

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ANP (مطالعه موردی: حوضه پیوه‌ژن دامنه جنوبی بینالود)

ابوالقاسم امیراحمدی* - دانشیار دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری
علی شکاری بادی - دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری
محمد معتمدی راد - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری
مریم بینقی - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۶/۲۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۲/۱۸

چکیده

رخدادهای طبیعی فرآیندهای پیچیده‌ای هستند که بر تمامی بخش‌های کره زمین تأثیر گذارند که در این بین زمین‌لغزش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین معضلات جهانی باعث خسارات عدیده‌ای به مناطق مسکونی، جاده‌ها، زمین‌های کشاورزی و... می‌گردد که با شناسایی عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای و پهنه‌بندی آن، می‌توان کمک مؤثری در تدوین برنامه مدیریت خطر و کاهش خسارات ناشی از وقوع این پدیده نمود. هدف از انجام این پژوهش نیز پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل تحلیل شبکه (ANP) در حوضه پیوه‌ژن دامنه جنوبی بینالود می‌باشد. بدین منظور، لایه‌های اطلاعاتی ۱۰ عامل: ارتفاع، بارش، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، تراکم پوشش گیاهی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و فاصله از گسل تهیه شد. سپس جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی از مدل ANP استفاده گردید. نتایج حاصل از این مدل نشان می‌دهد که عوامل فاصله از رودخانه و فاصله از جاده به ترتیب بیشترین امتیاز وزنی (۰.۲۲۸ و ۰.۲۰۴) و شیب و جهت شیب کمترین وزن (۰.۰۱۲، ۰.۰۲۱) را در حوضه مورد مطالعه به خود اختصاص دادند. از تعداد ۳۱ زمین‌لغزش رخ داده در حوضه مطالعاتی، ۱۷ زمین‌لغزش در فاصله ۵۰-۰ متری و ۱۴ زمین‌لغزش دیگر در فاصله ۱۵۰-۵۰ متری از رودخانه به وقوع پیوسته است که نشان از تأثیر مستقیم و مهم فرسایش و زیر شویی رودخانه می‌باشد. همچنین فعالیت‌های انسانی نظیر جاده‌سازی در حوضه مورد نظر خطر وقوع زمین‌لغزش را چندین برابر نموده است به طوری که ۲۲ زمین‌لغزش در فاصله ۰ تا ۵۰ متری از راه‌های ارتباطی، رخ افتاده و راه‌ها را مورد هجوم خود قرار داده‌اند. در نهایت، بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش و انطباق داده‌های زمین‌لغزشی و مشاهدات میدانی، می‌توان گفت مدل ANP می‌تواند به‌عنوان مدلی مناسب و کارآمد برای پیش‌بینی پدیده لغزش به کار گرفته شود به طوری که در پژوهش حاضر ۶۴/۵ درصد زمین‌لغزش‌های حوضه در پهنه‌های خیلی زیاد و زیاد به وقوع پیوسته است.

واژگان کلیدی: زمین‌لغزش، مدل ANP، حوضه پیوه‌ژن، پهنه‌بندی.

مقدمه

یکی از انواع ناپایداری دامنه‌ای که هرساله خسارات مالی و جانی بسیاری را بر زندگی انسان‌ها وارد می‌کند پدیده زمین‌لغزش است. زمین‌لغزش پدیده‌ای طبیعی است که عبارت است از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها (ایزدی، ۱۳۹۲، ۳۳، محمودی، ۱۳۸۲، ۴۳). زمین‌لغزش جزو خطرناک‌ترین پدیده‌های طبیعی در جهان است که باعث به وجود آمدن خسارات جانی و مالی زیادی می‌شود و در نتیجه بسیاری از منابع طبیعی و انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (آراپو و راوی سنکار^۱، ۲۰۱۴، ۲۱۵). برطبق گزارشات جهانی مخاطرات طبیعی^۲ در سال ۲۰۱۲، لغزش در میان هفت بلایای طبیعی خطرناک جهان قرار گرفت (فتحی و همکاران، ۲۰۱۵، ۵۱۶). ارزیابی ناپایداری دامنه‌ای مانند بسیاری از موضوعات زمین‌شناسی محیطی، از پیچیده‌ترین مسائل است که به دلیل تنوع عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری دامنه‌هاست (پور هاشمی و همکاران، ۱۳۹۳، ۷۲). بروز پدیده‌ی زمین‌لغزش می‌تواند ناشی از عوامل متعدد زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، بیولوژیکی و انسانی باشد (سایدل و اوچیایی^۳، ۲۰۰۶، ۱۸).

