پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال هفتم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۷
صص. ۲۲۵-۲۱۱

پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش و خطرپذیری سکونتگاه‌های روستایی در زیر حوضه رودبار با روش تحلیل شبکه(ANP)

مجید پیشنماز احمدی- کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز.
کیوان محمدزاده*- کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز.
مهدی ثقفی- عضو هیات علمی گروه جغرافیای دانشگاه پیام نور، تهران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۰۴ تائید نهایی: ۱۳۹۷/۰۳/۰۶

چکیده

زمین‌لغزش‌ها یکی از بزرگ‌ترین مخاطرات محیطی هستند که خسارات اقتصادی، مالی، جانی، همراه با تخریب تأسیسات و افزایش هزینه‌ها را به دنبال دارند. پژوهش حاضر به‌منظور پهنه-بندی خطر زمین‌لغزش و همچنین پهنه‌بندی آسیب‌پذیری روستاها در مقابل خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل شبکه (ANP) در یکی از زیر حوضه‌های سفیدرود واقع در شهرستان رودبار انجام گرفت. در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه موردمطالعه، ۱۴ عامل تأثیرگذار شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی، نوع خاک، اقلیم، کاربری اراضی، بارندگی، شاخص رطوبت توپوگرافیک(TWI)، شاخص طول شیب (LS) و شاخص قدرت آبراهه‌ای (SPI) مورد استفاده قرار گرفت. به همین منظور بعد از شناسایی فاکتورهای مؤثر در زمین‌لغزش، در محیط نرم‌افزار Super decision وزن هرکدام از فاکتورها مشخص گردید، سپس وزن‌های به‌دست‌آمده در محیط نرم‌افزار Arc GIS اعمال‌شده و نقشه نهایی پهنه‌بندی زمین‌لغزش به دست آمد. در این تحقیق فاصله از گسل، جهت شیب، فاصله از آبراهه‌ها و شیب به ترتیب بیشترین اهمیت را به خود اختصاص دادند. بررسی نتایج نشان داد که بیش از ۵۰ درصد منطقه موردمطالعه دارای خطر متوسط به بالا بوده و از طرفی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری روستاها در مقابل خطر زمین‌لغزش نشان داد که از مجموع ۱۸۸ روستا، تعداد ۴۹ روستا (۲۵/۵۳ درصد) در پهنه‌های با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفت. و این تهدیدی جدی برای ساکنان این نواحی تلقی می‌شود.

واژگان کلیدی: *پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، آسیب‌پذیری، تحلیل شبکه(ANP)، حوضه رودبار.*

* نویسنده مسئول: E-mail : majid.ahmadi1990@yahoo.com

مقدمه

زندگی ما انسان‌ها در مقیاس‌های مختلفی تحت تأثیر مخاطرات محیطی قرار دارد. مخاطرات ازلحاظ استمرار، تکرار و شدت وقوع بسیار متفاوت می‌باشند و نتایجشان هم در بعد اجتماعی و هم بعد اقتصادی مشهود است(مرجانویک و همکاران[1]، ۲۲۵:۲۰۱۱). ازجمله این مخاطرات می‌توان به حرکات توده‌ای مواد اشاره نمود. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که نیروی حاصل از وزن مواد بیش از نیروی مقاومت ناشی از نیروی برشی خاک باشد (رفاهی[2]،۱۹۹۶؛ معماریان و سیارپور[3]، ۲۰۰۶). این چشم‌اندازهای سست و شکننده امکان ایجاد و توسعه‌ی سکونتگاه‌ها و دیگر ساخت‌و سازهای مهندسی را محدود می‌نمایند. زمین‌لغزش‌ها یکی از بزرگ‌ترین مخاطرات محیطی هستند که خسارات اقتصادی، مالی، جانی، همراه با تخریب تأسیسات و افزایش هزینه‌ها را به دنبال دارند (داس و ساهو[4]، ۲۰۱۰). زمین‌لغزش یکی از فرآیندهای ژئومورفیک تأثیرگذار بر تکامل چشم‌انداز مناطق کوهستانی(روئرینگ و همکاران[5]، ۶۵۳:۲۰۰۵) و نوع خاصی از فرآیندهای دامنه‌ای است که زائیده شرایط ژئومورفولوژیک، هیدرولوژیک و زمین‌شناسی محلی است(رمضانی و ابراهیمی، ۱۳۸۸: ۱۱۰). حرکت‌های دامنه‌ای و به‌ویژه زمین‌لغزش در زمره پرخطرترین و پر زیان‌بارترین آن‌ها است که همگام با دست‌کاری بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه اخیر شتاب فزاینده‌ای یافته است. کشور ایران به دلیل مساعد بودن شرایط جغرافیایی و فقدان مدیریت جامع و عدم رعایت آستانه‌های محیطی به‌عنوان یک کشور پرخطر بشمار می‌رود. بطوریکه هرساله وقوع زمین‌لغزش‌ها در مناطق مختلف کوهستانی آن خسارات و صدمات قابل‌توجهی به بار می‌آورد (قائم مقامی و همکاران؛ ۱۳۸۵). روابط فضایی بین منطقه زمین‌لغزش و عوامل مؤثر محیطی، عناصر کلیدی در بررسی حساسیت زمینی لغزش است (ساموترا و همکاران، ۲۰۱۸، ۳۰۸). تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش و ارزیابی شدت خطر آن می‌تواند کمک شایانی درزمینه مدیریت محیط و اتخاذ تصمیمات درست در مقابله با این مخاطره باشد (عابدینی و همکاران:۱۳۹۳، ص۱). لذا وجود نقشه‌های خطر و حساسیت زمین‌لغزش برای تعیین پتانسیل نواحی از لحاظ خسارت زمین‌لغزش‌ها و کاهش اثرات زیان‌بار اجتماعی و اقتصادی آن بسیار ضروری است(مارتا و همکاران[6]، ۲۰۱۳ ، ۱۳۹). پدیده زمین‌لغزش همه‌ساله در بیشتر استان‌های کشور موجب فرسایش و از بین رفتن منابع خاک شده و شکل زمین را تغییر می‌دهند. همچنین به خانه‌ها و زیر ساخت‌های اساسی، زمین‌های کشاورزی، اقتصادی و رفاه بشر آسیب می‌زند. (پارسایی و علیمحمدی، ۱۳۹۱ و پورقاسمی، ۲۰۱۸). لذا شناسایی ناپایداری و حرکات دامنه‌ای و زمین‌لغزش‌ها و عوامل به وجود آورنده آن و طبقه‌بندی روستاها از لحاظ آسیب‌پذیری در مقابل زمین‌لغزش و تعیین نقاط امن جهت امدادرسانی بسیار مهم و ضروری می‌نماید. تعدد زمین‌لغزش‌های شناسایی‌شده در این منطقه، گواه فعالیت حرکتی بالایی در این محدوده می‌باشد. افزایش جمعیت انسانی و توسعه‌ی سریع مناطق روستایی در استان گیلان منجر به توسعه‌ی زیرساخت‌های ارتباطی همچون راه و جاده‌های ترانزیتی در مناطق تپه‌ای و کوهستانی شده و اخیراً باعث وقوع زمین‌لغزش‌های متعدد شده است. گسترش قابل‌توجه این لغزش‌ها و فعالیت‌ها آن‌ها باعث می شود تا سالانه خسارات هنگفتی به زیرساخت‌های سکونتگاه‌های انسانی، زمین‌های زراعی، منابع دامی و سایر بناهای موجود در این حوضه وارد آید، بطوریکه تاکنون چندین روستا از جمله روستاهایی فتلک، گیاش، لاکه و... در محدوده‌ی این حوضه دچار این حادثه شده‌اند و جابجایی آن‌ها به مکان دیگر نیازمند مطالعه و بررسی جامع و علمی می‌باشد. جهت ارزیابی خطر زمین‌لغزش بررسی‌ها و مطالعات زیادی توسط محققان مختلف در دنیا و کشور انجام شده است که در اینجا به ذکر مواردی از آن‌ها

