



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و چهارم، شماره ششم، ۱۳۹۶

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

ارزیابی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان استان گلستان با استفاده از فرایند تحلیل شبکه (ANP)

غلامرضا غلامی کلاته^۱، پرویز کردوانی^۲ و محسن رنجبر^۳

^۱ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، ^۲ استاد جغرافیای طبیعی، واحد علوم تحقیقات،

دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، ^۳ دانشیار جغرافیای طبیعی، واحد یادگار امام (ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرری، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۵/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۳۰

چکیده

سابقه و هدف: زمین لغزش یکی از مخرب‌ترین حوادث طبیعی در مناطق شیب‌دار می‌باشد. کشور ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی، تنوع اقلیمی و ژئومورفولوژیکی، افزایش جمعیت و فشار بر منابع طبیعی در معرض این مخاطره طبیعی است. از این رو تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش دارای اهمیت فراوان است. بنابراین با توجه به گزارش‌های وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان استان گلستان، هدف این پژوهش پهنه‌بندی این مخاطره در قالب مدل فرایند تحلیل شبکه (ANP) می‌باشد.

مواد و روش‌ها: برای پهنه‌بندی زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان، در مرحله اول نقشه عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش از منابع اطلاعاتی مانند نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، آمار بارش و عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای تهیه و با پیمایش صحرائی تکمیل و اصلاح شد، در ادامه نقشه عوامل مؤثر شامل: شیب، جهت دامنه، ارتفاع، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، کاربری ارضی منطقه، سنگ‌شناسی و همچنین لایه پراکنش زمین لغزش‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS ساماندهی شده و در مرحله دوم وزن عوامل مؤثر، به وسیله مدل ANP محاسبه و بر لایه‌های اطلاعاتی برای در محیط GIS اعمال و با همپوشانی آن‌ها نقشه پهنه‌بندی وقوع زمین لغزش تهیه گردید. در مرحله سوم دقت نقشه پهنه‌بندی شده با کاربرد شاخص نسبت تراکم (DR) و مقدار درجه تناسب مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتیجه شناسایی ۸۸ عدد زمین لغزش به مساحت ۱۸۱ هکتار و بررسی ارتباط با عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش نشان داد، که بیش‌تر لغزش‌ها در واحدهای سنگ‌شناسی شیل، مارن، سنک آهک ورقه‌ای، ماسه‌سنگ و نهشته‌های کواترنری قرار دارد. همچنین نتایج بررسی طبقات مختلف شیب نشان می‌دهد که بیش‌تر زمین لغزش‌ها در طبقه شیب ۱۵-۳۰ درصد لغزیده‌اند در بررسی طبقات بارش روند وقوع زمین لغزش‌ها با افزایش طبقه بارش صعودی بوده و طبقات ۷۰۰-۵۰۰ و بالاتر از ۷۰۰ میلی‌متر بارش سالانه، درصدی قابل توجه از زمین لغزش‌ها را در خود جای داده است. نتایج عوامل مؤثر فاصله از جاده و آبراهه نشان داد که بیش‌ترین لغزش‌ها در فاصله کم‌تر از صد متری این

* مسئول مکاتبه: kardavani@yahoo.com

عوارض می‌باشد و این موضوع تأییدکننده نقش برداشت پای شیب دامنه‌ها توسط یک عامل انسان ساخت و یک عامل طبیعی می‌باشد. در نهایت بررسی عامل فاصله از گسل بر وقوع زمین‌لغزش نشان می‌دهد که بیش‌ترین زمین‌لغزش‌ها در فاصله بیش‌تر از ۴۰۰ متری قرار دارند.

نتیجه‌گیری: نتایج پهنه‌بندی با به‌کارگیری مدل ANP در حوضه اوغان نشان داد: ۲۹ درصد حوضه در طبقات چهارگانه در محدوده خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. از بین لایه‌های اطلاعاتی ۸ گانه، عامل شیب با امتیاز وزنی (۰/۲۱۵)، لیتولوژی (۰/۱۸۲) و فاصله از جاده (۰/۱۷۳) بالاترین وزن و جهت شیب با امتیاز وزنی (۰/۰۱۸) پایین‌ترین امتیاز را در پهنه‌بندی به خود اختصاص دادند. بررسی امتیاز وزنی طبقات مختلف عوامل مؤثر نیز نشان داد که طبقه ۰-۱۰۰ متر فاصله از آبراهه با امتیاز وزنی (۰/۰۸۰)، طبقه شیب ۳۰-۱۵ درصد با امتیاز وزنی (۰/۰۷۸) و طبقه ۱۰۰-۰ متر فاصله از جاده با امتیاز وزنی (۰/۰۶۸) بالاترین امتیازات وزنی را به‌دست آورده‌اند. نتایج حاصل از این مدل در نهایت نشان داد، که همگرایی عواملی مانند شیب، لیتولوژی، فاصله از آبراهه به‌عنوان عوامل طبیعی در کنار عامل انسانی، هم‌چون جاده سازی تأثیر بسیار زیادی در وقوع مخاطره زمین‌لغزش دارد در نهایت با بررسی نسبت تراکم ۸۸ زمین‌لغزش رخ داده و روند صعودی منحنی آن و انطباق پهنه‌های لغزشی با کاربرد درجه تناسب به‌میزان ۶۹/۷ درصد بر طبقات زیاد و خیلی زیاد در نقشه نهایی، می‌توان نتیجه گرفت که فرایند تحلیل شبکه کرائی مناسب در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه اوغان را دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زمین‌لغزش، فرایند تحلیل شبکه، حوضه اوغان، استان گلستان

مقدمه

موقعیت جغرافیایی، تنوع شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژیکی، توپوگرافی، زمین‌ساختی، افزایش جمعیت و فشار بر منابع طبیعی، با مخاطرات و بلایای طبیعی مانند زمین‌لغزش روبه‌رو است (۳۴). به‌طوری‌که در ردیف ده کشور بلاخیز جهان قرار گرفته است (۲۰ و ۲۱). و براساس گزارش کمیته ملی کاهش بلایای طبیعی وزارت کشور سهم سالانه خسارت حرکات توده‌ای در ایران ۵۰۰ میلیارد ریال برآورد گردیده است (۲۶). ارزیابی ناپایداری دامنه‌ای مانند بسیاری از موضوعات زمین‌شناسی محیطی، از پیچیده‌ترین مسائل است که به‌دلیل تنوع عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری دامنه‌هاست (۲۵). که بروز آن‌ها می‌تواند ناشی از عوامل متعدد زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، بیولوژیکی و انسانی باشد (۳۶). شناسایی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن جهت مشخص نمودن مناطق مستعد و

زمین‌لغزش جزو خطرناک‌ترین پدیده‌های طبیعی در جهان است که با ایجاد خسارت‌های متعدد، منابع طبیعی و انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۷). وقوع زمین‌لغزش‌ها از جمله مخرب‌ترین حوادث طبیعی در مناطق شیب‌دار به حساب می‌آید که مواد در امتداد یک سطح یا یک زون گسیختگی مشخص بر روی دامنه لغزیده و به‌سمت پایین حرکت می‌کنند (۱۳ و ۱۵). در این پدیده حرکت توده سنگ، واریزه و یا خاک به‌سمت پایین شیب که عامل اصلی آن‌ها آب است، جزء زمین‌لغزش محسوب می‌گردند (۷). بر طبق گزارش‌های جهانی مخاطرات طبیعی در سال ۲۰۱۲، زمین‌لغزش در میان هفت بلایای طبیعی خطرناک جهان قرار گرفت (۹). وقوع آن‌ها هر ساله در نقاط مختلف دنیا خسارات مالی و جانی قابل‌توجه‌ای وارد می‌سازند (۶ و ۱۸). کشور ایران با توجه به

پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش استفاده نمودند (۱). اما پژوهش‌های کمی در استفاده از مدل تحلیل شبکه Analytic Network Process در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش انجام گردیده که می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

نیویان (۲۰۰۶) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ANP در بخش شرقی نپال پرداخت و عوامل مختلف کنترل مانند سنگ‌شناسی، زاویه شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، نزدیکی آبراهه و غیره را برای ارزیابی خطر وقوع زمین‌لغزش به کار گرفت (۲۴). وو و همکاران (۲۰۱۴) خطر وقوع زمین‌لغزش در تایوان را با استفاده از مدل Wireless Sensor Networks و ANP مورد بررسی قرار داد (۴۰). فتحی و همکاران (۲۰۱۵) به پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در سانگورچی^۱ پرداخت و از روش‌های دورسنجی و مدل فرایند تحلیل شبکه استفاده نمود و نشان داد که ۷۶ درصد از لغزش‌ها در طبقات خطرناک و بسیار خطرناک قرار می‌گیرند (۹). مقیمی و همکاران (۲۰۱۳) به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه پرداختند و نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع لغزش را در شهر رودبار در سه طبقه خطر کم (۴ درصد)، خطر متوسط (۷۱ درصد) و خطر بالا (۲۵ درصد) تهیه نمودند، نتایج این پژوهش درصد بالای مناطق دارای خطر وقوع زمین‌لغزش در محدوده شهری را نشان داد (۲۰). روستایی و همکاران (۲۰۱۴) به ارزیابی روش فرایند تحلیل شبکه و تحلیلی چندمعیاره مکانی در بررسی پتانسیل خطر وقوع زمین‌لغزش در محدوده محور مخزن سد قلعه‌چای پرداخت که نتایج آن نشان داد که کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی و جهت دامنه‌ها نقش مهمی در وقوع زمین‌لغزش دارد (۲۹).

