لغزش با مساحت ۹۱۸۰۰ متر مربع در کلاس لغزشی با خطر زیاد و تعداد ۲۲ لغزش با مساحت ۷۶۵۰۰ مترمربع در کلاس لغزشی با خطر خیلی زیاد واقع گردیده است. بر اساس این پژوهش، مهمترین فاکتورهای موثر بر رخداد زمین لغزش های حوضه بدرانلو شیب دامنه، لیتولوژی، فاصله از رودخانه و بارندگی سالانه هستند. آیالیو و یاماگیشی (۲۰۰۵) به منظور ارزیابی و پهنه بندی خطر رخداد زمین لغزش در کوه های کاکودایاهیکو واقع در مرکز ژاپن از رویکرد رگرسیون لجستیک در چارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی بهره گرفتند. در این تحقیق توزیع فضایی زمین لغزش ها به عنوان متغیر وابسته و مجموعه ای از متغیرهای محیطی و انسانی مانند شیب، پوشش گیاهی، شبکه های ارتباطی، و غیره به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. به دلیل ماهیت مکانی مخاطره زمین لغزش تحلیل آماری در چارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) صورت گرفت. نتایج حاکی از کارایی بالای رویکرد آماری چندمتغیره (رگرسیون لجستیک) برای مدل سازی خطر زمین لغزش در سطح منطقه مطالعاتی می باشد. همچنین نتایج نشان دهنده اهمیت زیاد متغیرهای فاصله از جاده ها و شیب در وقوع زمین لغزش های منطقه است. این امر نشان دهنده آسیب پذیری دامنه ها در محدوده مطالعاتی نسبت به دخالت های انسانی می باشد.
فانیولیو (۲۰۰۷) به پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه لانگن واقع در ایالت گانسو چین پرداخت. در این تحقیق برای پهنه بندی خطر زمین¬لغزش از روش LNRF و ارزش اطلاعاتی در قالب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بهره گرفته شد. این روش ها جزو رویکردهای آماری به شمار می روند و نیازمند در اختیار بودن توزیع فضایی زمین لغزش های منطقه است که خود نیازمند یک پایگاه داده جغرافیایی دقیق از انواع ناپایداری های دامنه ای در سطح منطقه مطالعاتی می باشد. نتایج نشان دهنده کارایی بالای روش های مورد استفاده است. با این حال در حالت تطبیقی روش ارزش اطلاعاتی از دقت بالاتری نسبت به روش LNRF برخوردار است.

وانگ و پنگ (۲۰۲۰) به پهنه بندی خطر زمین لغزش مبتنی بر GISو کاربردهای آن پرداختند. در این پژوهش شهرستان وان به صورت موردی از نظر خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از تکنیک وزن‌دهی رتبه‌بندی نسبی مقیاس ترتیبی پهنه بندی گردید. در این تحقیق به منظور تهیه نقشه خطر زمین لغزش از متغیرهایی مشتمل بر فاصله از گسل‌ها، سنگ‌شناسی، زاویه شیب و ناهمواری نسبی مستخرج از DEM ، NDVI، فاصله از شبکه آبراهه ای و خط واره های مستخرج از تصاویر ماهواره ای دیجیتال (TM) استفاده به عمل آمد. نتایج نشان می دهد که ترکیب انواع متغیرهای موثر بر رخداد زمین لغزش در چارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی می تواند به ارزیابی سریع و مطلوب خطر لغزش در سطح منطقه منجر شود. نتایج همچنین بیانگر این است که پهنه های بسیار کم خطر، کم خطر، با خطر متوسط، با خطر زیاد و با خطر بسیار زیاد به ترتیب بالغ بر ۲/۲ درصد، ۱۴ درصد، ۴۰ درصد، ۲۸ درصد، ۱۲ درصد و ۳/۵ درصد از سطح حوضه را شامل می شوند. از نقاط کنترل تغییر شکل GPS بر روی توده های لغزشی برای بررسی صحت و اعتبارسنجی روش LHZاستفاده شد . پسومیادیس و همکاران (۲۰۲۰) به تهیه نقشه و ارزیابی حساسیت زمین لغزش قسمت های غربی جزیره کرت پرداختند. در این تحقیق از روش های تجزیه و تحلیل مکانی و داده های دورسنجی برای بررسی تأثیر عوامل مختلف فیزیکی و انسانی بر روی زمین لغزش و ارزیابی حساسیت به زمین لغزش استفاده شد. نقشه سیاهه لغزش بر اساس ادبیات، تجزیه و تحلیل عکس های هوایی، تصاویر ماهواره ای و بررسی های میدانی ایجاد شد. داده های ماهواره Sentinel-2 برای شناسایی وقایع زمین لغزش اخیر مورد استفاده قرار گرفت. هشت عامل محرک زمین لغزش انتخاب و در یک محیط مبتنی بر GIS ایجاد شد. برای ارزیابی شاخص حساسیت به زمین لغزش (LSI) از روش نیمه کمی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و ترکیب خطی وزنی (WLC) بهره گرفته شد. اعتبارسنجی دو نقشه LSI نتایج دقیقی را ارائه داد و علاوه بر این، چندین نقطه حساس با خطرات زیاد رانش زمین در امتداد بزرگراه A90 شناسایی شد.

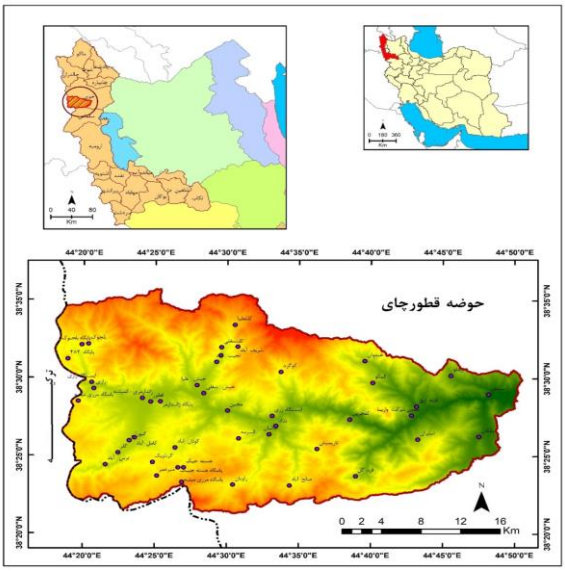
۲- روش انجام تحقیق

در این تحقیق به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدوده حوضه آبریز قطورچای از تکنیک روی‌هم‌گذاری متغیرهای مختلف موثر بر وقوع زمین‌لغزش بهره گرفته شد. برای اینکار لازم است که سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با سایر مدل‌ها ترکیب شود. در این زمینه، از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به طور گسترده‌ای استفاده می‌کنند. یکی از این مدل‌های کارآمد و متداول، مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) می‌باشد. در پژوهش حاضر، مدل مذکور با توجه به انعطاف-پذیری بالا و توانایی برقراری ارتباطات درونی و بیرونی، برای استخراج وزن یا ضریب تاثیر معیارهای موثر بر وقوع زمین‌لغزش در محدوده حوضه آبریز قطورچای مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه، توضیحاتی در خصوص مدل ANP و روش اجرای آن ارائه می‌گردد. در راستای ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبریز قطورچای دو نرم‌افزار ArcGIS و Super Decisions به عنوان مهم‌ترین ابزارهای پردازشی و تحلیلی تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. از نرم‌افزار ArcGIS برای تهیه لایه‌های موضوعی موثر بر رخداد زمین‌لغزش و

تحلیل‌های مکانی استفاده به عمل آمد. نرم‌افزار Super Decisions هم برای انجام محاسبات مرتبط با مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) به کار گرفته شد.

۳-محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز قطورچای در جنوب غربی شهرستان خوی در استان آذربایجان غربی واقع گردیده است(شکل ۱). از نظر موقعیت ریاضی در مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۴ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۶ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. بخشی از این حوضه در محدوده کشور ترکیه واقع شده است. مساحت حوضه مطالعاتی در محدوده ایران بالغ بر ۸۷۲ کیلومتر مربع و محیط آن ۱۹۸ کیلومتر می‌باشد. حوضه آبریز قطورچای توسط انشعابات مختلف رودخانه قطورچای زهکشی می‌شود. در امتداد این رودخانه جاده مواصلاتی خوی- رازی و خط آهن ایران- ترکیه واقع شده است. عرض دره این رودخانه در اکثر قسمت‌های حوضه بسیار محدود می‌باشد و در اکثر موارد تنها در محل تلاقی انشعابات بزرگ عرض آن تا حدودی افزایش می‌یابد. اکثر آبادی‌های منطقه در محدوده این دره استقرار یافته‌اند. در واقع، صعب‌العبور بودن بخش‌های قابل توجهی از این حوضه محدودیتی اساسی در مکان‌گزینی و استقرار سکونتگاه‌های انسانی به‌شمار می‌رود. دره اصلی قطورچای به دلیل ارتباط شهرستان خوی و استان آذربایجان غربی با کشور ترکیه دارای اهمیت راهبردی می‌باشد. مطابق داده‌های ایستگاه سینوپتیک خوی، میانگین بارش منطقه بالغ بر ۲۷۵ میلی‌متر و میانگین دمای آن ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بر این اساس، ضریب خشکی دمارتن برای ایستگاه مذکور ۱۲/۲۱ حاصل می‌گردد که نشان‌دهنده تیپ اقلیمی نیمه‌خشک است.حوضه آبریز قطورچای از زیرحوضه‌های مهم رودخانه ارس بوده و درنتیجه جزو سیستم زهکشی دریای خزر می‌باشد. میانگین دبی رودخانه قطورچای در محل ایستگاه هیدرومتری پل یزدکان در پایین‌دست حوضه در حدود ۵/۳ مترمکعب در ثانیه است.



