پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال چهاردهم، شماره ۱، تابستان ۱۴۰۴
صص. ۱۹۵-۱۷۷

بررسی و شناسایی نواحی مستعد خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه نوبران استان مرکزی

موسی عابدینی * – استاد ژئومورفولوژی گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.
الناز پیروزی – دانش آموخته دکترای ژئومورفولوژی گرایش مخاطرات ژئومورفیک، دانشگاه محقق اردبیلی.
لیلا آقایاری– دانش آموخته دکترای ژئومورفولوژی گرایش مخاطرات ژئومورفیک، دانشگاه محقق اردبیلی.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲ تائید نهایی: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱

چکیده

پدیدهٔ زمین‌لغزش یکی از انواع حرکت‌های دامنه‌ای است که همواره خسارات زیادی را در کشور به وجود آورده است. انتقال بخشی از رسوبات دامنه به سمت پایین آن علاوه برخسارت‌های مالی، خطرات جانی زیادی را نیز در پی خواهد داشت؛ بنابراین شناسایی مناطقی که مستعد زمین‌لغزش می‌باشند می‌تواند در حد ممکن از وقوع این پدیده جلوگیری کند و باعث حفظ جان و مال انسان‌های در معرض خطر شود. حوضه نوبران استان مرکزی، با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، فیزیوگرافی، لیتولوژی، اقلیمی و انسانی، بسیار مستعد وقوع زمین‌لغزش می‌باشد و لذا هدف تحقیق حاضر، پهنه-بندی خطر زمین‌لغزش در این شهرستان می‌باشد. در این مطالعه ابتدا، عوامل مؤثر جهت ایجاد لغزش در حوضه نوبران (طبقات ارتفاعی ارتفاع، شیب، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصه از آبراهه، فاصله از راههای ارتباطی، بارش و کاربری اراضی) شناسایی شدند و سپس نسبت به تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی در سامانه اطلاعات جغرافیایی اقدام گردید. در مرحله بعد وزن‌دهی عوامل مورد بررسی، با استفاده از روش ANP و در محیط نرم‌افزار Super Decision انجام گردید و تحلیل و مدل‌سازی نهایی با استفاده از روش ARAS به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، انجام شد. در نهایت، نقشه‌ی حاصله در پنج رده‌ی با خطر بسیار کم تا خطر بسیار زیاد طبقه بندی گردید با توجه به نتایج مطالعه، عوامل کاربری اراضی، شیب، زمین‌شناسی و طبقات ارتفاعی بیشترین ضریب وزنی را به خود اختصاص دادند. همچنین، نتایج مطالعه نشان داد؛ به ترتیب ۴۱۷/۱۱ و ۴۰۰/۳۰۰ کیلومترمربع از مساحت حوضه، در طبقات بسیار پرخطر و پرخطر، قرار دارند و مناطق بسیار پرخطر و پرخطر در سازندهایی با زیربنای سنگ سخت به همراه مواد رسوبی و سست سطحی و توده سنگ‌های ریولیتی، کاربری‌های زراعی و مرتع و چراگاه‌های دامی، شیب‌های ۳۵-۲۰ درصد و ارتفاعات بیش از ۱۶۰۰ متر قرار دارند در نهایت می‌توان اظهار داشت، نظر به توان بالای حوضه نوبقران، از لحاظ رخداد حرکات و مخاطره لغزشی، بایستی اقدامات حفاظتی، مدیریتی و آبخیزداری در سطح حوضه مورد توجه مسئولان و دستگاه‌های ذی‌ربط قرار گیردو اقدامات پیشگیرانه لازم صورت گیرد.

***واژگان کلیدی:** حوضه نوبران، زمین لغزش، سیستم اطلاعات جغرافیایی، تصمیم‌گیری چند معیاره.*

* نویسنده مسئول: E-mail: Abedini@uma.ac.ir

مقدمه

مخاطرات محیطی براساس فرایند رابطه انسان با محیط تعریف می‌شود. در غیر این‌صورت پدیده‌هایی که خطر می‌نامیم. جزء رفتار معمول و رایج طبیعت است. این فرایند از زمان‌های قدیم و شاید از استیلای جبر محیطی بر جغرافیا حاکم بوده و به عقیده خیلی از جغرافی‌دانان محور اصلی فعالیت‌های جغرافیایی محسوب می‌شود (علیجانی، ۸۷:۱۳۹۳). بنابراین مخاطرات محیطی همواره از مهم‌ترین موضوعات مطرح در جوامع به شمار می‌آید (پورطاهر و همکاران، ۴:۱۳۹۰). تخریب سرزمین یکی از مشکلات عمده در کشورهای در حال توسعه است که عمدتا به علت سوءاستفاده از منابع خاک و به تبع آن فرسایش اتفاق می‌افتد (سیمونکیس و همکاران[1]، ۱۵۶۵: ۲۰۱۶). حرکات توده ای از جمله زمین‌لغزش از مهم‌ترین مباحث در زمینه مخاطرات طبیعی است، چرا که وقوع آن می‌تواند خسارات انسانی و اقتصادی فراوانی را به ویژه در مناطق کوهستانی در پی داشته باشد (ژانگ و همکاران[2]، ۲۰۱۹: ۵).

حرکات توده‌ای به حرکت نسبتا زیادی از مواد شامل سنگ و خاک روی یک زیربنای ثابت به دلایل مختلف گفته می‌شود که براساس شکل و عوامل ایجاد کننده آن به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند که از مهم‌ترین و خطرناک‌ترین نوع حرکات توده‌ای، زمین لغزش است (قویمی‌پناه و همکاران، ۵:۱۳۹۶). زمین لغزش ها به عنوان یکی از مخرب ترین پدیده های طبیعی محسوب می شوند. به دلیل تهدید آن‌ها، باید یک نقشه جامع حساسیت زمین‌لغزش برای کاهش آسیب‌های احتمالی به افراد و زیرساخت‌ها تهیه شود (عابدینی و همکاران،۱۴۰۰). وقوع زمین‌لغزش به عوامل متعددی؛ همچون شیب، شرایط زمین‌شناسی، ویژگی‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی، نوع کاربری‌زمین، پوشش‌گیاهی و عوامل انسانی بستگی دارد (ژو و همکاران[3]، ۲:۲۰۲۰؛ گورابی،۴۸:۱۴۰۰). لغزش‌ها در بسیاری از نقاط یک تهدید جدی برای جمعیت ایجاد می‌کنند (پتلی[4]، ۱۱:۲۰۲۱). بر روی مخاطره زمین لغزش پدیده‌های مختلفی تاثیرگذار هستند و در افزایش وقوع این پدیده نقش مستقیمی دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به بارش ، ذوب برف، تغییرات دما، زلزله، فعالیت‌های آتشفشانی و فعالیت‌های انسانی اشاره کرد (کروزیر[5]، ۱۷:۲۰۱۰). این پدیده طبیعی به اختلال در سیستم آب و خاک، تخریب راه‌های ارتباطی، مناطق مسکونی، خطوط انتقال نیرو، سازه‌های مهندسی، تخریب پوشش‌گیاهی و اراضی کشاورزی، رسوب‌گذاری سریع و گسترده، تسریع فرایند فرسایش و انتقال حجم زیادی از رسوبات به پشت سدها و تغییر و تحول سیمای زمین منجر می‌گردد (ماترازی و همکاران[6]، ۲:۲۰۲۱).

وقوع پدیده زمین‌لغزش که در بسیاری از نقاط دنیا و کشور ایران در شرایط مساعد رخ می‌دهد، موجب تخریب پوشش گیاهی، باغ‌ها، اراضی زراعی و حتی مرگ‌ومیرهای انسانی می‌شود (عابدینی،۱۹:۱۳۹۳). ایران با توپوگرافی عمدتا کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد و شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، از عمده شرایط طبیعی برای رخداد زمین لغزش‌ها برخوردار است (علیجانی و همکاران، ۸۸:۱۳۸۶). یکی از مناطقی که در معرض وقوع این مخاطره قرار دارد حوضه نوبران استان مرکزی می‌باشد که به دلیل وضعیت هیدروژئومورفولوژی و شرایط هیدرواقلیمی، در معرض مخاطره زمین لغزش قرار دارد. و به همین دلیل در این پژوهش به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش در آن پرداخته شده است.

در مورد موضوع مورد مطالعه تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که گزیده ای از آنها عبارتند : تیموری و همکاران (۱۳۹۸)، به پهنه‌بندی حساسیت و الویت بندی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل