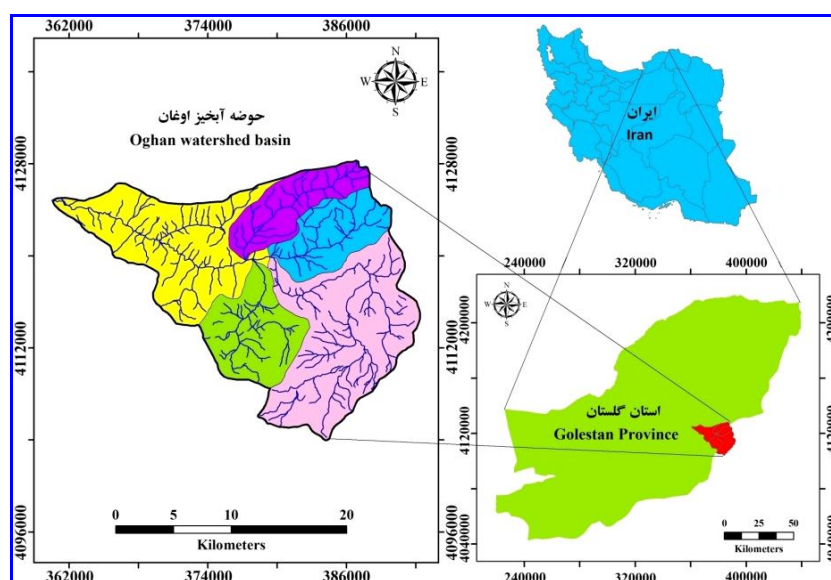
پرخطر، اطلاعات اساسی و مفیدی در اختیار برنامه‌ریزان جهت اقدامات مناسب قرار می‌دهد (۳۳). در بحث زمین‌لغزش، هدف از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آوردن الگویی مناسب برای برنامه‌ریزی بهینه جهت استفاده مناسب از زمین می‌باشد (۱۴). از چند دهه پیش تاکنون پژوهشگران مختلفی با لحاظ کردن عواملی هم‌چون جنس زمین، وضعیت اقلیمی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، شیب، جهت شیب و غیره (۳، ۱۶ و ۲۷). روش‌های تجربی متعددی را پیشنهاد کرده‌اند. شناسایی این عوامل و تلفیق آن‌ها با مدل‌های مختلف در کنار استفاده از تکنیک‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی و فنون سنجش از دور جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش توسط پژوهشگران زیادی در مناطق مختلف به کار گرفته شده است (۱۵، ۲۲، ۳۵ و ۴۱). در سال‌های گذشته پژوهش‌های زیادی در شناسایی پهنه‌های دارای خطر وقوع زمین‌لغزش صورت گرفته است که می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

سارولی (۲۰۰۱) با استفاده از روش رگرسیون خطی در کشور کره (۳۱)، سابویا و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از مدل منطق فازی در ریودوژانیروی کشور برزیل (۳۰)، اکسوی و ارکانگلو (۲۰۱۲) در غرب دریای سیاه، باهارات و همکاران (۲۰۱۳) در حوضه روپا در کشور نپال (۵)، غیومیان و همکاران (۲۰۰۲) در منطقه رودبار گیلان (۱۲)، فیض‌نیا و همکاران (۲۰۰۴) در حوضه آبخیز شیرین رود سد تجن (۱۰)، شادفر (۲۰۰۵) در حوضه آبخیز چالکرود استان مازندران (۳۲)، عظیم‌پور و همکاران (۲۰۰۸) در حوضه آبریز اهرچای (۴)، زارع و همکاران (۲۰۱۰) در حوضه آبخیز وازبر با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (۴۲)، نادری (۲۰۱۱) در حوضه آبخیز چرداول استان ایلام (۲۳) و عابدینی و همکاران (۲۰۱۴) از مدل فازی در حوضه قوری‌چای استان اردبیل جهت

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز اوغان در شهرستان مینودشت استان گلستان در محدوده جغرافیایی $37^{\circ} 9'$ تا $37^{\circ} 15'$ عرض شمالی و $5^{\circ} 5'$ تا $5^{\circ} 43'$ طول شرقی با مساحت 40352 هکتار واقع است. این محدوده شامل ۵ حوضه هیدرولوژیکی به نام‌های گالیکش، برین، برنجبین، فارسبان و فرنگ بوده که قسمتی از زیرحوضه برین در استان سمنان واقع می‌باشد. از ویژگی‌های این محدوده اختلاف ارتفاع آن است که از حداقل 191 متر تا 2500 متر از سطح دریا متغیر بوده می‌باشد. مراکز جمعیتی واقع در حوضه اوغان شامل روستاهای دورجن، لیرو، اولنگ، سایر، برنجبین، اسفرانجان، براین، پنو، خسروآباد، پای‌دل‌دل، فرنگ، عرب‌کلو، سیجان، کیارام و فارسبان بوده که روستای صفی‌آباد به دلیل زمین‌لغزش در دامنه مقابل روستا کاملاً از محل قبلی خود جابه‌جا شده است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

بررسی‌های علمی به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر از یک سو به منظور شناسایی مناطق دارای پتانسیل خطر در محدوده فعالیت‌های انسانی دارای اهمیت بوده و از طرف دیگر جهت شناسایی مکان‌های دارای امنیت برای توسعه زیستگاه‌های جدید و یا سایر کاربری‌ها مانند راه‌های، مسیرهای انتقال انرژی، نیروگاه‌ها و ... در مقیاس‌های مختلف مورد توجه برنامه‌ریزان و مدیران منطقه‌ای قرار دارد (۲۳). با توجه به شرایط آب و هوایی، تغییرات کاربری‌های اراضی و همچنین حوادث زمین‌لغزش در سطح منطقه اوغان استان گلستان، مانند زمین‌لغزش روستای صفی‌آباد در همین حوضه مورد مطالعه که موجب جابه‌جایی روستا با صرف هزینه خیلی زیاد گردید، زمینه را برای وقوع حرکات لغزشی فراهم می‌سازد که این امر هدف از پژوهش حاضر را به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از فرایند تحلیل شبکه (ANP) ضروری می‌نماید.



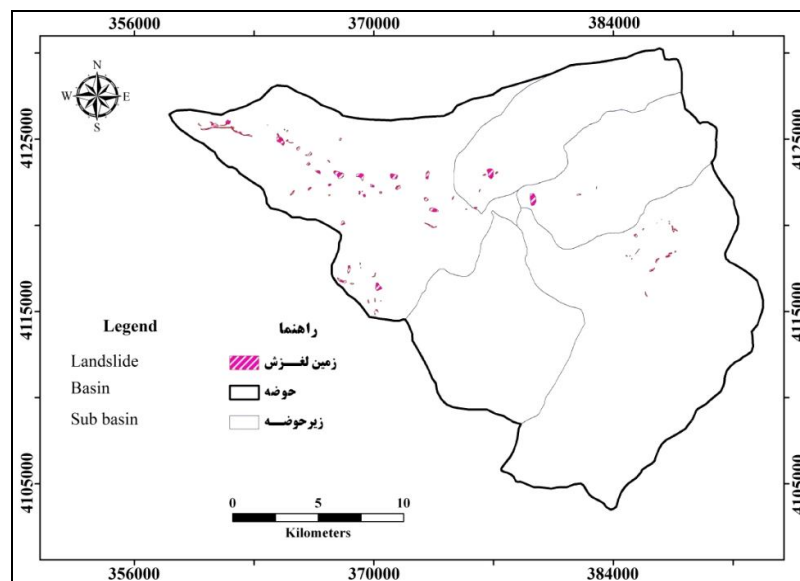
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان گلستان.

Figure 1. Location of study area in Iran and Golestan province.