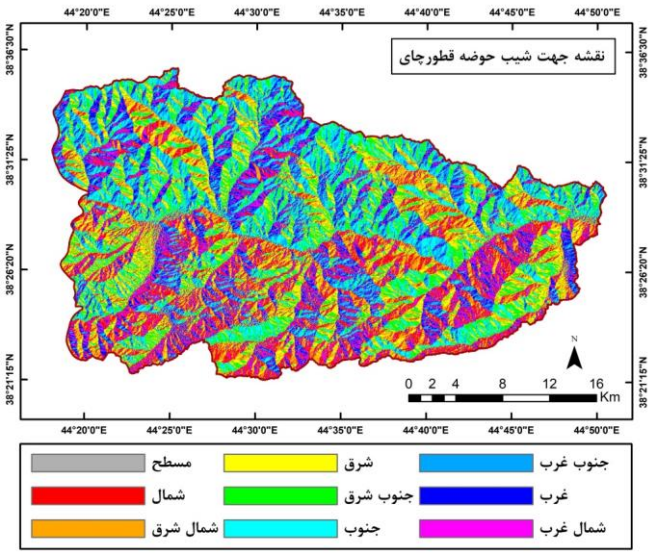
شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی حوضهآبریز قطورچای در استان آذربایجان غربی (شهرستان خوی)

یافته های تحقیق

جهت پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش حوضه آبریز قطورچای از ۱۰ متغیر تاثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش استفاده به عمل آمد. این متغیرها عبارتنداز: ارتفاع، شیب، جهت شیب، طول دامنه، لیتولوژی، گسل‌ها، بارش، فاصله از آبراهه‌ها، پوشش گیاهی و فاصله از جاده استفاده شد که به اجمال اثرات آنها در وقوع زمین لغزش پرداخته شده است.

- **عامل شیب**

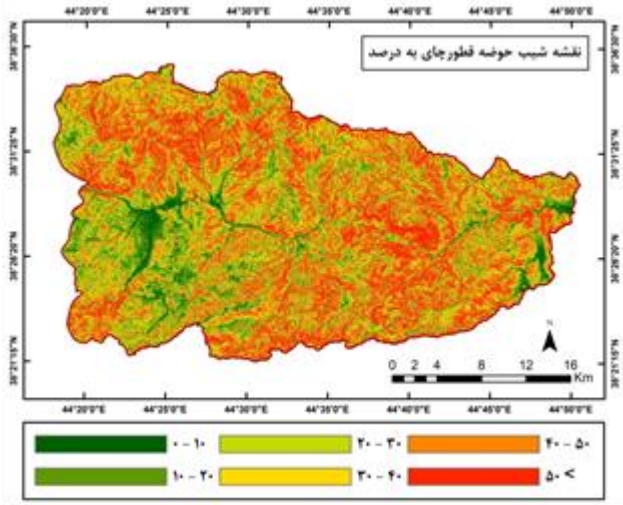
طبقات با شیب پایین تا نسبتا پایین: طبقه مذکور شامل کلاس‌های با شیب ۰ تا ۱۰ درصد و ۱۰ تا ۲۰ درصد می‌باشد که به ترتیب بالغ بر ۶ و ۱۴ درصد از سطح حوضه آبریز قطورچای را شامل می‌شوند(شکل۲). در این طبقات شیب پتانسیل وقوع زمین‌لغزش نسبت به سایر طبقات پایین است. در این رابطه، پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در کلاس شیب کمتر از ۱۰ درصد به حداقل می‌رسد و درنتیجه وزن ۰/۰۱ را در مدل ANP کسب نموده است. این سطوح شیب درصد بسیار محدودی از سطح حوضه قطورچای را تشکیل می‌دهند و عمدتا منطبق بر بستر دره‌های اصلی حوضه مطالعاتی می‌باشند. در کلاس شیب ۱۰ تا ۲۰ درصد پتانسیل شیب تا حدودی افزایش می‌یابد؛ با این حال در مقایسه با طبقات شیب فوقانی از اهمیت کمتری در رخداد زمین‌لغزش برخوردار است. در این رابطه، وزن طبقه شیب مذکور ۰/۰۷ می‌باشد. طبقات با شیب متوسط تا زیاد: شیب‌های متوسط تا زیاد در سطح حوضه آبریز قطورچای طبقات شیب ۲۰ تا ۳۰ درصد و ۳۰ تا ۴۰ درصد را شامل می‌شوند. این طبقات شیب به ترتیب در حدود ۱۹ و ۲۰ درصد از سطح حوضه آبریز قطورچای را در بر می‌گیرند(شکل ۲). این طبقات شیب مستعدترین پهنه‌ها برای وقوع زمین‌لغزش در حوضه مطالعاتی می‌باشند. زمین‌لغزش بزرگ محدوده روستای گوگرد نیز در این طبقات شیب اتفاق افتاده است. در واقع، همانگونه که در شیب‌های ملایم به دلیل اصطکاک بالا و محدود بودن انرژی، پتانسیل وقوع زمین‌لغزش پایین است؛ در شیب‌های بسیار تند نیز به دلیل عدم استقرار و پوشش خاک و عوامل دیگری نظیر نفوذناپذیری آب در داخل مواد، شرایط برای وقوع حرکات توده‌ای مهیا نیست. بدین ترتیب، طبقات شیب ۲۰ تا ۴۰ درصد به دلیل شرایط حد واسط شیب‌های مذکور از شرایط بسیار مساعدی برای رخداد زمین‌لغزش برخوردارند و درنتیجه وزن بالاتری را کسب نموده‌اند. در این رابطه، طبقه شیب ۲۰ تا ۳۰ درصد ضریب وزنی ۰/۳۷ و طبقه شیب ۳۰ تا ۴۰ درصد ضریب وزنی ۰/۴۲ را به خود اختصاص داده است. طبقات با شیب بسیار تند: این طبقات شامل شیب‌های ۴۰ تا ۵۰ درصد و بیشتر از ۵۰ درصد می‌باشند که به ترتیب در حدود ۱۷ و ۲۵ درصد از سطح حوضه را شامل می‌شوند. درصدهای مذکور نشان‌دهنده پرشیب بودن حوضه آبریز مطالعاتی است. در خصوص میزان اهمیت کلاس‌های شیب مذکور، طبقه شیب ۴۰ تا ۵۰ درصد ضریب وزنی ۰/۱۱ و طبقه با شیب بیش از ۵۰ درصد نیز ضریب وزنی ۰/۰۲ را کسب نموده‌اند. در واقع، می‌توان بیان داشت که در منطقه مطالعاتی بعد از شیب‌های ۴۰ درصدی، با افزایش شیب از پتانسیل وقوع زمین‌لغزش کاسته می‌شود. در شیب‌های تند و پرتگاهی، فرایندهای دامنه‌ای عمدتا به صورت ریزش و سقوط سنگ‌ها اتفاق می‌افتد. این امر باعث کاهش وزن طبقات بسیار پرشیب در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در سطح حوضه آبریز مطالعاتی با استفاده از مدل ANP شده است.



شکل ۲- نقشه طبقات شیب حوضه آبریز قطورچای

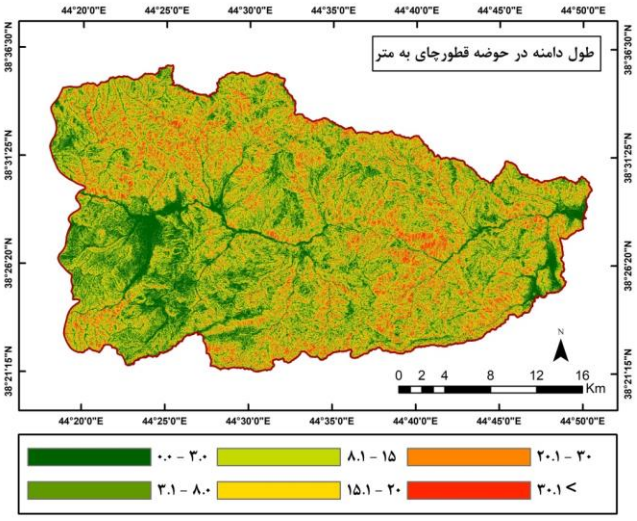
جهات شیب به نوعی نقش محدودکننده زمین‌لغزش را بر عهده دارند. سطوح مسطح، جهات جنوبی و جنوب شرقی در این چارچوب قرار می‌گیرند. سطوح مسطح، جهات شیب جنوب شرقی و جنوبی به ترتیب در حدود ۰/۱ درصد، ۱۵و ۱۴ درصد از سطح حوضه را تشکیل داده و در مدل ANP وزن‌های ۰، ۰/۰۲ و ۰/۰۱ را کسب نموده‌اند. در شرایط برابر، وقوع زمین‌لغزش در این جهات از پتانسیل بسیار محدودی برخوردار است. شکل (۳)

نقشه جهت شیب در حوضه آبریز قطورچای را نشان می دهد.