یکی از وظایف مهم دانش ژئومورفولوژی کاربردی، بررسی موقعیت و ارزش محیط‌های انسانی خطرپذیر و آسیب‌پذیر در برابر انواع مخاطرات ژئومورفیک است (روزنفلد^۴، ۲۰۰۴، ۴۲۳، مقیمی و همکاران، ۱۳۹۲، ۱۰۴). مخاطرات ژئومورفولوژیکی نیز به احتمال ناپایداری پدیده‌های خاص ژئومورفولوژیکی گفته می‌شود که ممکن است در قلمرو معینی با بزرگی و دوره‌های زمانی مشخص رخ دهد (پانیزا^۵، ۲۰۰۴، ۳۱۸). تهیه نقشه وقوع خطر زمین‌لغزش ابزاری اساسی برای فعالیت‌های مدیریت بحران در نواحی کوهستانی است (کومار داهال^۶، ۲۰۰۸، ۴۹۶). ایران نیز با توجه به شرایط آب‌وهوایی و توپوگرافی جزو کشورهایی است که وقوع زمین‌لغزش در مناطق مختلف آن باعث به وجود آمدن خسارات انسانی و مالی زیادی می‌شود. به دلیل تعدد، تنوع، تکرار و شدت رخداد خطرات طبیعی و ناآرامی محیط، ایران در ردیف ده کشور بلاخیز جهان قرار گرفته است (محمدی و همکاران، ۲۰۰۴، ۱۳، مقیمی و همکاران، ۱۳۹۱، ۷۸). به طوری که بر اساس گزارش کمیته ملی کاهش بلایای طبیعی وزارت کشور سهم خسارات ناشی از حرکت‌های توده‌ای در ایران ۵۰۰ میلیارد ریال برآورد گردیده است (رمضانی و ابراهیمی، ۱۳۸۸، ۱۲۸).

طی سال‌های متمادی، مطالعات زیادی در زمینه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است که می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

سارولی^۷ (۲۰۰۱) با استفاده از روش رگرسیون خطی در کشور کره، یالسین (۲۰۰۸) در آردسین^۸ ترکیه، باهارات و همکاران (۲۰۱۳) در حوضه روپا در کشور نپال، فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۳) در حوضه آبخیز شیرین رود سد تجن، عظیم‌پور و همکاران (۱۳۸۷) در حوضه آبریز اهرچای، زارع و همکاران (۱۳۸۹) در حوضه آبخیز وازبر با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش پرداختند. همچنین گورسوسکی و همکاران (۲۰۰۶) در جنگل ملی ویکی در مرکز آیداهو، ایالات متحده، پورهاشمی و همکاران (۲۰۱۲) در منطقه هراز، از روش تحلیل سلسله مراتبی و منطبق

2- Arrapu and Ravi Sankar

3- global organization of natural dangers

3- Sidle and Ochiai

4- Rosenfeld

5- Panizza

7- Kumar Dahal

7- Sarolee

8- Ardesen

فازی، جهت تهیه پهنه‌بندی زمین‌لغزش استفاده نمودند. اما مطالعات محدودی در زمینه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل شبکه (ANP) صورت گرفته است که می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

نیوپان^۲ (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 کانال و غیره را برای ارزیابی خطر زمین‌لغزش در نظر گرفت. وو^۳ و همکاران (۲۰۱۴) خطر زمین‌لغزش در تایوان را با استفاده از مدل WSN^۴ و ANP مورد بررسی قرار داد و مهم‌ترین عوامل خطر با استفاده از مدل K میانگین برای ساختن مدل پیش‌بینی مورد بررسی قرار داد. فتحی و همکاران (۲۰۱۵) به پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در سانگورچی^۵ پرداخت. نامبرده در این تحقیق از روش‌های دورسنجی و روش ANP استفاده نمود و نشان داد که ۷۶ درصد از رانش‌هایی که در این منطقه رخ داده در کلاس خطرناک و بسیار خطرناک قرار می‌گیرد و مدل (ANP) را مدلی مناسب برای پیش‌بینی پدیده لغزش معرفی کرد. مقیمی و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه (ANP) پرداختند و نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدوده شهر رودبار با درجات خطر کم (۴ درصد)، خطر متوسط (۷۱ درصد)، خطر بالا (۲۵ درصد)، تهیه نمودند که نشان از درصد بالای فرایندهای مخاطره‌زا در محدوده‌ی شهری است. نتایج حاصل از این پژوهش سهم عمده عامل شیب و حساسیت لیتولوژی در زمین‌لغزش‌های منطقه مطالعاتی را نشان داد. روستایی و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی روش‌های تحلیل شبکه (ANP) و تحلیل چندمعیاره مکانی در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در محدوده محور مخزن سدها (سد قلعه چای) پرداخت و با تفسیر ضرایب نشان داد که کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی و جهت دامنه‌ها نقش مهمی در وقوع زمین‌لغزش دارد.