---

1. Symeonakis et al
2. Zhang et al
3. Zhou et al
4. Petley
5. Crozier
6. Materazzi et al

حداکثر آنتروپی استان لرستان پرداختند و نتایج نشان داد که لایه‌های بارندگی، فاصله از جاده، لیتولوژی و کاربری اراضی به ترتیب مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر حساسیت بر وقوع زمین‌لغزش هستند. شریفی و همکاران (۱۴۰۰) پهنه‌بندی زمین لغزش شهرستان نور با استفاده از مدل تحلیل شبکه را بررسی کردند و یافته های پژوهش نشان می دهد که مناطقی که در شمالی، شمال‌غرب و شمال‌شرق قرار گرفتند بیشترین میزان زمین‌لغزش دارا می باشد که ۱۴/۹۴ درصد از کل مساحت شهرستان می‌باشد. همچنین حواشی شهر نور نیز براساس زمین لغزش در طبقه احتمال کم و احتمال خیلی کم قرار گرفته است که علت آن را می‌توان بارش کم، ارتفاعات و شیب های کم و .. عنوان کرد. اصغری و همکاران (۱۴۰۰)، به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های owa و ANN در شهرستان پاوه پرداختند و نتایج نشان داد که مناطق بسیار پرخطر و پرخطر، به طور عمده درشیب ۱۵-۳۰ درصد، کاربری زراعی، سازنده‌های نامقاوم و سست کواترنری و در خاک‌هایی با درصد زیاد رس، سیلت و مارن قرار دارند. در نهایت با مقایسه‌ی دو روش، مشخص گردید که مدل OWA دارای دقت بالاتری نسبت به روش ANN بوده است. نگهبان و همکاران (۱۴۰۰)، به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش و جابجایی عمودی با استفاده از تصاویر راداری در محدوده شهری و حاشیه شهری لواسان پرداختند نتایج بیانگر این موضوع بود که مناطق مستعد لغزش ۳۰/۱ کیلومتر مربع مناطق دارای جابجایی بیش از ۴۵ میلی متر ۲۶/۲۷ کیلومتر مربع و همچنین مناطق مستعد لغزش و دارای جابجایی بیش از ۴۵ میلی متر ۶/۹۷ کیلومتر مربع از محدوده را در بر گرفته است. حنیفی‌نیا و همکاران (۱۴۰۱)، به بررسی معیارهای موثر بر زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حوضه آبخیز زیوه با استفاده از دو مدل آنتروپی شانون پرداختند نتایج بیانگر عملکرد خیلی خوب این مدل بر روی پهنه‌بندی زمین‌لغزش می باشد. ذاکری‌نژاد و همکاران (۱۴۰۱)، به ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از داده های سنجش از دور و مدل حداکثر آنتروپی (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز کمه، جنوب استان اصفهان)، پرداختند بر اساس نتایج حاصل شده، از کل مساحت منطقه مورد مطالعه، ۱۳۹۷۶۰ هکتار ۶۹/۸۴ درصد خیلی‌کم خطر ۵/۱۵۴۴۹ هکتار ۹/۳۶ درصد، کم خطر، ۳۹/۶۹۰۳ هکتار ۱۸/۴درصد، نسبتاً کم خطر ۸۵/۲۴۵۶ هکتار ۴۸/۱ درصد پر خطر و ۴۴۵/ ۹۱هکتار ۲۷/۰ درصد در طبقه خیلی پر خطر قرار دارد. ملکی و همکاران (۱۴۰۲)، ارزیابی مخاطره زمین‌لغزش و واکاوی علل آن در جاده جدید سردشت-بانه حدفاصل سردشت -دارساوین را مطالعه کردند و نتایج نهایی نشان داد که بازه‌های (یک) سردشت تا سه راه قلته (دو) و سه راه قلته تا بریسو به ترتیب دارای پتانسیل ناپایداری و در سطح خطر بالایی قرار دارند. نتایج اعتبارسنجی بر مبنای منحنی ROC با مقدار ۸۱۱/۰ دال بر کارایی مدل است. کنعانی (۱۴۰۲)، به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش در حوضه آبریز سد ایلام با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای پرداختند براساس نتایج حاصله، بخش‌های مرکزی و غربی منطقه پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین‌لغزش دارند. در واقع، این مناطق به دلیل نزدیکی به خطوط گسلی، رودخانه و جاده اصلی، نوع کاربری و شیب زیاد، مستعد وقوع زمین‌لغزش هستند. همچنین بخش‌های شرقی منطقه به دلیل نوع کاربری، دور بودن از خطوط گسلی، دور بودن از جاده و رودخانه، پتانسیل کمی جهت وقوع زمین لغزش دارند. لجم اورک و همکاران (۱۴۰۲)، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فن GIS در شهرستان باغملک را بررسی کردند. نتایج این تحقیق بیانگر آن است که عامل شیب ، جنس زمین و شبکه آب‌های سطحی با رتبه یک تا سوم بیشترین تاثیر و جاده و جهت شیب با رتبه هشتم و نهم نیز کم‌ترین تاثیر را در وقوع زمین‌لغزش در این منطقه داشته است . مناطق با خطر کم ۴۳/ ۲۴ درصد و مناطقی با درصد زیاد ۴/۰۱ درصد از منطقه را داشته‌اند. نتیجه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که بیش‌ترین زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه در ارتباط با شیب و جنس زمین بوده، چرا که این عوامل با دخالت فعالیت‌های شبکه آب‌های سطحی، بارندگی و دیگر عوامل یاد شده، باعث سست شدن پیوند بین رسوبات شده و حرکت آنها را موجب می‌شود . حساس‌ترین قسمت‌های منطقه نیز جنوب غرب و قسمت هایی از شرق و غرب منطقه بوده

و مقاوم ترین قسمت منطقه قسمت‌های شمال، شمال غرب و بخش‌هایی از شرق منطقه بوده است. براگنانو و همکاران[۱] (۲۰۲۰)، در مطالعه‌ای با استفاده از شبکه‌عصبی مصنوعی و با استفاده از عوامل ژئومورفولوژیکی (ارتفاع، جنبه، شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، انحنای مشخصات)، زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی) و کاربری اراضی به ارزیابی زمین‌لغزش در دو شهر بزرگ برزیل (پورتو آلگره و ریودوژانیر) پرداختند. نشان نشان داد که روش ANN، می‌تواند ابزاری مؤثر برای کمک به توسعه نقشه‌های مستعد لغزش زمین باشد. وجتکووا و وجتک [۲](۲۰۲۰)، با استفاده از روش AHP، به ارزیابی استعداد لغزش زمین، در شهر هاندلوا اسلواکی پرداختند. با توجه به نتایج مطالعه، شیب به عنوان مهم‌ترین عامل شناخته شده و ۵۱/۹ درصد از کل منطقه دارای کلاس حساسیت بالا و بسیار بالا است. همچنین، با مقایسه نتایج مطالعه با نقشه پراکنش لغزش موجود، صحت نتایج مورد تأیید قرار گرفت. صالح‌پورجم و همکاران[۳] (۲۰۲۱)، با هدف ارزیابی عملکرد مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره LIM، TOPSISو VIKOR، حساسیت زمین‌لغزش در حوزه آبخیز الموت ایران را مورد مطالعه قرار دادند. با توجه به نتایج مطالعه، مساحت زیر منحنی ROC برای TOPSIS، LIM و VIKOR به ترتیب ۰/۷۸، ۰/۸۵ و ۰/۸۴ محاسبه شد. بنابراین، دقت مدل‌های MCDM برای مدل TOPSIS، قابل قبول و برای IIM و VIKOR عالی است. همچنین طبق نتایج حاصل از این مطالعه بیان شده است که با توجه به وجود مناطق با پتانسیل بالا و بسیار بالا، مدیریت ریسک زمین‌لغزش در این حوضه بسیار مهم است و به‌طورکلی، نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های MCDM، عملکرد خوب مدل‌ها را برای تولید خطر زمین‌لغزش، نشان می‌دهد. کومار و همکاران[۴](۲۰۲۲)، به پیش‌بینی فضایی خطر زمین لغزش در منطقه کولو هیماچال پرادش هند، با استفاده از روش AHP، پرداختند. نتایج مطالعه نشان داده است که ۶۸ درصد از مساحت محدوده مطالعاتی دارای پتانسیل بالای لغزش می‌باشد. همچنین با توجه به نقشه پراکنش لغزش‌های موجود، دقت پیش بینی ۹۰ درصدی برای این پژوهش، محاسبه شده است. ساها و همکاران[۵] (۲۰۲۳)، با بهره‌گیری از روش AHP، خطر زمین‌لغزش در بخشی از ناحیه دارجلینگ در شمال شرقی هند را مورد ازیابی قرار دادند و نتایج به دست آمده بیانگر این موضوع است که ۳۷/۸۶ درصد از منطقه در پهنه‌های پرخطر قرار دارد و با توجه به سطح زیر منحنی ۹۶/۸ ٪، کارایی مدل مورد تأیید قرار گرفته است.

در پژوهش حاضر، از روش ARAS، که براساس رویکرد برنامه‌ریزی مطلوب و بهینه‌سازی چندمعیاره پایه‌ریزی شده است، به عنوان قاعده تصمیم‌گیری چند معیاره، در تلفیق با فرایند تحلیل شبکه، به منظور پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش حوضه نوبران استفاده شده است. به نظر می‌رسد، استفاده از روش آراس با رویکرد تلفیقی با روش تحلیل شبکه، با شناسایی مناطق اولویت‌دار از نظر خطر زمین‌لغزش، به منظور انجام اقدامات لازم برای کنترل اثرات منفی ناشی از لغزش زمین، عملیات اجرایی و اصلاحی و برنامه‌ریزی استفاده بهینه از منابع ، می‌تواند برای پژوهشگران، مسئولان و سیاست‌گذاران در راستای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بسیار راهگشا بوده و مورد توجه باشد.

روش تحقیق

معرفی محدودهٔ مورد مطالعه

حوضه نوبران یکی از بخش‌های شهرستان ساوه ، استان مرکزی ایران می‌باشد (شکل ۱). که تقریبا در مرکز ایران بین مدارهای ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه ی عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۱ درجه‌ی طول شرقی

---

۱. Bragagnolo et al

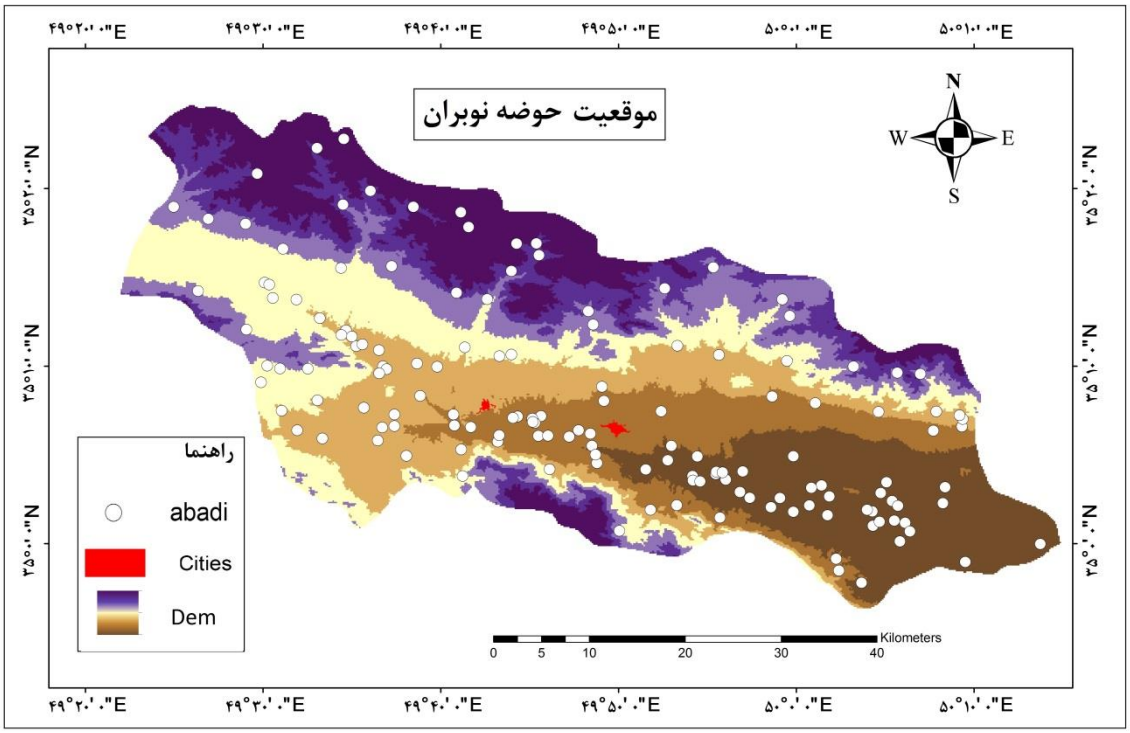
۲. Vojtekova & Vojtek

۳. Salehpour et al

۴. Kumar et al

۵. Saha et al

قرار دارد. نوبران شهری واقع در ۶۰ کیلومتری ساوه در مسیر همدان است با آب و هوایی معتدل در بهار و تابستان و سرد خشک در زمستان و پاییز می‌باشد. حوضه نوبران مرکز بخش بوده و دارای طبیعتی زیبا با بیش از ۱۰۰ روستا می‌باشد. طبیعت کوهستانی و رودخانه مزلقان چای از جلوه های خاص این حوضه می‌باشد. حوضه نوبران استان مرکزی، با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، فیزیوگرافی، لیتولوژی، اقلیمی و انسانی، بسیار مستعد وقوع زمین‌لغزش می‌باشد.