شکل ۳- نقشه جهات شیب در حوضه آبریز قطورچای

در رابطه با تاثیر فاکتور طول دامنه بر وقوع زمین‌لغزش در محدوده حوضه آبریز قطورچای(**شکل ٤**) می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: طول دامنه بیشتر: در این رابطه می‌توان بیان داشت که طول دامنه بیشتر به ناپایداری دامنه‌ای (زمین‌لغزش) بیشتری منجر می‌شود. در واقع می‌توان گفت که رابطه‌ای مستقیم بین طول دامنه و فراوانی و وسعت زمین-لغزش وجود دارد. در این رابطه طبقات با مقادیر فاکتور طول دامنه ۲۰ تا ۳۰ متر و بیشتر از ۳۰ متر از بیشترین میزان اهمیت در رخداد زمین-لغزش‌های منطقه برخوردارند. پهنه‌های با طول دامنه بیشتر از ۳۰ متر با سهم حدود ۵ درصدی از سطح حوضه آبریز قطورچای از بیشترین میزان وزن (۰/۴۱) در مدل ANP برخوردار است. پهنه‌های با طول دامنه ۲۰ تا ۳۰ متر نیز با مساحتی بالغ بر ۱۲ درصد و کسب وزن یا ضریب تاثیر ۰/۳۳ در مرتبه دوم اهمیت قرار دارد. طول دامنه متوسط: پهنه‌های با مقادیر طول دامنه متوسط از اهمیت متوسطی نیز در رابطه با رخداد زمین‌لغزش برخوردارند. کلاس‌های با مقادیر طول دامنه ۸ تا ۱۵ متر و ۱۵ تا ۲۰ متر در این مقوله می‌گنجند که به ترتیب بالغ بر ۲۹ و ۱۴ درصد از مساحت حوضه آبریز قطورچای را شامل می‌شوند. در این رابطه، طبقه با مقادیر ۱۵تا ۲۰ متر با کسب وزن ۰/۱ در مدل ANP از اهمیت و ارجحیت بیشتری نسبت به طبقه با مقادیر ۸ تا ۱۵ متر با وزن ۰/۰۹ برخوردار شده است. طول دامنه کم: هر چقدر طول دامنه کمتر باشد احتمال وقوع زمین‌لغزش کاهش پیدا می‌کند. بدین ترتیب، طبقات با مقادیر ۰ تا ۳ متر و ۳ تا ۸ متر از کم‌ترین میزان اهمیت در رابطه با رخداد زمین‌لغزش در سطح حوضه آبریز قطورچای برخوردارند. در این رابطه، طبقه با طول ۳ تا ۸ متر حدود ۲۶ درصد از سطح حوضه قطورچای را شامل می‌شود و وزن یا ضریب تاثیر ۰/۰۶ را در مدل ANP کسب نموده است(شکل ۴). کلاس با مقادیر طول کمتر از ۳ متر نیز حدود ۱۵ درصد از سطح حوضه مطالعاتی را دربرمی‌گیرد و با کسب وزن ۰/۰۱ از کم‌ترین میزان اهمیت یا ارجحیت در رابطه با رخداد زمین‌لغزش برخوردار است.



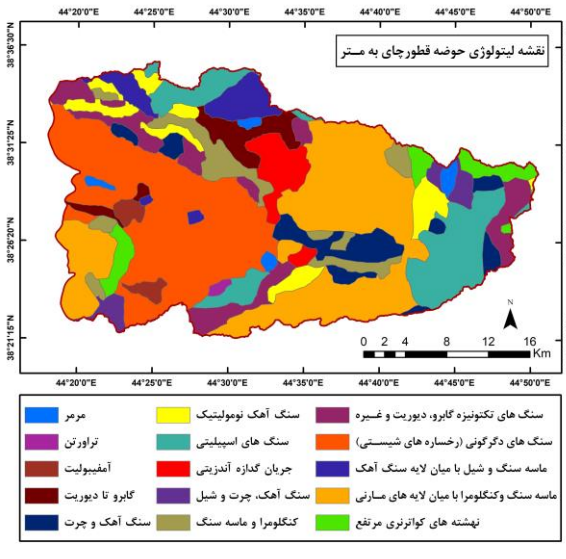
شکل٤: نقشه فاکتور طول دامنه در حوضه آبریز قطورچای

در شکل (۵) نقشه واحدهای سنگ‌شناسی تاثیر واحدهای سنگ‌شناختی بر وقوع زمین‌لغزش در سطح حوضه آبری قطورچای را می‌توان به شرح زیر بیان داشت:

سازندهای حساس به زمین‌لغزش: در شرایط تطبیقی سازندهای موجود در این گروه از بیشترین میزان حساسیت و آسیب-پذیری نسبت به زمین‌لغزش برخوردارند. بدین ترتیب از بیشترین میزان اهمیت و ارجحیت در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برخوردار می‌باشند. در این رابطه می‌توان به سازندهای آبرفتی کواترنری مرتفع و تناوب کنگلومرا، ماسه‌سنگ، مارن و شیل اشاره نمود. در این رابطه واحدهای سنگ‌شناختی کنگلومرا- ماسه‌سنگ با میان‌لایه‌های مارنی، شیلی و آهکی به دلیل مساحت زیاد و حساسیت به زمین‌لغزش از اهمیت بیشتری برخوردارند. این سازندها در مجموع بالغ بر ۳۳ درصد از مساحت حوضه آبریز قطورچای را پوشش می‌دهند. بخش اعظمی از زمین‌لغزش-

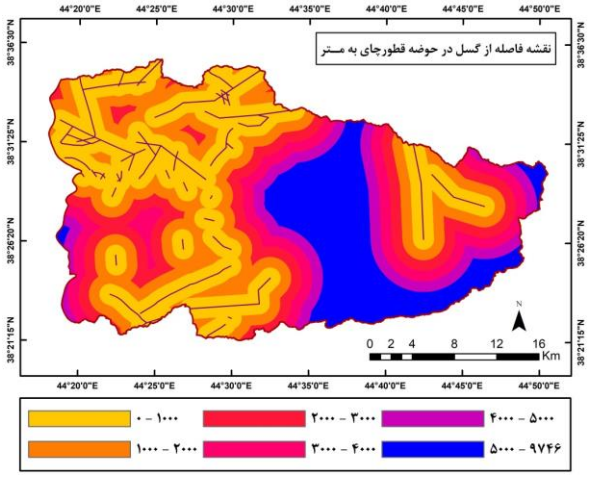
های منطقه بر روی این سازندها اتفاق افتاده‌اند. این سازندها مخصوصا در قسمت‌های میانی حوضه و اطراف دره اصلی قطورچای رخنمون یافته‌اند و به دلیل حساسیت به زمین‌لغزش، سکونتگاه‌های منطقه و جاده مواصلاتی خوی- رازی و سایر تاسیسات و زیرساخت‌های موجود در این دره را در معرض تهدید قرار داده‌اند. در این رابطه می‌توان به زمین-لغزش‌های محدوده روستای گوگرد اشاره نمود. واحدهای سنگ‌شناسی موجود در این گروه از وزن و ضریب تاثیر بالاتری در رابطه با خطر زمین‌لغزش برخوردار شده‌اند. در این رابطه، سازندهای آبرفتی کواترنری مرتفع وزن ۰/۲۶ و کنگلومرا- ماسه‌سنگ با میان‌لایه مارنی وزن ۰/۲۵ را کسب نموده‌اند. سازندهای با حساسیت متوسط تا نسبتا پایین: سازندهای موجود در این گروه از فرسایش‌پذیری و حساسیت متوسط تا نسبتا پایینی نسبت به زمین‌لغزش برخوردارند. در این گروه واحدهای سنگ‌شناسی سنگ‌های دگرگونی شیستی، سنگ آهک چرت‌دار و شیل‌دار و سنگ‌های اسپیلیتی قرار گرفته‌اند و در مجموع دارای حساسیت نسبتا پایینی به زمین‌لغزش هستند. در میان سازندهای این گروه سنگ‌های دگرگونی شیستی در حدود ۲۴ درصد از مساحت حوضه آبریز قطورچای را شامل می‌شود و در بخش‌های گسترده‌ای از جنوب غرب حوضه رخنمون یافته‌اند. این واحد سنگ‌شناسی وزن ۰/۰۰۹ را در مدل ANP کسب نموده است. سنگ‌های اسپیلیتی هم در حدود ۱۱ درصد از مساحت حوضه رخنمون یافته‌اند و در مجموع از آسیب‌پذیری و حساسیت پایینی نسبت به رخداد زمین‌لغزش برخوردار است. این واحد سنگ‌شناختی وزن ۰/۰۵۲ را در مدل ANP به خود اختصاص داده است. سازندهای با حساسیت بسیار کم: در این گروه سازندهایی جای می‌گیرند که از پایین‌ترین حساسیت نسبت به زمین‌لغزش برخوردارند و در واقع، وجود این سازندها مانعی جدی در وقوع زمین‌لغزش محسوب می‌گردند. این سازندها در مجموع حدود ۱۷ درصد از سطح حوضه را پوشش می‌دهند. در این رابطه، واحدهای سنگ‌شناختی سنگ‌های تکتونیزه گابرو تا دیوریت، گابرو، مرمر و گدازه‌های آندزیتی به ترتیب بالغ بر ۷، ۳، ۱ و ۳ درصد از سطح حوضه را شامل می‌شوند. واحدهای مذکور با وزن نزدیک به صفر از کم‌اثرترین واحدهای سنگ‌شناسی در رخداد زمین‌لغزش در سطح حوضه آبریز قطورچای به شمار می‌روند.