کاربری اراضی منطقه، سنگ‌شناسی و همچنین لایه پراکنش زمین‌لغزش‌ها که در قالب فرمت های رستری و برداری در محیط نرم‌افزار Arc GIS ساماندهی شدند. مرحله دوم محاسبه وزن عوامل مؤثر، به‌وسیله مدل ANP و اعمال این وزن‌ها بر لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر، همپوشانی آن‌ها در محیط GIS و تهیه نقشه پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش و در مرحله سوم ارزیابی دقت نقشه پهنه‌بندی‌شده با کاربرد شاخص نسبت تراکم (Density ratio) صورت پذیرفت.

نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها: جهت تهیه نقشه زمین‌لغزش‌های منطقه با استفاده از عکس‌های هوایی سازمان نقشه‌برداری کشور با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، نرم‌افزار گوگل ارث و تصاویر ماهواره ایکنوس موجود در این محیط، همچنین با بازدید میدانی به‌وسیله یک دستگاه GPS تعداد ۸۸ زمین‌لغزش به مساحت ۱۸۱ هکتار در منطقه شناسایی گردید. شکل ۲ نقشه پراکنش و شکل ۳ تصویری از زمین‌لغزش‌های رخ داده در حوضه آبخیز اوغان را نشان می‌دهد.

روش تحقیق: پیش‌بینی و پهنه‌بندی پتانسیل خطر ناپایداری شیب‌ها، مستلزم تعیین برآیند اثر عوامل مؤثر در وقوع این پدیده در هر پهنه با روش مناسب است. در این پژوهش بررسی و تحلیل خطر زمین‌لغزش در قالب مدل تحلیل شبکه انجام گردیده است. در تهیه لایه‌های اطلاعاتی از منابع و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مناطق دوزین و گنبدکاووس، داده‌های بارش دوره آماری ۳۲ ساله (از سال ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۲) ایستگاه‌های باران‌سنجی گالیکش و فارسین همراه با استفاده از عکس‌های هوایی با مقیاس یک ۱:۴۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست و ایکنوس مربوط به سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ بهره‌برداری شده است. اطلاعات موجود با پیمایش و برداشت‌های صحرائی تکمیل و اصلاح شدند. بعد از تهیه منابع و اطلاعات لازم، همه مراحل پژوهش طی سه مرحله شامل: مرحله اول ساماندهی اطلاعات، که در این مرحله داده‌های فضایی مربوط به لایه‌های هشت‌گانه مورد استفاده در مدل، شامل لایه‌های شیب، جهت شیب، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه،



شکل ۲- نقشه موقعیت زمین‌لغزش‌ها در حوضه آبخیز اوغان.

Figure 2. Landslides position map in Oghan watershed basin.

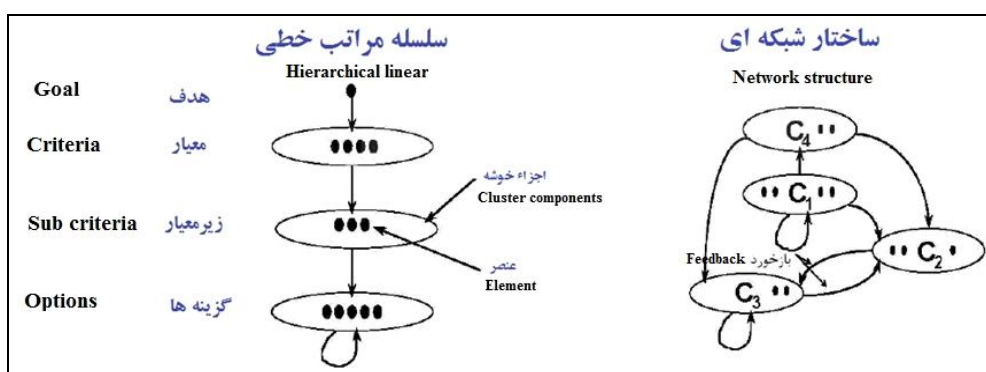


شکل ۳- تصویر زمین لغزشی در حوضه آبخیز اوغان.

Figure 3. A landslide image in Oghan watershed basin.

می‌باشد (۳۷). مدل تحلیل شبکه (ANP) از سلسله‌مراتب کنترل، خوشه‌ها، عناصر و روابط متقابل بین خوشه‌ها و عناصر تشکیل می‌شود (۸). شکل ۴ تفاوت ساختاری بین دو روش تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل شبکه‌ای را نشان می‌دهد.

فرایند تحلیل شبکه (ANP): با توجه به محدودیت‌ها و کمبودهایی که روش تحلیل سلسله‌مراتبی دارد، روش فرایند تحلیل شبکه‌ای به وسیله توماس ال‌ساعتی در سال ۱۹۹۶ ابداع شد (۳۹). در واقع این روش اصلاح‌شده فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)



شکل ۴- مقایسه فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و فرایند تحلیل شبکه (ANP) (ساعتی، ۲۰۰۴).

Figure 4. Comparison between Analytical Hierarchy Process and Network Analysis Process (Saaty, 2004).

بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، کاربری ارضی منطقه، سنگ‌شناسی به‌عنوان معیارها و عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در حوضه مورد مطالعه در نظر گرفته شد.

تعیین هدف، معیارها و زیر معیارها: عناصر مرتبط با موضوع فرایندهای وقوع زمین‌لغزش از راه مطالعات میدانی، پرس‌وجو از کارشناسان و استفاده از مطالعات پیشین، تعیین شدند. هشت عنصر اصلی درگیر در موضوع زمین‌لغزش شامل: شیب، جهت شیب،

طبقه‌بندی و امتیازدهی می‌شوند و در نهایت برای تهیه نقشه نهایی، این لایه‌ها توسط ابزار Raster Calculator تلفیق شده و وزن‌های نهایی که در مدل ANP برای هر عنصر به دست آمده بود، بر لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش اعمال گردید و در نهایت، نقشه نهایی مکان‌یابی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز اوغان استان گلستان به دست آمد.

بحث و نتایج

نتیجه بررسی ارتباط زمین‌لغزش‌ها با جنس سنگ در سازندهای زمین‌شناسی حوزه آبخیز اوغان نشان از وجود لغزش‌هایی در سازندهای دارای واحدهای سنگ‌شناسی شیل، مارن، سنگ آهک ورقه‌ای، ماسه‌سنگ و نهشته‌های کواترنری دارد. دلیل اصلی این موضوع حساسیت بسیار زیاد این واحدهای سنگ‌شناسی به حرکات توده‌ای می‌باشد که با نظرات شادفر و همکاران (۲۰۰۵) و آیالیو و یاماگیشی، (۲۰۰۶) مطابقت دارد. از سوی دیگر وسعت زیاد سازندهای زمین‌شناسی با جنس سنگ آهک و قابلیت انحلال این نوع سنگ در شرایط آب و هوایی منطقه نیز از دلایل بیش‌تر بودن لغزش‌ها نسبت به سایر واحدهای سنگی می‌باشد (۳۸). جدول ۱ ارتباط جنس سنگ‌ها در سازندهای دارای زمین‌لغزش در حوزه آبخیز مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

تعیین روابط و وابستگی بین عناصر: در این مرحله مشخص می‌شود که کدامیک از عناصر با عناصر دیگر در ارتباط بوده، بر آن‌ها اثر می‌گذارد و از آن‌ها اثر می‌پذیرد. بدین منظور ۲۰ پرسشنامه به منظور تعیین روابط بین عناصر و وزن‌دهی عوامل مؤثر برای مستند کردن و افزایش اعتبار و صحت پژوهش از کارشناسان خبره نظرسنجی و استفاده شد.

اعمال ارتباطات فوق در معیارها و زیرمعیارها: از این مرحله به بعد، مراحل مدل در نرم‌افزار ویژه فرایند تحلیل شبکه‌ای (Super Decisions) انجام گردید. نتایج ارتباطات به دست آمده، بر این عناصر اعمال و برای وزن‌دهی اولیه آماده شدند.

وزن‌دهی و مقایسه زوجی عناصر: برای این کار، از فرایند پرسشنامه و نظر کارشناسان استفاده گردید تا در هر بخش با توجه به معیار کنترلی، عناصر و خوشه‌ها را بر حسب میزان اهمیت و برتری نسبت به هم مقایسه کنند (۲۹). روند ارزش‌گذاری به ترتیب اهمیت از ۱ تا ۹ تعیین شد (۲۰). پس از تعیین ارزش نهایی هر مقایسه، این ارزش‌ها و وزن‌های به دست آمده از پرسشنامه‌ها، به نرم‌افزار Super Decisions انتقال یافته و نرم‌افزار ضرایب و وزن نهایی را از طریق فرایند ابرماتریس و نرمال‌سازی آن محاسبه نمود.

