

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

سال ششم، شماره بیستم و دوم، زمستان ۱۳۹۴

تأیید نهایی: ۹۴/۰۹/۳۰

دریافت مقاله: ۹۴/۰۷/۱۲

صص ۸۹-۱۰۳

تلفیق مدل ANP و شاخص آنتروپی شانون در برآورد عوامل مؤثر در وقوع و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی فاروب رومان نیشابور)

علی شکاری بادی، دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی - دانشگاه حکیم سبزواری

محمد معتمدی‌راد^{*}، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی - دانشگاه حکیم سبزواری

ملیحه محمدنیا، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی - دانشگاه حکیم سبزواری

چکیده

ناپایداری‌های دامنه‌ای و بالأخص زمین لغزش‌ها مخاطرات مهمی برای فعالیت‌های انسانی هستند که اغلب سبب از دست رفتن منابع اقتصادی، اموال و تأسیسات می‌شوند. در سال‌های اخیر عوامل انسانی و طبیعی باعث تشدید خسارت‌های ناشی از زمین لغزش‌ها شده است. یکی از راه‌های کاهش خسارات ناشی از زمین لغزش‌ها دوری از مناطق خطر است. بدین منظور، لازم است نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش برای این مناطق تهیه گردد. هدف این پژوهش، شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های حوضه‌ی فاروب رومان شهرستان نیشابور و ارزیابی مناطق دارای خطر زمین لغزش برای آماده‌سازی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تلفیق دو مدل ANP و شاخص آنتروپی شانون است. در این پژوهش، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی ده پارامتر مؤثر در وقوع زمین لغزش شامل: ارتفاع، بارش، شیب، جهت‌شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، تراک پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و فاصله از جاده تهیه گردید. سپس با استفاده از تجربیات دیگر محققان و نظرات کارشناسی، وزن زیرمعیارها در مدل ANP تعیین گردید. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این مدل تعدیل نظرات کارشناسی است. در نهایت، با استناد به نقشه‌ی پراکنش لغزش‌ها و مدل آنتروپی، نقشه‌ی نهایی خطر زمین لغزش برای حوضه‌ی مورد نظر تهیه گردید. عامل فاصله از آبراهه و بالأخص فواصل ۰-۱۵۰ متری از آن به‌عنوان مؤثرترین عامل و پس از آن عوامل شیب و بارش از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین لغزش در حوضه‌ی مطالعاتی شناسایی گردید. ارزیابی نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین لغزش با استفاده از روش SCAI حاکی از دقت مناسب در تشخیص مناطق خطر است. لذا می‌توان نقشه‌ی خطر تهیه شده را در کارهای عمرانی و برنامه‌ریزی‌های محیطی همواره مدنظر قرار داده و از ساخت‌وساز و تغییر کاربری در مناطق با خطر زیاد اجتناب نمود.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، پهنه‌بندی خطر، مدل ANP، شاخص آنتروپی شانون، حوضه فاروب رومان.

* Email: motamedi_1@yahoo.com

۱- مقدمه

انسان با مسائل زیست‌محیطی فراوانی مواجه است. بلایای طبیعی جزئی از این مشکلات هستند که سالانه موجب کشته و مجروح شدن صدها هزارتن و بی‌خانمان شدن میلیون‌ها نفر در سراسر جهان می‌شوند (مرادی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲). مخاطرات ژئومورفولوژیک به‌عنوان پدیده‌ای بالقوه زیان‌بار مطرح است که مهم‌ترین آن‌ها حرکت‌های توده‌ای و زمین‌لغزش‌ها هستند (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۳: ۸۶). حرکت توده‌ای شامل حرکت به سمت بیرون یا رو به پایین یک توده از مواد تشکیل‌دهنده‌ی دامنه‌ی تحت تأثیر نیروی گرانش است (Encyclopedia of Geomorphology, 2004: 605؛ علی‌پور و ملکیان، ۱۳۹۴: ۱۶۶). این نوع حرکات عمدتاً در اثر نیروی ثقل، عوامل طبیعی مثل بارش شدید، زلزله، اشباع خاک از آب و همچنین علل انسانی مثل تخریب پوشش گیاهی و عملیات نادرست مهندسی به وقوع می‌پیوندد (رجبی و فیض‌اله‌پور، ۱۳۹۳: ۱۶۲). بر طبق گزارش‌های جهانی مخاطرات طبیعی^۱ در سال ۲۰۱۲، لغزش در میان هفت بلایای طبیعی خطرناک جهان قرار گرفت (Fathi et al, 2015: 516). وقوع مخاطرات طبیعی (از جمله زمین‌لغزش‌ها) فشار جدی بر روی توسعه‌ی اقتصادی کشورها، به‌ویژه کشورهای جهان سوم دارد. به‌طوری‌که خسارت‌های مالی ناشی از مخاطرات طبیعی، رشد و شکوفایی اقتصادی را با رکود مواجه می‌سازد (حجازی و رنجبریان شادباد، ۱۳۹۳: ۱۱۵). سرزمین ایران با توپوگرافی نسبتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد و شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی عمده، شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از زمین‌لغزش‌ها فراهم کرده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۶۰). طبق بررسی‌های وزارت جهاد سازندگی تا سال ۱۳۸۵ حدود ۱۵ هزار زمین‌لغزش در ایران رخ داده است (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۴). سهم خسارات ناشی از حرکات توده‌ای در ایران سالانه ۵۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است (صدوق ونینی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰۶؛ رضانی و ابراهیمی، ۱۳۸۸: ۱۲۸). یکی از وظایف مهم دانش ژئومورفولوژی کاربردی، بررسی موقعیت و ارزش محیط‌های انسانی خطرپذیر و آسیب‌پذیر در برابر انواع مخاطرات ژئومورفیک است (Rosenfeld, 2004: 42؛ مقیمی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۴). پهنه‌بندی خطر به مفهوم تقسیم‌بندی سطح زمین به بخش‌های مختلف و رده‌بندی این بخش‌ها بر اساس درجه‌ی خطر (استعداد) زمین‌لغزش‌ها به کار می‌رود. ارزیابی خطر، اولین مرحله از مدیریت و کاهش خطر است و احتمال وقوع زمین‌لغزش را در یک مکان با یک دوره برگشت برآورد می‌کند (شیرانی و عرب عامری، ۱۳۹۴: ۳۲۲). لذا جهت استفاده بهینه از محیط طبیعی و منابع موجود در آن و همچنین برای ایجاد تأسیسات زیربنایی، با شناخت کامل از محیط و درک شرایط طبیعی حاکم بر محیط و با اعمال مدیریت صحیح در استفاده از آنتا حدودی می‌توان از تشدید ناپایداری دامنه‌ها و وقع زمین‌لغزش ممانعت نمود (عابدینی و ستایشی نسا، ۱۳۹۳: ۱۴۰). روش‌های بسیاری برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش وجود دارد ولی به‌طور کلی این روش‌ها به دو دسته روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. روش‌های مستقیم پهنه‌بندی، بر پایه قضاوت‌های متکی بر مناطق لغزش یافته صورت می‌گیرد، ولی روش‌های غیرمستقیم که این پژوهش نیز از آن جمله است، بر پایه‌ی شناسایی عوامل کنترل‌کننده و تلفیق این عوامل به‌عنوان معرف‌های پتانسیل زمین‌لغزش، در پهنه‌بندی است (قنواتی و همکاران؛ ۱۳۹۳: ۹). با توجه به پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در حوضه‌ی مطالعاتی و وجود آثار و شواهد وقوع زمین‌لغزش‌های مکرر در محدوده، تهیه نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ارائه‌ی راهکارهایی جهت مدیریت خطر، ضروری به نظر می‌رسد. بر همین اساس، عوامل مؤثر در وقوع رخداد زمین‌لغزش در حوضه‌ی فاروب رومان شناسایی و میزان تأثیر آن با استفاده از روش ANP^۲ تعیین و نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر بر اساس مدل آنتروپی برای این حوضه تهیه گردید.