شکل ۵- نقشه واحدهای سنگ‌شناسی حوضه آبریز قطورچای



- نقش گسل‌ها بر وقوع زمین‌لغزش در حوضه قطورچای

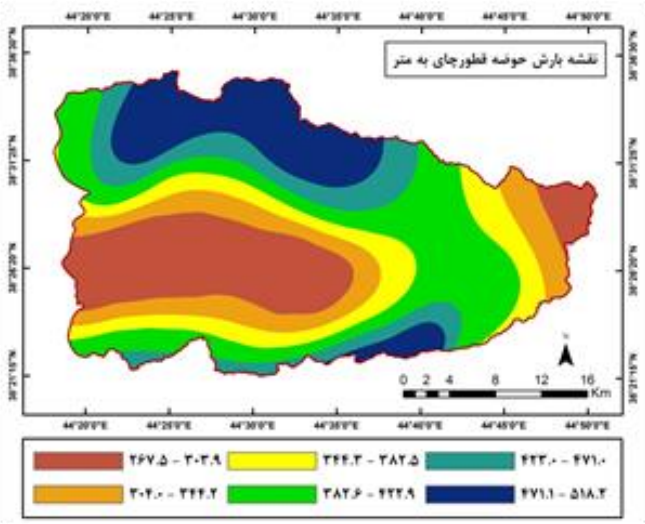
متغیر فاصله از گسل دومین متغیر مرتبط با زمین‌شناسی برای ارزیابی مکانی خطر زمین‌لغزش در پژوهش حاضر به شمار می‌رود. جنبش گسل‌ها می‌توانند به عنوان یکی از مهم‌ترین محرک‌های زمین‌لغزش در سطح حوضه آبریز قطورچای مطرح شوند. منطقه مطالعاتی به شدت کوهستانی و تکتونیزه است و درنتیجه، حتی جنبش‌های ضعیف گسل-های منطقه می‌توانند به عبور مواد دامنه از آستانه‌های ژئومورفولوژیکی و ناپایداری آنها کمک کنند. بدین ترتیب، در پژوهش حاضر لایه گسل-ها و خطوط شکستگی موجود در محدوده حوضه و مناطق پیرامون آن از روی نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه استخراج شد. بر این اساس، لایه فاصله از گسل از روی لایه گسل‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شده و در روند پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفت. بخش عمده‌ای از گسل‌های منطقه در نیمه غربی حوضه مطالعاتی واقع شده‌اند. شکل (۶) نقشه فاصله از گسل‌ها و حوضه مورد تحقیق را نشان میدهد.. در رابطه با زمین‌لغزش‌ها، پهنه‌های مجاور گسل‌های منطقه از بیشترین میزان تاثیرپذیری برخوردارند. در این رابطه دو کلاس با فواصل ۰ تا ۱۰۰۰ متری و ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متری بیشتر تحت تاثیر جنبش‌های احتمالی گسل‌ها قرار دارند و درنتیجه وزن بالاتری را نیز کسب می‌کنند. در صورتی که جنبش گسل‌ها با شرایط مساعد دیگری مانند شیب مساعد (۲۰ تا ۴۰ درصد) و حضور رطوبت و آب هم‌زمان شود نتایج می‌تواند ویرانگر باشد. بدین ترتیب، در شرایط برابر پهنه‌های مجاور گسل‌های منطقه از بیشترین میزان آسیب‌پذیری نسبت به خطر زمین‌لغزش برخوردارند. در این رابطه، کلاس با فواصل ۰ تا ۱۰۰۰ متر وزن ۰/۴۱ و کلاس با فواصل ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر وزن ۰/۳۳ را در مدل ANP کسب نمودند و در نتیجه از بیشترین میزان اولویت یا ارجحیت برخوردار می‌باشند. در حالت کلی، با افزایش فاصله از گسل‌های منطقه، احتمال وقوع زمین‌لغزش کاهش پیدا می‌کند و در واقع، رابطه‌ای معکوس بین فاصله از گسل و فراوانی زمین‌لغزش‌ها برقرار است. بدین ترتیب، با افزایش فاصله، از وزن کلاس‌های فاصله کاسته می‌شود. بنابراین، کلاس با فواصل بیش از ۵۰۰۰ متر با کسب وزن ۰/۰۱ از کمترین میزان اهمیت یا ضریب تاثیر برخوردار است.



شکل ٦- نقشه فاصله از گسل در حوضه آبریز قطورچای

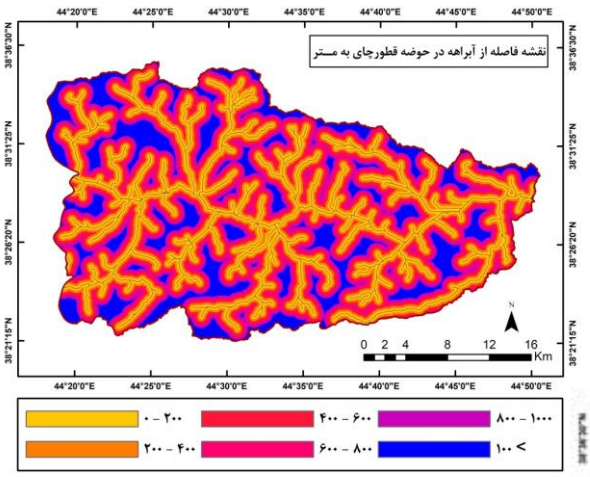
در سطح حوضه آبریز قطورچای بارش باران و برف را می‌توان منبع اصلی تامین رطوبت خاک دامنه‌ها دانست. در واقع، وجود رطوبت و آب از شرایط لازم برای رخداد زمین‌لغزش به شمار می‌رود. بدین ترتیب،

استفاده از لایه بارش منطقه در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌تواند اعتبار و دقت نقشه تهیه شده را بهبود بخشد. در این رابطه، در پژوهش حاضر لایه بارش منطقه از روی منحنی‌های هم‌بارش ارائه شده توسط سازمان منابع طبیعی کشور تهیه شده و در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفت. شکل (۷) نقشه بارش حوضه آبریز قطورچای هست. با توجه به نقشه مذکور، میانگین بارش سالانه در محدوده حوضه مطالعاتی در حدود ۳۸۲ میلی‌متر می‌باشد. با این حال، تغییرپذیری زیادی در میزان بارش دریافتی قسمت‌های مختلف حوضه قطورچای دیده می‌شود. در این حوضه میانگین بارش سالانه از حداقل ۲۶۸ تا حداکثر ۵۱۸ میلی‌متر متغیر می‌باشد. رابطه مستقیم بارش با ارتفاع از طریق مقایسه دو نقشه بارش و ارتفاع حوضه به روشنی قابل تشخیص است. در واقع، با افزایش ارتفاع در منطقه بر میزان نزولات جوی نیز افزوده می‌شود. مناطق کم‌بارش حوضه منطبق بر دره اصلی حوضه قطورچای می‌باشد که علاوه بر ارتفاع نسبی پایین به موازات جریان بادهای غربی قرار گرفته که باعث می‌شود میزان دریافت نزولات جوی نسبت به ارتفاعات مجاور اندک باشد. هسته‌های پربارش منطقه منطبق بر ارتفاعات جنوبی و مخصوصا شمالی حوضه می‌باشد. توزیع فضایی بارش‌های منطقه می‌تواند وقوع زمین‌لغزش را تحت تاثیر قرار دهد. می‌توان گفت که رابطه مستقیمی بین میزان بارش و فراوانی زمین‌لغزش‌ها وجود دارد. در شرایط برابر، در قسمت‌هایی از حوضه مطالعاتی که از بارش بیشتری برخوردارند رخداد زمین‌لغزش از پتانسیل بالایی برخوردار است. در این رابطه، طبقه بارشی بیشتر از ۴۷۱ میلی‌متر با کسب وزن ۰/۳۹ از بیشترین میزان اهمیت و اثرگذاری در رابطه با خطر زمین‌لغزش برخوردار است. طبقه بارشی ۴۲۳ تا ۴۷۱ میلی‌متر نیز با وزن ۰/۲۹ در مرتبه بعدی اهمیت قرار گرفته است. این درحالی است که طبقه بارشی کمتر از ۳۰۴ میلی‌متر با وزن ۰/۰۲ از کمترین میزان اهمیت و اثرگذاری برخوردار می‌باشد.