---

1. Marjanović et all
2. Refahi
3. Meamarian & Sayarpour
4. Das & Sahoo
5. Roering et all
6. Martha et al

اکتفا می شود: مختاری (۱۳۸۴) آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی واقع در مجاورت گسل شمالی میشو و شاخه‌های فرعی آن را بررسی نمود و نشان داد که مهم‌ترین خطر تهدیدکننده این روستاها، خطر فعالیت‌های احتمالی گسل و لرزش‌های حاصل آن است. عوامل دیگری مانند شیب و خطر سیالی شدن مواد سازنده نشستگاه روستاها و بالاخره ناپایداری دامنه‌های مشرف‌به روستاها و خطر حرکات توده‌ای، آسیب‌پذیری این روستاها را تشدید می‌کند. مقیمی و همکاران (۱۳۹۲)، به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه پرداختند و نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدوده‌ی شهر رودبار با درجات خطر کم (۴ درصد)، خطر متوسط (۷۱ در صد)، خطر بالا (۲۵ در صد)، تهیه نمودند که نشان از در صد بالای فرآیندهای مخاطره زا در محدوده‌ی شهری است. نتایج حاصل از این پژوهش سهم عمده عامل شیب و حساسیت لیتولوژی در زمین‌لغزش‌های منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. روستایی و همکاران (۱۳۹۳)، با استفاده از روش تحلیل شبکه پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در محدوده محور و مخزن سد قلعه‌چای بررسی نمودند. آن‌ها در این پژوهش از چند معیار(شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری زمین، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، طبقات ارتفاعی) برای تعیین مناطق مستعد استفاده کردند. نتایج نشان داد که فرآیند تحلیل شبکه با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها ۶۷/۳۳ درصد تناسب دارد. در پژوهشی دیگر منصوری و همکاران (۱۳۹۵)، جنوب بیرجند را از نظر خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی پهنه‌بندی نمودند و نشان دادند که اغلب زمین‌لغزش‌ها در رده سنگ‌های با مقاومت ضعیف و خیلی ضعیف در برابر فرسایش اتفاق می‌افتد. بر اساس نتایج بدست آمده، به ترتیب ۱۵، ۱۲، ۲۵، ۲۹ و ۱۹ در صد از منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفت. متو[1] و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده تئوری بیز پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش را در بخشی از هند انجام دادند. در این پژوهش از ۱۵ فاکتور طبیعی و انسانی جهت پهنه‌بندی استفاده شد. ارزیابی نقشه نهایی نشان داد که دقت نقشه تهیه شده ۸۴/۶٪ و قابل قبول می‌باشد. عابدی و فیضی‌زاده(۲۰۱۷)، با استفاده از مدل ترکیبی تحلیل شبکه (ANP) و منطق فازی، خطر زمین‌لغزش در حوضه آذر شهرچای در شمال غربی ایران را ارزیابی کردند. ارزیابی نتایج این مطالعه با استفاده از منحنی‌های مشخصه عملکرد نشان داد که مدل هیبرید طراحی شده دقت خوبی (۰،۸۱۵) دارد. همچنین طبق نقشه آماده شده، در مجموع ۲۳،۲۲٪ از منطقه، به میزان ۱۰۵،۳۸ کیلومترمربع، در کلاس خطر بالا و بسیار پرخطر قرار دارد. از دیگر مطالعاتی که محققین جهت پهنه‌بندی زمین‌لغزش انجام داده‌اند به موارد زیر می‌توان اشاره نمود: امیر احمدی و همکاران، ۱۳۹۴.، روستایی و همکاران، ۱۳۹۴.، رجبی و همکاران، ۱۳۹۵.، صفاری و هاشمی، ۱۳۹۵.، مراپو و جاکا[2]، ۲۰۱۴.، خیانگ[3]، ۲۰۱۱ اشاره نمود. در تحقیقات ارائه‌شده، هر محقق یک جنبه از مخاطرات را مورد تأکید قرار داده و با یک روش خاص این موضوع را بررسی نموده است؛ به‌عبارت‌دیگر، هرکدام از مطالعات فقط یک بخش از مخاطرات را در راستای سکونتگاه‌های انسانی بررسی نموده و به‌طور یکپارچه و مجموعه‌ای از عوامل کمتر به بحث آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها توجه شده است. در پژوهش حاضر سعی می شود که آسیب‌پذیری روستاهای یکی از زیرحوضه‌های سفیدرود در شهرستان رودبار در مقابل زمین‌لغزش و عوامل مختلف مؤثر در وقوع زمین‌لغزش مورد لحاظ قرار گیرد و خلأ موجود در این زمینه را مرتفع سازد. درواقع این پژوهش، مجموعه‌ای از عوامل را در نظر گرفته و متّکی بر یک عامل نیست. افزون بر این دو، درزمینه منطقه مطالعه شده نیز کمتر به موضوع آسیب‌پذیری روستاها تأکید شده است و بیشتر پهنه‌بندی منطقه ازنظر خطر وقوع زمین‌لغزش مدنظر بوده که این خود می‌تواند یک نوع خلأ مطالعاتی حداقل در سطح منطقه باشد.

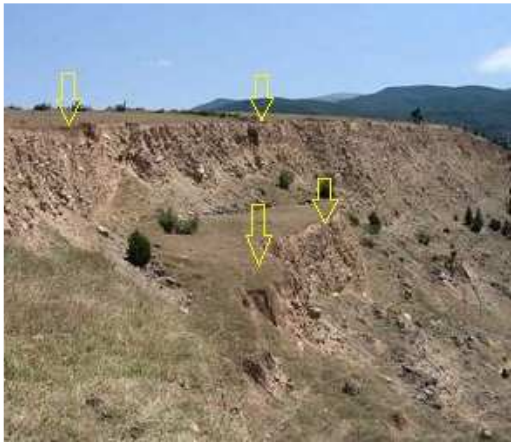
---

[1]. Mathew
[2] Marrapu & Jakka
[3] Xiang

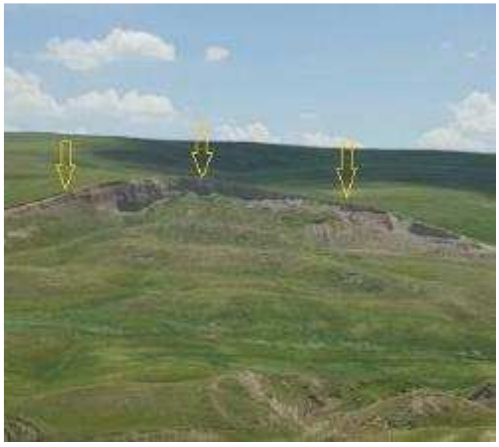
مواد و روش

معرفی منطقه موردمطالعه

حوضه رودبار با مساحت ۱۵۵۰ کیلومترمربع در جنوب غربی استان گیلان در مختصات جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۵ دقیقه الی ۴۹ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه الی ۳۷ درجه و ۹ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این حوضه از زیر حوضه‌های سفیدرود می‌باشد. سفیدرود از ترکیب دو رود شاهرود و قزل‌اوزن که در شهر منجیل به هم می‌پیوندند شکل می‌گیرد و تا ریختن به دریای خزر عرض استان گیلان را می‌پیماید؛ از سد سفیدرود تا گندلان بستر آن بین دو کوه و بسیار باریک و از این نقطه به بعد دلتای وسیعی با شاخه‌های زیاد تشکیل داده شاخه اصلی آن پس عبور از شهرستان رودبار، شهرستان رشت، شهرستان آستانه اشرفیه در پارک ملی بوجاق به دریای خزر می‌ریزد. حداقل ارتفاع حوضه ۲۷ متر و بیشترین آن ۲۷۰۳ متر بوده و بیشترین شیب حوضه ۷۲ درجه می‌باشد. در این منطقه با توجه به نوع سازندها، عمق زیاد رسوبات در دامنه‌ها و میانگین بارش بالا، زمین‌لغزش‌های زیادی رخ می‌دهد از جمله زمین‌لغزش‌های مهمی که خسارت زیادی نیز به بار آورده‌اند می‌توان به زمین‌لغزش‌های جناح چپ سد سفید رود، روستاهای لاکه، فتلک، گیاش، پاکده و معدن سنگرود اشاره نمود.. نمونه‌ای از زمین‌لغزش‌های رخداده در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