طبقه‌بندی و امتیازدهی لایه‌های اطلاعاتی: آخرین مرحله کار به نرم‌افزار ARC GIS مربوط می‌شود. در این مرحله، لایه‌های اطلاعاتی هر عنصر با توجه به اهمیتی که برای مکان‌یابی وقوع زمین‌لغزش دارند،

جدول ۱- ارتباط جنس سنگ‌ها در سازندهای دارای زمین‌لغزش در حوزه آبخیز اوغان.

Table 1. Relationship between lithology and landslide in Oghan watershed basin.

زمین لغزش (درصد) Landslide (Percent)	مساحت لغزش (هکتار) Landslide area (hectare)	مساحت (هکتار) area (hectare)	سازند Formation	جنس سنگ Lithology
2.1	3.8	2363.04	DKH خوش‌بیلاق	آهک، شیل آهکی، مارن و ماسه‌سنگ limestone, limestone shale, marl and sandstone
6.4	11.6	557.8	JCB چمن‌بید	آهک خاکستری تیره با میان‌لایه‌های شیل Gray limestone with shale layers
9.5	17.3	7272.46	JL لار	آهک ماسیو و متراکم، خاکستری Massive limestone, dense and gray
44.1	79.9	1479.06	JLM سنگ‌اهک	سنگ آهک limestone
17.6	31.9	2605.46	JS شمشک	سنگ آهک limestone
11.7	21.3	1106.68	JSDK کنف	شیل‌های سیلتی ماسه‌سنگ و کنگلومرا Sandstone, conglomerat, silty shale
2.9	5.4	4056.03	QZS کوآترنری	آبرفت و زمین Alluvial and land
5.4	9.8	600.65	RE2 الیکا	آهک ورقه‌ای و آهک شیلی Limestone sheet, limestone shale
100	181	20040.75	مساحت سازندهای زمین‌شناسی دارای زمین‌لغزش Formations area with landslide	
-	-	20311.25	مساحت سازندهای زمین‌شناسی بدون زمین‌لغزش Formations area without landslide	

قرار داده‌اند. بارش همواره نقش مؤثری بر وقوع زمین‌لغزش‌ها دارد که در این پژوهش نیز با افزایش طبقه بارشی روند وقوع زمین‌لغزش‌ها نسبتاً افزایشی بوده و طبقات ۷۰۰-۵۰۰ و بالاتر از ۷۰۰ میلی‌متر بارش سالانه، درصدی قابل‌توجه از زمین‌لغزش‌ها را در خود جای داده است. بررسی نتایج فاصله از جاده و آبراهه نشان می‌دهد که بیش‌ترین لغزش‌های اتفاق افتاده در فاصله کم‌تر از صد متری این عوارض می‌باشد و این موضوع تأییدکننده نقش برداشت پای شیب دامنه‌ها توسط یک عامل انسانساخت و یک عامل طبیعی می‌باشد که با از میان برداشتن تکیه‌گاه دامنه و کاهش مقاومت برشی آن زمینه ایجاد

همچنین نتایج بررسی طبقات مختلف شیب (جدول ۲) نشان می‌دهد که بیش‌تر لغزش‌های حوزه آبخیز در طبقه شیب ۱۵-۳۰ درصد قرار گرفته‌اند، که با نظرات فیض‌نیا و همکاران (۲۰۰۴)، احمدی و همکاران (۲۰۰۶) و طلایی (۲۰۱۴) مطابقت دارد. نتایج بررسی جهت شیب در منطقه مورد مطالعه جهت‌های جنوب‌غرب، جنوب و شمال بیش‌ترین زمین‌لغزش را دارند که هر چند این مسأله با توجه به رطوبت بیش‌تر در دامنه‌های شمالی کم‌تر قابل‌توجه است ولی روند کلی جهت شیب منطقه به سمت شمال بوده و سایر عوامل مانند نزدیکی به آبراهه و جاده با بررسی‌های میدانی تأثیر عامل جهت شیب تحت‌تأثیر

تغییر دهد باعث می‌گردد که دامنه دچار ناپایداری گردد و زمین‌لغزش حادث می‌گردد. در بررسی نتایج فاصله از گسل بر وقوع زمین‌لغزش نشان می‌دهد که بیش‌ترین زمین‌لغزش‌ها در فاصله بیش‌تر از ۴۰۰ متری و پس از این طبقه، فاصله ۱۰۰-۰ در رتبه دوم تعداد وقوع زمین‌لغزش در ارتباط با عامل مؤثر فاصله از گسل قرار دارد.

زمین‌لغزش مهیا می‌گردد. نتایج به‌دست آمده با نظرات شادفر و همکاران (۲۰۰۵)، دومان و همکاران (۲۰۰۵)، لی (۲۰۰۷) و یلسن (۲۰۰۸) و طلایی (۲۰۱۴) مبنی بر همبستگی بالای نزدیکی آبراهه و جاده با وقوع پدیده زمین‌لغزش تطابق دارد. قابل ذکر می‌باشد دامنه در طول زمان نسبت به شیب خود دارای تعادل می‌گردند و هر عاملی که تعادل شیب به‌دست آمده را

جدول ۲- مساحت و درصد زمین‌لغزش‌های رخ داده در طبقات عوامل مؤثر حوضه آبخیز اوغان.

Table 2. Area and percentage of landslides in effective factors classes in Oghan watershed basin.

عامل	طبقات	مساحت (هکتار)	مساحت لغزش (هکتار)	زمین لغزش (درصد)	عامل	طبقات	مساحت (هکتار)	مساحت لغزش (هکتار)	زمین لغزش (درصد)
factor	Classes	area (hectare)	Landslide area (hectare)	Landslide (Percent)	factor	Classes	area (hectare)	Landslide area (hectare)	Landslide (Percent)
شیب Slope	0-5	5144.23	25.3	14	فاصله از جاده distance from road	0-100	9477.29	50.3	27.8
	5-15	7804.22	39.2	21.6		100-200	6437.81	45.3	25
	15-30	9976.01	40.5	22.3		200-300	5443.16	32.5	17.9
	30-50	8719.59	39.6	21.9		300-400	1715.31	8.8	4.8
	>50	8735.48	36.4	20.1		>400	15311.6	44.1	24.4
جهت شیب Aspect	n	6022.8	27.3	15	فاصله از آبراهه distance from stream	0-100	9685	72.5	40.1
	ne	5276.54	19	10.5		100-200	7555.33	48.5	26.8
	e	4250.14	7.6	4.2		200-300	7125.78	27.9	15.4
	se	4254.97	16.6	9.2		300-400	4880.56	16.2	8.9
	s	4347.48	28.8	15.9		>400	11135.6	15.8	8.7
	sw	4060.70	41.4	22.8		0-100	4093.36	25.8	14.2
	w	4877.23	18.9	10.5		فاصله از گسل distance from fault	100-200	3213.02	17.3
بارش Rain	300-500	6488.17	23	12.7	200-300		3272.39	13.3	7.3
					300-400		2521.28	10.3	5.7
					>400	27286.5	114.2	63.1	
					جنگل	20679.7	89.5	49.4	
کاربری اراضی Landuse	>700	3417.88	74.7	41.28	زمین آبی	1168.42	13.5	7.4	
					زمین دیم	15360.2	22	12.1	
					مرتع	1965.91	23	12.7	
					مرتع و دیم	1215.84	33	18.2	

جمع‌آوری شده و در نهایت با کاربرد عملیات ریاضی در نرم‌افزار (Super Decisions)، ابتدا ابرماتریس غیروزی و سپس ابرماتریس وزنی تشکیل شد. در نهایت با استفاده از این دو ابرماتریس و پس از نرمال‌سازی داده‌ها، ابرماتریس حدی تشکیل گردید (جدول‌های ۳ تا ۵) ابرماتریس‌های سه‌گانه به‌دست آمده برای معیارهای مورد بررسی را نشان می‌دهد.

پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در منطقه: پس از تعیین روابط بین معیارهای مؤثر در خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز اوغان، با استفاده تناسب محدوده‌های لغزشی با طبقات عوامل مؤثر جدول‌های ۱ و ۲، از پرسشنامه جهت تعیین ضرایب اولیه هر معیار و زیرمعیار و روابط آن‌ها استفاده شد، ضرایب محاسبه شده از مجموعه عناصر در یک ابرماتریس

جدول ۳- ابرماتریس غیروزی معیارهای مورد مطالعه بر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز اوغان.

Table 3. Unweighted super matrixes of effective factors on landslides in Oghan watershed basin.