شکل ۷- نقشه بارش در حوضه آبریز قطورچای

با وجود شبکه آبراهه‌ای گسترده در سطح حوضه آبریز قطورچای می‌توان تصور نمود که این آبراهه‌ها قادرند که رخداد زمین‌لغزش در سطح حوضه را تحت تاثیر قرار دهند. اثر آبراهه‌ها بر وقوع زمین‌لغزش می‌تواند به طرق مختلفی اعمال شود که از جمله می‌توان به افزایش رطوبت پای دامنه‌ها و مهم‌تر از آن، زیربری و خالی نمودن پایِ دامنه‌ها اشاره نمود. در واقع، آبراهه‌های منطقه به واسطه فرسایش بستر و کناره‌ها می‌توانند باعث آبشستگی و تخلیه مواد پای دامنه‌ها شوند. این امر باعث می‌شود که مواد بالادست دامنه تکیه‌گاه زیرین خود را از دست داده و مستعد زمین‌لغزش شوند. بدین ترتیب، می‌توان به اهمیت فرایندهای رودخانه‌ای در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی پی برد. به منظور لحاظ نمودن تاثیر آبراهه‌های منطقه بر رخداد زمین‌لغزش ابتدا شبکه آبراهه‌های حوضه آبریز قطورچای از روی پردازش تصویر مدل رقومی ارتفاع (DEM) در محیط نرم‌افزار ArcGIS استخراج شده و سپس نسبت به تهیه لایه فاصله از آبراهه اقدام گردید. شکل (۸) نقشه فاصله از آبراهه‌ها را نشان می دهد.



شکل ۸- نقشه آبراهه‌ها در حوضه قطورچای

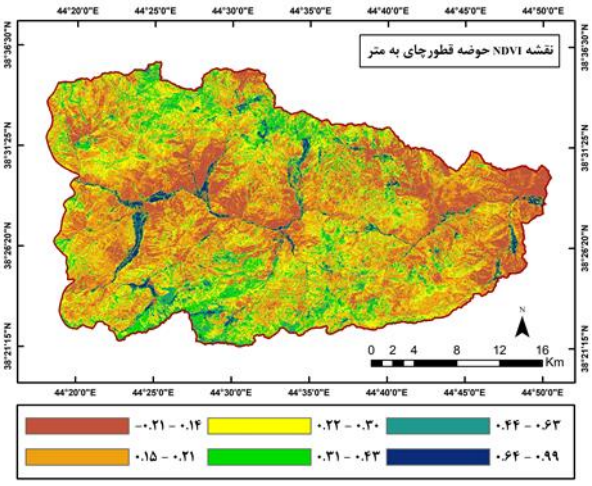
تاثیر فاصله از آبراهه‌ها بر رخداد زمین‌لغزش مشابه تاثیر گسل‌ها می‌باشد. در واقع، رابطه‌ای معکوس بین فاصله از آبراهه و فراوانی زمین‌لغزش‌ها وجود دارد. در شرایط برابر، پهنه‌های مجاور آبراهه‌ها از پتانسیل زمین‌لغزش بالاتری برخوردارند. در این رابطه، طبقه با فواصل کمتر از ۲۰۰ متر (نسبت به آبراهه‌ها) با کسب وزن ۰/۴۱ از بیشترین میزان اهمیت و اولویت در رابطه با رخداد زمین‌لغزش برخوردار شده‌اند. با افزایش فاصله، از وزن طبقات فاصله از آبراهه‌ها کاسته می‌شود. در این رابطه طبقه با فواصل بیش از ۱۰۰۰ متر با کسب وزن یا ضریب تاثیر ۰/۰۱ از اهمیت بسیار کمی در خصوص رخداد زمین‌لغزش برخوردار است. در واقع، می‌توان بیان داشت که در فواصل بیش از ۱۰۰۰ متر و حتی کمتر، رودخانه‌ها تاثیری در وقوع زمین‌لغزش ندارند.

٤- ۲- ۹- نقش پوشش گیاهی بر وقوع زمین‌لغزش در حوضه قطورچای

در پژوهش حاضر از تراکم پوشش گیاهی به عنوان معرف پوشش زمین استفاده به عمل آمد. همانگونه که قبلا بیان گردید رابطه بین زمین-لغزش و پوشش گیاهی بسیار پیچیده است. در برخی موارد، پوشش گیاهی به عنوان عامل محرک زمین‌لغزش و در برخی موارد به عنوان عامل محدودکننده زمین‌لغزش به حساب می‌آید. با این حال می‌توان تصور نمود که پوشش گیاهی در زمین‌لغزش‌های سطحی می‌تواند به عنوان عامل یازدارنده مطرح شود. در پژوهش حاضر نقش پوشش گیاهی به عنوان عامل حفاظتی و بازدارنده زمین‌لغزش مورد توجه قرار گرفت. در واقع، بارش در سطح منطقه به‌حدی نیست که باعث شکل-گیری پوشش جنگلی شود و درنتیجه پوشش غالب منطقه از نوع مراتع با پوشش گیاهی ضعیف تا متراکم می‌باشد. در نتیجه ترجیح داده شد که پوشش گیاهی به عنوان عامل حفاظتی مد نظر قرار گیرد. برای تهیه لایه پوشش گیاهی منطقه از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) استفاده به عمل آمد. شاخص مذکور یک سنجش یا اندازه-گیری غیر مستقیم از فعالیت فتوسنتزی محسوب می‌شود. دامنه این شاخص بین ۱- برای حداقل میزان و ۱+ برای حداکثر میزان فعالیت فتوسنتزی است. شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) به صورت زیر تعریف می‌شود (فیروزی و همکاران، ۱۳۹۸):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}. \qquad \text{رابطه (۴- ۲)}$$

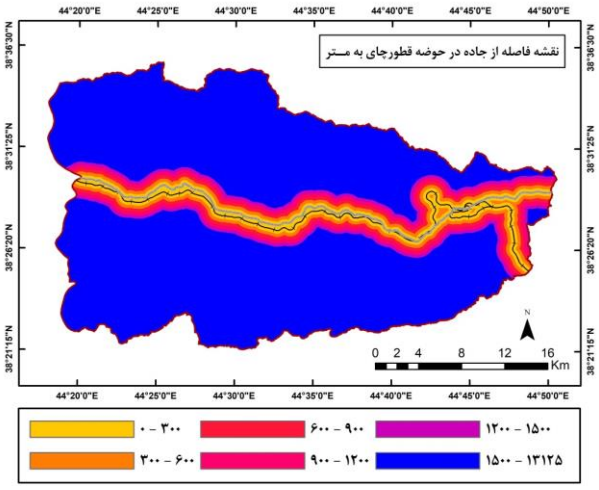
در این شاخص برای سطوح دارای پوشش گیاهی، طول موج‌های قرمز (RED) و مادون قرمز نزدیک (NIR) به ترتیب با جذب بالا و بازتاب پایین مشخص می‌شوند. در پژوهش حاضر، برای باندهای قرمز و مادون قرمز به ترتیب باندهای ۴ و ۸ ماهواره سنتینل مورد استفاده قرار گرفت. شکل (۹) نقشه توزیع مقادیر شاخص NDVI حوضه آبریز است. میانگین شاخص NDVI در محدوده حوضه آبریز قطورچای ۰/۲۳ با انحراف معیار ۰/۱۳ می‌باشد. این مقادیر نشان‌دهنده غلبه مراتع با پوشش گیاهی متوسط در سطح منطقه مطالعاتی است. همانگونه که بیان گردید در سطح حوضه آبریز قطورچای پوشش گیاهی به عنوان یک متغیر مثبت در نظر گرفته شد که تراکم بالای آن می‌تواند باعث تثبیت و پایداری دامنه‌ها شده و از وقوع زمین‌لغزش جلوگیری کند. در این رابطه، طبقه با مقادیر NDVI بیش از ۰/۶۳ با برخورداری از وزن ۰/۰۳ دارای کم‌ترین میزان اهمیت در رخداد زمین‌لغزش می‌باشد. این پهنه‌ها عمدتا شامل باغات و پوشش درختی موجود در دره‌های اصلی حوضه می‌باشد و بالغ بر ۲/۵ درصد از سطح حوضه را دربرمی‌گیرد. دو طبقه با مقادیر NDVI بین ۰/۴۳ تا ۰/۶۳ و ۰/۳۰ تا ۰/۴۳ عمدتا مشتمل بر مراتع با پوشش گیاهی خوب می‌باشند که به ترتیب بالغ بر ۴/۳ و ۱۳/۲ درصد از سطح حوضه را دربرمی‌گیرند. این طبقات نیز به دلیل برخورداری از پوشش گیاهی غنی مانعی در وقوع زین‌لغزش به-شمار رفته و درنتیجه وزن‌های پایینی را کسب نموده‌اند (در حدود ۰/۰۶ و ۰/۰۹). کاهش مقادیر شاخص NDVI نشان‌دهنده کاهش تراکم پوشش گیاهی منطقه و کاهش نقش حفاظتی آن می‌باشد. در نتیجه، با کاهش مقادیر شاخص NDVI بر احتمال وقوع زمین‌لغزش افزوده شده و طبقات مربوطه وزن‌های بیشتری را دریافت می‌کنند. در این رابطه، طبقه با مقدار شاخص NDVI بین ۰/۲۱- تا ۰/۱۴ عمدتا شامل اراضی بایر و یا با پوشش گیاهی ضعیف می‌باشد و با کسب وزن ۰/۴۰ از بیشترین میزان اهمیت یا اولویت در رخداد زمین‌لغزش برخوردار می-باشد.