با توجه به این مسائل، به جرأت می‌توان گفت که از جمله حساس‌ترین و مهم‌ترین مسائل در پروژه‌های عمرانی، مطالعه پایداری دامنه‌ها می‌باشد. در واقع زمین‌لغزش یک پدیده‌ی مخرب طبیعی است و باعث به‌وجود آمدن خسارات جبران‌ناپذیری می‌شود که دفع آن‌ها مستلزم صرف وقت و هزینه‌ی هنگفتی است. شناخت نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش و حرکات توده‌ای از ضروریات مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی توسعه‌ای و عمرانی است. لذا با شناسایی عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای و پهنه‌بندی آن، می‌توان کمک مؤثری در تدوین برنامه مدیریت خطر و کاهش خسارت‌های ناشی از این پدیده نمود. هدف این پژوهش نیز پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل تحلیل شبکه (ANP) در حوضه پیوه‌ژن دامنه جنوبی بینالود می‌باشد. دامنه جنوبی رشته‌کوه چین‌خورده بینالود متشکل از سازندهای آهکی (سازند بهرام) و سازندهای نئوژن می‌باشد و فرایندهای جریانی و رودخانه‌ای از مهم‌ترین فرایندهای این منطقه کوهستانی می‌باشد که این امر خود زمینه وقوع حرکات دامنه‌ای را در این منطقه تسهیل می‌کند. بنابراین امید است با تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش و شناسایی مناطق مورد تهدید بتوان کمک شایانی به برنامه‌ریزان در راستای کاهش خسارات احتمالی ناشی از وقوع این پدیده و یافتن مکان‌های امن‌تر جهت ساخت و توسعه تأسیسات و فعالیت‌های انسانی نمود.

موقعیت حوضه مورد مطالعه

حوضه پیوه‌ژن در جنوب‌غربی شهرستان مشهد قرار دارد. حوضه از شمال به روستای مغان، از جنوب به روستای حاجی‌آباد و فخر داود، از غرب به روستای قاسم‌آباد و دیزباد بالا و از شرق به روستای اوارشک محدود می‌شود. روستای