1- global organization of natural dangers

2- Analytical Network Process

در زمینه‌ی موضوع مورد مطالعه، تحقیقات زیادی در ایران و جهان انجام گرفته است. هونگ^۳ و همکاران (۲۰۱۶) به منظور مدل‌سازی مکانی زمین لغزش در شهر Guanzhou چین از چهار مدل تئوری تابع اطمینان، نسبت فراوانی، ماکزیمم آنتروپی و رگرسیون لجستیک استفاده نمودند. نتایج صحت‌سنجی مدل نشان داد که مدل رگرسیون لجستیک با سطح زیر منحنی ۰/۸۲ بالاترین دقت را داشته است. یوسف^۴ و همکاران (۲۰۱۶) به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش از مدل‌های نسبت فراوانی، وزن واقعه، شاخص آنتروپی و دمپستر- شيفر استفاده نمودند. نرخ پیش‌بینی به ترتیب ۰/۹۵، ۰/۹۵۲، ۰/۹۴۶ و ۰/۹۳۴ به دست آمد. دیویس و بلسیوس^۵ (۲۰۱۵)، نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش حوضه‌ی San Pedro Creek در آمریکا را با استفاده از مدل‌های ترکیبی فیزیکی و ماکزیمم آنتروپی تهیه نمودند. نتایج حاکی از آن است که نقشه‌ی شاخص پایداری از لحاظ پتانسیل حساسیت اغراق‌آمیز است. دوکوتا^۶ و همکاران (۲۰۱۳) نقشه‌ی خطر زمین لغزش را با استفاده از شاخص آنتروپی و رگرسیون لجستیک در بخشی از جاده Mugling-Narayanghat در کشور نپال تهیه نمودند. در این مطالعه، شیب، جهت شیب، ارتفاع، انحناء زمین، کاربری زمین، سنگ‌شناسی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و شاخص رطوبت توپوگرافی به‌عنوان عوامل مؤثر در لغزش بکار گرفته شد. نتایج اعتبارسنجی نقشه خطر به‌وسیله‌ی منحنی ROC نشان داد که نقشه‌ی تهیه شده با استفاده از شاخص آنتروپی با ۹۰/۱ درصد دارای دقت بالایی است. در همین سال مارگارینت^۷ و همکاران نقشه حساسیت خطر زمین لغزش در شرایط جغرافیایی متفاوت در چهار بخش از کشور رومانی را تهیه نمودند. در این پژوهش عوامل: ارتفاع، زاویه شیب، ارتفاع شیب، انحناء زمین، فاصله از آبراهه، جهت شیب، کاربری زمین و سنگ‌شناسی را به‌عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش شناسایی و نقشه خطر را برای چهار بخش تهیه نمودند. نتایج صحت‌سنجی نقشه‌ها بر اساس منحنی ROC نشان داد که روش رگرسیون لجستیک در محدوده‌ی مورد مطالعه، جهت تهیه‌ی نقشه‌ی خطر لغزش دارای نتیجه‌ی مطلوبی است. پورقاسمی و همکاران (۲۰۱۳)، به مقایسه‌ی شاخص‌های آنتروپی، رگرسیون لجستیک و مدل نسبت فراوانی در تعیین حساسیت زمین لغزش‌های ایران پرداختند. لایه‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل: درجه‌ی شیب، جهت شیب، ارتفاع، انحناء زمین، کاربری زمین، سنگ‌شناسی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و شاخص رطوبت توپوگرافی می‌باشد. بر اساس شاخص آنتروپی شاخص رطوبت توپوگرافی و کاربری زمین و بر اساس رگرسیون لجستیک شاخص رطوبت توپوگرافی و انحناء زمین بیشترین تأثیر را در زمین لغزش دارند. نتایج منحنی ROC برای سه مدل رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و شاخص آنتروپی به ترتیب ۰/۷۸/۸، ۰/۷۳/۲ و ۰/۷۱/۲ را نشان می‌دهد.

پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: تاکدیس نسا، زاگرس شمال غربی)، عنوان پژوهشی است که توسط مقیمی و همکاران (۱۳۹۱) انجام گرفت. در این پژوهش عوامل لیتولوژی، فاصله از گسل، ارتفاع شیب و جهت شیب به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در منطقه شناسایی و ماتریس آنتروپی برای این عوامل محاسبه و نقشه‌ی خطر زمین لغزش منطقه تهیه گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که ارتفاع و شیب، مهم‌ترین عوامل در وقوع پدیده‌ی زمین لغزش در تاکدیس نسا است. پورقاسمی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از مدل آنتروپی شانون، نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش شمال شهر تهران را تهیه نمودند. برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، ۱۷ عامل مؤثر در منطقه شناسایی و نقشه‌ی خطر زمین لغزش تهیه گردید. اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر اساس شاخص آنتروپی شانون نشان داد که لایه‌ی کاربری