شکل ۹- نقشه پوشش گیاهی (شاخص NDVI) در حوضه قطورچای

۴- ۲- ۱۰- نقش جاده بر وقوع زمین‌لغزش در حوضه قطورچای

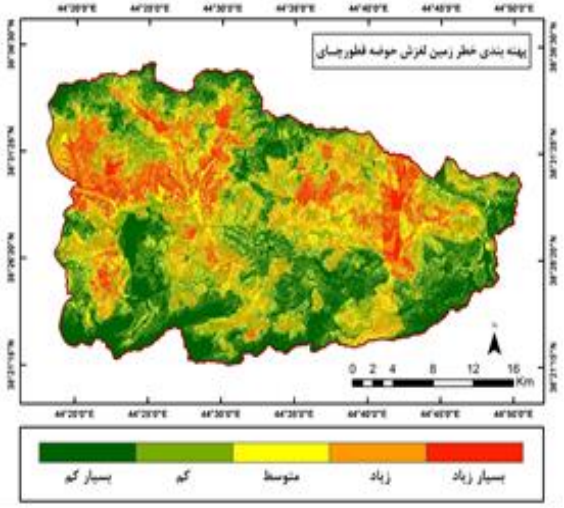
دخالت انسان در منطقه را می‌توان به عنوان یکی دیگر از متغیرهای موثر بر رخداد زمین‌لغزش به‌شمار آورد که در اکثر موارد دارای نقشی منفی و مخرب می‌باشد. با توجه به خشونت توپوگرافیکی و ژئومورفولوژیکی، تراکم جمعیت در محدوده حوضه مطالعاتی پایین است. با این حال، دره اصلی قطورچای بستر اصلی فعالیت‌های انسانی در سطح منطقه به‌شمار می‌رود که احداث جاده و راه‌آهن در امتداد دره قطورچای را می‌توان نمود بارز مداخلات انسانی موثر بر رخداد زمین-لغزش محسوب داشت. در این رابطه، جاده و راه‌آهن تقریبا در مجاورت هم احداث شده‌اند. جاده و راه‌آهن می‌توانند به دلایل متعددی محرک زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه باشند. در این رابطه می‌توان به حفاری و ایجاد ترانشه در پای دامنه‌ها به واسطه عملیات احداث جاده اشاره نمود. این امر باعث از بین رفتن تکیه‌گاه زیرین مواد دامنه‌ها شده که می‌تواند باعث ناپایداری دامنه‌ها شود. از طرف دیگر ارتعاشات و لرزش‌های وسائط نقلیه می‌تواند به عبور آستانه‌های ژئومورفولوژیکی و رخداد زمین‌لغزش در منطقه کمک نماید. بدین ترتیب، لایه فاصله از جاده و راه‌آهن به عنوان یکی از متغیرهای مورد استفاده در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. شکل (۱۰) نقشه فاصله از جاده و راه‌آهن حوضه مورد تحقیق را نشان می دهد. بدیهی است که از نظر رابطه بین جاده و راه‌اهن با زمین‌لغزش‌ها، پهنه‌های مجاور این عوارض انسانی از بیشترین میزان اثرپذیری برخوردار می-باشند. در این رابطه کلاس با فواصل کمتر از ۳۰۰ متر به شدت تحت تاثیر قرار گرفته و با دریافت وزن ۰/۵۶ از بیشترین میزان اهمیت و اولویت برخوردار می‌باشد. با افزایش فاصله از جاده‌ها از میزان اثرگذاری کاسته می‌شود. در واقع، در فواصل بیش از ۱۵۰۰ متری و حتی کمتر، اثرگذاری جاده‌ها حذف می‌شود. به همین دلیل، در پهنه‌بندی لغزشی منطقه مطالعاتی اثر جاده‌ها بر رخداد زمین‌لغزش عمدتا به پیرامون جاده-ها معطوف شده است.



شکل ۱۰- نقشه فاصله از جاده و راه‌آهن در حوضه

۴- ۳- محاسبه وزن‌های متغیرهای موثر بر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ANP

در پژوهش حاضر تعداد ۱۰متغیر محیطی و انسانی به منظور ارزیابی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز قطور چای به‌کار گرفته شد. در بخش قبلی تحقیق، نقشه این متغیرها ارائه شده و به ارزیابی رابطه آنها با زمین‌لغزش پرداخته شد. بدیهی است که متغیرهای مذکور در رابطه با رخداد زمین‌لغزش از ارزش و جایگاه یکسانی برخوردار نیستند. برخی از این متغیرها تاثیری قاطع و فراگیر بر رخداد زمین‌لغزش در سطح منطقه دارند؛ در حالی که اثرگذاری برخی این متغیرها محدود بوده و عملکرد آنها عمدتا در مقیاس محلی یا موضعی قابل توجه است. بنابراین، می-بایست با استفاده از راهکارهایی نسبت به تعیین اهمیت یا ضریب تاثیر هر یک از متغیرهای موثر بر خطر زمین‌لغزش اقدام نمود. یکی از این راهکارها مشتمل بر استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) می‌باشد که نه‌تنها در ارزیابی خطر زمین‌لغزش بلکه در ارزیابی بسیاری از مسائل مکانی به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این چارچوب، مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) یکی از مهم‌ترین و کارآمدترین مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد که کارایی خود را در تحقیقات مختلف به اثبات رسانده است. در پژوهش حاضر به منظور استخراج وزن معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌های تحقیق از مدل ANP در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بهره گرفته شد. روش اجرای مدل مذکور در فصل روش‌شناسی تحقیق به تفصیل تشریح شده است. در این بخش از تحقیق تنها به بیان یافته‌ها و نتایج حاصل از این مدل پرداخته می‌شود. خروجی اجرای مدل ANP در چارچوب نرم‌افزار Super Decisions مشتمل بر چندین سوپرماتریس و وزن‌های نهایی حاصل از مقایسات زوجی می‌باشد. در این بخش از تحقیق، سوپرماتریس‌های اولیه و ناموزن وزن‌های نهایی هر یک از معیارهای موثر بر رخداد زمین‌لغزش در شکل (۱۱) که نقشه نهایی پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش ارائه شده است.



شکل ۱۱- نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش

٤-تحلیل و نتیجه گیری

در پژوهش حاضر حوضه آبریز قطورچای از نظر خطر وقوع زمین لغزش مورد ارزیابی قرار گرفت. حوضه مطالعاتی در جنوب غرب شهرستان خوی وابسته به استان آذربایجان غربی واقع شده است. این حوضه جزو حوضه هایی از کشور محسوب می گردد که پتانسیل بالایی برای رخداد زمین لغزش دارد. بنابراین، در پژوهش حاضر ارزیابی مکانی و پهنه بندی خطر زمین لغزش این حوضه مورد بررسی قرار گرفت. به منظور پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش حوضه آبریز قطورچای از ۱۰ متغیر تاثیرگذار بر وقوع زمین لغزش استفاده به عمل آمد. این متغیرها عبارتنداز: ارتفاع، شیب، جهت شیب، طول دامنه، لیتولوژی، گسل ها، بارش، فاصله از آبراهه ها، پوشش گیاهی و فاصله از جاده استفاده شد. مقایسه معیارهای موثر بر رخداد زمین لغزش با بهره گیری از مدل فرایند تحلیل شبکه ای (ANP) بیانگر این است که سه متغیر شیب، لیتولوژی و بارش به ترتیب مهم ترین و اثرگذارترین متغیرهای موثر بر رخداد زمین لغزش در سطح حوضه آبریز قطورچای به شمار می روند. این متغیرها در مجموع دارای تاثیر بیش از ۶۰ درصدی بر رخداد زمین لغزش در محدوده حوضه مطالعاتی می باشند. در واقع، بخش قابل توجهی از زمین لغزش های منطقه نتیجه دخالت جداگانه یا ترکیبی متغیرهای مذکور می باشد. در نقطه مقابل، متغیرهای فاصله از جاده، طول دامنه، جهت شیب و پوشش گیاهی از کم ترین میزان اهمیت یا اثرگذاری در رخداد زمین لغزش های منطقه برخوردار بوده و نقش آنها بیشتر موضعی و محلی می باشد. نتایج حاصل از نقشه پهنه‌بندی نهایی خطر وقوع زمین لغزش نشانگر این است که حوضه آبریز قطورچای از پتانسیل بالایی در وقوع زمین لغزش برخوردار است. در حدود ۸ و ۱۹ درصد حوضه آبریز قطورچای در کلاس با خطر بسیار زیاد و زیاد قرار گرفته است. بدین ترتیب، اقدامات مدیریتی می بایست به پهنه های پرخطر متمرکز شوند.