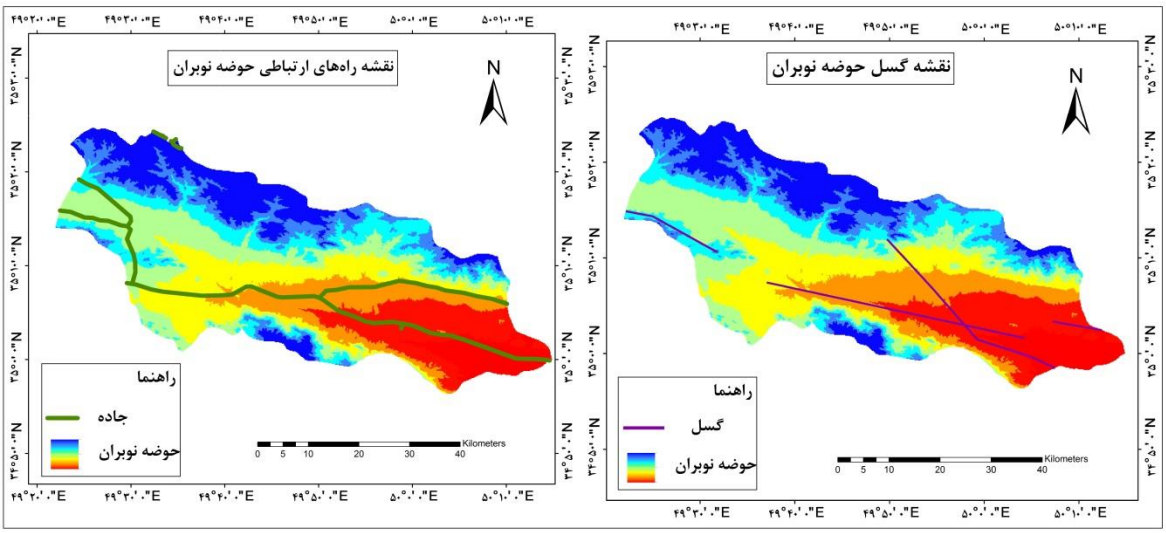


شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه نوبران

داده‌ها و ابزار مورد استفاده

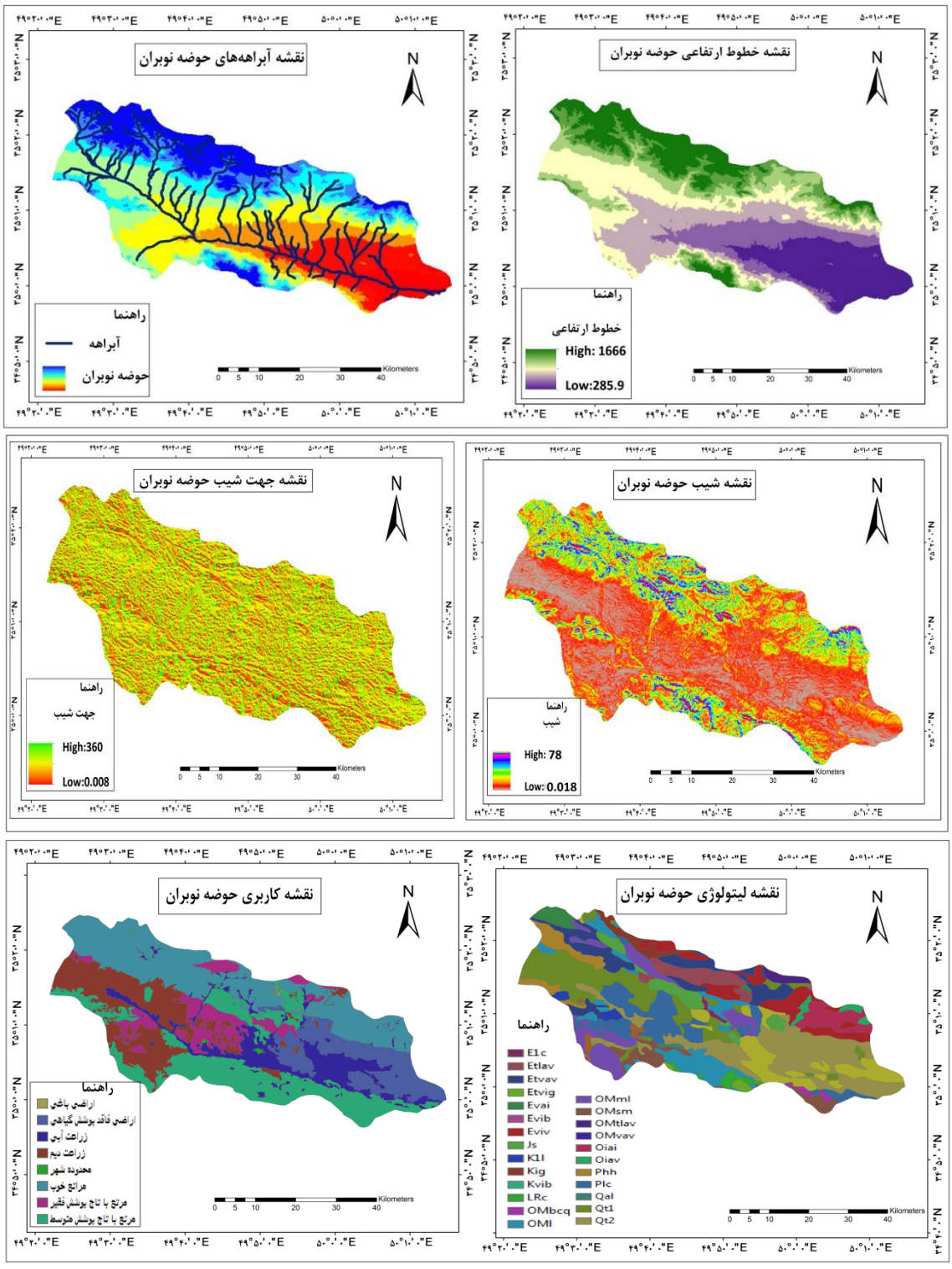
شناخت عوامل موثر بر زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن در مناطق مختلف بسیار ضروری می‌باشد. در این پژوهش عوامل شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، جهت شیب، طبقات ارتفاعی و فاصله از راه‌های ارتباطی با در نظر داشتن شرایط طبیعی و همچنین انسانی حوضه نوبران، مطالعه منابع و پیشینه‌ی پژوهشی در رابطه با موضوع تحقیق و استفاده از نظرات کارشناسان و متخصصان ذی‌ربط، به عنوان عوامل موثر در حوضه شناسایی گردید. در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی خطوط منحنی میزان، راه‌های ارتباطی و شبکه آبراهه با استفاده از نقشه توپوگرافی استان با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به دست آمد و لایه‌های شیب و جهت شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی (مقاومت سنگ‌ها) و گسل از روی نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. به منظور استخراج معیار کاربری اراضی، از تصویر ماهواره ای لندست ۹ سنجنده (OLI) به شماره گذر ۱۶۷ و ردیف ۳۳ استفاده شد (اخذ شده از سایت زمین شناسی آمریکا). ابتدا تصحیحات هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر با استفاده از روش Flaash، در نرم‌افزار Envi5.3، انجام شد. سپس طبقه‌بندی با روش شیءگرا و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی در نرم‌افزار Ecognition، صورت گرفت. لازم به ذکر است برای استخراج نقشه کاربری اراضی از ترکیب باندهای مرئی (آبی و سبز و قرمز) و مادون‌قرمزنزدیک ماهواره لندست، جهت طبقه بندی استفاده شد که بر خلاف طبقه‌بندی پیکسل پایه در طبقه‌بندی شی را ترکیب چهار باند (۲-۳-۴-۷) ماهواره لندست امکان‌پذیر می‌باشد. تعداد ۸ کلاس شامل، نواحی اراضی باغی، اراضی

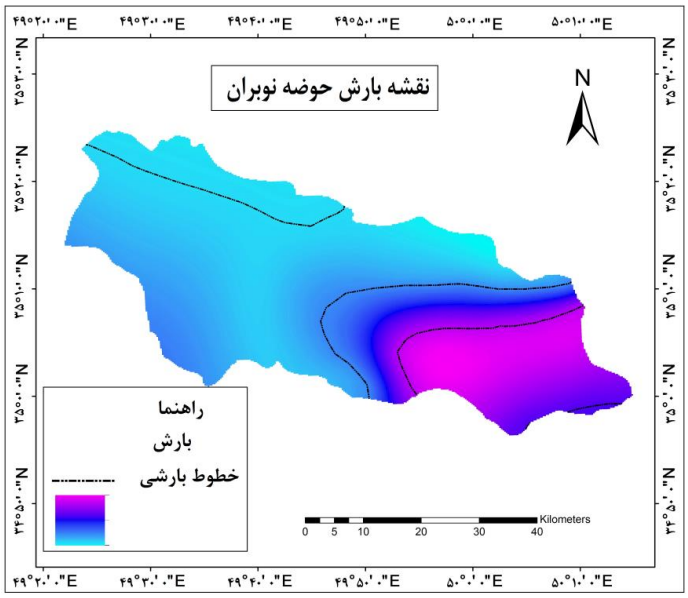
فاقد پوشش گیاهی، زراعت آب، زراعت دیم، محدوده شهر، مراتع خوب، مرتع با تاج پوشش فقیر، مرتع با تاج پوشش متوسط، برای ناحیه مورد مطالعه استخراج گردید. سپس به منظور بررسی صحت طبقه بندی، برای هر کاربری به تعداد ۵۰ نمونه از مناطق مختلف سطح محدوده برداشت شد و سپس با استفاده از الگوریتم بیشترین فراوانی طبقه‌بندی صورت گرفت در مرحله بعد، طبقه بندی شی‌گرا و بیش‌ترین فراوانی، با بررسی تک به تک کاربری ها با یکدیگر مقایسه شدند. در این پژوهش پارامترهای مؤثر بر استخراج کلاس‌ها در طبقه‌بندی شی‌گرا عبارتند از: ۱- انحراف معیار باندها: انحراف معیار یکی از شاخص‌های پراکندگی است که نشان می‌دهد به‌طور میانگین، داده‌ها چه مقدار، از مقدار متوسط فاصله‌دارند. ۲- شاخص NDVI[1]: در این پژوهش از شاخص NDVI به‌منظور جداسازی بهتر پوشش‌گیاهی از بقیه پدیده‌ها استفاده شد. ۳-واریانس: واریانس برای محاسبه بافت بر پایه میانگین و پراکندگی در اطراف میانگین از ارزش سلول‌ها داخل GLCM[2] به کار گرفته می‌شود. ۴- شاخص‌های هندسی، که پارامترهای مؤثری همچون حداکثر اختلاف، درجه روشنایی، ضخامت، مساحت و فشردگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌طورکلی، در تعریف شرایط طبقه‌بندی برای هریک از طبقات علاوه بر اطّلاعات طیفی، اطّلاعات مربوط به موقعیت، محتوا، بافت و سایر ویژگی‌های بصری نیز استفاده شده است. در نهایت ضریب کاپا و صحت کلی تعیین شد. با بررسی صحت‌سنجی طبقه‌بندی شی گرا صورت گرفته در سال ۲۰۲۴، مقدار صحت کلی ۹۰ درصد و همچنین ضریب کاپا برابر با ۰/۸۹ ارزیابی شد و نتایج حاصله از طبقه بندی کاربری‌ها در مطالعه‌ی حاضر، چه ازنظر تک‌تک کاربری‌ها و چه از نظر مجموع صحت و آمار کاپا، از صحت قابل قبولی (بزرگ‌تر از ۸۵ درصد)، در ارتباط با اطلاعات تولیدشده برخوردار می‌باشد. جهت تهیه نقشه خاک نیز، از نقشه خاک استان ، اخذ شده از سازمان آبخیزداری استان استفاده شده است. نقشه بارش حوضه نیز، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی و با به دست آوردن معادله گرادیان بارش (P= 0.224 H-83.54) و نیز استفاده از مدل رقومی ارتفاعی تهیه گردید. بدین صورت در محیط Arc map، در Raster Calculator، در اجرای معادله‌ی گرادیان بارش، به جای H، نقشه طبقات ارتفاعی جایگزاری شد و در نهایت نقشه بارش به دست آمد.