3- Hong

4- Youssef

5- Davis and Blesius

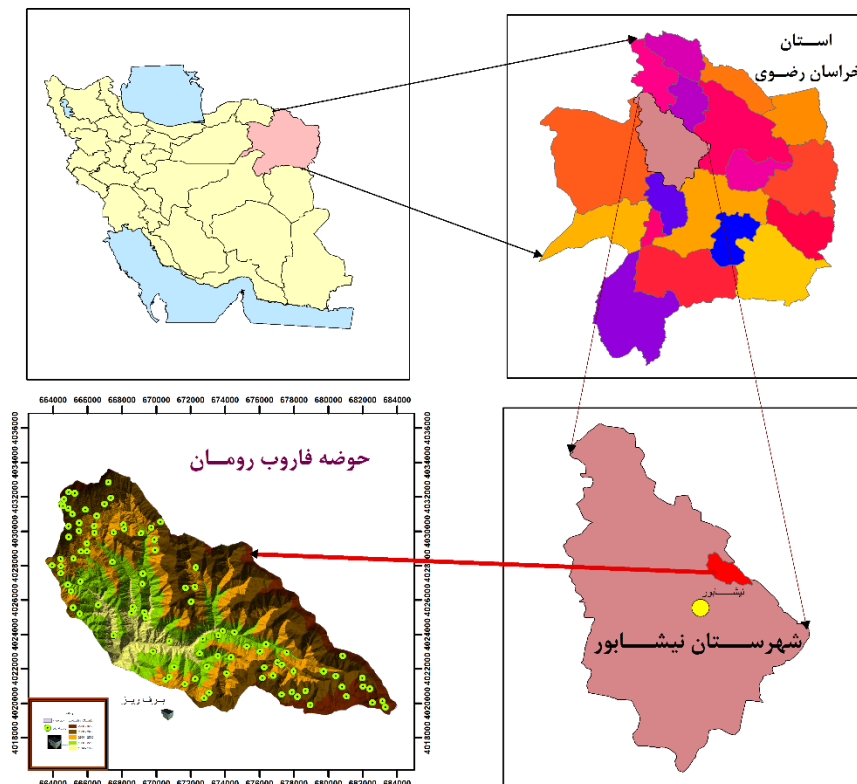
6- Devkota

7- Margarint

اراضی بیشترین تأثیر و لایه‌ی شکل شیب کمترین تأثیر را در منطقه داشته است. در همین سال در تحقیقی مشابه حسین پور میل آغاردان و عباسپور در منطقه‌ی تونکابن استان گیلان نقشه‌ی خطر زمین‌لغزش را با استفاده از مدل آنتروپی تهیه نمودند. جهت تهیه‌ی این نقشه پارامترهای شیب، ارتفاع، شرایط ژئومورفولوژی، انحناء زمین، نزدیکی به رودخانه و گسل به‌عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش به کار گرفته شد. نتایج نشان داد، نقشه‌ی خطر تهیه شده با استفاده از مدل آنتروپی دارای دقت بالایی در پیش‌بینی خطر لغزش در محدوده‌ی مطالعاتی است. همچنان یمانی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی پتانسیل زمین‌لغزش در تاق‌دیس سیاه‌کوه در غرب ایران پرداختند. در این پژوهش، از روش آنتروپی جهت تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش استفاده گردید. نقشه‌ی تهیه شده گویای آن است که منطقه از لحاظ خطر زمین‌لغزش دارای پتانسیل بالایی بوده و حدود ۷۸/۲ درصد از منطقه دارای خطر متوسط و زیاد است. محمدخان و همکاران (۱۳۹۳)، به پتانسیل‌سنجی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی در منطقه‌ی شیرپناه استان کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان داد که عوامل فاصله از گسل، شیب، ارتفاع، لیتولوژی و جهت شیب به ترتیب بیش‌ترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش در منطقه داشته است.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبخیز فاروب‌رومان با مساحتی در حدود ۱۴۴،۵۱ کیلومترمربع در حوضه‌ی آبریز کویر مرکزی، شهرستان نیشابور و بخش مرکزی (دهستان مازول و فضل) و در دامنه یجنوبی بینالود واقع شده است. فاصله‌ی این حوضه از شهرستان نیشابور در حدود ۱۱/۵ کیلومتر است. محدوده‌ی مطالعاتی بین دوطول شرقی "۱۶°۴۹'۵۸" و "۵۵°۰۲'۵۹" و عرض‌های "۱۴'۱۸'۳۶" تا "۱۰'۲۶'۳۶" شمالی قرار گرفته است. روستاهای روستای عیش‌آباد، میرآباد و صومعه در فاصله‌های کمی از خروجی‌های حوضه واقع شده‌اند و روستایی در داخل حوضه قرار ندارد. در بخش شمالی منطقه، کوه‌های بینالود واقع شده و آبریز آن سرشاخه‌های رودخانه فاروب‌رومان را تشکیل می‌دهند. تنوع سنگ‌شناسی زیادی در محدوده‌ی مطالعاتی دیده می‌شود. واحدهای سنگ‌شناسی حوضه مطالعاتی متشکل از سازندهای دگرگونی (CTRSh-sh) با ۷۹،۵ درصد مساحت، دلیچای و شمشک (Jd-Jsh s) با اختصاص ۱۲،۵ درصد، بهرام و لالون (Db_E1) ۶،۵ درصد، لار (JI) ۰،۸۵ درصد و کواترنز (۰،۶۵ درصد) است. راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه از طریق راه آسفالت نیشابور-باغ‌رود است. راه نیشابور-بش‌آباد و نیشابور-میرآباد نیز امکان دسترسی به منطقه را میسر می‌سازد. شکل (۱) موقعیت حوضه‌ی مطالعاتی را نمایش می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت حوضه مورد مطالعه

۳- مواد و روش‌ها

این پژوهش به لحاظ هدف، کاربردی و به لحاظ روش، تحلیلی است. در این پژوهش لایه‌های اطلاعاتی ده پارامتر مؤثر در وقوع زمین لغزش شامل: شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، فاصله از جاده، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، بارش و زمین‌شناسی تهیه گردید. جهت تهیه این لایه‌ها از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای لندست و داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی موجود در محدوده‌ی و اطراف آن استفاده گردید. همچنین به منظور ارزیابی نتایج پژوهش از اطلاعات مربوط به ۹۶ نقطه‌ی لغزشی (براساس داده‌های اداره آبخیزداری و منابع طبیعی استان خراسان رضوی)، جهت تهیه‌ی نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش استفاده گردید. لایه‌های اطلاعاتی کیفی در نرم‌افزار ArcGIS10.1 به فایل رستریکه حالت کمی داشته، تبدیل شده سپس با توجه به ویژگی‌های برداشت شده از زمین لغزش‌های منطقه و براساس مدل ANP به هر لایه وزنی داده شد و بعد از طبقه‌بندی لایه‌ها ماتریس آنروپی برای آن‌ها تشکیل شد (جدول شماره ۱).

۳-۱- مدل تحلیل شبکه‌ای

فرآیند تحلیل شبکه (ANP)، توسعه یافته از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP (ساعتی، ۱۹۸۰)، یک روش قدرتمند تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) برای حل مسائل تصمیم‌گیری شرکت‌های بزرگ است (Xu, et al. 2015: 2). اگرچه AHP و ANP هر دو مشتق اولویت‌بندی نسبی مقیاس از طریق ایجاد مقایسات زوجی عناصر (مانند ابعاد یا معیارها) می‌باشند اما تفاوت‌های مهمی بین آن‌ها وجود دارد. اولین تفاوت این است که AHP یک نسخه‌ی خاص از ANP است.

ANP به وابستگی درون یک خوشه (وابستگی درونی) و بین خوشه‌های مختلف (وابستگی بیرونی) رسیدگی می‌کند. دوم، ANP یک ساختار غیرخطی بوده در حالی که AHP به صورت خطی و سلسله مراتبی با اهدافی در بالاترین سطوح و آلترناتیوهای در پایین‌ترین سطوح بر اساس مفاهیم پویا از زنجیره مارکوف است (Chen, et al. 2010: 930). مدل سازی فرآیند تحلیل شبکه‌ای مشتمل بر ۵ مرحله: ۱- تدوین ساختمان مدل و ساختار مسئله، ۲- انجام مقایسه زوجی و برآورد وزن نسبی، ۳- تشکیل سوپرماتریس اولیه، ۴- تشکیل سوپرماتریس وزنی و ۵- محاسبه بردار وزنی عمومی است.

۳-۲- شاخص آنتروپی شانون

فیزیکدان آلمانی، رودلف کلاسیوس^۸ مفهوم آنتروپی را در سال ۱۸۴۸ معرفی کرد و بولتزمن نیز به آن پرداخت. در ضمن ویلاردگیبس^۹ از دانشگاه ییل در اثر کلاسیک خود، درباره‌ی مکانیک آماری، معنی عمیقی به آن بخشید (زیاری و همکاران، ۱۳۹۳: ۹) و سرانجام شانونویور^{۱۰} روش آنتروپی را در سال ۱۹۷۴ میلادی مطرح کردند (ضرابی و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۵). آنتروپی، یکی از رویکردهای مدیریتی است که به منظور برخورد با بی‌نظمی، بی‌ثباتی، اغتشاش و عدم یقین‌های موجود در یک سیستم مورد استفاده قرار گرفته (Yufeng and Fengxiang, 2009: 83) و مبین مقدار عدم اطمینان در یک توزیع احتمال پیوسته است (ضرابی و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۵). در واقع آنتروپی مفهومی است که پراکندگی و بی‌نظمی را در پدیده‌های طبیعی تخمین می‌زند. این مفهوم که در دانش ترمودینامیک کاربرد بسیار دارد، امروزه به سایر علوم نیز راه یافته است (ضمیری و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۷۳). برای استفاده از این مدل، ابتدا باید ماتریس تصمیم‌گیری ایجاد شود. ماتریس تصمیم‌گیری حاوی اطلاعاتی است که آنتروپی می‌تواند به عنوان برای ارزیابی آن به کار رود و با محاسبه‌ی ماتریس آنتروپی و وزن کل ده عامل (Wj) میزان Hi به عنوان ضریب خطر وقوع زمین لغزش به دست می‌آید (مقیمی و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۱). مدل آنتروپی به صورت رابطه‌ی شماره‌ی ۱ بیان می‌شود:

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

در این رابطه E_j ارزش آنتروپی و P_{ij} ماتریس تصمیم‌گیری است.