ابرماتریس غیروزی Unweighted super matrixes	جهت شیب	فاصله از جاده (m)	فاصله از گسل (m)	شیب (%)	لیتولوژی	فاصله از آبراهه (m)	متوسط بارش (m)	کاربری اراضی
جهت شیب Aspect	0	0.07	0.07	0.07	0	0	0	0
فاصله از جاده distance from road	0.23	0	0.27	0.18	0.83	0.2	1	0.45
فاصله از گسل distance from fault	0.09	0.15	0	0.72	0	0	0	0
شیب Slope	0.67	0.76	0.64	0	0.17	0.78	0	0.45
لیتولوژی Lithology	0	0	0	0.62	0	0.77	0.48	0.62
فاصله از آبراهه distance from stream	0.32	0.78	0	0.08	0.63	0	0.32	0.15
بارش Rain	0	0	0	0	0.06	0.03	0	0.22
کاربری اراضی Land use	0.66	0.2	1	0.29	0.31	0.19	0.19	0

جدول ۴- ابرماتریس وزنی معیارهای مورد مطالعه بر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز اوغان.

Table 4. Weighted super matrixes of effective factors on landslides in Oghan watershed basin.

ابرماتریس وزنی weighted super matrixes	جهت شیب	فاصله از جاده (m)	فاصله از گسل (m)	میزان شیب (%)	لیتولوژی	فاصله از آبراهه (m)	متوسط بارش (m)	کاربری اراضی
جهت شیب Aspect	0	0.03	0.03	0.03	0	0	0	0
فاصله از جاده distance from road	0.12	0	0.14	0.09	0.14	0.1	0.5	0.25
فاصله از گسل distance from fault	0.04	0.07	0	0.36	0	0	0	0
شیب Slope	0.33	0.38	0.32	0	0.08	0.4	5	0.25
لیتولوژی Lithology	0	0	0	0.30	0	0.37	0.24	0.31
فاصله از آبراهه distance from stream	0.16	0.4	0	0.04	0.32	0	0.15	0.07
بارش Rain	0	0	0	0	0.03	0.019	0	0.10
کاربری اراضی Land use	0.33	0.1	0.5	0.14	0.15	0.09	0.09	0

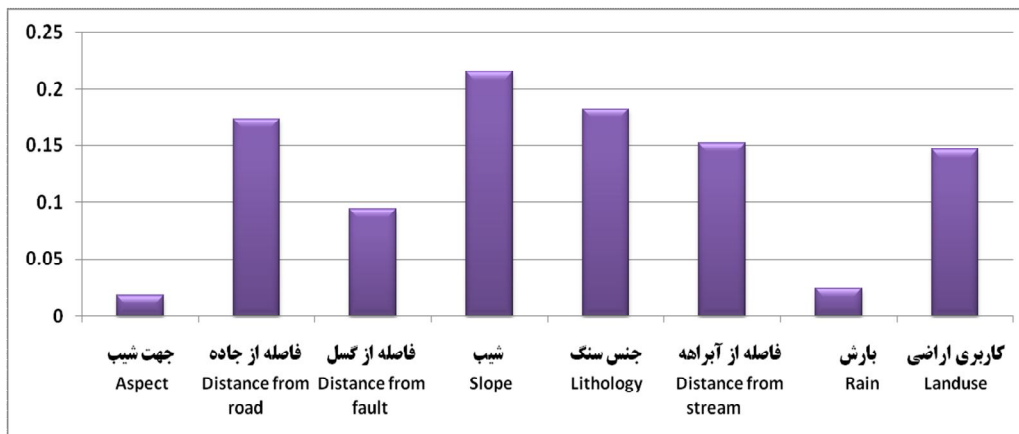
جدول ۵- ابرماتریس حدی معیارهای مورد مطالعه بر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان.

Table 5. Limited super matrixes of effective factors on landslides in Oghan watershed basin.

ایرماتریس حدی Limited super matrixes	جهت شیب	فاصله از جاده (m)	فاصله از گسل (m)	میزان شیب (%)	لیتولوژی	فاصله از آبراهه (m)	متوسط بارش (m)	کاربری اراضی
جهت شیب Aspect	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
فاصله از جاده distance from road	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
فاصله از گسل distance from fault	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
شیب Slope	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
لیتولوژی Lithology	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
فاصله از آبراهه distance from stream	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
بارش Rain	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
کاربری اراضی Land use	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14

حدی به دست آمد. که ضرایب هر کدام از زیرمعیارها و معیارها در جدول ۶ و شکل ۵ آمده است.

در ادامه ضریب نهایی هر معیار و زیرمعیار با توجه به محاسبات انجام شده در نرم افزار Super Decisions و جدول ابرماتریس غیروزی، وزنی و



شکل ۵- نمودار مقایسه ضرایب عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان.

Figure 5. Comparison diagram between effective factors of landslide in Oghan watershed basin.

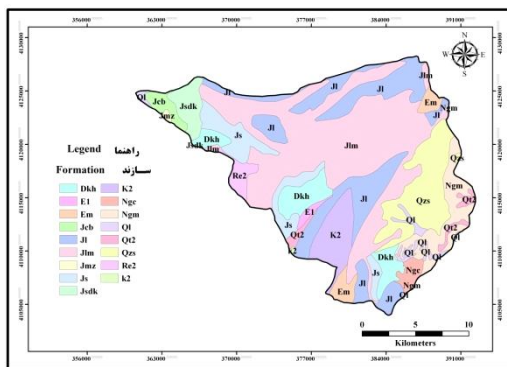
جدول ۶- وزن زیرمعیارهای مورد بررسی بر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز اوغان.

Table 6. Weight of sub criteria on landslide in Oghan watershed basin.

معیار	زیرمعیار	وزن نهایی	معیار	زیرمعیار	وزن نهایی	
Criteria	Sub criteria	Final weight	Criteria	Sub criteria	Final weight	
شیب Slope	0-5	0.030	فاصله از جاده distance from road	0-100	0.068	
	5-15	0.046		100-200	0.043	
	15-30	0.078		200-300	0.031	
	30-50	0.047		300-400	0.008	
	>50	0.043		>400	0.042	
جهت شیب Aspect	n	0.003	فاصله از آبراهه distance from stream	0-100	0.081	
	ne	0.002		100-200	0.041	
	e	0.001		200-300	0.023	
	se	0.002		300-400	0.013	
	s	0.003		>400	0.013	
	sw	0.002		0-100	0.013	
	w	0.002		100-200	0.009	
بارش Rain	300-500	0.003	فاصله از گسل fault distance from	200-300	0.007	
	500-700	0.011		300-400	0.005	
	>700	0.010		>400	0.039	
لیتولوژی Lithology	DKH	0.004	جنگل		0.032	
	JCB	0.012	زمین آبی		0.011	
	JL	0.017	کاربری اراضی Landuse	زمین دیم		0.018
	JLM	0.060	مرتع		0.019	
	JS	0.032	مرتع ودیم		0.027	
	JSDK	0.021				
QZS	0.005					

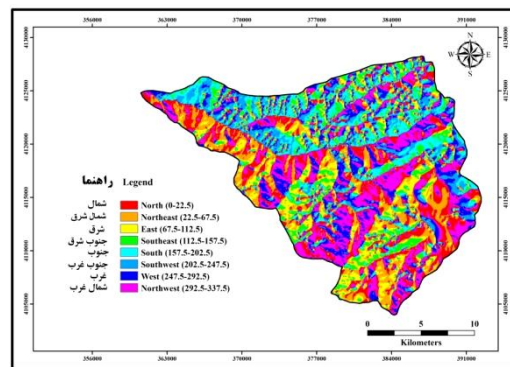
گردد. بدین منظور نقشه عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در حوضه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار ARC GIS آماده‌سازی شد (شکل‌های ۶ تا ۱۳).

همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر: بعد از محاسبه و به‌دست آوردن ضرایب نهایی با مدل تحلیل شبکه‌ای، این ضرایب باید بر لایه‌های اطلاعاتی اعمال



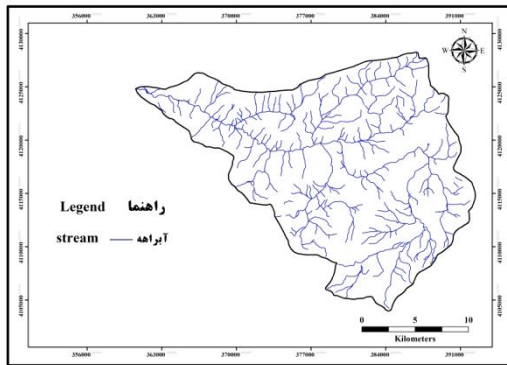
شکل ۷- نقشه زمین‌شناسی.