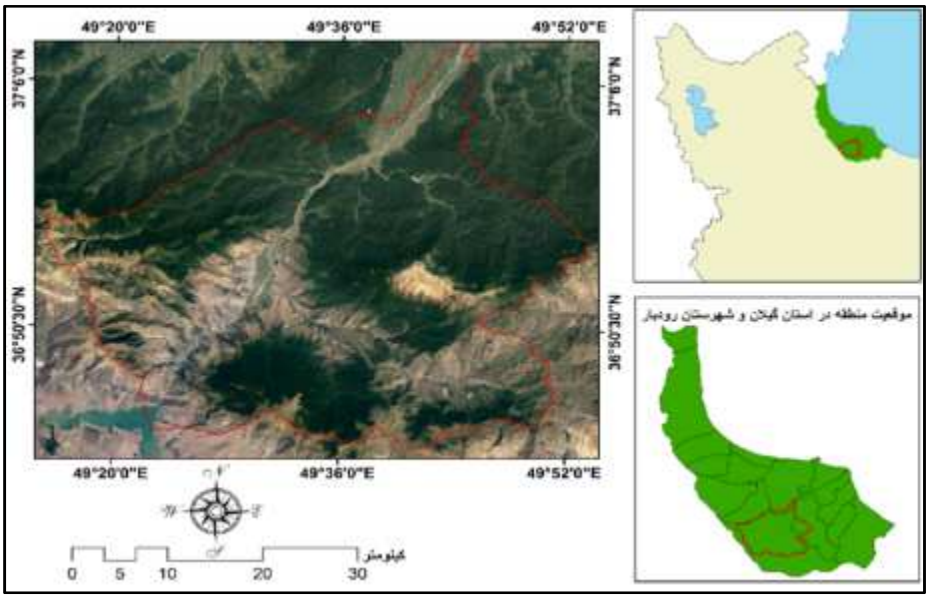


شکل ۱. نمونه‌ای از زمین‌لغزش‌های رخ داده در حوضه رودبار



شکل ۲. نمونه‌ای از زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه رودبار

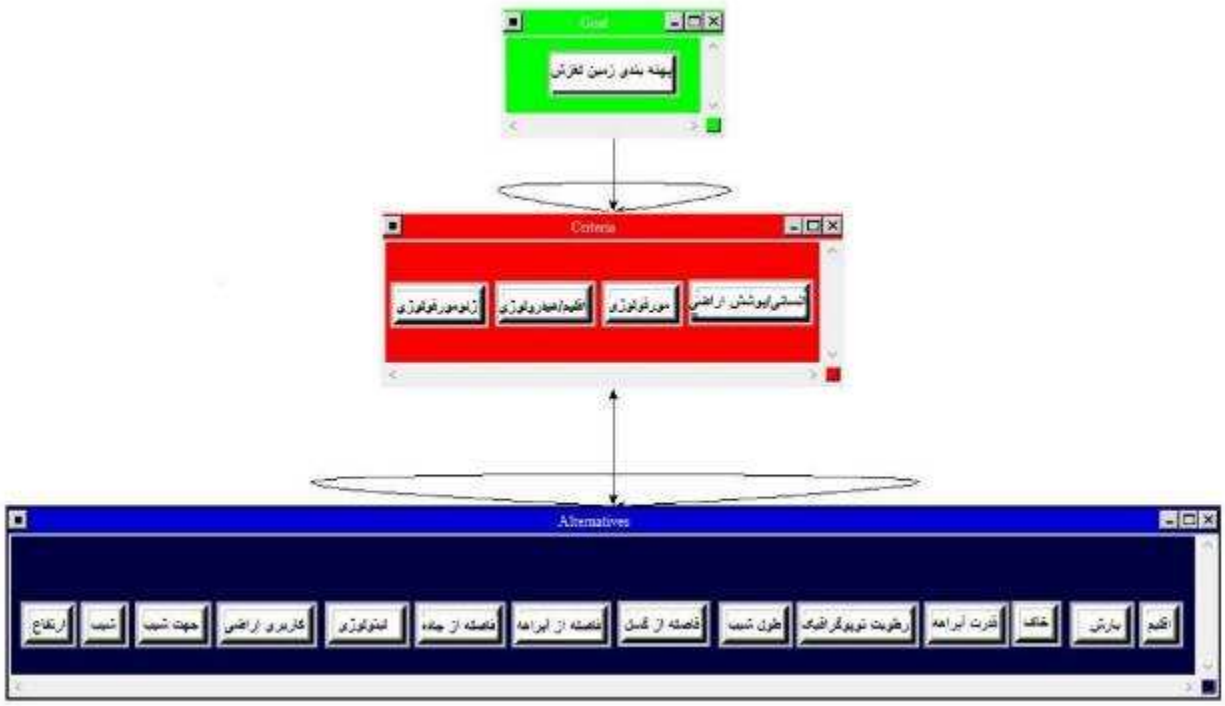
در این پژوهش، با استفاده از روش تحلیل شبکه، منطقه موردنظر را از لحاظ وقوع زمین‌لغزش پهنه‌بندی نموده و سپس مناطق روستایی از جهت آسیب‌پذیری در مقابل خطر زمین‌لغزش، پهنه‌بندی شده است. شکل (۲) موقعیت منطقه مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل۳. موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

روش پژوهش

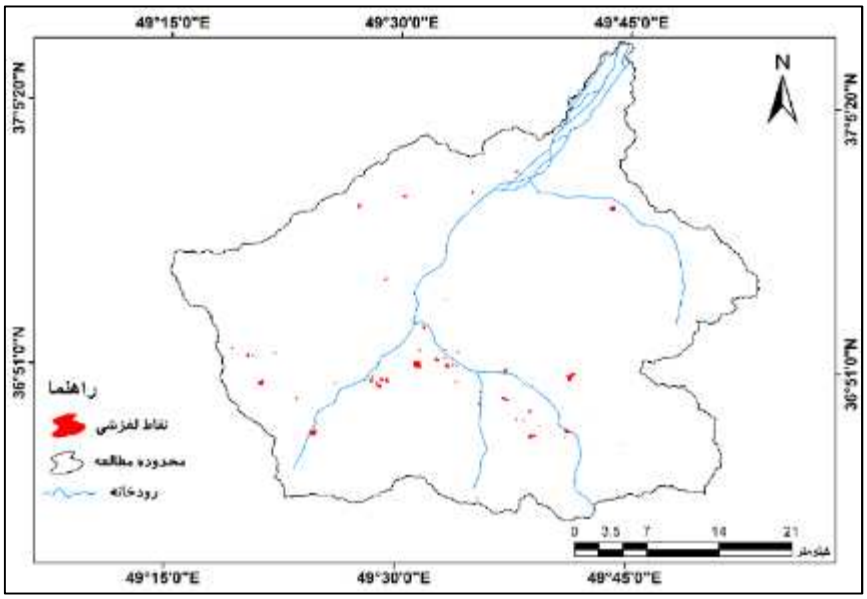
روش‌های متعددی برای تهیه نقشــه و پهنه‌های زمین‌لغزش، مانند نقشــه‌برداری زمینی، تفســیر عکس‌های ماهواره‌ای و هوایی و تحلیل‌های ژئومورفولوژی ســطح وجود دارد (ســاموترا و همکاران، ۲۰۱۸، ۳۰۸). این تحقیق از نظر نوع، جز تحقیقات کاربردی–تجربی و از نظر روش، جز تحقیقات توصیفی –تحلیلی است .روش کار بر مبنای تجزیه، تحلیل معیارها در محیط نرم‌افزار Super Decision و سپس همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار ARCGIS و تلفیق مدل‌های وزن‌دهی معیار از جمله مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) و شاخص همپوشانی است. در این پژوهش ابتدا عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش شناسایی شده و ساختار شبکه‌ای ایجاد شده سپس وزن هر کدام از این عوامل بدست آمده و نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بدست آمده است و در نهایت سکونتگاه‌های روستایی از لحاظ آسیب‌پذیری در مقابل خطر زمین‌لغزش پهنه‌بندی گردید. شکل (۴)، ساختار شبکه‌ای در محیط نرم‌افزار سوپر دسیژن را نشان می‌دهد.