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{n=1}^m r_{ij}} \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

R_{ij} مقدار وزن هر یک از لایه‌ها است.

$$k = (\ln m)^{-1} \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

K ضریب ثابت است و m تعداد زمین لغزه‌ها را نشان می‌دهد.

پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و به دست آوردن مقدار E_j مقدار V_j از رابطه ۴ به دست می‌آید:

$$V_j = 1 - E_j \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

8- Claudius Rudolf

9- Willard Gibbs

10- Shannon & Weaver

Vj بیانگر درجه‌ی انحراف عدم اطمینان است و سرانجام وزن هر معیار با تابع زیر تعیین می‌شود (اصغرپور، ۱۳۸۵: ۱۹۵):

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j} \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

پس از محاسبه‌ی وزن کل (Wj) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی فاروب با استفاده از رابطه ۶ ارزیابی می‌شود.

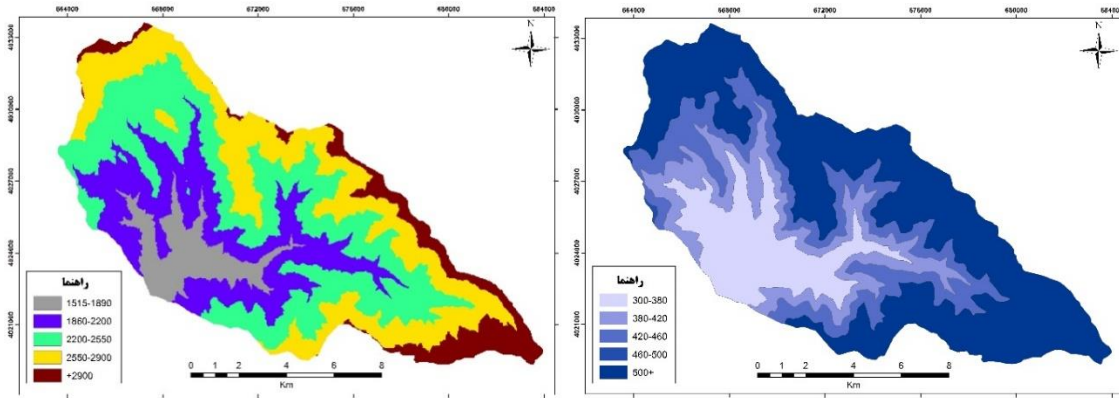
$$H_i = \sum_{j=1}^n W_j * r_{ij} \quad \text{رابطه‌ی ۶}$$

در این رابطه Hi ضریب رخداد زمین‌لغزش، Wi وزن نهایی تمام عوامل و rij وزن هر یک از عوامل است (زونگجی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۳۳۶). این رابطه مدل ناحیه‌ای میزان خطر زمین‌لغزش در منطقه‌ی مطالعاتی است.

۴- بحث و نتایج

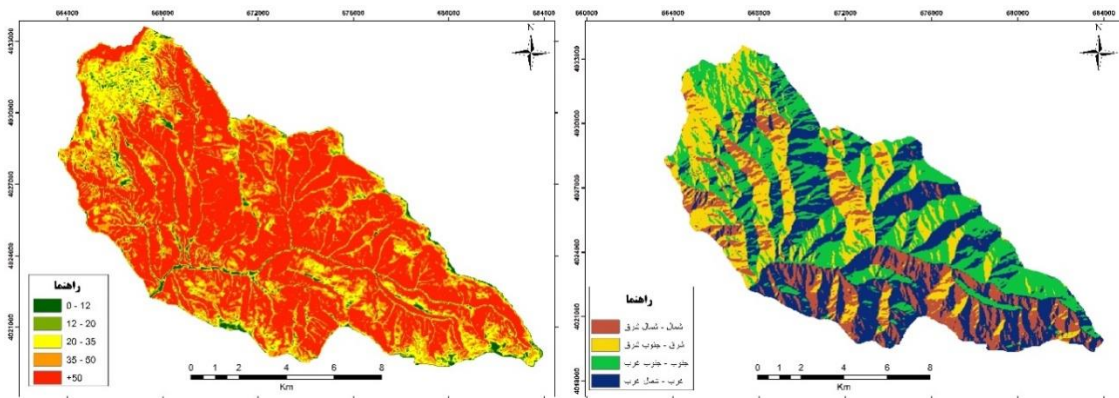
در این پژوهش، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی شامل: فاصله از رودخانه، بارش، شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، جهت شیب، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، فاصله از گسل و فاصله از جاده تهیه و به‌صورت رستر درآمدند سپس با توجه به لغزش‌های رخ داده در حوضه‌ی مطالعاتی و براساس روش ANP، به هر یک از زیرمعیارها وزنی اختصاص داده شد. از ویژگی‌های حائز اهمیت این مدل می‌توان به تشکیل سوپرماتریسوزنی در مرحله‌ی آخر مدل نام برد. در این سوپرماتریس، اوزان تعیین شده بر اساس نظرات کارشناسی به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا شده و مقادیر سطری آن باهم برابر شوند. بر اساس ماتریس به دست آمده، بردار وزن عمومی مشخص می‌شود (مکانیکی و صادقی، ۱۳۹۱: ۱۲۸). به عبارتی، به‌منظور همگرا شدن مقادیر سوپر ماتریس وزنی تا زمانی که تمام عناصر یکسان شوند، مقادیر به توان می‌رسند. لذا با استفاده از این مدل، نظرات کارشناسی که همواره با مقداری خطا همراه است تعدیل شده و برای به کارگیری در مدل آنتروپی آماده گردید. آنتروپی در حقیقت بیانگر آن است که چگونه از بین عوامل مؤثر یک هدف، می‌توان مهم‌ترین عوامل را تخمین زد یا به عبارتی متغیرهایی که بیشترین تأثیر را در رخداد یک واقعه دارند، برای ما مشخص می‌کند (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۲: ۸۴). در مرحله بعد با استفاده از روابط ۱ تا ۵، وزن‌های نهایی بر اساس روش آنتروپی محاسبه (جدول ۱) و در ادامه نقشه خطر زمین‌لغزش حوضه فاروب در محیط GIS تهیه و بر اساس شکست‌های طبیعی (Natural Break) به پنج کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم گردید. شکل ۲ تا ۱۱ لایه‌های رستری ده عامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش را نشان می‌دهد.

با توجه به ویژگی‌های طبیعی و جغرافیایی حوضه‌ی مورد مطالعه و روش آنتروپی که برای وزن‌دهی به کار رفته است، میزان تأثیر عوامل ده‌گانه مؤثر در زمین‌لغزش متفاوت است. عامل فاصله از آبراهه با ۲۰ درصد، بارش با ۱۸ درصد و شیب با ۱۶ درصد بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش در منطقه داشته است و پس از آن‌ها لیتولوژی و ارتفاع با ۱۱/۱٪ جهت شیب با ۸٪، پوشش گیاهی و کاربری اراضی با ۵٪، فاصله از گسل با ۲٪ و فاصله از جاده با ۰/۰۷٪ درصد از عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش در منطقه بوده است (جدول ۲). شکل ۱۲ نقشه‌ی نهایی خطر زمین‌لغزش و جدول ۳ درصد مساحت پهنه‌ها و درصد زمین‌لغزش در هر پهنه و ارزیابی نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از شاخص SCAI را نشان می‌دهد.