[1]- Normalized Difference Vegetation Index

[2]- Gray Level Co Gray Level Co-Occurrence Matrix


نقشه آبراهه‌های حوضه نوبران
راهنما
آبراهه
حوضه نوبران
نقشه خطوط ارتفاعی حوضه نوبران
راهنما
خطوط ارتفاعی
High: 1666
Low:285.9
نقشه جهت شیب حوضه نوبران
راهنما
جهت شیب
High:360
Low:0.008
نقشه شیب حوضه نوبران
راهنما
شیب
High: 78
Low: 0.018
نقشه کاربری حوضه نوبران
راهنما
نقشه لیتولوژی حوضه نوبران
راهنما
E1c
Etlav
Etvav
Etvig
Evai
Evib
Eviv
Js
Kll
Kig
Kvib
LRc
OMbcq
OMl
OMml
OMsm
OMtlav
OMvav
Oiai
Oiav
Phh
Plc
Qal
Qt1
Qt2
Kilometers



شکل ۲: نقشه عوامل تاثیر گذار بر زمین‌لغزش حوضه نوبران

مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از روش ARAS (ارزیابی نسبت جمعی)

گام‌های روش آراس عبارتند از: ۱: تشکیل ماتریس تصمیم: ماتریس تصمیم در این روش به صورت معیار–گزینه است. یعنی یک ماتریسی که ستون‌های آن را معیارهای مساله و سطرها را گزینه‌ها تشکیل می‌دهند و هر سلول نیز در واقع امتیاز هر گزینه نسبت به هر معیار است. ۲: نرمال کردن ماتریس تصمیم یا استانداردسازی: استاندارد نمودن داده‌ها به معنی همسان‌کردن دامنهٔ تغییرات داده‌ها بین صفر و یک و یا یک دامنهٔ مشخص دیگر است. در اندازه‌گیری معیارها برای بررسی و پهنه‌بندی زمین‌لغزش، دامنه‌ی متنوعی از مقیاس‌ها وجود دارد؛ از این رو، لازم است معیارها قبل از ترکیب با یکدیگر استاندارد شود. در این مطالعه، مرحله مربوط به ارزش‌گذاری و استانداردسازی به صورت توام و بر مبنای ارزش عضویت در مجموعه فازی در نظر گرفته شده است (جدول ۱). در مجموعه‌های فازی، بیشترین ارزش یعنی مقدار یک به حداکثر عضویت و کمترین ارزش یعنی صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلّق می‌گیرد.

جدول ۱: نوع توابع فازی‌ساز لایه‌های موضوعی تأثیرگذار بر خطر زمین‌لغزش محدوده مورد مطالعه

متغیر	توضیحات	نوع تابع فازی
شیب	با افزایش مقدار شیب، خطر زمین‌لغزش افزایش می یابد.	تابع خطی افزایشی
کاربری اراضی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر زمین‌لغزش و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله از گسل	در مناطق مجاور خطوط گسل، پتانسیل وقوع مخاطره زمین‌لغزش افزایش می‌یابد.	تابع نزدیک فازی
زمین‌شناسی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر زمین‌لغزش و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله از رودخانه	در مناطق مجاور رودخانه، پتانسیل وقوع مخاطره زمین‌لغزش کاهش می‌یابد.	تابع خطی کاهشی
جهت شیب	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر زمین‌لغزش و سپس فازی کردن.	تابع نزدیک فازی
فاصله از راه	در مناطق مجاور جاده‌ها، پتانسیل وقوع مخاطره زمین‌لغزش افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی
طبقات ارتفاعی	با افزایش ارتفاع، خطر زمین‌لغزش افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی
بارش	با افزایش میزان بارش، خطر زمین‌لغزش افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی

۳: وزن‌دار کردن ماتریس نرمال: جهت وزن دار کردن ماترس نرمال برای استخراج پهنه بندی روش های متعددی مانند ANP، AHP، CRITIC وجود دارد و در این پژوهش، جهت وزن‌دهی عوامل از روش ANP و نرم افزار Super

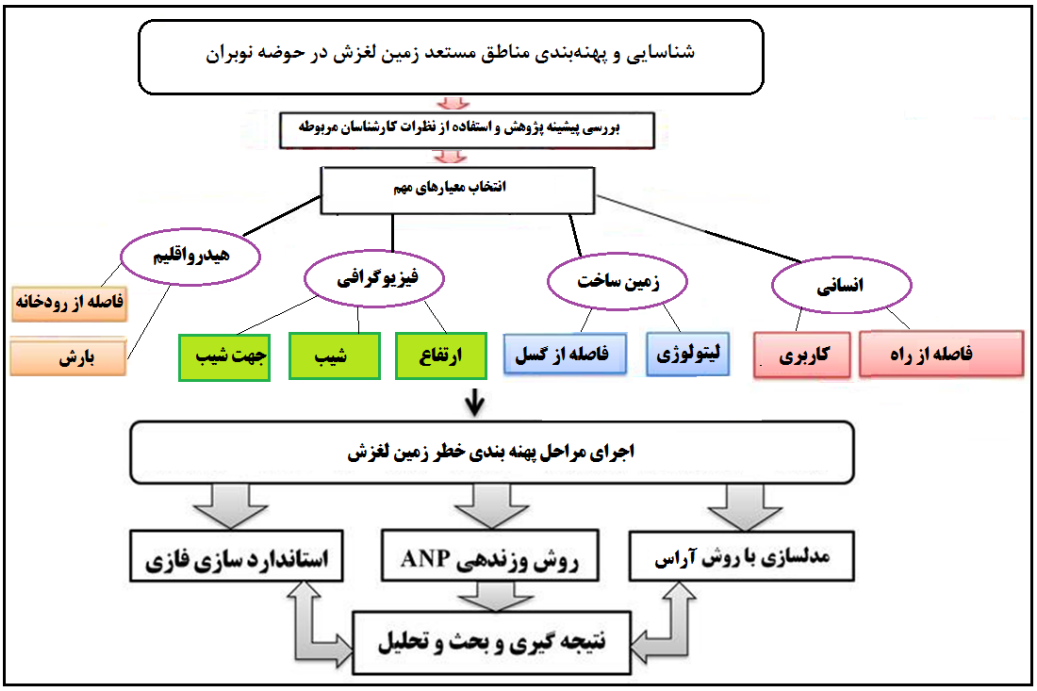
Decisions استفاده شده است. در مطالعه حاضر عوامل زمین‌ساختی، انسانی، فیزیوگرافی و هیدرواقلیمی خوشه‌ها می-باشند و معیارهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از گسل و بارندگی عناصر مطالعه می‌باشند و سپس مشابه با روش AHP، زوج‌های عناصر تصمیم‌گیری در هر خوشه به نسبت اهمیّت‌شان در جهت شرط‌های کنترلی آن‌ها مقایسه شده و خود خوشه‌ها نیز به نسبت سهم‌شان در هدف، مقایسات زوجی شدند و سوپرماتریس‌ها ایجاد شدند. به بیان دیگر، پس از مقایسه دوبه‌دویی بین معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها سوپرماتریس اولیه یا غیر وزنی محاسبه شد. سپس سوپرماتریس وزن‌دار عمومی یا حدی محاسبه گردید (برای اینکه سوپرماتریس بی‌وزن ما وزن‌دار شود، نیاز به ابرماتریسی است که جمع ستون‌های آن برابر با یک شود. این ماتریس از حاصل داده‌های ماتریس خوشه‌ای در ابرماتریس وزن‌دهی نشده و نرمالیزه کردن ماتریس حاصل بدست می‌آید). در نهایت سوپرماتریس حدی یا عمومی محاسبه می‌شود که در این مرحله سوپرماتریس وزنی به توان عددی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا شود، به عبارتی دیگر، تا زمانی که عوارض همگرا شود، مقادیر به توان می‌رسند. پس از محاسبه‌ی سوپرماتریس حدّی، آخرین مرحله برای تعیین ارزش و ضریب نهایی عناصر، محاسبه‌ی نتایج ماتریس خوشه‌ها و نرمال‌سازی ضریب عناصر در سوپرماتریس حدی توسط ضریب خوشه‌ها می‌باشد.

۴- محاسبه مطلوبیت کل هر گزینه: برای به دست آوردن تابع بهینگی S_i، اعداد نرمال شده وزین (x_{ij}) را به صورت سطری با هم جمع می‌کنیم (رابطه ۱). بزرگترین مقدار S_i بهترین است، و کمترین آن بدترین. با توجه به روند محاسبه شده، تابع بهینگی S_i دارای یک رابطه مستقیم و متناسب با مقادیر x_{ij} و وزن های w_j از معیارهای بررسی شده و تأثیر نسبی آنها بر روی نتیجهٔ نهایی است.

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} \hat{x}_{ij} \; ; \; i=\overline{0.m.} \qquad \text{رابطه ۱}$$

۵- محاسبه مطلوبیت نسبی هر گزینه و رتبه‌بندی گزینه ها: درجه ی مطلوبیت هر گزینه (آلترناتیو) به وسیله مقایسه متغیری که تجزیه و تحلیل شده است با حالت ایده آل یعنی S_o مشخص می‌گردد. معادله مورد استفاده برای محاسبه درجه ی مطلوبیت K_i از یک گزینه a_i به صورت رابطه (۲) است (عابدینی و همکاران، ۴۸:۱۴۰۲). فلوچارت مربوط به فرآیند پژوهش، در شکل ۲، نمایش داده شده است. در شکل ۳، فلوچارت فرآیند پژوهش، نمایش داده شده است.