شکل۴. ساختار شبکه مدل

پراکنش زمین‌لغزش‌ها

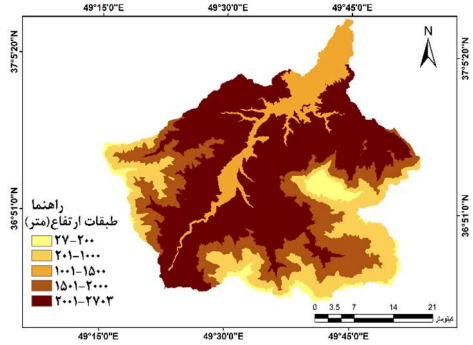
با استفاده از داده‌های سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور و تفسیر عکس‌های هوایی منطقه، مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش شناسایی و مناطقی را که مورفولوژی آن‌ها نشان‌دهنده‌ی زمین‌لغزش بود علامت‌گذاری شد تا در منطقه مورد بازبینی قرار گیرند، سپس بازدیدهای میدانی و ثبت مشخصات زمین‌لغزش‌ها، نقشه رقومی پراکنش لغزش‌ها تهیه گردید (شکل ۵).



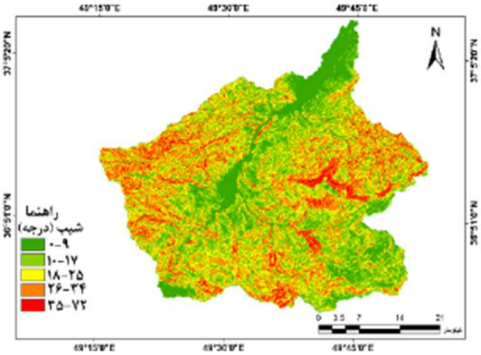
شکل۵. پراکنش زمین‌لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه

فاکتورهای مؤثر در زمین‌لغزش

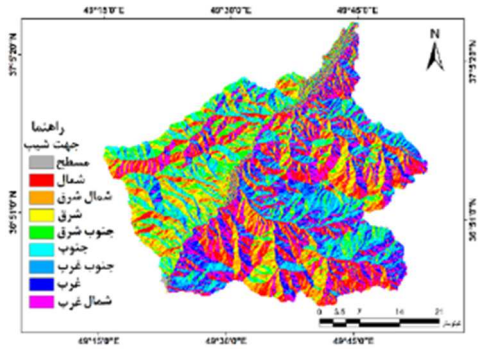
در این تحقیق برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش در منطقه موردمطالعه، ۱۴ عامل تأثیرگذار شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، لیتولوژی، نوع خاک، اقلیم، کاربری اراضی، بارندگی، شاخص رطوبت توپوگرافیک(TWI)، شاخص طول شیب (LS) و شاخص قدرت آبراهه (SPI) مورد استفاده قرار گرفت.