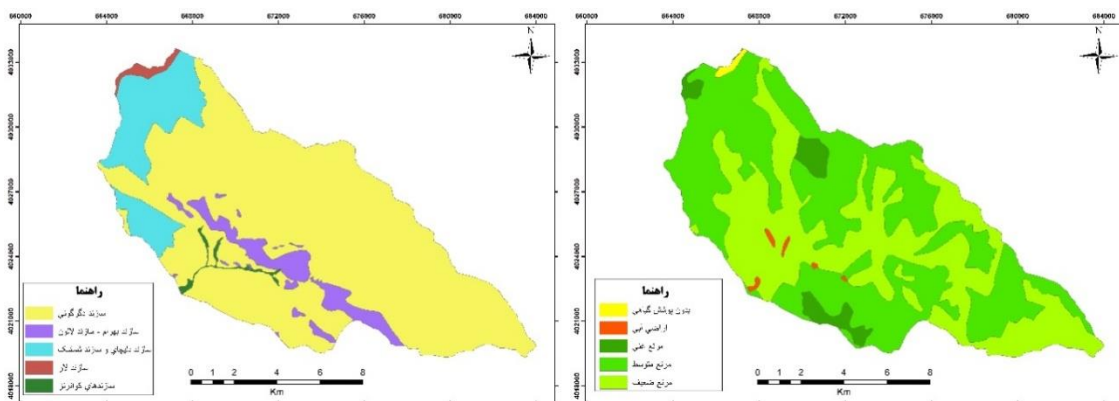
شکل ۳: لایه‌ی رستری بارش

شکل ۲: لایه‌ی رستری ارتفاع از سطح دریا



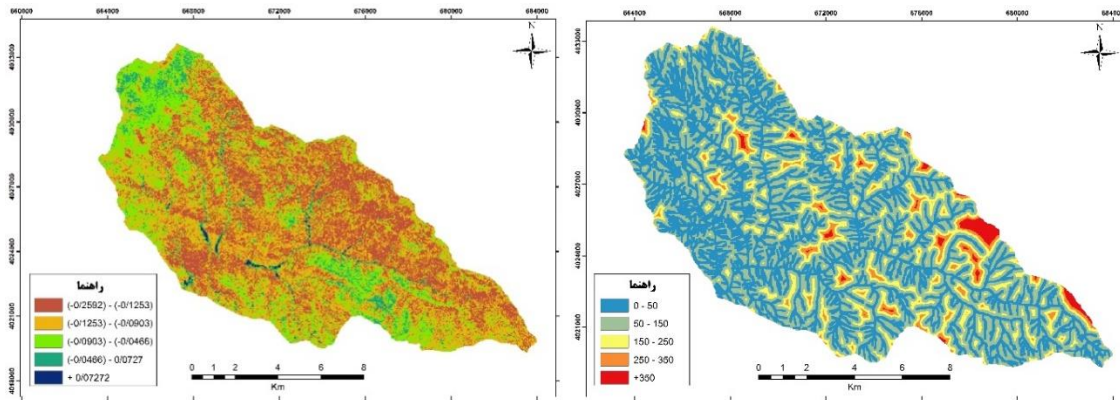
شکل ۵: لایه‌ی رستری جهت شیب

شکل ۴: لایه‌ی رستری شیب توپوگرافی



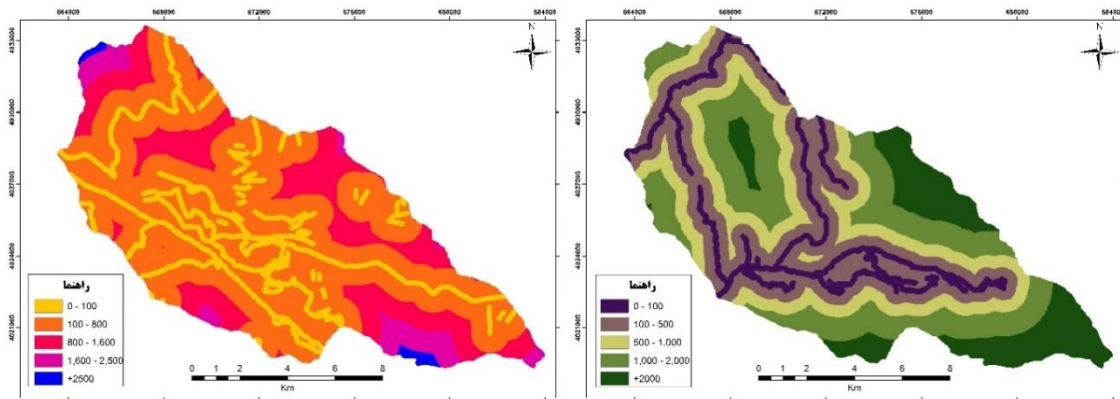
شکل ۷: لایه‌ی رستری کاربری اراضی

شکل ۶: لایه‌ی رستری زمین‌شناسی



شکل ۹: لایه‌ی رستری فاصله‌از آبراهه

شکل ۸: لایه‌ی رستری شاخص پوشش گیاهی



شکل ۱۱: لایه‌ی رستری فاصله از جاده

شکل ۱۰: لایه‌ی رستری فاصله از گسل

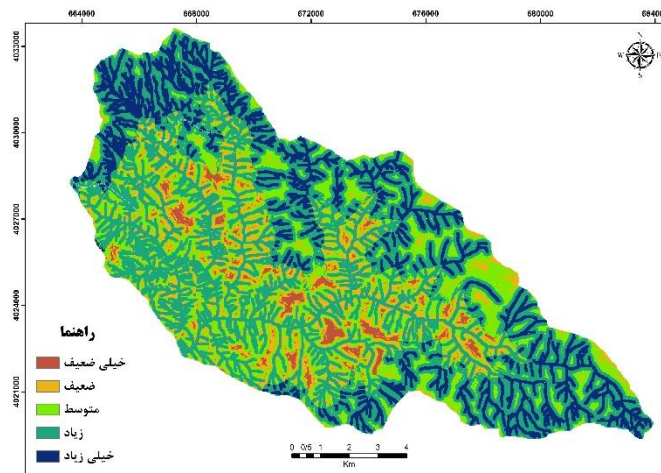
جدول ۱: عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش، تعداد و میزان تأثیر آن‌ها و اوزان به‌دست آمده از شاخص آنتروپی شانون

Wj	Vj	Ej	وزن ANP	تعداد زمین‌لغزش	زیر معیار	معیار
۰/۱۱۱۴	۰/۳۸۶۹	۰/۶۱۳۱	۰/۰۱۴۵۱۳	۸	۱۸۶۰-۱۵۱۵	ارتفاع (متر)
			۰/۰۱۵۰۲۵	۱۹	۲۲۰۰-۱۸۶۰	
			۰/۰۱۷۴۰۵	۳۶	۲۵۵۰-۲۲۰۰	
			۰/۰۱۵۸۹۴	۲۶	۲۹۰۰-۲۵۵۰	
			۰/۰۱۴۵۳۲	۷	بیشتر از ۲۹۰۰	
۰/۱۱۸۶۷	۰/۶۴۸۶	۰/۳۵۱۴	۰/۰۳۸۸۵۵	۱۲	۳۸۰-۳۰۰	بارش (میلی‌متر)
			۰/۰۴۲۳۴۴	۱۵	۴۲۰-۳۸۰	
			۰/۰۴۹۳۹۱	۲۲	۴۶۰-۴۲۰	
			۰/۰۳۷۲۵۸	۰	۵۰۰-۴۶۰	
			۰/۰۶۲۷۵۵	۴۷	بیشتر از ۵۰۰	
۰/۱۶۰۲	۰/۵۵۶۳	۰/۴۴۳۷	۰/۰۲۷۸۷۲	۵	۱۲-۰	شیب (درجه)
			۰/۰۳۲۸۰۵	۲۳	۲۰-۱۲	
			۰/۰۳۸۹۰۱	۶۰	۳۵-۲۰	
			۰/۰۳۰۰۵۹	۸	۵۰-۳۵	