1- Analytic Network Process

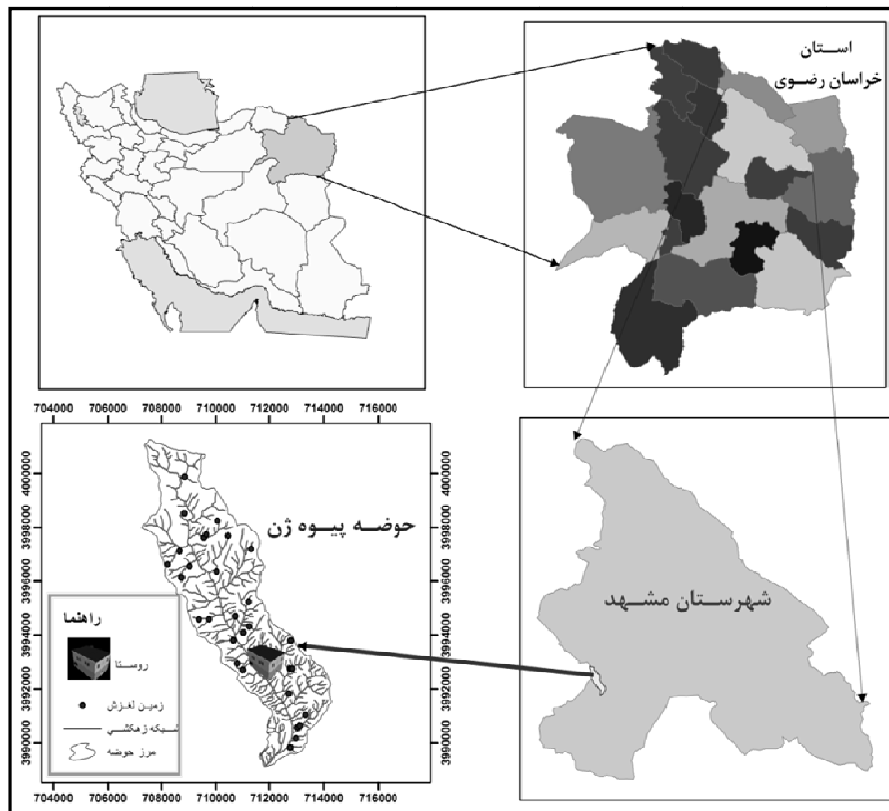
2- Neaupane

3- Wu

4- Wireless Sensor Networks

5- Sangorchay

پیوه‌ژن در داخل حوزه واقع شده است. فاصله روستای پیوه‌ژن از شهر مشهد حدود ۵۴ کیلومتر می‌باشد. محدوده مورد مطالعه با مساحت ۳۱/۲ کیلومتر مربع، بخشی از زون بینالود می‌باشد و به دلیل موقعیت ویژه زمین‌شناسی آن، توالی نسبتاً ستبری از سنگ‌های رسوبی، دگرگونی و آتشفشانی در آن وجود دارد. کهن‌ترین آن‌ها به پالئوزوئیک تعلق داشته و جوان‌ترین آن‌ها نهشته‌های آبرفتی و پادگانه‌های جوان می‌باشند. به لحاظ لیتولوژی بیشترین گسترش مربوط به واحد فیلیتی، شیلی و ماسه‌سنگی (سری مایان) است که در قسمت میانی و جنوبی حوزه واقع شده است. از نظر تکنیکی و نوع زمین‌ساخت حوضه، یک سری چین‌خوردگی به صورت ساختمان ناودیس در واحد TR3J1 شکل گرفته که دارای محور حدوداً شرقی - غربی می‌باشند. علاوه بر چین‌ها گسل‌های متعددی در قسمت‌های مختلف وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به گسل‌های راندگی در مرز شمالی و جنوبی واحد TR3J1 اشاره کرد که دارای امتدادی در جهت شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشند. شکل (۱) موقعیت حوضه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت حوضه مورد مطالعه

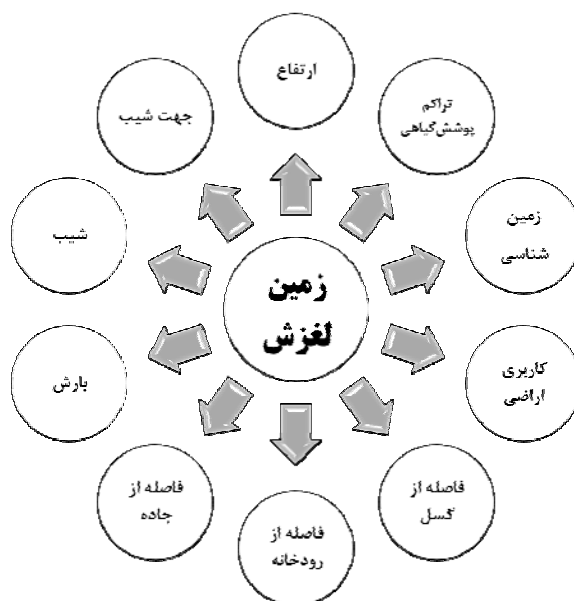
داده‌ها و روش‌ها

ابتدا به منظور شناسایی حوضه مورد مطالعه در محدوده آلداغ - بینالود از نرم‌افزار Google Earth استفاده شد. سپس با توجه به عدم دسترسی به نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، از نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ مربوط به سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح) برای استخراج دقیق حوضه پیوه‌ژن، اطلاعات توپوگرافی مانند سطوح ارتفاعی، شیب توپوگرافی و جهت شیب و لایه‌های فاصله از جاده و فاصله از رودخانه استفاده گردید. در مرحله بعد برای استخراج اطلاعات زمین‌شناسی حوضه شامل جنس زمین‌شناسی و فاصله از گسل از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مربوط به سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح) استفاده گردید. در ادامه، از نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و آمار بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی به کار گرفته شد.

به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات، منابع کتابخانه‌ای مرتبط با موضوع تحقیق و گزارش‌های مطالعاتی منطقه مطالعه گردید. بخش مهمی از کار، تهیه پایگاه اطلاعات لغزش یا نقشه پراکندگی زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه می‌باشد. برای تهیه اطاعات مربوط به زمین‌لغزش‌ها از پرسشنامه‌هایی که توسط دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزها معاونت آبخیزداری جهاد استان خراسان رضوی، گروه بررسی زمین‌لغزش‌ها تهیه‌شده بود، استفاده گردید.

تعیین معیارهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش

زمین‌لغزش متعلق به گروهی از فرآیندهای ژئومورفولوژیکی تحت عنوان حرکت توده‌ای معرفی شده است. حرکت توده‌ای شامل حرکت به سمت بیرون یا رو به پایین یک توده از مواد تشکیل‌دهنده دامنه تحت تأثیر نیروی گرانش می‌باشد (دانشنامه جغرافیا، ۲۰۰۴، ۶۰۵). دانشمندان علوم زمین و جغرافی دانان به‌منظور پهنه‌بندی زمین‌لغزش از نوع و تعداد عوامل متفاوتی بهره گرفته‌اند. در این پژوهش، به بررسی ۱۰ شاخص از مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرآیند زمین‌لغزش با توجه به استفاده از تجربیات کارشناسان و پژوهشگران در بررسی‌های صورت گرفته در مناطق مشابه پرداخته شده است. در شکل (۲) این عوامل ذکر شده‌اند.