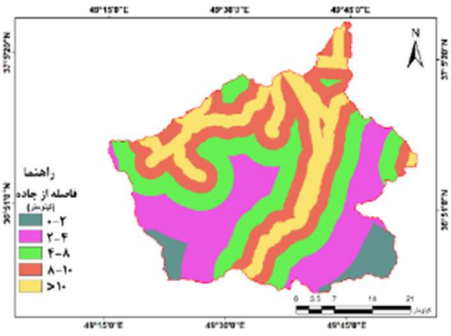
شکل۶. طبقات ارتفاعی



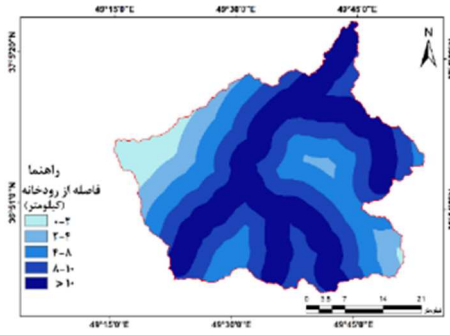
شکل۷. طبقات شیب



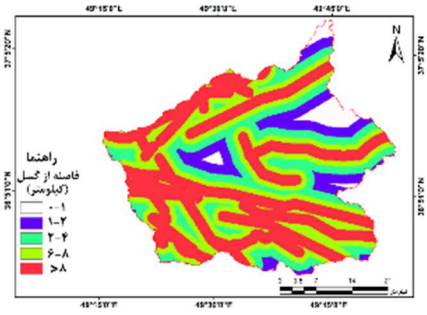
شکل ۸. طبقات جهت شیب



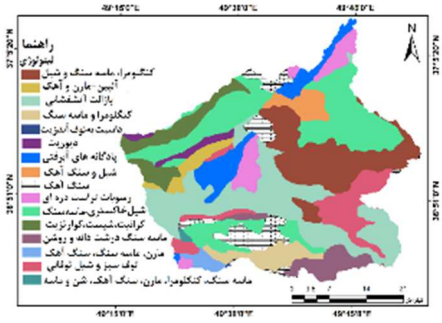
شکل ۹. فاصله از جاده



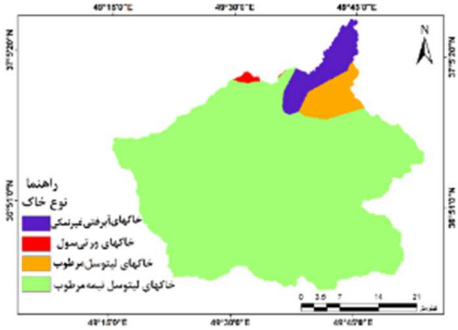
شکل ۱۰. فاصله از آبراهه



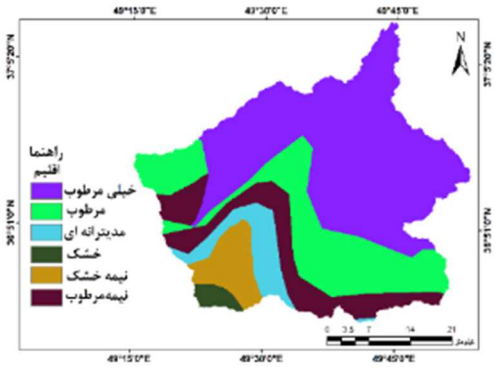
شکل ۱۱. فاصله از گسل



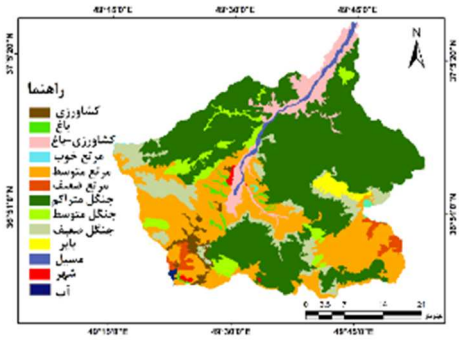
شکل ۱۲. ساختار لیتولوژی منطقه



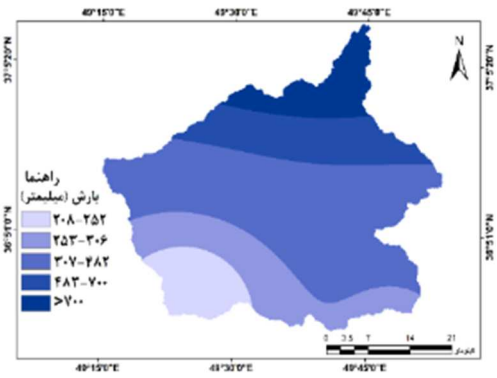
شکل ۱۳. نوع خاک



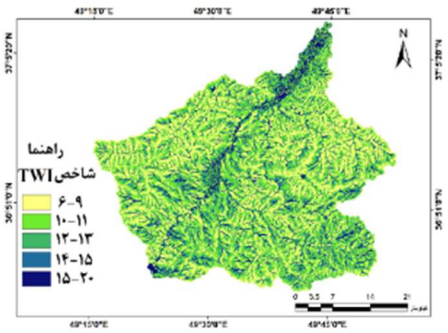
شکل ۱۴. نقشه اقلیم



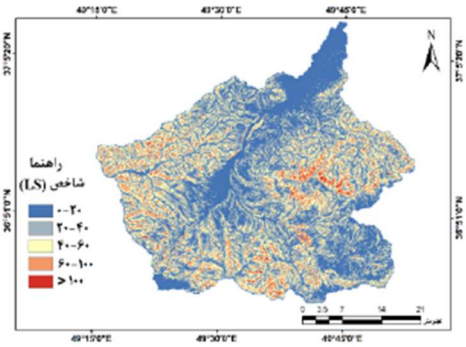
شکل ۱۵. کاربری اراضی



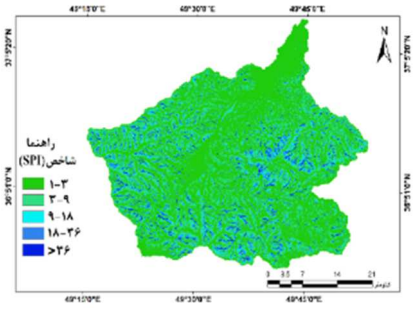
شکل ۱۶. بارندگی



شکل ۱۷. شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)



شکل ۱۸. شاخص طول شیب (LS)



شکل ۱۹. شاخص قدرت آبراهه ای (SPI)

تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش

فرآیند تحلیل شبکه (ANP)

فرآیند تحلیل شبکه‌ای یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است و در مجموعه مدل‌های جبرانی قرار می‌گیرد. این مدل بر مبنای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی طراحی شده است و شبکه را جایگزین سلسله مراتب کرده است (فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۳۱). توماس ساعتی در مواردی که رابطه سلسله مراتبی بین عناصر نقص می‌شود و ساختار مسئله به شکل شبکه‌ای تبدیل می‌شود، روش ANP را معرفی می‌کند (عمل‌نیک و همکاران، ۱۳۸۹:۲۰۲). این مدل از سلسله مراتب کنترل، خوشه‌ها، عناصر، روابط متقابل بین خوشه‌ها و عناصر تشکیل می‌شود. در حالت کلی اجرای مدل فرآیند تحلیل شبکه را می‌توان در پنج مرحله به‌صورت زیر تشریح کرد.

ساخت مدل و ایجاد یک ساختار شبکه‌ای ۲- مقایسه زوجی و تعیین بردارهای اولویت ۳- تشکیل سوپر ماتریس اولیه و ناموزون[1]. ۴- تشکیل سوپر ماتریس موزون[2] ۵- در نهایت تشکیل سوپر ماتریس حد[3] و محاسبه وزن نهایی معیارها، در این مرحله از مدل، تمامی عناصر سوپر ماتریس موزون به حدی به توان می‌رسند تا همگرا شده و مقادیر آن با هم برابر شوند. با تشکیل سوپر ماتریس حد بردار وزن عمومی بدست می‌آید (لی[4] و همکاران: ۲۰۰۹: ۱-۲).

پس از محاسبه سه ابر ماتریس غیر وزنی، وزنی و حدی، به همراه ضرایب هر یک از عناصر مؤثر در زمین‌لغزش، میزان نرخ ناسازگاری محاسبه می‌شود، که در این فرآیند نرخ ناسازگاری توسط نرم‌افزار سوپردسیژن برای هر ماتریس مقایسه زوجی محاسبه و ارائه می‌شود که اگر از ۰/۱ فراتر رود، آن قضاوت ناسازگار است و نحوه قضاوت باید تجدید نظر شود (سعیدی و نجفی، ۱۳۸۹). در این پژوهش میزان نرخ ناسازگاری ۰/۰۶۴۸۶ بدست آمده و قابل قبول می‌باشد.

نتایج

در تحقیق حاضر به‌منظور پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش از ۱۴ عامل مؤثر در زمین‌لغزش استفاده شد. در این تحقیق به‌منظور پهنه‌بندی منطقه از نظر وقوع خطر زمین‌لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه ابتدا در محیط نرم‌افزار Super decision وزن هرکدام از عوامل به دست آمد. وزن عوامل بدست آمده مطابق شکل (۲۰) می‌باشد.

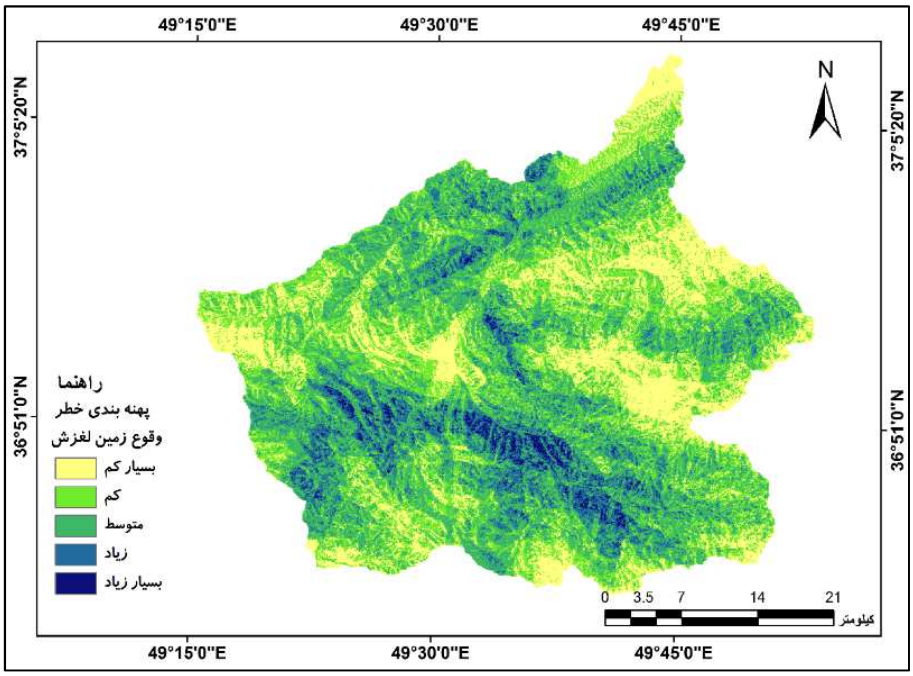
Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
ارتفاع		0.151585	0.036744	0.018372
اقیلم		0.067879	0.016454	0.008227
بارندگی		0.197109	0.047779	0.023889
کاربری اراضی		0.561147	0.136021	0.068011
خاک		0.117001	0.028361	0.014180
قدرت آبراهه		0.127627	0.030937	0.015468
رطوبت توپوگرافیک		0.310565	0.075280	0.037640
شیب		0.377570	0.091522	0.045761
طول شیب		0.070078	0.016987	0.008493
فاصله از آبراهه		0.485922	0.117787	0.058893
فاصله از جاده		0.076891	0.018638	0.009319
لیتولوژی		1.000000	0.242398	0.121199
فاصله از گسل		0.536492	0.130045	0.065022
جهت شیب		0.045580	0.011049	0.005524

۲۰. وزن عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش

در مرحله بعد در محیط نرم‌افزار Arc GIS وزن هر کدام از عوامل اعمال شده و نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بدست آمد. نقشه پهنه‌بندی در ۵ کلاس خطر بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد به دست آمد که در شکل (۲۱) ارائه شده است.