			۰/۰۲۷۲۵۶	۰	بیشتر از ۵۰	
۰/۰۸۳۲	۰/۲۸۹۱	۰/۷۱۰۹	۰/۰۱۲۸۷۵	۳۳	E-SE	جهت شیب
			۰/۰۱۳۸۷۱	۲۴	N-NE	
			۰/۰۱۲۳۱۸	۱۸	S-SW	
			۰/۰۱۲۴۷۵	۲۱	W-NW	
۰/۰۰۷۸	۰/۰۲۷۰	۰/۹۷۳۰	۰/۰۰۳۴۰۳	۱۳	۱۰۰-۰	فاصله از جاده (متر)
			۰/۰۰۳۴۹۱	۲۶	۵۰۰-۱۰۰	
			۰/۰۰۳۴۳۰	۱۷	۱۰۰۰-۵۰۰	
			۰/۰۰۳۴۹۱	۲۷	۲۰۰۰-۱۰۰۰	
			۰/۰۰۳۴۹۳	۱۳	بیشتر از ۲۰۰۰	
۰/۲۰۴۸	۰/۷۱۱۲	۰/۲۸۸۸	۰/۰۸۸۴۸۸	۴۹	۵۰-۰	فاصله از آبراهه (متر)
			۰/۰۶۵۹۳۱	۴۰	۱۵۰-۵۰	
			۰/۰۵۴۲۸۲	۶	۲۵۰-۱۵۰	
			۰/۰۴۵۴۱۳	۱	۳۵۰-۲۵۰	
			۰/۰۴۵۴۱۳	۰	بیشتر از ۳۵۰	
۰/۰۲۸۸	۰/۱۰۰۱	۰/۸۹۹۹	۰/۰۰۴۶۰۹	۱۱	۱۰۰-۰	فاصله از گسل (متر)
			۰/۰۰۴۸۹۰	۵۴	۸۰۰-۱۰۰	
			۰/۰۰۴۶۷۰	۱۹	۱۶۰۰-۸۰۰	
			۰/۰۰۴۶۰۹	۱۱	۲۵۰۰-۱۶۰۰	
			۰/۰۰۴۵۸۴	۱	بیشتر از ۲۵۰۰	
۰/۰۵۲۹	۰/۱۸۳۷	۰/۸۱۶۳	۰/۰۰۴۶۵۲	۰	اراضی بدون پوشش گیاهی	کاربری اراضی
			۰/۰۰۶۴۵۲	۰	اراضی آبی	
			۰/۰۰۶۵۲۷	۱۲	مرتع غنی	
			۰/۰۰۶۹۸۳	۵۲	مرتع متوسط	
			۰/۰۰۶۷۰۵	۳۲	مرتع فقیر	
۰/۰۵۲۹	۰/۱۸۳۷	۰/۸۱۶۳	۰/۰۰۶۵۴۶	۱۸	-۰/۱۲۵۳۰۳	تراکم پوشش گیاهی
			۰/۰۰۶۹۶۷	۳۰	-۰/۰۹۰۳۵۷	
			۰/۰۰۶۴۷۴	۴۰	-۰/۰۴۶۶۷۶	
			۰/۰۰۶۶۹۱	۸	۰/۰۷۲۷۲	
			۰/۰۰۶۴۴۱	۰	۰/۴۸۶۲۳۹	
۰/۱۱۱۴	۰/۳۸۶۹	۰/۶۱۳۱	۰/۰۱۷۸۹۳	۶۳	CTRS-sh (سازند دگرگونی)	زمین‌شناسی
			۰۱۴۸۷۸	۶	Db_E1 (سازند بهرام و لالون)	
			۰/۰۱۵۵۱۳	۲۶	Jd_Jsh s (سازند دلیچای و شمشک)	
			۰/۰۱۴۵۴۲	۱	Al (سازند لار)	
			۰/۰۱۴۵۴۲	۰	Qal_Qt2 (کواترنر)	

جدول ۲: میزان تأثیر عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در حوضه‌ی فاروب

عوامل مؤثر	شیب	جهت شیب	ارتفاع	فاصله از جاده	فاصله از آبراهه	فاصله از گسل	کاربری اراضی	تراکم پوشش گیاهی	بارش	زمین‌شناسی
درصد تأثیر	۱۶٪	۸٪	۱۱٪	۰/۰۷٪	۲۰٪	۲٪	۵٪	۵٪	۱۸٪	۱۱٪



شکل ۱۲: نقشه‌ی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی در حوضه‌ی فاروبرومان

۴-۱- ارزیابی نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از شاخص SCAI

شاخص SCAI در واقع نسبت درصد مساحت هر یک از کلاس‌های پهنه‌بندی خطر لغزش به درصد لغزش‌های اتفاق افتاده در هر کلاس است. این شاخص، میزان دقت را به صورت کیفی ارائه می‌کند و بیانگر صحت یا سقم نقشه‌ی پهنه‌بندی لغزش با توجه به مقدار SCAI (منظور از صحت یعنی کاهش مقدار SCAI از کلاس خیلی کم به سمت کلاس خیلی زیاد است) (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۰۰). ارزیابی دقت نقشه‌ی پهنه‌بندی در جدول ۳ حاکی از کاهش مقدار شاخص SCAI از کلاس خیلی کم به سمت کلاس خیلی زیاد است.

جدول ۳: ارزیابی نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی زمین‌لغزش منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از شاخص SCAI

شاخص SCAI	زمین‌لغزش		مساحت		طبقه
	درصد	تعداد	درصد مساحت	کیلومتر مربع	
۱۴/۴۵	۲/۰۸	۲	۳۰/۱۰	۸۶/۳۰	خیلی کم
۲/۴۲	۵/۲۱	۵	۱۲/۶۲	۳۶/۱۷	کم
۰/۸۶	۱۸/۷۵	۱۸	۱۶/۱۴	۴۶/۲۸	متوسط
۰/۵۹	۵۲/۰۸	۵۰	۳۰/۹۳	۸۸/۶۷	زیاد
۰/۴۷	۲۱/۸۸	۲۱	۱۰/۲۱	۲۹/۲۶	خیلی زیاد