شکل ۲: عوامل مؤثر در زمین‌لغزش

فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

تحلیل سلسله مراتبی نظریه‌ای ریاضیاتی از ارزش، دلیل و قضاوت است که بر اساس مقیاس‌های نسبی جهت تجزیه و تحلیل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده می‌شود (ولفسلنر^۱ و همکاران، ۲۰۰۵، ۱۵۹). این روش به تعاملات نسبتاً ثابت و یک‌سویه با بازخوردهای کمی بین اجزای تصمیم‌گیری و آلترناتیوها محدود است (خان و فیصل^۲، ۲۰۰۸، ۱۵۰۲). با توجه به محدودیت‌ها و کمبودهایی که روش تحلیل سلسله مراتبی داشت، روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای^۳

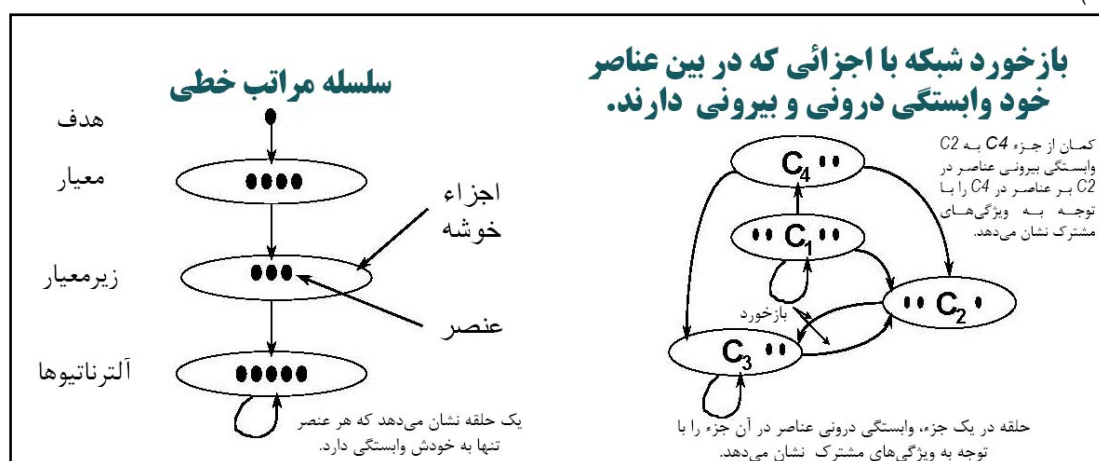
1- Wolfslehner

2- Khan and Faisal

3- Analytic Network Process

به‌وسیله توماس ال ساعتی در سال ۱۹۹۶ ابداع شد. در واقع این روش اصلاح‌شده فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌باشد (سلطانی و طالبی، ۱۳۹۲، ۱۱۲). فرآیند تحلیل شبکه‌ای، همه ویژگی‌های مثبت AHP، از جمله سادگی، انعطاف‌پذیری، به‌کارگیری معیارهای کمی و کیفی به‌طور هم‌زمان و قابلیت بررسی سازگاری و قضاوت‌ها را دارد و علاوه بر آن، می‌تواند ارتباطات پیچیده (وابستگی‌های متقابل و بازخورد) بین عناصر تصمیم را به‌کارگیری ساختار شبکه‌ای به‌جای ساختار سلسله‌مراتبی در نظر بگیرد (جوادیان کوتنایی و همکاران، ۱۳۹۳، ۱۵۹؛ زبردست، ۱۳۸۹: ۸۰). در واقع فرآیند تحلیل شبکه‌ای جامع‌ترین چارچوب برای تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری‌های عمومی، دولتی و شرکت‌های بزرگ است (تازکایا^۱ و همکاران، ۲۰۰۸، ۹۷۲). مدل تحلیل شبکه (ANP) از سلسله‌مراتب کنترل، خوشه‌ها، عناصر و روابط متقابل بین خوشه‌ها و عناصر تشکیل می‌شود (فرجی سبک‌بار و همکاران، ۱۳۸۹، ۱۳۲). خوشه، مجموعه‌ای از عناصر مرتبط در یک شبکه یا خرده شبکه است. برای هر معیار کنترلی، خوشه‌ها و عناصر در نظر گرفته می‌شود. تمامی تعاملات و بازخورها در درون خوشه، تحت نام وابستگی درونی و تعاملات و بازخورها میان خوشه‌ها با عنوان وابستگی بیرونی شناخته می‌شوند. سلسله‌مراتب کنترلی، سلسله‌مراتب معیارها و زیرمعیارهای کنترلی است که برای آن‌ها اولویت‌ها به روش معمول به‌دست می‌آید؛ با عنایت به هدف سیستمی (شبکه‌ای) که بررسی می‌شود، معیارها برای مقایسه خوشه‌های سیستم (شبکه) و زیرمعیارها برای مقایسه عناصر به کار می‌روند (زیاری و همکاران، ۱۳۸۶، ۱۲۷). برخی از کاربردهای فرآیند تحلیل شبکه‌ای، گسترش کارکرد کیفیت، کیفیت خدمات، انتخاب پروژه، ارزیابی تأمین‌کنندگان، مدیریت دانش، کارایی سازمان، آنالیز نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید، داده‌کاوی و تولید ناب را در برمی‌گیرد (دهقانی سانج و محمودی، ۱۳۹۰، ۳۳۱).