Figure 7. Lithology map.

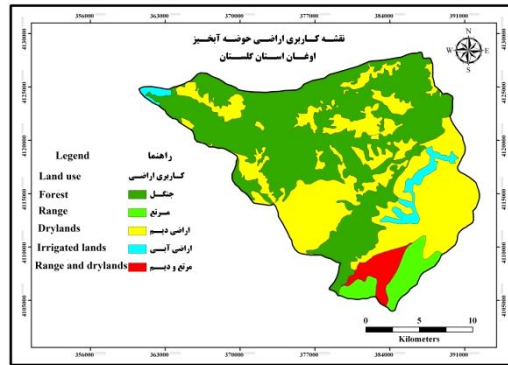


شکل ۶- نقشه جهت شیب.

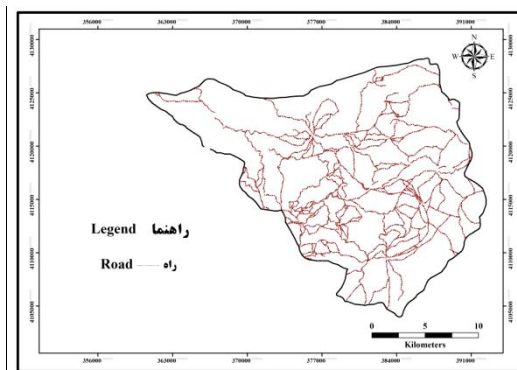
Figure 6. Aspect map.



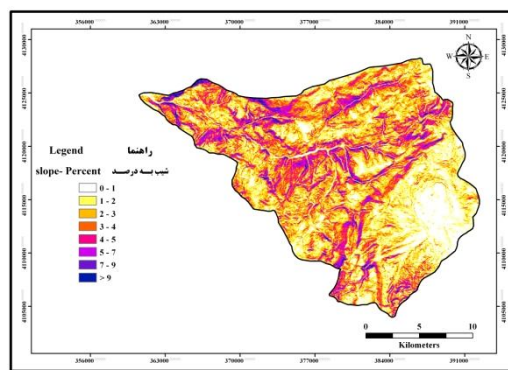
شکل ۹- نقشه شبکه آبراهه.
Figure 9. Hydrography map.



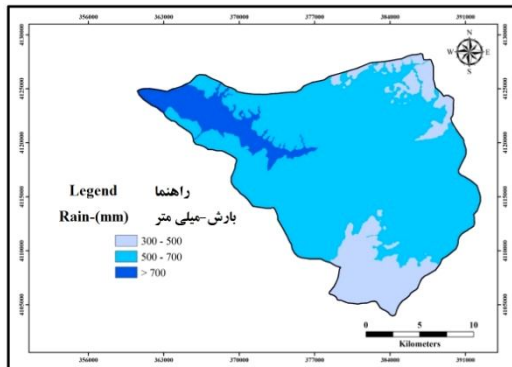
شکل ۸- نقشه کاربری اراضی.
Figure 8. Landuse map.



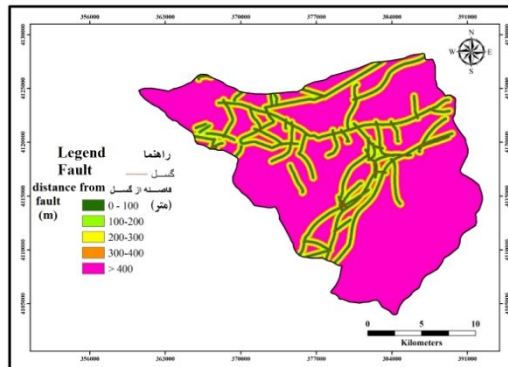
شکل ۱۱- نقشه شیب.
Figure 11. Slope map.



شکل ۱۰- نقشه جاده‌ها.
Figure 10. Road map.



شکل ۱۳- نقشه بارش.
Figure 13. Lithology map.



شکل ۱۲- نقشه فاصله از گسل.
Figure 12. Fault map.

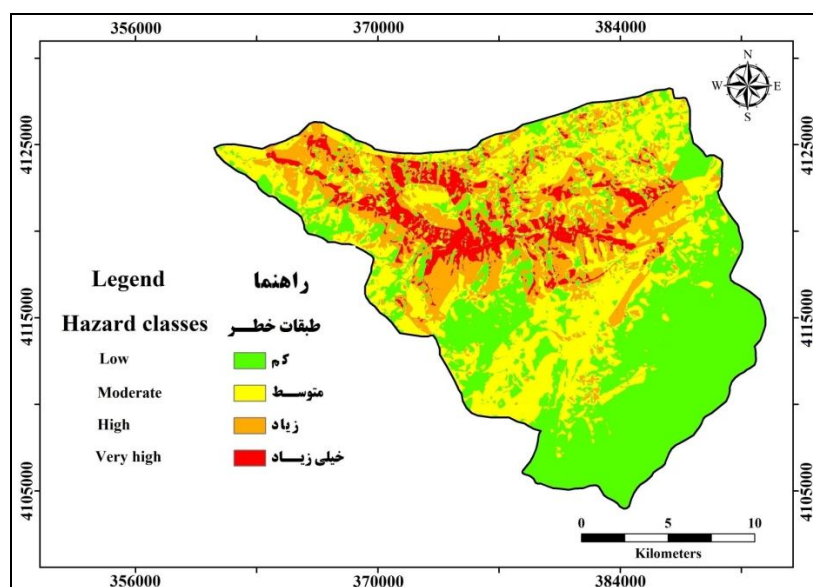
مخاطره زمین لغزش به دست آمد. در واقع این نقشه بر مبنای تلفیقی از معیارهای به کار رفته و وزنهای به دست آمده در روش تحلیل شبکه و اعمال آنها بر روی لایه‌های اطلاعاتی مانند، شیب و جهت شیب، سنگ‌شناسی، طبقات بارش، کاربری اراضی، فاصله از

در ادامه این پژوهش با ترکیب لایه‌های اطلاعاتی و اعمال ضرایب به دست آمده از مدل تحلیل شبکه، در محیط نرم‌افزار ARC GIS با اعمال دستور Raster Calculation نقشه‌های عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش با یکدیگر ترکیب گردید و نقشه نهایی

حوضه در چهار طبقه خطر شامل، خطر کم (۳۹/۵ درصد)، خطر متوسط (۳۱/۵ درصد)، خطر زیاد (۲۱ درصد) و خطر خیلی زیاد (۸) طبقه بندی گردید.

گسل، فاصله از آبراهه و حریم جاده می باشد (شکل ۱۴).

با بررسی نقشه نهایی پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان استان گلستان، این



شکل ۱۴- نقشه پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با روش ANP در حوضه آبخیز اوغان.

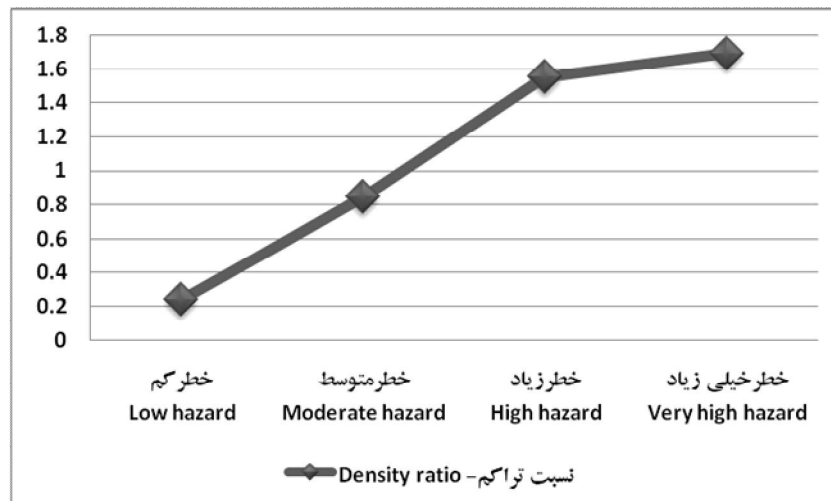
Figure 14. Map of Landslide mapping using ANP model in Oghan watershed basin.

واقع شده و درصد سطح، درصدی از مساحت منطقه است که توسط رده خطر مربوطه اشغال شده است. چنانچه روند صعودی تراکم سطحی از گروه های خطر پایین به بالا مشاهده نگردد، نقشه مربوطه قابل قبول نبوده و تحلیل ها باید مجدداً کنترل گردند (شکل ۱۵). در روش درجه تناسب به کار رفته در صحت سنجی نقشه پهنه بندی میزان موفقیت نسبی (حاصل جمع ارزش های طبقه خطر زیاد و خیلی زیاد) برابر با ۶۹/۷ درصد می باشد.