۵- نتیجه‌گیری

زمین لغزش یکی از مخاطره‌آمیزترین بلایای طبیعی است که دولت و مؤسسه‌های پژوهشی هرساله برای ارزیابی میزان خسارت و نشان دادن توزیع فضایی آن تلاش می‌کنند. شناخت نواحی مستعد پدیده‌ی زمین لغزش و پهنه‌بندی آن‌ها به‌عنوان یک خطر عمده در مناطق کوهستانی ایران یکی از گام‌های اولیه و اساسی در برنامه‌ریزی‌های توسعه و عمرانی است. در این پژوهش، تلفیق مدل ANP و شاخص آنتروپی شانون برای اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن در حوضه‌ی فاروب‌رومان شهرستان نیشابور به کار گرفته شد. عوامل فاصله از رودخانه، بارش، شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، جهت شیب، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، فاصله از گسل و فاصله از جاده به‌عنوان عوامل مؤثر در رخداد لغزش در منطقه شناسایی و وارد مدل گردید. اوزان زیرمعیارها بر اساس مدل ANP و اوزان معیارها بر اساس شاخص آنتروپی شانون محاسبه و نقشه‌ی خطر زمین لغزش برای حوضه‌ی مورد مطالعه تهیه گردید.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که مهم‌ترین عامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در حوضه‌ی مطالعاتی بر اساس مدل آنتروپی، فاصله از آبراهه با اختصاص میزان تأثیر ۲۰ درصد است. با توجه با این که تعداد کل زمین لغزش به وقوع پیوسته حوضه‌ی مطالعاتی ۹۶ زمین لغزش است، تعداد ۴۹ زمین لغزش در فاصله ۵۰-۰ متری و ۴۰ زمین لغزش در فاصله ۱۵۰-۵۰ متری (۸۹ از ۹۶ در فاصله ۱۵۰-۰ از آبراهه) رخ داده است که نشان از تأثیر مستقیم و مهم فرسایش و زیر شویی رودخانه است. بارش نیز با اختصاص ۱۸ درصد بیشترین تأثیر را پس از فاصله از آبراهه داشته است به طوری که ۵۰ درصد از وسعت حوضه دارای بارش ۵۰۰-۴۶۰ میلی‌متر با ۴۷ زمین لغزش است. بر اساس مدل آنتروپی شیب با ۱۶ درصد سومین عامل مؤثر در وقوع است که ۶۰ زمین لغزش در شیب ۳۵-۲۰ درصد به وقوع پیوسته است؛ و پس از آن هالیولوژی و ارتفاع با ۱۱/۱٪ از دیگر عوامل مؤثر در رخداد زمین لغزش بوده‌اند که به ترتیب بیشترین زمین لغزش در سازندهای دگرگونی (CTRS-sh) و سازندهای دلیجی و شمشک (Jd-Jsh s) با تعداد ۶۳ و ۲۶ می‌باشند. جهت شیب با ۸٪، پوشش گیاهی و کاربری اراضی با ۵٪، فاصله از گسل با ۲٪ درصد و فاصله از جاده با ۱۰۷٪ درصد از عوامل مؤثر بر رخداد زمین لغزش در منطقه بوده است. به‌طور کلی می‌توان گفت با توجه به شرایط طبیعی حاکم بر منطقه به ترتیب؛ عوامل فاصله از آبراهه، بارش و شیب به‌عنوان تأثیرگذارترین عوامل در وقوع زمین لغزش در حوضه ایفای نقش می‌کنند. حدود ۴۱ درصد از مساحت حوضه در محدوده‌ی خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد که در این مساحت حدود ۷۳ درصد لغزش‌ها، رخ داده است و این امر نشان‌گر خطرپذیر بودن این حوضه نسبت به رخداد زمین لغزش است. ارزیابی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از شاخص SCAI حاکی از همبستگی بالای نقشه خطر تهیه شده با نقاط لغزشی می‌باشد.

گر چه کنترل زمین لغزش در حال وقوع اغلب امکان‌پذیر نبوده و یا در صورت امکان بسیار پرهزینه است ولی می‌توان با مدیریت صحیح در جهت پیشگیری و یا کاهش خطرات آن با در نظر گرفتن ویژگی‌های منطقه‌ی مطالعاتی، فعالیت‌هایی را به انجام رساند. لذا با توجه به این که محدوده‌ی مورد مطالعه پژوهش حاضر، پتانسیل بالایی به لحاظ وقوع زمین لغزش دارد، پیشنهاد می‌گردد با در نظر داشتن این مورد که عامل فاصله از آبراهه به‌عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر شناسایی گردید، جهت جلوگیری از تشدید خطر از هر گونه ساخت‌وساز و تغییر کاربری در فواصل ۱۵۰-۰ متری از حریم رودخانه اجتناب گردد. همچنین هرگونه عملیات آبخیزداری در مناطق با خطرپذیری بالا می‌بایست با دقت و مطالعه دقیق صورت پذیرد. ایجاد هرگونه بار اضافی در دامنه‌ها و نفوذ آب ممکن است سبب ناپایداری بیشتر دامنه و تشدید زمین لغزش گردد. همچنین می‌توان با آگاه نمودن مردم، فعالیت‌های نادرست انسانی در این زمینه را کاهش داد. امید است با شناسایی عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای و پهنه‌بندی آن، بتوان کمک مؤثری در تدوین برنامه‌ی مدیریت خطر و کاهش خسارت‌های ناشی از این پدیده نمود.

۶- منابع

۱. اصغریور، محمدجواد (۱۳۸۵). تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۲. پورقاسمی، حمیدرضا، مرادی، حمیدرضا، فاطمی عقدا، سید محمود (۱۳۹۳). اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن با استفاده از شاخص آنتروپی شانون، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی علوم آب‌و‌خاک، سال هجدهم، شماره هفتاد، صص ۱۹۱-۱۸۱.
۳. حجازی، سید اسدالله، رنجیریان شادباد، مریم (۱۳۹۳). شناسایی عوامل مؤثر و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در بخش غربی حوضه آبریز سرندچای، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره ۳، صص ۱۲۹-۱۱۴.
۴. حسین‌پور میل آغاردان، امین، عباسپور، رحیم‌علی (۱۳۹۳). بهبود نتایج پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش با استفاده از تئوری آنتروپی شانون، فصلنامه دانش مخاطرات، دوره ۱، شماره ۲، صص ۲۶۸-۲۵۳.
۵. رجبی، معصومه، فیض‌اله‌پور، مهدی (۱۳۹۳). پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های حوضه رودخانه گیوی‌چای با استفاده از مدل پرسپترون چندلایه از نوع پیش‌خور پس‌انتشار (BP)، جغرافیا و توسعه، سال دوازدهم، شماره ۳، صص ۱۸۰-۱۶۱.
۶. رضائی، بهمن، ابراهیمی، هدی (۱۳۸۸). شناخت عوامل مؤثر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز سد برنجستانک قائم‌شهر، پژوهشی جغرافیای انسانی، سال اول، شماره ۱، صص ۱۳۶-۱۲۷.
۷. زبیری، کرمان‌اله، اسدی، صالح، اشنویی، امیر (۱۳۹۳). تعادل‌سنجی توزیع شهرهای استان گیلان با استفاده از مدل آنتروپی، فصل‌نامه جغرافیایی چشم‌انداز زاگرس، سال ششم، شماره ۲۰، صص ۲۰-۷.
۸. شیرانی، کورش، عرب‌عامری، علیرضا (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: حوضه دز علیا)، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌و‌خاک، سال نوزدهم، شماره هفتاد و دوم، صص ۳۳۴-۳۲۱.
۹. صدوق وینینی، حسن، ثروتی، محمدرضا، نصرتی، کاظم، اسدی، میترا، صدیق قربانی (۱۳۹۴). پهنه‌بندی زمین‌لغزش در منطقه‌ی کاشتر کامیاران برای کاهش مخاطرات، فصلنامه دانش مخاطرات، دوره ۲، شماره ۱، صص ۱۱۶-۱۰۵.
۱۰. ضرابی، اصغر، دیوسالار، اسداله، کنعانی، محمدرضا (۱۳۹۱). تحلیل فضایی سکونتگاه‌های شهری بر اساس توان‌های محیطی (مطالعه موردی: استان مازندران)، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره‌ی شانزدهم، شماره ۲، صص ۱۰۰-۷۸.
۱۱. ضمیری، محمدرضا، نسترن، مهین، محمدزاده تیتکانلو، حمیده (۱۳۹۲). تحلیلی بر شکل و روند توسعه‌ی فضایی و کالبدی شهر بجنورد در دهه‌ی ۱۳۸۰ (با استفاده از آنتروپی شانون، ضریب موران و ضریب گری)، آمایش محیط، شماره ۲۳، صص ۱۸۰-۱۶۷.
۱۲. عابدینی، موسی، بهشتی جاوید، ابراهیم، فتحی، محمدحسین (۱۳۹۴). پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش با مدل‌های آماری دومتغیره و منطق‌فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه بالخلو)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۶، پیاپی ۵۹، شماره ۳، صص ۶۰-۴۳.
۱۳. عابدینی، موسی، ستایشی‌نسا، حسن (۱۳۹۳). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) مطالعه موردی: حوضه آبخیز گلجه، جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۸، شماره ۴۹، صص ۱۶۵-۱۳۹.