شکل (۳) تفاوت ساختاری بین دو روش تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه‌ای را نشان می‌دهد. ارتباطات در یک شبکه به‌وسیله کمان نشان داده می‌شود. جهت کمان‌ها دلالت بر جهت وابستگی دارد (فرجی سبک‌بار، ۱۳۹۰، ۱۵۲). همان‌طور که در تصویر مشاهده می‌شود، در ساختار سلسله مراتبی ابتدا یک هدف یا یک گره واقع شده که در انتها به یک گره یا خوشه مقصد ختم می‌گردد. بنابراین در آن ساختاری خطی، از بالا به پایین و بدون بازگشت از سطوح پایین‌تر و یا بالاتر وجود دارد. ولی در حالت شبکه‌ای، یک شبکه و خوشه‌هایش به‌صورت منظم توزیع نمی‌شوند (داداش‌پور و همکاران، ۱۳۹۱، ۱۱۵).



شکل ۳: مقایسه تحلیل سلسله‌مراتب و تحلیل شبکه (SAATY, 2004: 132)

یافته‌ها و بحث

اجرای مدل ANP در پهنه‌بندی زمین لغزش

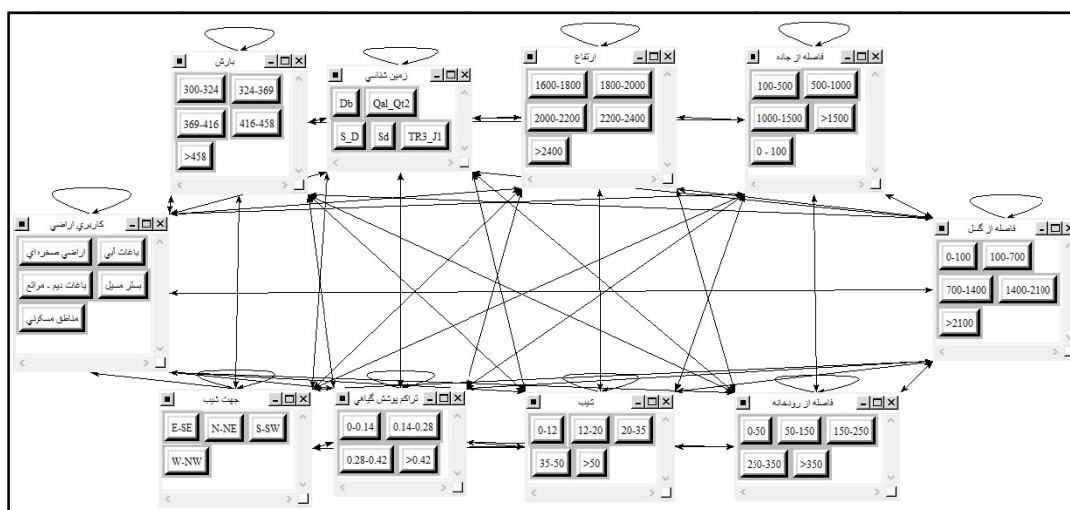
مدل‌سازی فرآیند تحلیل شبکه‌ای مشتعل بر ۵ مرحله می‌باشد که در ادامه به توضیح آن‌ها پرداخته می‌شود.

مرحله اول: تدوین ساختمان مدل و ساختار مسئله

مسئله تحقیق بایستی به روشنی تبیین شده و به صورت یک سیستم منطقی و عقلانی، مانند شبکه تجزیه شود. ساختمان کلی تحقیق در شکل (۴) بیان شده است که شامل هدف، معیارها و زیرمعیارها می‌باشد. با توجه به معیارهای مؤثر در وقوع زمین لغزش که در این پژوهش در نظر گرفته شده‌اند، ساختار مدل تشکیل شد. عناصر هر خوشه علاوه بر وابستگی درونی با عناصر خوشه‌های دیگر دارای وابستگی بیرونی می‌باشند. شکل (۵) ساختار شبکه‌ای زمین لغزش را نمایش می‌دهد.