1. Unweighted super matrix
2. weighted super matrix
3. Limit super matrix
4. Lee

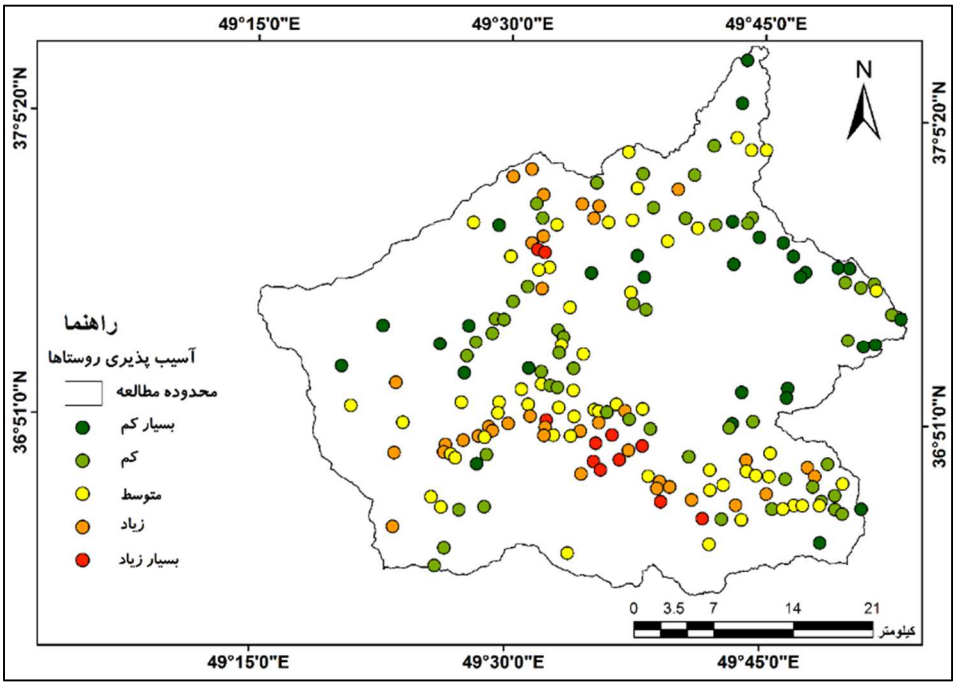
ANP Model=(ارتفاع × ۰/۰۳۶۷)+(اقلیم×۰/۰۱۶۴)+(بارش×۰/۰۴۷۷)+(جهت شیب×۰/۰۱۱)+(خاک×۰/۰۲۸)+(رطوبت توپوگرافیک×۰/۰۳)+(لیتولوژی×۰/۲۴۲)+(شیب×۰/۰۹۱۵)+(طول شیب×۰/۰۱۶۹)+(فاصله از رودخانه×۰/۱۱۷)+(فاصله از جاده×۰/۰۱۸)+(فاصله از گسل ×۰/۱۳)+(قدرت آبراهه‌ای×۰/۰۳)+(کاربری اراضی×۰/۱۳۶)



۲۱. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با روش تحلیل شبکه

همان‌طور که در نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مشاهده می شود اغلب مناطق با خطر زیاد زمین‌لغزش در بخش‌های جنوبی حوضه واقع شده است.

مخاطرات محیطی همواره تهدیدی برای سکونتگاه‌های انسانی است. این تأثیرات در فضاهای روستایی و در مناطق مختلف کشور با توجّه به نوع مخاطرات متفاوت است. سکونتگاه‌های روستایی با توجّه به خصوصیّات گوناگون نظیر موقعیت جغرافیایی روستاها، ساختار کالبدی – فضایی، نوع مخاطره‌پذیری، بیشترین بحران‌ها را در زمان بروز مخاطرات تجربه خواهند نمود. به‌عنوان‌مثال می‌توان به مدفون شدن روستای فتلک با تمامی ساکنین آن در زیر صدها تن خاک و سنگ در اثر زمین‌لغزش حاصل از زلزله ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ منجیل–رودبار اشاره نمود. به همین خاطر شناسایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی با در نظر گرفتن متغیّرها و عوامل مؤثر از روش‌های پیشگیری، کاهش خسارات و مدیریت مخاطرات به شمار می‌رود بنابراین بعد از تهیه نقشه پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در منطقه، مراکز روستایی ازلحاظ آسیب‌پذیری در مقابل زمین‌لغزش پهنه‌بندی شدند که نتیجه حاصل از آن در شکل (۲۲) ارائه‌شده است.



شکل۲۲. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری روستاها در مقابل زمین‌لغزش

جدول۱. پهنه‌بندی خطر وقع زمین‌لغزش و تعداد روستاهای آسیب‌پذیر از زمین‌لغزش

کلاس	مساحت (کیلومترمربع)	مساحت(درصد)	مساحت زمین‌لغزش‌های رخ‌داده به درصد	تعداد روستاها	درصد روستاها
خطر بسیار کم	۳۱۶/۵۶	۲۰/۴۶	۸/۲	۳۱	۱۶/۴۸
کم	۴۴۲/۴۲	۲۸/۶	۱۲/۲	۵۲	۲۷/۶۵
متوسط	۵۶۲/۳۳	۳۶/۳۵	۲۷/۰۷	۵۷	۳۰/۳۱
زیاد	۱۶۷/۸۲	۱۰/۸۴	۴۳/۷۹	۳۷	۱۹/۶۸
بسیار زیاد	۵۷/۷۴	۳/۷۳	۸/۷۲	۱۱	۵/۸۵
مجموع	۱۵۴۶/۹	۱۰۰	۱۰۰	۱۸۸	۱۰۰

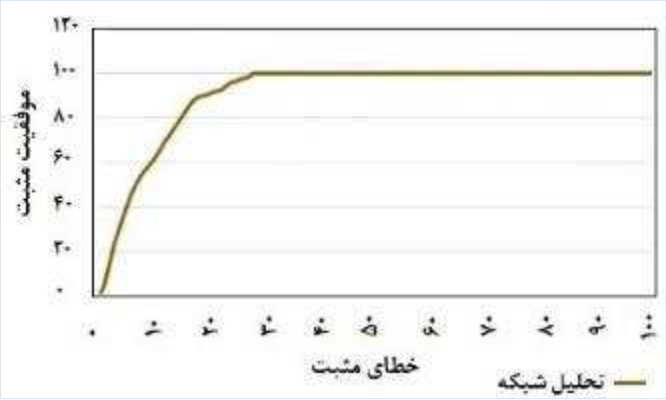
با توجه به نتایج به‌د ست‌آمده، بیش از ۵۰ در صد منطقه در پهنه‌های با خطر متو سط به بالا واقع شده ا ست. که از این مقدار ۱۴/۵۷ درصد در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد اغلب این پهنه‌ها در قسمت‌های جنوبی حوضه قرار گرفته است و این بیشتر به دلیل وجود سازندهای حساس به زمین‌لغزش، در این بخش از منطقه می‌باشد.