منابع

- احمدی، ح. ۱۳۷۸. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱: فرسایش آبی. انتشارات دانشگاه تهران.۶۸۶ صفحه.
-احمدی، ح و فیض‌نیا، س. ۱۳۸۵. سازندهای دوره کواترنری (مبانی نظری و کاربرد آن در منابع طبیعی). انتشارات دانشگاه تهران. ۳۲۸ صفحه.
-اسفندیاری درآباد، ف؛ بهشتی‌جاوید، ا. ۱۳۹۵. پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل هیبریدی قضیه‌ی بیز ANP (مطالعه موردی: گردنه‌ی حیران). هیدروژئومورفولوژی، شماره ۸، صص ۹۳-۱۱۱.
-اسمیت، کیت. ۱۳۹۱. مخاطرات محیطی، ترجمه ابراهیم مقیمی و شاپور گودرزی‌نژاد. انتشارات سازمان مطالعه وتدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت). ۲۸۸ صفحه.
-اکبری، ا؛ درویشی بلورانی، ع؛ نیسانی سامانی، ن. ۱۳۹۶. تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل تلفیقی فازی- فرآیند تحلیل شبکه‌ای. نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۸، شماره ۳، شماره پیاپی ۲۸، صص ۷۳-۸۸.
-امیراحمدی، ا.، ع. شکاری بادی، م. معتمدی‌راد و م. بینقی، ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ANP (مطالعه موردی: حوضه پیوه-ژن دامنه جنوبی بینالود). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره ۳، صص ۲۱۴-۲۳۰.
-امیدوار، کمال. ۱۳۸۶. درآمدی بر حفاظت خاک و آبخیزداری. انتشارات دانشگاه یزد. ۲۹۵ صفحه.
-امیدوار، کمال. ۱۳۹۲. مخاطرات طبیعی. انتشارات دانشگاه یزد. ۳۲۱ صفحه.
-رهنمایی، م. ت، ا. پوراحمد و ی. اشرفی، ۱۳۹۰. ارزیابی قابلیت‌های توسعه شهری مراغه با استفاده از مدل ترکیبی ANP-SWOT. فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۲۴، صص ۷۷-۱۰۰.
-براتچی، م.، ن. منصوری و آ. احمدی، ۱۳۹۷. ارزیابی مخاطرات بهداشتی بر اساس روش تصمیم‌گیری چندشاخصه. مجله علوم پیراپزشکی و بهداشت نظامی، سال سیزدهم، شماره چهار، صص ۱-۹.
-جعفری، ت؛ گلی مختاری، ل؛ ناعمی‌تبار، م. ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر لغزش در حوضه آبریز بدرانلو با استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP). نشریه فضای جغرافیایی، دوره ۱۹، شماره ۶۶، صص ۱-۱۷.
--جمالی، ل؛ فلاحی، غ. ۱۳۹۶. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز سیمینه رود بوکان با تلفیق مدلهای آماری، فرایند تحلیل سلسله مر تبی و سامانه اطلاعات مکانی. نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره ششم، شماره ۴، صص ۱۸۵-۱۹۹.
-حافظی مقدسی، ن؛ غفوری، م. ۱۳۸۸. زمین‌شناسی زیست‌محیطی. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود. ۴۰۱ صفحه.
-حسین‌زاده، م.ح؛ ثروتی، م.ر؛ منصوری، ع؛ میرباقری، ب؛ خضری، س. ۱۳۸۸. پهنه‌بندی ریسک وقوع حرکت توده‌ای با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک.فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال سوم، شماره‌ی ۱۱، صص ۲۷-۳۷.
-حمزه، س؛ امیری، الف. ۱۳۹۹. پهنه‌بندی خطر رانش زمین با استفاده از روش‌های همپوشانی وزنی و تحلیل شبکه- مطالعه موردی: منطقه نصرآباد استان گلستان. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۹، شماره ۱۱۴، شماره پیاپی ۱۱۴، صص ۱۱۷-۱۳۲.
-خالدی، ش؛ درفشی، خ؛ مهرجونژاد، الف، قره‌چاهی، س، خالدی، ش. ۱۳۹۱. ارزیابی عامل‌های موثر در رویداد زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان). مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره اول، صص ۶۵-۸۲.
-خانلری، ع. ۱۳۹۲. زمین‌شناسی مهندسی (ویژه دانشجویان عمران). انتشارات دانشگاه بوعلی‌سینا. ۳۸۴ صفحه.
-روستایی، ش؛ خدائی، ل؛ مختاری، د؛ رضاطبع، خ و خدائی، ف. ۱۳۹۴. کاربرد تحلیل شبکه (ANP) در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در محدوده محور و مخزن سد قلعه‌چای. مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۴، شماره ۵، صص ۵۹-۷۴.
-سبحانی، ب.، شکرزاده فرد، ا، پیروزی، ا. ۱۳۹۸. ارزیابی و پهنه‌بندی آلودگی هوا با استفاده از روش‌های AHP و ANP (مطالعه موردی: شهر تبریز). جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست و نهم، صص ۱۵۳-۱۶۹.
--شایسته‌فر، م. ر. ۱۳۹۰. اصول زمین‌شناسی عمومی و کاربردی. انتشارات ستایش. ۳۲۹ صفحه.
-صفاری، ا؛ هاشمی، م. ۱۳۹۵. پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با مدل‌های آنتروپی و منطق فازی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه). فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال نهم، شماره ۳۴، صص ۴۳-۶۲.
-عابدینی، م؛ رنجبری، ا؛ مختاری، د . ۱۳۹۸. تجزیه و تحلیل خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ANP و LR در محیط GIS (مطالعه موردی پهنه گسلی قوشاداغ-ارسباران در آذربایجان‌شرقی). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، دوره ۸، شماره ۱، شماره پیاپی ۲۹، صص ۷۰-۸۸.
-عابدینی، م؛ قاسمیان، به. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان بیجار به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP). نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۲، صص ۲۰۵-۲۲۷.
-علایی طالقانی.م . ۱۳۸۸. ژئومورفولوژی ایران، چاپ سوم. انتشارات قومس.۳۶۰ صفحه .
-غلامی کلاته، غ.ر؛ کردوانی، پ؛ رنجبر، م. ۱۳۹۶. ارزیابی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان استان گلستان با استفاده از فرایند تحلیل شبکه (ANP). نشریه علمی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۴، شماره ۶، صص ۴۷-۶۶.
فیروزی، ف.، طاوسی، ت و محمودی، پ، ۱۳۹۸. بررسی حساسیت دو شاخص پوشش گیاهی NDVI و EVI به خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها درمناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، مطالعه موردی: دشت سیستان ایران. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۸، شماره ۱۱۰، صص ۱۶۳-۱۷۹.

-فرجی سبکبار، ح. ع.، م. سلمانی، ف. فریدونی، ح. کریم‌زاده و ح. رحیمی، ۱۳۸۹. مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله روستایی با استفاده از مدل فرایند شبکه‌ای تحلیل (ANP): مطالعه موردی نواحی روستایی شهرستان قوچان. برنامه‌ریزی و آمایش فضا، جلد ۱۴، شماره ۱، صص ۱۲۷-۱۴۹.

-قنبران، ع.، ف. حسینعلی، س. ب. حسینی و پ. بهرامی دوست، ۱۳۹۵. مکان‌یابی مراکز بیمارستانی با تکیه بر مخاطرات طبیعی و با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) نمونه موردی (منطقه پنج شهر تهران). فصل‌نامه آمایش محیط، شماره ۴۴، صص ۱۲۷-۱۵۶.

-کوک، آر. یو؛ دورکمب، جی. سی. ۱۳۷۷. ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، جلد اول، ترجمه شاپور گودرزی‌نژاد. سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت). ۳۸۴ صفحه.