پهنه بندی زمین لغزش									
ارتفاع	بارش	شیب	جهت شیب	زمین شناسی	تراکم پوشش گیاهی	کاربری اراضی	فاصله از رودخانه	فاصله از گسل	فاصله از جاده
۱۶۰۰-۱۸۰۰	۳۰۰-۳۲۴	۰-۱۲	شمال - شمال شرق	سری مایان	۰-۰/۱۴	اراضی صخره‌ای	۰-۵۰	۰-۱۰۰	۰-۱۰۰
۱۸۰۰-۲۰۰۰	۳۲۴-۳۶۹	۱۲-۲۰	شرق - جنوب شرقی	سازند بهرام پلستگ و اتراکلاستهای شیل	۰/۱۴-۰/۲۸	باغات آبی	۵۰-۱۵۰	۱۰۰-۷۰۰	۱۰۰-۵۰۰
۲۰۰۰-۲۲۰۰	۳۶۹-۴۱۶	۲۰-۳۵	جنوب - جنوب غرب	ماسه سنگ کوارتزیت	۰/۲۸-۰/۴۲	بستر مسیل	۱۵۰-۲۵۰	۷۰۰-۱۴۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰
۲۲۰۰-۲۴۰۰	۴۱۶-۴۵۸	۳۵-۵۰	غرب - شمال غرب	سنگ آهک آبرفت جدید - توان‌های جوان	۰/۴۲	مناطق مسکونی	۲۵۰-۳۵۰	۱۴۰۰-۲۱۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰
+۲۴۰۰	+۴۵۸	+۵۰				باغات دیوم - مراغ	+۳۵۰	+۲۱۰۰	+۱۵۰۰

شکل ۴: ساختمان کلی تحقیق



شکل ۵: ساختار شبکه‌ای مدل پهنه‌بندی زمین لغزش

مرحله دوم: انجام مقایسه زوجی و برآورد وزن نسبی

در ANP اندازه‌گیری مقادیر اهمیت نسبی مانند AHP، با مقایسات زوجی و به کمک طیف ۱ تا ۹ انجام می‌گیرد. (قنبری و روستایی، ۱۳۹۲، ۳۴۶). در این فرآیند، بالاترین ارجحیت به لایه‌ای تعلق می‌گیرد که حداکثر تأثیر را در تعیین هدف دارد. در ارجحیت‌بندی معیارها از قضاوت‌های شفاهی که به صورت مقایسه‌ای بین فاکتورها صورت

می‌گیرد، استفاده می‌شود (رحیمی و موسوی، ۱۳۹۲، ۱۴۸). در جدول زیر (۱) میزان اهمیت فاکتورها با توجه اعداد در مقایسه زوجی بیان شده است.

جدول ۱: مقایسه زوجی در تحلیل شبکه‌ای

مقدار عددی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
درجه اهمیت	اهمیت برابر	اهمیت برابر تا اهمیت متوسط	اهمیت متوسط	اهمیت متوسط تا اهمیت قوی	اهمیت قوی	از اهمیت خیلی قوی تا اهمیت خیلی قوی	اهمیت خیلی قوی	از اهمیت خیلی قوی تا اهمیت فوق‌العاده قوی	اهمیت فوق‌العاده قوی

منبع (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۷۴)

نمره a_{ij} در ماتریس مقایسه زوجی نشان‌دهنده اهمیت نسبی مؤلفه در سطر (i) بر مؤلفه در ستون (j) می‌باشد. به‌عنوان مثال $a_{ij} = w_i / w_j$ (نیوپان و پیانتاناکول‌چای، ۲۰۰۶، ۲۸۴). از ارزش معکوس $(1/a_{ij})$ زمانی استفاده می‌شود که j مهم‌تر از مؤلفه i باشد. اگر n مؤلفه وجود داشته باشد، در این صورت n مؤلفه باهم مقایسه خواهند شد. ماتریس A در شکل (۶) نشان داده شده است (فرجی سبکیار و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۳۳).

		C_1				C_T				C_N			
		e_{11}	e_{12}	...	e_{1n}	e_{T1}	e_{T2}	...	e_{Tn}	e_{N1}	e_{N2}	...	e_{Nn}
C_1	e_{11}												
	e_{12}	W_{11}				W_{1T}				W_{1N}			
	...												
	e_{1n}												
C_T	e_{T1}	W_{T1}											
	e_{T2}	W_{T1}	W_{TT}							W_{TN}			
	...												
	e_{Tn}												
C_N	e_{N1}												
	e_{N2}	W_{N1}				W_{NT}				W_{NN}			
	...												
	e_{Nn}												

شکل ۶: قالب عمومی سوپر ماتریس A (فرجی سبکیار و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۳۳).