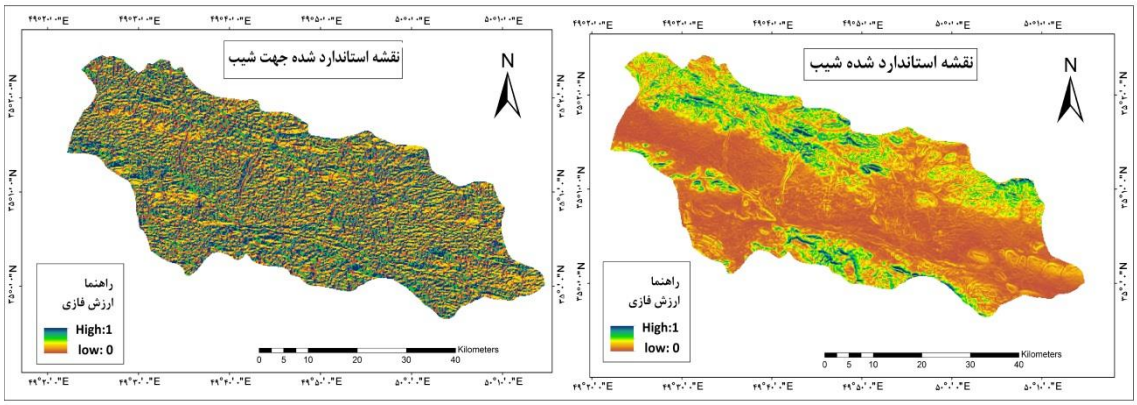
$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; \; i = \overline{0.m.} \qquad \text{رابطه ۲}$$

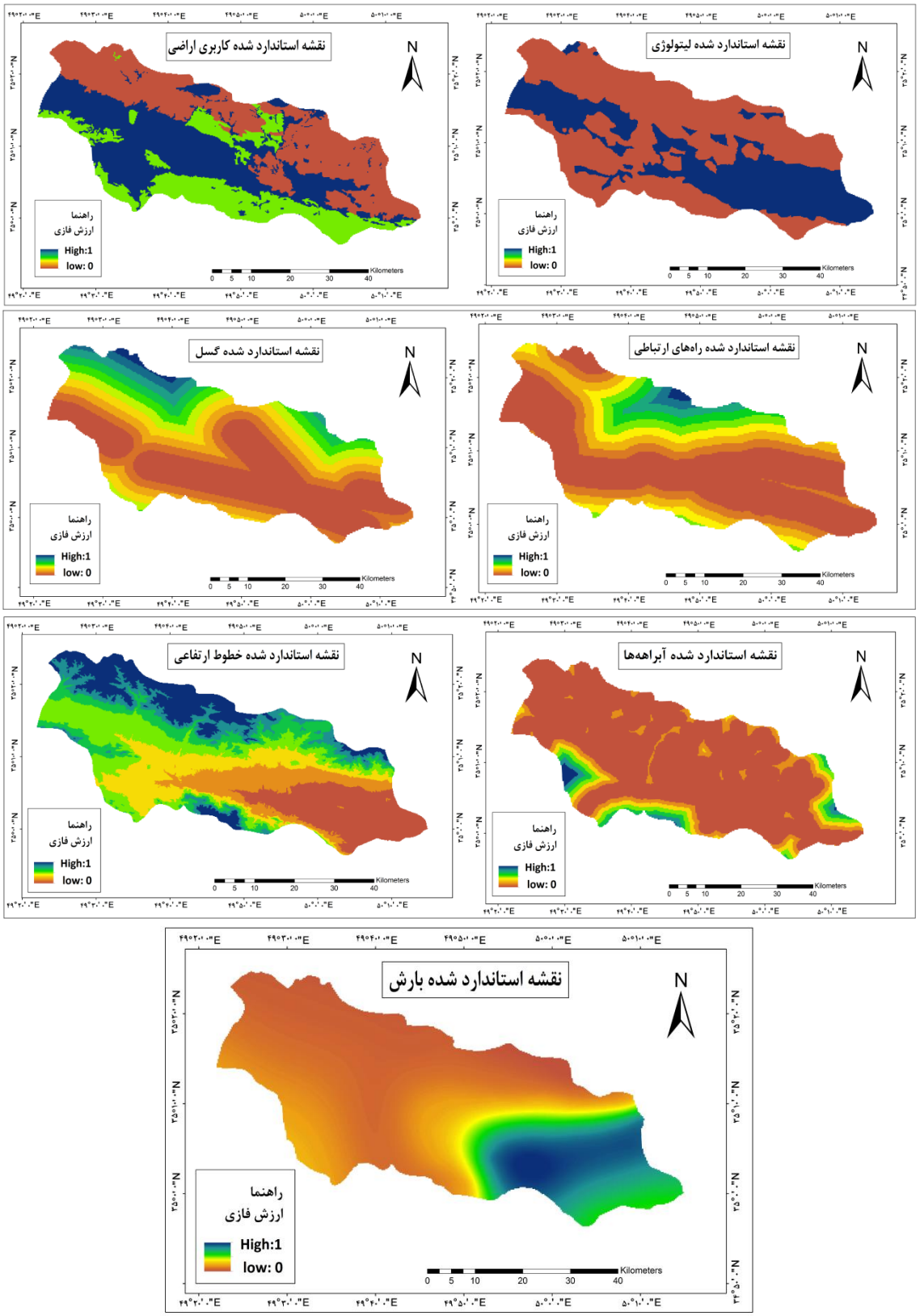


شکل۳: فلوچارت مربوط به فرآیند پژوهش

بحث و یافته‌ها

به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، ابتدا استانداردسازی معیارها انجام شد (شکل ۴). سپس با استفاده از مراحل وزن‌دهی ANPنسبت به تعیین ضریب وزنی عوامل دخیل در زمین‌لغزش محدوده‌ی مطالعاتی، اقدام شده است. در پژوهش حاضر، ارزش عضویت پارامترها بین مقادیر ۰ تا ۱ قرار دارد. نقشه‌های استاندارد شده‌ی مربوط به معیارهای مطرح در مطالعه حاضر در شکل ۴، نشان داده شده است.





شکل ۴: نقشه‌های استاندارد شده‌ی فازی معیارهای مطرح در پهنه‌بندی زمین‌لغزش

نتیجه‌ی سوپرماتریس وزنی،سوپرماتریس غیروزنی، حدی و مقایسات زوجی بین گروه‌ها که جدول اوزان گروه‌ها نامیده می‌شود، در جدول (۲)، آورده شده است. **جدول ۳ نیز نشان‌دهندهٔ** وزن نهایی حاصل از روش ANP می‌باشد.

جدول۲: سوپرماتریس غیروزنی، وزنی، حدی و ماتریس اوزان گروهها

سوپرماتریس غیروزنی یا اولیه‌ی مربوط به مدل

خوشه / معیار (عناصر)		فیزیوگرافی			انسانی		زمین ساخت		اقلیمی	
		شیب	جهت شیب	ارتفاع	کاربری	راه ارتباطی	گسل	لیتولوژی	رودخانه	بارش
فیزیوگرافی	شیب	۰/۰	۱/۰	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۰	۰/۵۰
	جهت شیب	۰/۱	۰/۰	۰/۷۵	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۴	۱/۰	۰/۵۰
	ارتفاع	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۰	۱/۰	۰/۷۵	۱/۰	۰/۶۶	۱/۰	۰/۵۰
انسانی	کاربری	۰/۳۳	۰/۳۳	۱/۰	۰/۰	۰/۲۵	۰/۰	۰/۳۳	۰/۰	۰/۵۰
	راه ارتباطی	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۰	۰/۳۳	۰/۶۶	۰/۳۳	۰/۳۳
زمین ساخت	گسل	۰/۰	۰/۱۹	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۳۳	۰/۰	۰/۰
	لیتولوژی	۰/۶۵	۰/۴۹	۰/۶۵	۰/۶۵	۱/۰	۰/۶۵	۰/۰	۰/۶۵	۰/۶۵
اقلیمی	رودخانه	۰/۰	۰/۶۶	۰/۰	۰/۰	۰/۶۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	بارش	۰/۳۳	۱/۰	۱/۰	۰/۳۳	۰/۰	۱/۰	۱/۰	۰/۰	۰/۰

سوپرماتریس وزنی مربوط به مدل

خوشه / معیار		فیزیوگرافی			انسانی		زمین ساخت		اقلیمی	
		شیب	جهت شیب	ارتفاع	کاربری	راه ارتباطی	گسل	لیتولوژی	رودخانه	بارش
فیزیوگرافی	شیب	۰/۰	۰/۳۴	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۰	۰/۱۸
	جهت شیب	۰/۳۴	۰/۰	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۱۵
	ارتفاع	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۳۱	۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۱۵
انسانی	کاربری	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۲۰	۰/۰	۰/۰۶	۰/۰	۰/۰۸	۰/۰	۰/۱۰
	راه ارتباطی	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰	۰/۱۰	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۰
زمین ساخت	گسل	۰/۰	۰/۰۵	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۸	۰/۰	۰/۲۰
	لیتولوژی	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۲۴	۰/۲۰	۰/۰	۰/۱۷	۰/۰
اقلیمی	رودخانه	۰/۰	۰/۱۳	۰/۰	۰/۰	۰/۱۲	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	بارش	۰/۰۶	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۰	۰/۰

سوپرماتریس حدی مربوط به مدل

خوشه / معیار		فیزیوگرافی			انسانی		زمین ساخت		اقلیمی	
		شیب	جهت شیب	ارتفاع	کاربری	راه ارتباطی	گسل	لیتولوژی	رودخانه	بارش
فیزیوگرافی	شیب	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷
	جهت شیب	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴
	ارتفاع	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹
انسانی	کاربری	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰
	راه ارتباطی	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴
زمین ساخت	گسل	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵
	لیتولوژی	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳
اقلیمی	رودخانه	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳
	بارش	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۰۱

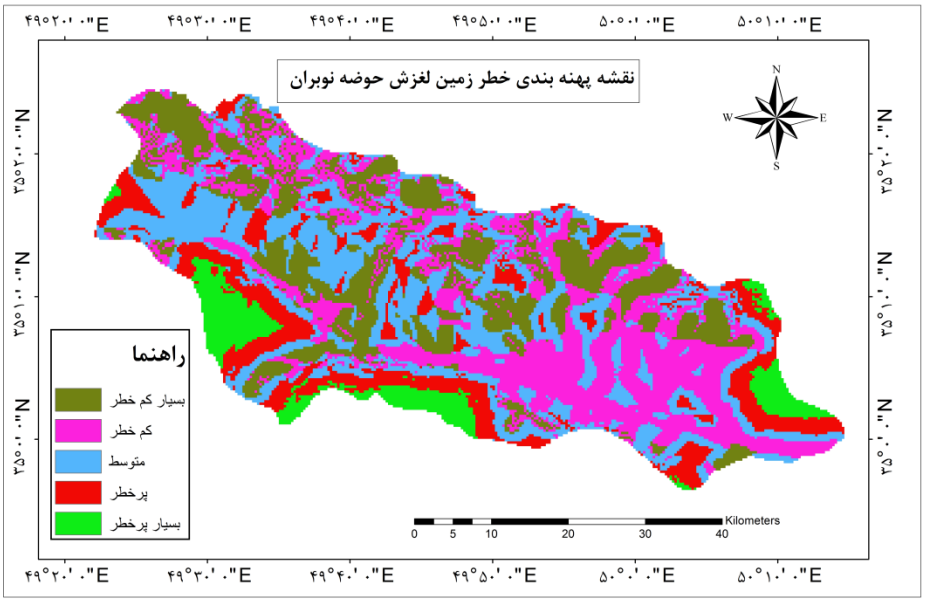
ماتریس اوزان گروه‌ها

خوشه	انسانی	زمین ساخت	فیزیوگرافی	هیدرواقلیمی
انسانی	۰,۵۹	۰,۲۲	۰,۶۰	۰,۵۹
زمین ساخت	۰,۱۰	۰,۰۹	۰,۲۴	۰,۱۰
فیزیوگرافی	۰,۲۵	۰,۶۳	۰,۱۰	۰,۲۵
هیدرواقلیمی	۰,۴۸	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۴