اعتبار سنجی نتایج

توجه به این نکته ضروری است که مدل چه مقدار می‌تواند متغیر وابسته را به‌خوبی پیش‌بینی کند. معیار (راک)۱ برای مقایسه یک نقشه بولین (وجود یا عدم وجود زمین‌لغزش) با نقشه احتمال بکار می‌رود. منحنی راک تحلیل‌های مبتنی بر

۱ ROC

احتمال، آمار (تحلیل‌های مبتنی بر طبقه‌بندی آماری) می‌باشد. به‌عبارتی‌دیگر میزان موفقیت مدل نسبت به خطای مدل است.منحنی راک نشان‌دهنده‌ی حساسیت مدل نسبت به متغیر وابسته (زمین‌لغزش) می‌باشد(روستایی و همکاران، ۱۳۹۳). هر قدر مساحت زیر منحنی بیشتر باشد میزان موفقیت مدل نیز به همان اندازه بیشتر خواهد بود. مقدار ۰/۹۱۴ بدست آمده برای راک در این مطالعه، بیان‌کننده‌ی همبستگی بسیار بالای بین متغیر مستقل و وابسته بوده و دقت خوب مدل را نشان می‌دهد. شکل (۲۱) منحنی ROC را نشان می‌دهد.



شکل۲۳. منحنی Roc و سطح زیر منحنی مربوط به پهنه‌بندی

جدول۲. ارزیابی صحت مدل بر اساس منحنیRoc

ضریب معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪		ضریب معنی‌داری	انحراف معیار	مساحت زیر منحنی
حد بالا	حد پایین			
۰/۹۶۱	۰/۸۲۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴۸	۰/۹۱۴

بالا بودن مقدار شاخص ROC و نزدیک بودن آن به عدد یک نشان‌دهنده‌ی آن است که زمین‌لغزش‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه، رابطه‌ای قوی با مقادیر احتمال حاصل از مدل تحلیل شبکه دارد.

نتیجه‌گیری

تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش گامی مهم در مدیریت و جلوگیری از لغزش‌های زمینی در مناطق آسیب دیده است. نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش، دانش بنیادی را در مورد عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و علل آن، ارائه می‌دهد. بدیهی است، چنین اطلاعاتی می‌تواند در مدیریت ریسک و کاهش خسارت آن مفید باشد(پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۳). به همین منظور پژوهش حاضر به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و همچنین پهنه‌بندی آسیب‌پذیری روستاها در مقابل خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل شبکه (ANP) در یکی از زیرحوضه‌های سفید رود واقع در شهرستان رودبار انجام گرفت. به همین منظور ابتدا فاکتورهای مؤثر در زمین‌لغزش شناسایی و در محیط نرم‌افزار Super decision وزن هر کدام از فاکتورها مشخص گردید، سپس وزن‌های بدست آمده در محیط نرم‌افزار Arc GIS اعمال شده و نقشه نهایی پهنه‌بندی زمین‌لغزش بدست آمد. در این تحقیق زمین شناسی منطقه، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه‌ها و شیب به ترتیب بیشترین اهمیت را به خود اختصاص دادند. بررسی نتایج نشان داد که بیش از ۵۰ درصد منطقه موردمطالعه دارای خطر متوسط به بالا هستند. عمده‌ی مناطق با خطر زیاد زمین‌لغزش در بخش‌های جنوبی منطقه قرار دارند. بر اساس نتایج بدست آمده بااینکه تنها ۱۴/۵۷ درصد از کل منطقه در کلاس با حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرارگرفته ولی بااین‌حال در حدود ۵۲ در صد از مساحت زمین‌لغزش‌های رخداده در این طبقه قرار گرفته است که این امر نشان‌دهنده دقت قابل‌قبول نقشه پیش‌بینی شده برای زمین‌لغزش می‌باشد. مقداری عددی

بد ست آمده برای منحنی Roc نیز ن شان داد که زمین‌لغزش‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه، رابطه‌ای قوی با مقادیر احتمال حاصـل از مدل تحلیل شـبکه دارد. مدل مورداسـتفاده در این پژوهش با توجه به در نظر گرفتن وابسـتگی‌های درونی و بیرونی و جلوگیری از تأثیر مستقیم نظر کارشناسان قابلیت مناسبی را در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دارا می‌باشد. با توجه به تحلیل‌های به‌عمل‌آمده، شـرایط اقلیمی منطقه، فرصـت کافی برای فعالیت‌های مورفوژنز را ارائه می‌دهند. حضـور آب کافی در ف صول مرطوب، نفوذپذیر بودن مواد سطحی دامنه‌ها، سبب می شود این آب‌ها با ر سیدن به سطح نفوذناپذیر زیرین، سطح لغزش فعّالی را به وجود آورند. کنگلومراهای حوضه عمدتاً از مواد تخریبی سنگ‌های آذرین تشکیل شده‌اند و سـیمان آن‌ها آهکی، رسـی و مارنی اسـت و به این دلیل نفوذپذیری زیادی دارند و در مقابل عوامل هوازدگی مثل یخبندان و ذوب یخ به سرعت واکنش ن شان می‌دهند؛ بنابراین در اثر تخریب کنگلومراها، شن و ما سه و قلوه سنگ‌های زیادی در سطح دامنه‌های جنوبی حو ضه م شاهده می شود.به علت سست بودن سازندها و ا ستعداد زیاد این سازندها به ناپایداری، در هنگام ذوب برف‌ها و بارش‌های بهاری، با اشباع مواد دامنه‌ای از آب ناپایداری دامنه‌ها تشدید شده و این امر باعث کاهش مقاومت برشی و افزایش تنش برشی مواد در روی دامنه‌ها شده و زمینه را برای وقوع حرکات لغزشی فراهم کرده اسـت. با توجه به وضـعیت اقلیمی، سـاختمان زمین‌شـناسـی، توپوگرافی، هیدرولوژی و تکتونیک بخش‌های جنوبی حو ضه م شخص می شود که این حو ضه، شرایط م ساعد برای وقوع لغزش‌های زمین و ناپایداری دامنه‌ها را دارد. نتایج مطالعات محققانی نظیر مقیمی و همکاران (۱۳۹۲)، امر احمدی و همکاران (۱۳۹۴)، فیضـی زاده و همکاران (۲۰۱۷)، نئوپانه و پیانتاناکولچای۱ (۲۰۰۶)، خیانگ۲ (۲۰۱۱)، مراپو و جاکا۳ (۲۰۱۴) تأکید بر منا سب بودن مدل تحلیل شبکه در پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش دارند. روی‌هم گذاری مراکز جمعیتی مهم منطقه با نقشه نهایی (شکل ۱۹)، نشان می‌دهد که برخی از روسـتا در معرض خطر جدی قرار دارند با توجه به نتایج به‌دسـت‌آمده از آسـیب‌پذیری نواحی روسـتایی در مقابل زمین‌لغزش و جدول (۱)، از مجموع ۱۸۸ روستا، تعداد ۴۹ روستا (۲۵/۵۳ درصد) در پهنه‌های با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اسـت. و این تهدیدی جدی برای سـاکنان این نواحی تلقی می‌شـود و لازمه توجه جدی تصـمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان محیطی است.

منابع

- امیر احمدی، ابوالقاسم.، شکاری بادی، علی.، معتمدی راد، محمد.، و مریم، بیهقی. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ANP (مطالعه موردی: حوضه پیوه‌ژن دامنه جنوبی بینالود). **پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی**، دوره چهارم، شماره ۳. صص ۲۳۰-۲۱۴.
- پارسایی، لطف اله، علیمحمدی، صفیه (۱۳۹۱)، زمین‌لغزش در ایران، **انتشارات جهاد دانشگاهی**، چاپ اول.
- رجبی، معصومه.، خلیل ولیزاده، کامران.، حسن، عابدی قشلاقی. (۱۳۹۵). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: حوضه آذر شهر چای). **پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی**، دوه پنجم، شماره ۱، صص ۷۴-۶۰.
- رمضانی. گورایی، بهمن، ابراهیمی، هدی.، (۱۳۸۸)، زمین‌لغزش و راهکارهای تثبیت آن، **فصلنامه آمایش محیط**، سال دوم، شماره ۷، صص۱۱۸-۱۱۰.