۱۴. عابدینی، موسی، قاسمیان، بهاره، شیرزادی، عطا... (۱۳۹۳). مدل سازی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک مطالعه موردی: استان کردستان، شهرستان بیجار، جغرافیا و توسعه، سال دوازدهم، شماره ۳۷، صص ۸۵-۱۰۲.
۱۵. علی پور، حمید، ملکیان، آرش (۱۳۹۴). پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه ی آبخیز جهان اسفراین خراسان شمالی، جغرافیا و توسعه، سال سیزدهم، شماره ۳۹، صص ۱۶۵-۱۸۰.
۱۶. قنواتی، عزت الله، کرم، امیر، تقوی مقدم، ابراهیم (۱۳۹۳). کاربرد منطق فازی در شناسایی و پهنه بندی خطر زمین لغزش مطالعه ی موردی حوضه ی آبخیز طالقان، زمین شناسی مهندسی و محیط زیست، سال بیست و چهارم، شماره ۹۳، صص ۹-۱۶.
۱۷. کریمی، حاجی، نادری، فتح الله، نادری، ناصری، بهروز، سلاجقه، علی (۱۳۹۲). مقایسه مدل های مختلف برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز زنگوان ایلام، مرتع و آبخیزداری، مجله ی منابع طبیعی ایران، دوره ی ۶۷، شماره ی ۲، صص ۴۵۹-۴۷۴.
۱۸. محمدخان، شیرین، ویسی، عبدالکریم، باقری، کیوان (۱۳۹۳). پتانسیل سنجی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی، مطالعه ی موردی: (منطقه کوهستانی شیرپناه در جنوب غرب استان کرمانشاه)، فصلنامه ی جغرافیایی سرزمین، سال یازدهم، شماره ی ۴۴، صص ۸۹-۱۰۲.
۱۹. مرادی، حمیدرضا، محمدی، مجید، پورقاسمی، حمیدرضا (۱۳۹۱). حرکات دامنه ای (حرکات توده ای) با تأکید بر روش های کمی تحلیل وقوع زمین لغزش، تهران: انتشارات سمت.
۲۰. مقیمی، ابراهیم، باقری سید شکر، سجاد، صفراد، طاهر (۱۳۹۱). پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه ی موردی: تاقدیس نثار، زاگرس شمال غربی)، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۹، صص ۷۷-۹۰.
۲۱. مقیمی، ابراهیم، یمانی، مجتبی، رحیمپهرآبادی، سعید (۱۳۹۲). ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، شماره ی ۴، صص ۱۱۸-۱۰۳.
۲۲. مکانیکی، جواد، صادقی، حجت اله (۱۳۹۱). مکان یابی مراکز بهداشتی - درمانی (بیمارستان ها) شهر بیرجند، از طریق فرآیند تجلیل شبکه ای (ANP) و مقایسه زوجی در محیط GIS، فصل نامه آمایش محیط، شماره ی ۱۹، صص ۱۴۲-۱۲۱.
۲۳. یمانی، مجتبی، گورابی، ابوالقاسم، پیرانی، پریسا، مرادی پور، فاطمه، شعبانی، عراقی، عارفه (۱۳۹۳). ارزیابی ژئومورفولوژیکی پتانسیل زمین لغزش تاقدیس سیاه کوه، غرب ایران، فصلنامه ی برنامه ریزی و آمایش فضا، دوره ی هجدهم، شماره ی ۳، صص ۱۴۷-۱۷۰.

24. Chen, Yi-Chun, Lien, Hui-Pang, Tzeng, Gwo-Hshiang (2010). Measures and evaluation for environment watershed plans using a novel hybrid MCDM model, Expert Systems with Applications, Volume 37, Issue 2, pp 926-938.
25. Encyclopedia of geomorphology: A-I. Vol. 1, Edited by A.S. Goudie, Routledge-Taylor & Francis, 2004.

26. Fathi, Mohammad Hoessin, Khohdel Kazem, Amir, Kandi Shoreh, Ashrafifeini Zahra, Khaliji, Mohammad Ali (2015) The combination of spectral and spatial data in zoning of landslide susceptibility (Case study: Sangorchay reservoir) *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*. Vol. 6, No. 2, pp 515-527.
27. H. Hong. Haghibi. S. A. Pourghasemi. H. R (2016). GIS-based landslide spatial modeling in Ganzhou City, China, *Arab J Geosci Journal*, 9:112.
28. H. R. Pourghasemi, B. Pradhan, H. R. Moradi, M. Mohammadi and M. Bednarik (2013). A comparative Assessment Between index of Entropy, Logistic Regression and Frequency Ratio Model for Natural Disasters- causes, effects and Mitigation.
29. J, Davis. L. Blesius (2015). A Hybrid physical and Maximum- Entropy Landslide Susceptibility Model. *Entropy Journal*, 17, 4271-4292.
30. K, Ch. Devkota. A. D. Regmi. H. R. Pourghasemi, K, Yoshida. B, radhan. I, Ch. Ryu. M, R. Dhital. O, F. Althuwaynee (2013). Landslide susceptibility mapping using certainty factor, Index of Entropy and Logistic Regression in GIS and their comparison at Mugling- Narayanghat road section in Nepal Himalaya. *Natural hazard*, 65:135-165.
31. M, C. Margarint. A, Grozavu and C, V. Patriche (2013). Assessing the spatial variability of coefficients of Landslide Predictors in different regions of Romania using logistic regression. *Natural Hazard and Earth system sciences. Sci.* 13, pp. 3339-3355.
32. Rosenfeld, C. L. (2004). *Geomorphological Hazard*, Encyclopedia of Geomorphology, Vol. 1, P.423-426.
33. Xu, Pengpeng, Chan, Edwin H.W. Fischer, Henk J. Zhang, Xiaoling, Wu, Zezhou (2015). Sustainable building energy efficiency retrofit for hotel buildings using EPC mechanism in China: analytic Network Process (ANP) approach, *Journal of Cleaner Production*, Volume 107, pp 378-388.
34. Youssef A M Pourghasemi H R El-Hadad B A Dhahry B K(2016) Landslide susceptibility maps using different probabilistic and bivariate statistical models and comparison of their performance at Wadi Itwad Basin, Asir Region, Saudi Arabia. *Bull Eng Geol Environ.* 75:63-87.
35. Yufeng, S. and J. Fengxiant. 2009. Landslide Stability Analysis Based on Generalized Information Entropy, *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*. 83-85. DOI10.1109/ESIAT.2009.258.
36. Zongji, Y. Jianping; Q. Xiaogang., ZH. (2010). "Regional Landslide Zonation Based on Entropy Method in Three Gorges Area, China", *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*. Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 1336- 1339, Doi:10.1109/FSKD.2010.5569097.