جدول ۳: وزن نهایی حاصل از روش ANP

معیار	فاصله از جاده	کاربری اراضی	جهت شیب	فاصله از گسل	زمین-شناسی	شیب	طبقات ارتفاعی	بارش	فاصله از رودخانه
وزن نهایی	۰/۰۸۷	۰/۳۴۲	۰/۰۵۲	۰/۰۳۱	۰/۱۹۱	۰/۲۴۷	۰/۱۴۷	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱

پس از اعمال کردن وزن‌های حاصل از روش ANP در هر یک از نقشه‌های استاندارد شده و پیاده‌سازی دیگر مراحل مدل ARAS، نقشه نهایی پهنه‌بندی لغزش در ۵ طبقه‌ی بسیار پرخطر تا بسیار کم خطر، بدست آمد (شکل ۵). با توجه به نتایج به دست آمده، ۴۱۷/۱۱ کیلومترمربع از مساحت حوضه در طبقه‌ی بسیار پرخطر و ۴۰۰/۳۳ کیلومترمربع، در طبقه پرخطر قرار دارد. همچنین ۳۲۵/۱۲ کیلومترمربع از مساحت حوضه، دارای خطر متوسط و به ترتیب ۲۱۷/۷۱ و ۲۸۸/۹۵ کیلومترمربع دارای خطر بسیار کم و کم می‌باشند (جدول ۴).



شکل ۵: نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش حوضه نوبران

جدول ۴: اطلاعات طبقات خطر زمین‌لغزش

طبقه خطر	خطر بسیار پرخطر	پر خطر	خطر متوسط	کم خطر	بسیار کم خطر
مساحت به کیلومتر مربع	۴۱۷/۱۱	۴۰۰/۳۳	۳۲۵/۱۲	۲۱۷/۷۱	۲۸۸/۹۵

بحث

جنس زمین و نوع سنگ از عوامل مهم و تاثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش است. هر چقدر که سنگ‌ها سست‌تر و همچنین از کانی‌های مختلف‌تری تشکیل شده باشند و دارای درز و شکاف فراوان‌تری باشند، پتانسیل بالاتری جهت وقوع زمین‌لغزش دارند. دامنه‌هایی که از لحاظ لیتولوژی، از سازندهای سست همچون مارن، شیل و رس تشکیل شده باشند. به دلیل مقاومت کمتری که در برابر نیروی خارجی دارند و همچنین به دلیل پتانسیل بالای حرکت و تغییر شکلی که دارند. مستعد وقوع زمین لغزش هستند. همچنین با توجه به تنوع ترکیب واحدهای زمین‌شناسی در منطقه و حساسیت متفاوت واحدهای

زمین‌شناسی در لغزش، عامل لیتولوژی نقش موثری در پراکندگی حرکات توده‌ای در منطقه دارند. در منطقه مورد پژوهش هم رسوبات آبرفتی و مناطق شیلی و رسی به خصوص در مرکز و در جنوب‌شرقی وجود توده سنگ‌های ریولیتی پتانسیل زیادی جهت حرکات دامنه‌ای دارند. همچنین نقاط پر خطر به طور عمده در خاک‌هایی ریزدانه با درصد زیاد رس و سیلت و مارن (لیتوسول) قرار دارند. خاک‌های ریزدانه که از عمق زیادی نیز برخوردارند، بر اساس آب‌گیری افزایش حجم پیدا کرده و در همین حال، به دلیل زهکش ضعیف، مدت زمان زیادی مرطوب می‌ماند و در نتیجه‌ی نیروی وزن توده و شیب زیاد زمین از قسمت‌های زیرین جدا شده و به سمت پایین حرکت می‌کند. در حوضه نوبران، واحدهای مختلف سنگ‌شناسی منطقه به صورت آتشفشانی و رسوبی گسترده شده است. بیش‌ترین مقدار از مساحت حوضه نوبران را سازندهای Plms (مارن، شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرا)، با مساحت ۲۹۰/۶۴۰ کیلومترمربع و Md.av (داسیت و آندزیت نیمه‌آتشفشانی)، با مساحت ۲۷۵/۵۶۶ کیلومترمربع به خود اختصاص داده‌اند. این واحد از سنگ‌های آتشفشانی، واحدهای ائوسن را بریده و در برخی مکان‌ها به‌گونه‌ای ناهمساز بر روی واحد ائوسن قرارگرفته است. سنگ‌های آتش‌فشانی دارای درز و شکاف‌های زیادی هستند و منجر به تبدیل شدن توده‌های سنگی به قطعات ریز و درشت گردیده است. لذا، در مناطقی که سنگ‌ها توسط مواد آبرفتی و دیگر سازندهای سطحی که عموماً مستعد جهت ایجاد لغزش‌اند، پوشیده شده است، دارای حساسیت بالایی نسبت به وقوع لغزش‌اند.

شیب نیز از عوامل مهم در وقوع زمین‌لغزش است. مناطق پرشیب پایداری کمی دارند و مواد روی این دامنه‌ها به دلیل اصطکاک کم و تحت تاثیر نیروی جاذبه و وزن مواد به سمت پایین‌دست حرکت می‌کنند. مناطقی که دارای شیب زیادی هستند، پتانسیل بالایی برای وقوع زمین‌لغزش دارند. مقدار شیب موجود در حوضه نوبران بین ۰ تا ۷۰ درصد می‌باشد و با توجه به بررسی پیکسل‌های موردی، مناطق بسیار پرخطر، به طور عمده در شیب ۲۰ تا ۳۵ درصد قرار دارند و در این مقدار شیب در حوضه نوبران، مواد سطحی و اصولاً ریزدانه که مستعد برای لغزش‌اند با جذب آب و افزایش رطوبت به حد سیلانی رسیده و با بالا رفتن تنش‌های برشی و گسیختگی مواد در دامنه، شروع به حرکت می‌کنند. و عمدتاً در شیب‌های بالا و کم‌تر از این مقدار در منطقه، امکان شکل‌گیری حرکات لغزشی کم می باشد با توجه به نقش و اهمیتی که جهت شیب در میزان رطوبت،بارش و یخبندان دارند، یکی از تاثیرگذارترین پارامترها در وقوع زمین‌لغزش هست. جهت شمالی به دلیل اینکه پشت به آفتاب هستند، رطوبت و یخبندان بیشتری دارند، بنابراین پتانسیل بیش‌تر جهت وقوع زمین‌لغزش دارند. همچنین جهات جنوبی به دلیل رطوبت و یخبندان کم‌تر، پتانسیل کم‌تری جهت وقوع زمین‌لغزش دارند (گنجائیان،۱۳۹۹: ۸۸).

در حوضه نوبران، چهار ماه خرداد، تیر، مرداد و شهریور، با میانگین بارش ماهانه به ترتیب ۱۷/۱، ۱۱/۱، ۹ و ۱۲/۵ میلی‌متر، کم‌بارش‌ترین ماه‌های سال در سطح منطقه می‌باشند. با آغاز فصل پاییز به صورت ناگهانی با ورود جریان‌های پرفشار سیبری و پرفشار آزورکه پس از ورود از شمال‌غرب و گذشتن از مناطق غرب کشور به سمت منطقه مورد مطالعه حرکت می‌کند بر میزان بارش افزوده می‌شود به گونه‌ای که میانگین بارش ماهانه مهر به ۱۸۰/۴ میلی‌متر بالغ می‌شود. در دو ماه آخر پاییز و دو ماه اول زمستان از میزان ریزش‌های جوی نسبت به مهرماه (اکتبر) کاسته می‌شود. به نظر می‌رسد افزایش برودت و کاهش گنجایش رطوبتی هوا در این کاهش اثرگذار می‌باشد. همزمان با کاهش برودت هوا در اسفندماه (مارس) بر میزان بارش منطقه افزوده می‌شود. در حالت کلی ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت به جهت دریافت بارش قابل توجه اهمیت بسیار زیادی در رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه دارد. در واقع، بارش مستمر در طی این ماه‌ها (همراه با ذوب برف) یکی از شرایط لازم برای رخداد زمین‌لغزش را مهیا می‌سازد که همان حضور آب می‌باشد. لایه بارندگی منطقه موردنظر به ۴ طبقه تقسیم شده که میزان بارش از ۳۸۷ میلی‌متر در غرب نوبران تا ۴۴۵ میلی‌متر در مناطق مرکزی و جنوب‌شرقی متغیر است. مقایسه موقعیت نقاط زمین‌لغزش و لایه مربوطه به میزان بارش در منطقه مورد مطالعه نشان

می‌دهد که بیش‌ترین زمین‌لغزش‌های رخ داده در طبقات بارشی ۴۲۷ تا ۴۴۵ میلی‌متر و پس از آن ۳۸۷ تا ۳۹۹ میلی‌متر قرار دارد.

با توجه به اینکه محدوده مورد مطالعه منطبق بر راه ارتباطی است، راه ارتباطی به عنوان یکی پارامترهای تاثیرگذار در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفت . راههای ارتباطی در ایجاد و توسعه حرکات دامنه‌ای نقش مهمی دارند و حرکات دامنه‌ای یکی از مشکلات و چالش‌های پیش‌روی فعالیت‌های عمرانی در مناطق کوهستانی است (رجائی،۱۳۸۲). توسعه راههای ارتباطی و زیربری پای دامنه‌ها در مناطق کوهستانی و پرشیب به خصوص در مناطقی که لیتولوژی ناپایداری دارند، زمینه را برای وقوع زمین‌لغزش فراهم می‌کند. براین اساس، مناطق نزدیک به جاده ، پتانسیل بالایی ازنظر وقوع زمین‌لغزش دارند. در حوضه نوبران فاصله از راه ارتباطی بین صفر تا۹۰۰۰ متر می‌باشد. مناطق پرخطر به طور عمده در فواصل صفر تا حداکثر ۲۵۰۰ متری از راه‌های ارتباطی قرار دارند. عامل جاده، به دلیل زیربری و از بین بردن پاشنه دامنه و تغییر در شیب دامنه‌ها در ایجاد حرکات لغزشی نقش بسیار مهمی دارد. چون اغلب فعالیت‌های جاده‌سازی در سطح شهرستان (به ویژه در مناطق روستایی و عشایری)، غیر اصولی و بدون توجه به اصول مهندسی می‌باشد، احداث راه‌های از یک سو به دلیل ایجاد ترانشه و تغییر وزن ناشی از خاک‌برداری و خاک‌ریزی، زیربری دامنه و از بین بردن تکیه‌گاه دامنه‌ها منجر به ایجاد زمین لغزش می‌شود. از سوی دیگر احداث جاده با از بین بردن پوشش مرتعی در دامنه‌های پرشیب باعث می‌شود، در هنگام بارش بهاری و ذوب برف، زمینه جهت شکل‌گیری زمین لغزش فراهم گردد. علاوه بر لیتولوژی یکی از پارامترهای مهم و تاثیرگذار در زمین لغزش این منطقه خطوط گسلی می‌باشد که تاثیر زیادی در ناپایداری دامنه‌ها دارد. و با توجه به اینکه تراکم سیستم درزه‌ها، شکستگی‌ها و خردشدگی‌ها نقش بسیار مهمی در ناپایداری دارند و گسل‌ها می‌توانند خردشدگی را به وجود آورند، مناطق نزدیک به خطوط گسلی پتانسیل بالایی جهت مخاطره زمین‌لغزش را دارند. در حوضه نوبران به ترتیب نزدیک‌ترین و دورترین فاصله از گسل صفر تا ۳۰۰۰۰ متر، می باشد. مناطق پرخطر معرفی شده حاصل از مطالعه حاضر، به طور عمده در فاصله صفر تا ۲۵۰۰ متری از گسل قرار دارند و گسل‌ها منجر به گسیختگی در دامنه‌ها و ایجاد شکستگی در لایه‌ها و خردشدگی توده‌های سنگی و در نتیجه نفوذ آب به داخل زمین و کاهش مقاومت برشی دامنه می‌گردند. براساس نقشه گسل منطقه ، بخش‌های جنوب شرقی و شمال‌غربی منطقه به علت نزدیکی به خطوط گسل ،پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین‌لغزش دارند. نوع کاربری اراضی نیز می‌تواند در تشدید و یا کاهش احتمال وقوع زمین-لغزش موثر باشد.