[1] Neaupane & Piantanakulchai
[2] Xiang
[3] Marrapu & Jakka

- روستایی، شهرام.، خدائی، لیلا.، مختاری، داوود.، رضاطبع، خدیجه.، و فاطمه، خدائی. (۱۳۹۴). کاربرد تحلیل شبکه (*ANP*) در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در محدوده محور و مخزن سد قلعه چای. **مخاطرات محیط طبیعی**. دوره چهارم.شماره ۵. صص ۷۴-۵۹.
- روستایی، شهرام.، مختاری، داود.، حسینی، زهرا.، و مهدی، اطمانی حقویران. (۱۳۹۴). بررسی پتانسیل وقوع زمین-لغزش در حوضه آبخیز رودخانه میمه در استان ایلام به روش تحلیل شبکه (*ANP*). **هیدروژئوموفولوژی**، شماره چهارم، صص ۱۲۳-۱۰۱.
- سعیدی، حمید رضا.، و نجفی، اکبر. (۱۳۸۹). کاربرد فرآیند تحلیل شبکه (*ANP*) در تعیین اولویت خروج دام از جنگل و ساماندهی جنگل نشینان. **مجله جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران**، سال دوم، شماره ۴، صص ۳۲۱-۳۰۹.
- صفاری، امیر.، و معصومه، هاشمی. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با مدل‌های آنتروپی و منطق فازی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه). **فصلنامه جغرافیای طبیعی**. دوره نهم، شماره ۳۴. صص ۶۲-۴۳.
- عابدینی، موسی، فتحی، محمد حسین، بهشتی جاوید ابراهیم (۱۳۹۳)، پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع زمین‌لغزش با مدل منطق فازی(مطالعه موردی: حوضه رودخانه قوری چای)، **اولین همایش علوم جغرافیایی ایران**، تهران، صص ۶-۱.
- عمل نیک، محسن. انصاری‌نژاد، ایوب. انصاری‌نژاد، صمد.میری نرگسی، سینا. (۱۳۸۹)، یافتن رابطه علی معلولی و رتبه بندی عوامل بحرانی موفقیت و شکست پروژه‌های پیاده‌سازی سیستم‌های اطلاعاتی به کمک ترکیب روش‌های *ANP* و *DEMATEL* فازی گروهی. **نشریه تخصصی مهندسی صنایع**، دوره ۴۴، شماره ۲، مهر ۱۳۸۹، صص ۲۱۲-۱۹۵.
- فرجی سبکبار حسنعلی، سلمانی محمد، فریدونی فاطمه، کریم زاده حسین، رحیمی حسن. (۱۳۸۹)، مکان یابی محل دفن بهداشتی زباله روستایی با استفاده از مدل فرایند شبکه ای تحلیل ، *ANP*: مطالعه موردی نواحی روستایی شهرستان قوچان، برنامه‌ریزی و آمایش فضا ، مدرس علوم انسانی،دوره ۱۴ , شماره ۱ ، پیاپی ۶۵، صص۱۴۹-۱۲۷.
- مختاری، داوود (۱۳۸۴). آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی از فعّالیت گسل و ضرورت جابجایی آنها (نمونهٔ موردی: روستاهای واقع در امتداد گسل شمالی میشو). **مجله پژوهش‌های جغرافیایی**. سال ۱. شماره ۵۱. صص ۸۶-۷۱.
- معافی، حمیده.، قائم مقامی. شهرام.، محمدی سلیمانی، مهرداد.، رهنما، محمد باقر. (۱۳۸۵)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در قسمت شمالی حوضه بافت استفاده از روش نیلسن و *GIS*. سومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع طبیعی منابع آب و خاک، کرمان، ۲۰ و ۲۱ آذرماه ۱۳۸۶.
- مقیمی، ابراهیم.، یمانی، مجتبی.، رحیمی هرآبادی، سعید. ۱۳۹۲. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه. **پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی**، شماره ۴. صص ۱۱۸-۱۰۳.
- منصوری، هاشم.، وکیلی اوندری، فاطمه.، و محمد. مهدی، خطیب. ۱۳۹۵. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش تحلیل سلسله مراتبی و منطق بولین در کوه باقران (جنوب بیرجند). **یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی**، دوره دهم، شماره ۲۰، صص ۶۱-۴۹.
- *Das, I., S. Sahoo, C. Van Westen, A. Stein and R. Hack. 2010. Landslide Susceptibility Assessment Using Logistic Regression and its Comparison with a rock Mass Classification System, along a Road Section in the Northern Himalayas (India), Geomorphology, 114: 627-637.*

- *Gheshlaghi, H. A., & Feizizadeh, B. (2017). An integrated approach of analytical network process and fuzzy based spatial decision making systems applied to landslide risk mapping. Journal of African Earth Sciences, 133, 15-24.*
- *Lee, H., Lee, S., & Park, Y. (2009). Selection of technology acquisition mode using the analytic network process. Mathematical and Computer Modelling, 49(5), 1274-1282.*
- *Marjanović M., Kovačević M., Bajat B., Voženílek V.,(2011) Landslide susceptibility assessment using SVM machine learning algorithm, Engineering Geology 123 (2011) 225–234.*
- *Marrapu, B. M., & Jakka, R. S. (2014). Landslide Hazard Zonation methods: A critical eview. International Journal of Civil Engineering and Research, 5(3), 215-220.*
- *Marrapu, B. M., & Jakka, R. S. (2014). Landslide Hazard Zonation methods: A critical review. International Journal of Civil Engineering and Research, 5(3), 215-220.*
- *Martha T,R.,.van Westen, C,J., Kerle, N., Jetten, V., Kumar K.V.,(2013) Landslide hazard and riska ssessment using semi-automatically created Landslide inventories, Geomorphology 184 (2013) 139–150.*
- *Mathew, J., Jha, V.K., Rawat, G.S., 2007. Weights of evidence modeling for landslide hazard zonation mapping in part of Bhagirathi valley, Uttarakhand. Current Sci. vol (92), no.5. pp. 628-638.*
- *Meamarian, H. and Sayarpour, M., 2006. The role of slope parameter on the error occur in zonation landslide hazard. Journal technical faculty 40, 1,105-113.*
- *Neaupane, K. M., & Piantanakulchai, M. (2006). Analytic network process model for landslide hazard zonation. Engineering Geology, 85(3), 281-294.*
- *Pourghasemi, H. R., & Rahmati, O. (2018). Prediction of the landslide susceptibility: Which algorithm, which precision?. CATENA, 162, 177-192.*
- *Pourghasemi, H., Moradi, H., Aghda, S.F., 2013. Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. Nat. hazards 69, 749–779. http://doi.org/10.1007/s11069-013-0728-5*
- *Refahi, H. (1996). Water erosion and its control. Tehran University Publ.*
- *Roering, J.J., Kirchner, J.W., Dietrich, W.E., 2005, Characterizing Structural and Lithology Controls on Deep-seated Landsliding: Implications for Topographic Relief and Landscape Evolution in the Oregon Coast Range, Geological Society of America Bulletin, No.117, PP. 654-668.*
- *Samodra, G., Chen, G., Sartohadi, J., & Kasama, K. (2015). Generating landslide inventory by participatory mapping: an example in Purwosari Area, Yogyakarta, Java. Geomorphology.*
- *Xiang, T. (2011). Assessment on Landslide Risks in Railway Tunnels Based on ANP. Railway Standard Design, 7, 025.*
- *Xiang, T. (2011). Assessment on Landslide Risks in Railway Tunnels Based on ANP. Railway Standard Design, 7, 025.*