ارزیابی دقت نقشه پهنه بندی به روش تحلیل شبکه: به منظور بررسی صحت نقشه پهنه بندی با کاربرد مدل تحلیل شبکه (ANP) از نسبت تراکم (DR) و درجه تناسب بین نقشه پهنه بندی و نقشه پراکنش زمین لغزش ها استفاده گردید نسبت تراکم با رابطه ۱ تعریف می گردد (۱۰، ۱۱ و ۱۹).

$$(1) \quad \text{نسبت تراکمی} = \frac{\text{سطح زمین لغزش به درصد}}{\text{سطح رده خطر به درصد}} = \text{DR}$$

که در آن، درصد زمین لغزش، درصدی از تعداد یا مساحت زمین لغزش هاست که در رده خطر مربوطه



شکل ۱۵- نمودار مقایسه میزان نسبت تراکم و روند صعودی آن در حوضه آبخیز اوغان استان گلستان.

Figure 15. Comparison of density ratio and its up trend in Oghan watershed basin.

امتیاز وزنی (۰/۰۸۰)، طبقه شیب ۳۰-۱۵ درصد با امتیاز وزنی (۰/۰۷۸) و طبقه ۱۰۰-۰ متر فاصله از جاده با امتیاز وزنی (۰/۰۶۸) بالاترین امتیازات وزنی را به دست آورده‌اند. نتایج حاصل از این مدل در نهایت نشان داد که همگرایی عوامل مانند شیب، لیتولوژی، فاصله از آبراهه به عنوان عوامل طبیعی در کنار عوامل انسانی هم‌چون جاده‌سازی تأثیر بسیار زیادی در وقوع مخاطره زمین‌لغزش دارد. ارزیابی دقت مدل به کار رفته با به کارگیری نسبت تراکم (DR) و روند صعودی افزایش میزان زمین‌لغزش‌ها در طبقات خطر زیاد و خیلی زیاد و درجه نسبی انطباق زمین‌لغزش‌ها در طبقات مذکور نشان از دقت مناسب مدل تحلیل شبکه (ANP) در پهنه‌بندی دارد، که با نتایج مطالعات نیویان (۲۰۰۶)، فتحی و همکاران (۲۰۱۵)، مقیمی و همکاران (۱۳۹۲) و روستایی و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد. در نهایت پیشنهاد می‌گردد، با توجه به پژوهش صورت گرفته و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش، همچنین فعالیت‌های عمرانی و جاده‌سازی و وجود اماکن روستایی متعدد در حوضه قبل از انجام پروژه‌ها از نقشه‌های مذکور استفاده شده تا نقاط و پهنه‌های لغزشی در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری کلی

در فرآیند تهیه نقشه پهنه‌بندی، دقت نقشه‌های پایه بسیار مهم می‌باشد (موریراس، ۲۰۰۵: ۳۴۶). از این رو در این پژوهش سعی شده از میان عوامل متعدد، عوامل مهم و مؤثر در فرآیند پهنه‌بندی دخالت داده شود و نقشه‌های پایه با دقت مناسب تهیه گردند. نتایج پهنه‌بندی با به کارگیری مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) در حوضه آبخیز اوغان نشان داد: نقشه نهایی به دست آمده به چهار طبقه: خطر کم، متوسط، زیاد و خطر خیلی زیاد طبقه‌بندی شده است که ۲۹ درصد حوضه در محدوده خطر زیاد و خیلی زیاد وقوع زمین‌لغزش با قرارگیری ۶۹/۷ درصد مساحت زمین‌لغزش‌های رخ داده قرار دارد. از بین لایه‌های اطلاعاتی ۸ گانه مانند شیب و جهت شیب، سنگ‌شناسی، طبقات بارش، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و حریم جاده، عوامل مؤثر شیب با امتیاز وزنی (۰/۲۱۵)، لیتولوژی (۰/۱۸۲) و فاصله از جاده (۰/۱۷۳) بالاترین وزن و جهت شیب با امتیاز وزنی (۰/۰۱۸) پایین‌ترین امتیاز را در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش به خود اختصاص دادند. بررسی امتیاز وزنی طبقات مختلف عوامل مؤثر نیز نشان داد که طبقه ۱۰۰-۰ متر فاصله از آبراهه با

منابع

1. Abedini, M., Fathi, M., and Beheshti Javid, E. 2014. Landslide hazard zonation by fuzzy logic model (Case study: Ghouri Chay river basin), the first Iranian Geosciences Conference.
2. Ahmadi, H., Mohammad Khan, S., Feiznia, S., and Ghoddoosi. J. 2006. Landslide hazard zonation by AHP hierarchical analysis method in Taleghan basin, *Natur. Resour. J.* 58: 14-3.
3. Anbalagan, R. 2004. Landslide hazard evaluation and zoning mapping in Mount- Ainous Terrain, *Engineering Geol.* 36p.
4. Azimpour, A., Sadoughi, H., Dahaloghly, A., and Richard, M. 2008. Evaluation of AHP model results in landslide hazard zonation Case Study: Ahar Chay Basin, *Geological Survey of Iran, J. Geol. Survey.* 9: 26. 87-71.
5. Bharat Prashad, B., Keshab Datt, A., Binod Prasad, H., Thakur, S., and Gandhiv, K. 2013. Using Geographic Information System and Analytical Hierarchy Process in Landslide Hazard Zonation *Applied Ecology and Environmental Sciences.* 1.2. Doi10.1296.1-2.
6. Castellanos Abella, E.A., and Van Westen, C.J. 2007. Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation. *Landslides*, 4: 311-325.
7. Cruden, D.M. 1991. A Simple Definition of a landslide, *Bulletin of International Association of Engineering Geology*, 43: 27-29.
8. Faraji Sabokbar, H.A., Salmani, M., Fereidouni F., Karimzadeh, H., and Rahimi, H. 2010. Rural waste sanitary landfill location using a network process model (ANP): A case study of rural areas in Ghoochan city, *Quarterly J. Human.* 14: 1. 149-12.
9. Fathi, M.H., Khohdel Kazem, A., Kandi, S., Ashraffifeini, Z., and Haliji, M.A. 2015. The combination of spectral and spatial data in zoning of landslides susceptibility (Case study: Sangorchay reservoir) *J. Biodiv. Environ. Sci. (JBES) ISSN: 2220-6663.* 6: 2. 515-527.
10. Fizaniya, S., Chalarstagi, A., Ahmadi, H., and Wasefayy, M. 2004. Investigation of Factors Influencing Landslides and Landslide Risking - A Study of a Man: Shahrarood Basin of Tajan Dam, Iran. *J. Natur. Resour.* 57: 1. 22-3.
11. Gee, M.D. 1992, Classification of Landslide Hazard Zonation Methods and a Test of Predictive Capability, 6th International Symposium on Landslides: Christchurch, New Zealand, Pp: 947-952.
12. Ghomiyani, J., Fatemi Aqda, M., Ashloqi Farahani, A., and Teshneh Lab, M. 2002. Landslide hazard zonation using a fuzzy multi-index decision making method (Case study: Roodbar Gilan area), *Quar. J. Res. Technol.* 56: 80-67.
13. Hussin, H., Zumpano, Y.V., Reichenbach, P., Sterlacchini, S., and Micu, M. 2016. Different landslide sampling strategies in a grid-based bi-variate statistical susceptibility model, *Geomorphology*, Volume 253, 15 January 2016, Pp: 508-523.
14. Jalali, N. 2002. Evaluation of conventional landslide hazard zonation in Taleghan watershed. *Proceedings of the first gathering of landslide research projects, Soil and Watershed Protection Research Center*, Pp: 115-103.
15. Kanungo, D.P., Arora, M.K., Sarkar, S., and Gupta, R.P. 2006, A Comparative Study of Conventional, ANN Black Box, Fuzzy and Combined Neural and Fuzzy Weighting Procedures for Landslide Susceptibility Zonation in Darjeeling Himalayas, *Engineering Geology*, 85: 347-366.
16. Lan, H.X., Zhou, C.H., Wang, L.J., Zhang, H.Y., and Li, R.H. 2004. Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang Watershed, Yunnan, China. *Engineering Geology*, 76: 109-128.
17. Marrapu Balendra Mouli and Ravi Sankar Jakka. 2014. Landslide Hazard Zonation Methods: A Critical Review *International Journal of Civil Engineering Research.* ISSN 2278-3652. 5: 3. 215-220
18. Mayavan, N., and Sundaram, A. 2012. Statistical analysis for landslide in relation to landuse, in Sirumalai Hill, Dindigul district, Tami Nadu, India, using GIS. *Res. J. Recent Sci.* 1: 12. 36-39.