انواع کاربری‌های اراضی در رابطه با محافظت از شیب‌ها و پایداری و عدم پایداری آن‌ها عملکرد متفاوتی دارند. مناطقی که دارای پوشش گیاهی متراکم هستند، پتانسیل کم‌تری جهت وقوع زمین‌لغزش دارند . همچنین دامنه‌هایی که دارای پوشش گیاهی کم‌تری هستند، پتانسیل بیش‌تری جهت وقوع زمین‌لغزش دارند (گنجائیان،۱۳۹۹:۱۲۱). نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در ۸ طبقه، کلاس‌بندی شده است. طبقات کاربری اراضی شامل اراضی باغی، اراضی فاقد پوشش گیاهی،زراعت آبی، زراعت دیم، محدوده شهر، مرتع خوب، مرتع با تاج پوشش فقیر و مرتع با تاج پوشش متوسط است. با توجه به پراکندگی نقاط زمین لغزش منطقه و مقایسه آن‌ها با نقشه کاربری اراضی مشخص شده است که بیشترین کاربری‌هایی که مستعد زمین‌لغزش بوده و باعث حساسیت دامنه‌ها به زمین‌لغزش شده است شامل مراتع و باغات و زمین‌های کشاورزی می‌باشند و مابقی کاربری‌ها در وقوع این پدیده در این منطقه نقش کمتری را داشته‌اند. کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین مولفه‌ها در رابطه با رخداد زمین‌لغزش است چرا که نشان‌دهنده ماهیت پوشش و کاربری زمین است. از آن جهت که واحد حوضه نوبران، دارای توپوگرافی هموار می‌باشد و از آبرفت‌های جوان و تراس‌های قدیم و جدید در اثر ته‌نشست آبرفت‌های رودخانه‌ای با شیب کم تشکیل شده است، محل مناسبی برای فعالیت‌های زراعی و باغات ایجاد کرده است. لذا اغلب اراضی کشاورزی و نیز باغات در این واحد گسترده شده است. بررسی معیار کاربری اراضی حاکی از این موضوع است که کاربری زراعی و مراتع بیشترین درصد از مساحت مناطق پرخطر را به خود اختصاص داده است که با توجه

به عدم رعایت تناوب زارعی، کشت در اراضی شیب‌دار و افزایش رطوبت خاک از طریق آبیاری و نفوذ دادن آب بیشتر به زمین قابل قبول می‌باشد. به علاوه، مردم محلی با چرای بیش از حد دام‌های خود در مراتع، باعث نابودی پوشش‌گیاهی شده و به روند رخداد زمین‌لغزش بعد از وقوع بارش‌های سیل آسا سرعت می‌بخشند.

رودخانه‌ها و زهکشی جریان‌ها مکن است به علت شیب برشی و یا فرسایش جریان سبب شکست و خرابی کناره‌های رودخانه‌ها گردند. آب‌های جاری همیشه در دره‌ها و خطاالقعرها حرکت می‌کنند و عمل تخریب، فرسایش، انتقال و رسوب-گذاری را انجام می‌دهند. همچنین رودخانه‌ها نقش مهمی در برش پای شیب دارند و مانند جاده‌های ارتباطی در ناپایداری شیب دامنه تاثیرگذار هستند و مناطق نزدیک به آبراهه‌ها دارای پتانسیل بالاتری جهت حرکات دامنه‌ای به خصوص زمین لغزش هستند. فاصله از آبراهه در حوضه نوبران بین صفر تا ۱۰۰۰۰متر می باشد و از جمله از رودهای مهم آن مزلقان چای است. مناطق پرخطر در فواصل ۰ تا ۶۰۰ متری از رودخانه قرار دارند و رودخانه‌ها (به ویژه رودخانه‌های دائمی و پرآب)، با زیرشویی دامنه‌ها و از بین بردن تکیه‌گاه مواد دامنه‌ای در ایجاد زمین لغزش دارای اهمیت‌اند.

ارتفاع از جمله عوامل موثر در میزان بارش، رطوبت، یخبندان و غیره است. به طور معمول، مناطق مرتفع به دلیل یخبندان و شیب زیاد، در معرض وقوع حرکات دامنه‌ای از جمله زمین‌لغزش هستند. با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی دارای اختلاف ارتفاع زیادی است. تفاوت دمایی قابل توجهی نیز بین مناطق مرتفع با مناطق کم ارتفاع وجود دارد به همین دلیل ارتفاع به طور غیر مستقیم می‌تواند پتانسیل وقوع مخاطره زمین‌لغزش را افزایش دهد. به همین علت با افزایش ارتفاع به ویژه بالاتر از ۲۰۰۰ متر مدار ریزش برف افزایش می‌یابد و با ذوب شدن آن در فصل بهار، رودخانه‌ها را پر آب و در زیربری دامنه‌های پرشیب نقش مهمی دارد به همین دلیل ارتفاع به عنوان یکی از پارامترهای مهم در نظر گرفته می‌شود. بیشترین ارتفاع در مناطق مرکزی و جنوب شرقی و کمترین آن در قسمت‌های غرب و شمال‌غرب منطقه قرار دارند. با بررسی منطقه مورد مطالعه بیشترین ارتفاع ۱۶۶۶ متر و کمترین ۳۸۰ متر می‌باشد. خطوط ارتفاعی بین ۶۰۰ تا ۹۳۰ بیشترین میزان زمین لغزش را شامل می‌شود و ارتفاع بین ۳۸۰ تا ۶۰۰ متر بیشترین حساسیت و بیش‌ترین رخدادهای زمین‌لغزش را داشته است و در ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ متر احتمال رخداد زمین‌لغزش به علت جنس زمین در این ارتفاع کم‌تر می‌شود.

نتیجه‌گیری

زمین‌لغزش‌ها فرایندهای می‌باشند که عوامل متعدد و متنوعی در وقوع و تحریک آنها دخالت دارند. در این پژوهش خطر زمین‌لغزش در حوضه نوبران، با استفاده از تلفیق روش‌های ANP و ARAS، مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل اطلاعات مربوط به وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه،مشخص شده است که عامل کاربری اراضی(جزو خوشه انسانی)، بیش‌ترین میزان تاثیر را در وقوع زمین لغزش‌ها در منطقه داشته است. به گونه‌ای که در کاربری‌های کشاورزی، باغات و مراتع بیش‌ترین میزان لغزش‌ها رخ داده است. کم‌ترین میزان تاثیر را هم عامل فاصله از رودخانه(جزو خوشه هیدرواقلیمی) با وزن ۰/۰۱۱ داشته است. دومین عاملی که بیش‌ترین تاثیر را در وقوع این مخاطره داشته عامل شیب(جزو خوشه فیزیوگرافی) با ضریب وزنی ۰/۲۴۷ بوده است. پارامترهای مهم و تاثیرگذار مورد مطالعه در این پژوهش به ترتیب عامل شیب با وزن ۰/۱۹۱، طبقات ارتفاعی وزن۰/۱۴۷ ، فاصله از جاده وزن ۰/۰۸۷، جهت شیب ۰/۰۵۲، فاصله از گسل با وزن ۰/۰۳۱ و بارش ۰/۰۱۲ پتانسیل وقوع مخاطره زمین لغزش را در حوضه نوبران تقویت میکند.

همان‌گونه که می‌دانیم، هر یک از روش‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها به نوبه خود دارای مزایا و معایبی می‌باشند. این امر که یک روش در یک منطقه تا چه حد از کارایی برخوردار است به شرایط بسیاری از جمله اقلیم و توپوگرافی و دیگر عوامل بستگی دارد. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل از مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده تلفیقی از روش‌های ANP و ARAS ، از دقت نسبی بالایی جهت مطالعه‌ی زمین‌لغزش برخوردار است. لذا، نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعات؛

انتظاری و همکاران (۱۳۹۸)، بیگدلی و همکاران (۱۳۹۹)، آقایاری و همکاران (۱۴۰۳)، پیروزی و همکاران(۱۴۰۲)، وجتکووا و وجتک (۲۰۲۰) مبنی بر دقت مناسب روش‌های تحلیل چندمعیاره در مطالعه خطر زمین‌لغزش و نتایج مطالعات؛ کردوانی و همکاران (۱۳۹۶)، عابدینی و همکاران (۱۳۹۸)، اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹)، یوپن و پیانتاناکولاچی (۲۰۰۶)، عابدی قشلاقی و فیضی‌زاده (۲۰۱۷)، مبنی بر کارآمدی روش ANP در ارزیابی زمین‌لغزش همخوانی دارد.