-گرایی، پ. ۱۳۹۰. تعیین مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز واستان- ساری. پژوهش‌های دانش زمین، سال دوم، شماره ۶، صص ۹۳-۱۱۴.

-مکانیکی، ج.، و ح. صادقی، ۱۳۹۱. مکان‌یابی مراکز بهداشتی- درمانی (بیمارستان‌ها) شهر بیرجند، از طریق فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و مقایسه زوجی در محیط GIS. فصلنامه آمایش محیط، شماره ۱۹، صص ۱۲۱-۱۴۲.

-مقیمی، ا. ۱۳۸۹. ژئومورفولوژی شهری. انتشارات دانشگاه تهران.

-نظم‌فر، ح؛ بهشتی جاوید، ا. ۱۳۹۵. کاربرد مدل ترکیبی فرآیند تحلیل شبکه و منطق فازی در پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز چلی‌چای). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲۷، شماره ۱، شماره پیاپی ۶۱، صص ۵۳-۶۸.

-نیکجو، م. ر؛ برومند، ر؛ روستایی، ش؛ امیراحمدی، ا. ۱۳۹۶. تحلیل شبکه‌ای عوامل موثر در ناپایداری‌های دامنه‌ای رشته‌کوه بینالود با رویکرد مدیریت محیطی (مطالعه موردی: دامنه‌های شمالی و جنوبی). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال ششم، شماره ۲، صص ۴۵-۶۳.

-یمانی، م.، احمدآبادی، ع؛ زارع، غ. ۱۳۹۱. به‌کارگیری الگوریتم ماشین‌های بردار در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز درکه). جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال اول، شماره سوم، صص ۱۲۵-۱۴۲.

- Ayalew, L., and Yamagishi, H., 2005.The application of GIS–based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the KakudaYahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology, v.65, p.15-31.
- Bălteanu, D., Micu, M., Jurchescu, M et al. 2020. National-scale landslide susceptibility map of Romania in a European methodological framework. Geomorphology 371, pp. 1-22 .
- Bera, Amit; Prasad Mukhopadhyay, Bhabani; Das, Debasish. 2019. Landslide hazard zonation mapping using multi-criteria analysis with the help of GIS techniques: a case study from Eastern Himalayas, Namchi, South Sikkim. Natural Hazards volume 96, pages935–959.
- Committee on the Review of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy., 2004. Partnerships for Reducing Landslide Risk: Assessment of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy. National Academy of Sciences.
- Fanyu liu, Z., 2007. Study on landslide susceptibility mapping based GIS and with bivariate statistics, a Case Study in Longnan Area Highway 212. Science paper online.
- Fookes, P; Lee, E. M; Griffiths, J. 2007. Engineering Geomorphology - Theory and Practice. Whittles Publishing, Scotland.
- Garcia-Melon, Monica, Javier Ferris-Onate, Jeronimo Aznar-Bellver, Pablo Aragonés-Beltran, and Rocio Poveda-Bautista (2008), Farmland appraisal based on the analytic network Process, Journal of Global Optimization, Vol. 42, pp.143-155.
- Glade, T., M. Anderson and M.J. Crozier. 2005. Landslide hazard and risk. John Wiley & Sons Ltd.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. & Reichenbach, P., 1999- Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, Geomorphology, 31, 181–216.
- Hyndman, D., and D. Hyndman, 2009. Natural Hazards and Disasters, Second Edition. Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Kumar Dahal, R., (2008), Predictive Modeling of Rainfall-induced Landslide Hazard in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights-of-evidence, Geomorphology, Vol. 102, PP.496-510.
- Neaupane, Krishna; Piantanakulchai, Mongkut. 2006. Analytic network process model for landslide hazard zonation. Engineering Geology 85(3):281-294.
- Othman, Ainon Nisa; Naim, Wan Mohd; W.M; Noraini, S. 2012. GIS Based Multi-Criteria Decision Making for Landslide Hazard Zonation. Procedia - Social and Behavioral Sciences Volume 35, Pages 595-602.

- Pareta, K., Kumar, J. & Pareta, U., 2012- Landslide Hazard Zonation using Quantitative Methods in GIS, International Journal of Geospatial Engineering and Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 1-9.
- Pradhan, B., 2011- An Assessment of the Use of an Advanced Neural Network Model with Five Different Training Strategies for the Preparation of Landslide Susceptibility Maps. Journal of Data Science, No. 9, Pp. 65-81.
- Psomiadis, Emmanouil; Papazachariou, Andreas; X. Soulis, Konstantinos; Alexiou, Despoina-Simoni; Charalampopoulos, Ioannis. 2020. Landslide Mapping and Susceptibility Assessment Using Geospatial Analysis and Earth Observation Data. Land, 9(5), 133; https://doi.org/10.3390/land9050133.
- Roering, J.J., Kirchner, J.W., Dietrich, W.E., 2005, Characterizing Structural and Lithologi Controls on Deep-seated Landsliding: Implications for Topographic Relief and Landscape Evolution in the Oregon Coast Range, Geological Society of AmericaBulletin, No.117, PP. 654-668.
- Sassa, K., H. Fukuoka, F. Wang and G. Wang, 2007. Progress in landslide science. Springer.
- Varnes, D. J., 1984- Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. UNESCO Press, Paris, P. 176.
- Wang, Jian; Peng, Xiang-guo. 2020. GIS-based landslide hazard zonation model and its application. Procedia Earth and Planetary Science Volume 1, Issue 1, September 2009, Pages 1198-1204 .
- Yalcin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. CATENA, v. 72, p. 1-12.

Landslide potential zoning in Qatourchai watershed of Khoy city using ANP method

Dr. Mousa Abedini*1; Mohamad Gorbanzadeh mokhoi2

1* Professor in Gomorphology, Faculty of Social Sciences, Department of physical Geography. Ardabel. Iran.

2 MSc., Department of physical Geography (Geomorphology), Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University. Ardabel. Iran.

*Email Address: Abedini@uma.ac.ir

Abstract

Introduction

Landslides are among the geomorphic processes affecting the landscape evolution of mountainous regions, which occur under the influence of various local geomorphological, hydrological and geological conditions (Roering et al, 2005). In a simple definition, the mass movement of earth constituents from a slope (slope) to the bottom of the earth is called landslide. This downward movement of surface materials occurs due to the effect of the earth's gravity and the mobility and displacement of these materials increases with the presence of water in the sediments (Pareta et al, 2012). Landslides cause heavy casualties and financial and life losses every year, which in some cases cannot be compensated or require a lot of time and money. Therefore, planning to prevent these damages is of particular importance. In this regard, landslide risk zoning maps make it possible for relevant executive bodies to identify sensitive and vulnerable areas to landslides and make decisions about the desired programs). Qaturchai Khoi watershed is one of the basins in the northwest of the country, where the instability of the range is considered one of the important processes in the evolution of the region's landscape. Such instabilities in some cases threaten the existing settlements and infrastructures in the region. In the current research, the risk of landslides in this basin is zoned.

Methodology

In this research, in order to zone the risk of landslides in the Qoturchai catchment area, the technique of superimposing different variables affecting the occurrence of landslides was used. For this, it is necessary to combine the geographic information system (GIS) with other models. In this context, multi-criteria decision-making models are widely used. One of these efficient and common models is the Analytical Network Process (ANP) model. In the current research, the mentioned model was used to extract the weight or the influence factor of the effective criteria on the occurrence of landslides in the Qotourchai catchment area due to its high flexibility and the ability to establish internal and external communication. In the following, explanations about the ANP model and its implementation method are provided.In order to assess and zonate the risk of landslides in the Qoturchai catchment area, ArcGIS and Super Decisions software were used as the most important processing and analytical tools of the research.ArcGIS software was used to prepare thematic layers affecting landslide occurrence and spatial analysis.Super Decisions software was also used to perform calculations related to the Analytical Network Process (ANP) model.

Conclusion

In the present study, the Qoturchai catchment area was evaluated in terms of the risk of landslides. The study area is located in the southwest of Khoy city, affiliated to West Azarbaijan province. This basin is one of the basins of the country that has a high potential for landslides. Therefore, in the present study, the spatial assessment and zoning of the landslide risk of this basin were investigated. In order to zone the risk of landslides in Qatourchai catchment area, 10 variables influencing the occurrence of landslides were used. These variables are: height, slope, slope direction, slope length, lithology, faults, precipitation, distance from waterways, vegetation and distance from the road were usesd.The comparison of the effective criteria on the occurrence of landslides using the Analytical Network Process (ANP) model indicates that the three variables of slope, lithology and precipitation are respectively the most important and effective variables affecting the occurrence of landslides in the Qotourchai catchment area. These variables have a total effect of more than 60% on the occurrence of landslides in the study area. In fact, a significant part of the landslides in the region is the result of the separate or combined involvement of the aforementioned variables. On the opposite point, the variables of distance from the road, slope length, slope direction and vegetation have the least importance or influence in the occurrence of landslides in the region and their role is more local.

Keywords

Landslide Qoturchai Basin; ANP model; Zoning