19. Mirasani, R. 1999. Analytical Attitudes on Landslide Features of the Country, Proceedings of the first Geological Conference on Environmental Engineering in Iran, First Edition, Tarbiat Moallem University of Tehran, Pp: 71-70.
20. Moghimi, E., Yamani, M., and Vahimi, S. 1392. Landslide hazard assessment and zoning in Roodbar using network analysis process, Quantitative Research, No. 4, Spring 2013, Pp: 118-103.
21. Mohammadi, A., Heshmatpoor, A., and Mosaedi, A. 2004. Study on Efficiency of an Iranian Method for Landslide Hazard Zonation in Golestan province (Iran), Geophysical Research Abstracts, 6: 10-22.
22. Mosafaei, J., Onagh, M., Mosadaghi, M., and Shariat Jafari, M. 2009 Comparison of the Efficiency of Empirical and Statistical Models of Landslide Risk Alignment in Alamot Basin, Water and Soil Conservation Researches, Pp: 61-43.
23. Naderi, F., Naseri, B., Karimi, H. and Habibi Bibalani, Gh. 2010. Efficiency evaluation of different landslide susceptibility mapping methods (Case study: Zangvan watershed, Ilam province): First ternational conference of soil and roots engineering relationship (LANDCON1005), Ardebil, Iran.
24. Neaupane, K.M., and Piantanakulchai, M. 2006. Analytic network process model for landslide hazard zonation Engineering Geology, Volume 85, Issues 3-4, 21 June 2006, Pp: 281-294.
25. Pour Hashemi, S., Amir Ahmadi, A., and Akbari, E. 2014. Selection of a suitable model for two-way statistical methods for studying arid areas, Fourth year, No.15, Spring 2014, Pp: 89-71.
26. Ramezani, B., and Ebrahimi, H. 2009. Recognition of the Effective Factors of Landslide in the Barnstadt Dam Ghaemshahr Dam, Quar. J. Hum. Geograph. First Year, 4: 126-127.
27. Riedel, L., Vacik, H., and Kalasek, R. 2000. Map Models, a new approach for spatial decision support in silvicultural decision making. Computers and Electronics in Agriculture, 27: 407-412.
28. Yalcin, A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, Catena, 72: 1-12.
29. Rostaei, S., Khodai, L., and Vakhshlag, F. 2014. Evaluation of Network Analysis (ANP) and Multi-dimensional Spatial Analysis in the Study of the Potential of Landslide occurrence in the Range of Dam and Shaft of the Dam (Case study: Ghaleh Dam), Research Natural Geography, 46: 4. 495-508.
30. Sabuya, F.M., Alves, G., and Pinto, W.D. 2006. Assessment of failure susceptibility of soil slopes sings fuzzy logic, Engineering Geology, 14p.
31. Sarolee, K.M. 2001. Statistical Analysis of landslide susceptibility at Yonging, Korea. Environmental Geology, 40: 1095-1113.
32. Shadfar, S. 2005. Analytical evaluation of landslide quantitative models in order to achieve a suitable model for Chalkarood watershed, Ph.D. Thesis, Geomorphology University of Tehran, 225p.
33. Shadfar, S., and Yamani, M. 2006. Landslide hazard zonation in Jalisan watershed using LNRF model, Geographical research, 39: 1. 68-62.
34. Shariat Jafari, M. 1996. Landslide (principles and principles of stability of natural slopes), Sazeh Publication, 218p.
35. Shirani, K. 2006. Survey and Evaluation of Landslide Hazard Zoning Methods in Semiroma Subsidy, J. Res. Bas. Sci. Isfahan University, No. 961, 96p.
36. Sidle, R.C., and Ochiai, H. 2006. Landslides: Processes, Prediction, and Landuse, WaterResource Monograph: 18, AGU books, ISSN: 0170-9600.
37. Soltani, A., and Talebi, T. 2013. Investigating the spatial distribution system and location analysis of Shiraz-based interurban bus terminals using the network analysis process (ANP), regional studies and researches, the fifth year, the eighteenth issue, Pp: 122-107.

38. Talaei, R. 2014. Estimation of Landslide Risk in Hashtchin Area for Use in Development Design, *Journal of Engineering and Management of Watershed Management*, Volume 6, Issue No. 1. 2014, Pp: 21-41.
39. Tuzkaya, G., Tuzkaya, O.S., Umut, R., and Bahadır, G. 2008. An analytic network process approach for locating undesirable facilities: An example from Istanbul, Turkey, *Environmental Management*, 88: 4. 970-983.
40. Wu, C.I., Kung, Y., Chen, H., and Chia Kuo, L. 2014. An intelligent slopedisasterprediction and monitoring system based on WSN and ANP Expert Systems with, *Applications Volume 41*, Issue 10, August 2014, Pp: 4554-4562.
41. Yamani, M., and Shadfar, S. 2010. The zoning of landslide in Tonekabon watershed using quantitative models, *Geography and Development Magazine*, Pp: 98-85.
42. Zare, M., Ahmadi, H., and Gholami, S.A. 2010. Estimation of Landslide Risk Using Multi-Criteria Decision Making Process and Geographical Information-Information, Case Study, Waza Watershed, *J. Iran. Natur. Ecosyst. Year One, Number two, Winter 2010*, Pp: 168-179.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(6), 2018

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

Landslide hazard mapping of Oghan watershed basin in Golestan province using Analytic Network Process (ANP) model

Gh.R. Gholami Kalateh¹, *P. Kardavani² and M. Ranjbar³

¹Ph.D. Student of Geomorphology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran,

²Professor of Natural Geography, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran,

³Associate Prof. of Natural Geography, Sher Ray Branch, Islamic Azad University, Sher Ray, Iran

Received: 08/14/2017; Accepted: 02/19/2018

Abstract

Background and Objectives: Landslide is one of the most destructive natural events in steep areas. Iran is exposed to natural hazards because of its geographical position, climatic and geomorphological conditions, population increase, pressure on natural resources and land use changes. Therefore, preparation of landslide hazards mapping is very important. So according to landslide events reports of Oghan watershed basin in Golestan province, the aim of this research was to map landslide hazards using Analytic Network Process model.

Materials and Methods: To map landslide hazard in Oghan watershed basin, maps of effective factors were prepared by using of information sources, 1:50000 topographic and 1:100000 geological maps, rain statistics, aerial photos and satellite images. Then, these information were completed by field surveying. After that, maps of the effective factors (such as: slope, aspect, rain, distance from streams, roads and fault, land use, lithology and landslide dispersion layer) were prepared by ArcGIS. In the second step, the weight of effective factors were calculated by ANP model and applied to the information layers in the GIS environment. Landslide occurrence map was prepared by overlapping the weighted maps. In the third step, the accuracy of the map of landslide zonation was evaluated using the degree of proportionality and index Density ratio.

Results: Identification results of 88 landslides with area of 181 ha and investigation of their relationship with effective factors showed that most of landslides are located in lithological units of shale, marl, bedded limestone, sandstone and quaternary deposits (Table 1). Furthermore, results of elevation and slope layers assessment showed that most landslides were happened at 15-30% slope. Landslide occurrence also had direct relationship with rain increase and classes with 500-700 and more than 700 mm of mean annual precipitation had considerable percent of landslide. Results of distance from road and stream showed that most of occurred landslides are in distance less than 100 m from these features and it demonstrates the role of mass taking from downhill via human or natural factors. Finally, assessment of distance from fault showed that most of landslides are located in distance classes with more than 400 m (Table 1).

Conclusion: The zonation results of ANP model in the Oghan watershed basin showed that 29 percent of the basin located in four classes is in high and very high hazard areas. Among eight information layers, slope factor (0.215), lithology (0.182) and distance from the road with weighted score (0.173) had the highest weight and gradient direction with the weight score (0.018) had the lowest rank in the zonation. Evaluation of different classes of effective factors also showed that the class with 100 m distance from streams with weight score (0.08), 15-15% slope class with (0.078) weight score and 100-0 (m) distance class from the road with 0.068

* Corresponding Author; Email: kardavani@yahoo.com

weight score had the highest weight scores. Overall, results of this model showed that the convergence of factors such as slope, lithology and distance from the river as natural factors along with the human factor, such as road construction, have a great influence on the hazards of landslide. Finally, by studying the density rate of 88 landslide occurrence in the basin and its upward curve and adaptation of the sliding zones with application of the degree of proportionality of 69.7% on the high and very high classes in the final map, it can be concluded that the ANP model has a good basis for zoning the occurrence of landslide hazards in the Oghan watershed.

Keywords: Mapping, Landslide, ANP model, Oghan, Golestan province