با توجه به نقشه خروجی پهنه‌بندی حوضه نوبران می‌توان گفت ۴۱۷/۱۱ کیلومترمربع از مساحت این حوضه در طبقه بسیار پر خطر، ۴۰۰/۳۳ کیلومترمربع در طبقه پرخطر، ۳۲۵/۱۲ کیلومترمربع خطر متوسط، ۲۱۷/۷۱۰ کیلومترمربع ۲۸۸/۹۵۶ بسیار کم خطر قرار دارد. لذا، می‌توان گفت که نتایج حاصل از این مطالعه، حاکی از توان بالای حوضه نوبران، از لحاظ رخداد حرکات لغزشی می‌باشد. قلمروهای پرخطر تعیین شده در این پژوهش اراضی هستند که نباید کارهای غیر اصولی از قبیل تخریب پوشش‌گیاهی در اثر تبدیل اراضی مرتعی به زراعی و چراگاه‌های دامی، کاهش کمی و کیفی پوشش‌گیاهی در اثر چرای بی‌رویه دام‌ها، کشت دیم در اراضی شیب‌دار، عدم رعایت تناوب زراعی، احداث و دستکاری‌های غیراصولی جهت احداث جاده انجام گیرد. انتظار می‌رود، این پژوهش و نتایج حاصل از این تحقیق، با معرفی مناطق دارای احتمال وقوع بالای زمین‌لغزش، راه‌گشا و راهنمایی برای اعمال مدیریت بهتر و علمی‌تر مدیران و برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران ذی‌صلاح در این زمینه گردد و در نواحی با پتانسیل خطر بالا، با انجام اقدامات حفاظتی، آبخیزداری مناسب و البته کارشناسی شده توسط متخصصان این امر، از وقوع زمین‌لغزش‌های احتمالی جلوگیری شود. به علاوه پیشنهاد می‌گردد، سازمان‌ها و ارگان‌های زیربط از جمله اداره‌ی کل منابع طبیعی، اداره‌ی راه و ترابری، بنیاد مسکن، سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای شهرستان نوبران و شهر ساوه و ... در طراحی پروژه‌ها، مدیریت‌های محیطی، اجرای برنامه‌ها، طرح‌های عمرانی و هرگونه ساخت و سازها و فعالیت‌های زیربنایی در شهرستان نوبران، به منظور انتخاب استراتژی صحیح و مناسب و دوری از مناطق پرخطر، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه را نیز در نظر بگیرند.

منابع

- اصغری سراسکانرود، ص.، امامی، ر.، پیروزی، الف.، ۱۴۰۰. ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش های OWA و ANN (مطالعه ی موردی: شهرستان پاوه). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۰(۲۸)، ۱۳۱-۱۵۰.
- اصغری سراسکانرود، ص، پالیزبان، د، امامی، ه، قلعه، الف.، ۱۳۹۹، تحلیل مدل‌های تحلیل شبکه و منطق فازی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش مطالعه موردی: (جاده سراب-نیر)، جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۴، شماره ۷۳، صص ۱-۲۲.
- انتظاری، م، خدادای، ف، ساسان‌پور، ف.، ۱۳۹۸. تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفولوژیک (لغزش و سیل) استان البرز با استفاده از مدل‌های AHP-$VIKOR$ و FR، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۱، شماره ۱، صص ۱۹۹-۱۸۳.
- بیگدلی، ب، سجادی، م، احمدی، الف.، ۱۳۹۹. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر اساس فرایند سلسله مراتبی-فازی ($FANP$) و تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (مطالعه موردی: حوزه رودخانه ماربر)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال سازدهم، شماره ۴، صص ۴۶-۲۵.
- پورطاهری، م.، سبحانی، ح.، صادقلو،ط.، ۱۳۹۰. فصلنامه پژوهش‌هایی روستایی. سال ۲، شماره ۳. صص ۵۴-۳۱.
- تیموری، م.، اسدی نلیوان، الف.، ۱۳۹۸. پهنه‌بندی حساسیت و اولویت بندی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (مطالعهٔ موردی: استان لرستان)، هیدروژئومورفولوژی, دوره ۲۱، شماره ۶، صص ۱۵۵-۱۷۹.
- تیموری، م.، بیات، الف.، شهبازی، ع.، اسدی نلیوان، الف.، ۱۴۰۳. مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری با استفاده از مدل یادگیری ماشین در حوزه آبخیز دهدر، مدیریت جامع حوزه های آبخیز، دوره ۴، شماره ۳، صص ۱۴-۲۹.

- ذاکری نژاد، ر.، عموشاهی, ن.، ۱۴۰۱. ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل حداکثر آنتروپی (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز کمه، جنوب استان اصفهان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، دوره ۱۱، شماره ۲، صص ۱۲۸-۱۴۹.
- رجایی، ع.، ۱۳۸۲. کاربرد ژئومورفولوژی در آمایش سرزمین و مدیریت محیط چاپ دوم . تهران. نشر قومس.
- شریفی، ح.، رمضانی پور، م.، ابراهیمی، ل.، حق زاد، الف.، ۱۴۰۰. پهنه بندی خطر زمین لغزش شهرستان نور با استفاده از مدل تحلیل شبکه. پژوهش‌های جغرافیای اقتصادی، دوره ۶، شماره ۲، صص ۴۰-۵۵.
- عابدینی، م.، آقایاری، ل و پیروزی، الف . ۱۴۰۲. ارزیابی و پهنه‌بندی فرونشست شهرستان نمین با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری و تکنیک چند معیاره آراس، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۲، شماره ۲، صص ۵۸-۴۰.
- عابدینی،م.، قاسمیان، ب.، روستایی، شهرام.، شیرزادی، ع.، ۱۴۰۰. ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل جدید ترکیبی الگوریتم مبنا)مطالعه موردی: شهرستان کامیاران، استان کردستان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴. صص ۱۴۶ – ۱۳۰ .
- عابدینی،م.، قاسمیان، ب.، شیرزادی، ع.، ۱۳۹۳. مدلسازی خطر وقوع زمینلغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک(مطالعه موردی: استان کردستان، شهرستان بیجار)، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۱۲، شماره ۳۷، صص ۱-۸.
- عابدینی، م، رنجبری، الف، 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 کمی، دوره ۸، شماره ۱، صص ۸۸-۷۰.
- علیجانی، ب.، قهرودی تالی، م.، امیراحمدی، الف.، ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های شمالی شاه جهانبا استفاده ازGIS مطالعه موردی: حوضه اسطرخی شیروان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۲، شماره۱، صص ۱۳۲-۱۱۷.
- علیجانی، ب.،۱۳۹۳. مبانی فلسفی مخاطرات محیطی ، فصلنامه تحلیل مخاطرات فضایی، سال ۱.شماره ۱، صص ۱۵-۱.
- قویمی پناه، م.، خالدی درویشان، ع.، قویمی پناه، م.،۱۳۹۶. صحت سنجی روشهای تحلیل سلسله رگرسیون چند متغیره در پهنه بندی زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ولیعصر استان اردبیل،) مجله اکو هیدرولوژی، دوره.۷۷۵-۷۸۹ ، شماره ۳. صص ۷۸۹-۷۷۵.
- کنعانی، س.، ۱۴۰۲. شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش در حوضه آبریز سد ایلام با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای. جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۴، شماره ۵، صص ۵۱۶-۵۲۴.
- گنجائیان، ح.، ۱۳۹۹. مخاطرات ژئومورفولوژیک مناطق شهری، روشهای مطالعه و راهکارهای کنترل آن، انتشارات انتخاب، صص ۱۴۴.
- گنجی، م.، ۱۳۶۷، جغرافیا در ایران از دارالفنون تا انقلاب اسلامی، چاپ اول، مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
- گورابی، الف.، ۱۴۰۰. کمی‌سازی زمین‌لغزش بزرگ مله‌کبود ناشی زمین لرزه ۷/۳ سال ۱۳۹۶ کرمانشاه با استفاده از اینتروفرمتری، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، دوره ۲۱، شماره ۶۰، صص ۴۷-۶۳.
- لجم اورک، م.، پیری، ز.، ۱۴۰۲. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فن GIS (مطالعهٔ موردی: شهرستان باغملک)، جغرافیا و مخاطرات محیطی, دوره ۱۲، شماره ۳، صص ۱۹۳-۲۱۵.
- مانی، م.، پیرانی، پ.، مرادی پور، ف.، شعبانی ع، وگورابی، ا.، ۱۳۹۳. ارزیابی ژئومورفولوژیکی پتانسیل حرکات دامنه ای تاقدیس سیاه کوه، غرب ایران، برنامه ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۸، شماره ۳، صص ۱۷۰-۱۴۷.
- ملکی، ن، سالاری، م، طالب پور اصل, د، ۱۴۰۲. ارزیابی مخاطره زمین‌لغزش و واکاوی علل آن در جاده جدید سردشت– بانه حدفاصل سردشت– دارساوین، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی*، دوره ۱۲، شماره ۱، صص ۲۷۴- ۲۹۱.

- نصیری، م.، محمدزاده، م.، لطفعلیان، م.، پارساخو، الف.، ۱۴۰۱. پهنه‌بندی و مطالعهٔ میدانی لغزش و رانش‌ها در اطراف جاده‌های جنگلی دارابکلا- ساری، *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، دوره ۱۳، شماره ۲۶، صص ۱۰۵-۱۱۴.
- نگهبان، س.، پی سوزی، ت.، گنجائیان، ح.، نوروزی, م.،۱۴۰۰. شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش و جابجایی عمودی با استفاده از تصاویر راداری (مطالعه موردی: محدوده شهری و حاشیه شهری لواسان)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۱۰، شماره ۳، صص ۱-۱۸.
- *Bragagnolo, L,. daSilva, R,.V. Grzybowsk J.M.V.(2020) Artificial neural network ensembles applied to the mapping of landslide susceptibility CATENA Vol 184 10424: 1-19.*
- *Kumar, A., Sharma, R., Bansal, V. (2022). Spatial Prediction of Landslide Hazard using GIS-multi-criteria Decision Analysis in Kullu District of Himachal Pradesh, India, Journal of Mining and Environment, 13(4), 943-956.*
- *Materazzi, M., Bufalini, M., Gentilucci, M., Pambianchi, G., Aringoli, D., & Farabollini, P., (2021). Landslide hazard assessment in a monoclinal setting (Central Italy): Numericalvs, geomorphological approach, Land, 10 (6), 624, 1-22.*
- *Rabby, Y.W., Li, Y., Abedin, J., & Sabrina, S., (2022). Impact of Land Use/Land Cover Change on Landslide Susceptibility in Rangamati Municipality of Rangamati District, Bangladesh, International Journal of Geo-Information, 11 (89), 1-16.*
- *Saha, A., Villuri, VGK., Bhardwaj, A., Kumar, S.A. 2023. Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) Approach for Landslide Susceptibility Mapping of a Part of Darjeeling District in North-East Himalaya, India., Applied Sciences; 13(8), 5062, 1-23.*
- *Symeonakis, E., Karathanasis, N., Koukoulas, S., Panagopoulos, G. (2016). Monitoring sensitivity to land degradation and desertification with the environmentally sensitive area index: the case of lesvos island. Land Degradation and Development. 27, 1562–1573.*
- *Zhou, S., Zhou, S., & Tan, X., (2020). Nationwide susceptibility mapping of landslides in Kenya using the fuzzy analytic hierarchy process model, Land, 9(12), 1-22*
- *Zhang, T., Han, L., Han, J, Li, X., Zhang, H., Wang, H. (2019). Assessment of Landslide Susceptibility Using Integrated Ensemble Fractal Dimension with Kernel Logistic Regression Model. Entropy. 21(218), 1-23.*
- *Petley. D., 2012. Global patterns of loss of life from landslides, Geology, V 40 (10). pp: 927-930.*
- *Crozier, M. J., 2010. Deciphering the effect of climate change on landslide activity: a review Geomorphology, V 124. pp: 260-267.*
- *Vojtekova, J., Vojtek, M., (2020). Assessment of landslide susceptibility at a localspatial scale applying the multi-criteria analysisand GIS: a case study from Slovaki, Geomatics, Natural Hazards and Risk, Vol 11, Issue 1, Pp 131–148.*