نرخ سازگاری مکانیسمی است، که سازگاری مقایسه‌ها (C.R) را مشخص می‌کند. این مکانیزم نشان می‌دهد که تا چه اندازه می‌توان به اولویت‌های حاصل از اعضاء گروه یا اولویت‌های جداول ترکیب اعتماد کرد (بزرگمهر و همکاران، ۱۳۹۳، ۸۷). برای اطمینان از صحت مقایسات زوجی، نرخ سازگاری بایستی محاسبه شود. اگر CR کمتر از ۰/۱ باشد، مقایسات زوجی قابل قبول است در غیر این صورت کلیه‌ی وزن‌ها باید نرمالیزه شوند (عیسی‌لو و همکاران، ۱۳۹۳، ۶۰). پس از تشکیل شبکه، وزن نسبی هر زیر معیار از طریق مقایسه زوجی به دست آمد. به منظور اعتبارسنجی مقایسه‌ها نیاز به محاسبه ضریب سازگاری می‌باشد. یکی از مزیت‌های استفاده از نرم‌افزار Super Dictation محاسبه نرخ سازگاری توسط خود نرم‌افزار می‌باشد. در این پژوهش مقدار میزان C.R برابر با ۰/۰۷۱۸۱ شده که بیانگر سازگاری لایه‌های مورد بررسی می‌باشد. به دلیل فراوانی جداول وزن کلاس‌های هر معیار و تشابه موضوعی این جداول، تنها به ذکر یک نمونه از مقایسه زوجی بسنده شد. در جدول (۲) مقایسه زوجی طبقات تراکم پوشش گیاهی نشان داده شده است.

جدول ۲: مقایسه زوجی طبقات تراکم پوش گیاهی و وزن استاندارد شده آن‌ها

	0-0.14	0.14-0.28	0.28-0.42	>0.42
0-0.14	1	8	9	8
0.14-0.28	0.12	1	3	3
0.28-0.42	0.11	0.33	1	1
>0.42	0.12	0.33	1	1

مرحله سوم: تشکیل سوپرماتریس اولیه

منظور از سوپرماتریس در فرآیند تحلیل شبکه‌ای، ماتریس جزءبندی شده‌ای است که هر زیر ماتریس آن، از مجموعه‌ای از روابط بین دو عنصر یا خوشه در ساختار شبکه‌ای به وجود آمده باشد (عشورنژاد و همکاران، ۱۳۹۰: ۶). عناصر ANP با یکدیگر در تعامل قرار دارند. این عناصر می‌توانند واحد تصمیم‌گیرنده، معیارها، زیرمعیارها، نتایج حاصل، گزینه‌ها و هر چیز دیگری باشند. وزن نسبی هر ماتریس بر اساس مقایسه زوجی شبیه روش AHP محاسبه می‌شود، وزن‌های حاصل در سوپرماتریس وارد می‌شوند که رابطه متقابل بین عناصر سیستم را نشان می‌دهند. قالب عمومی سوپرماتریس در شکل (۶) نشان داده شده است. در این تصویر CN نشان‌دهنده خوشه eN_n ، eN_n عنصر n م در خوشه N_n ، W_{ij} ماتریس بلوک شامل وزن‌های نسبی بردارهای W تأثیر عناصر در خوشه n م نسبت به خوشه j م است. اگر خوشه n م هیچ تأثیری بر خوشه n م خودش نداشته باشد (حالت وابستگی داخلی)، W_{ij} صفر می‌شود (فرجی سبکیار، ۱۳۹۰: ۱۵۵). جدول (۳) بخشی از سوپرماتریس اولیه را نمایش می‌دهد.

جدول ۳: سوپرماتریس اولیه

		رتبه				
		۱۶۰۰-۱۸۰۰	۱۸۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۲۲۰۰	۲۲۰۰-۲۴۰۰	>۲۴۰۰
ارتفاع	۱۶۰۰-۱۸۰۰	0/138001	0/138001	0/138001	0/138001	0/138001
	۱۸۰۰-۲۰۰۰	0/425025	0/425025	0/425025	0/425025	0/425025
	۲۰۰۰-۲۲۰۰	0/321243	0/321243	0/321243	0/321243	0/321243
	۲۲۰۰-۲۴۰۰	0/083394	0/083394	0/083394	0/083394	0/083394
	>۲۴۰۰	0/031737	0/031737	0/031737	0/031737	0/031737
شیب	۰-۱۲	0/052108	0/052108	0/052108	0/052108	0/052108
	۱۳-۱۶	0/029259	0/029259	0/029259	0/029259	0/029259
	۱۷-۲۵	0/335789	0/335789	0/335789	0/335789	0/335789
	۲۵-۵۰	0/382088	0/382088	0/382088	0/382088	0/382088
	>۵۰	0/190149	0/190149	0/190149	0/190149	0/190149
فاصله از چاه	۰-۱۰۰	0/113701	0/113701	0/113701	0/113701	0/113701
	۱۰۰-۵۰۰	0/008913	0/008913	0/008913	0/008913	0/008913
	۵۰۰-۱۰۰۰	0/194842	0/194842	0/194842	0/194842	0/194842
	۱۰۰۰-۱۵۰۰	0/04985	0/04985	0/04985	0/04985	0/04985
	>۱۵۰۰	0/032585	0/032585	0/032585	0/032585	0/032585

مرحله چهارم: تشکیل سوپرماتریس وزنی

حال برای اینکه این ابرماتریس به ابرماتریس وزندهی شده مبدل گردد لازم است تا ابرماتریسی ایجاد نمود که جمع ستون‌های آن برابر با یک باشد (که از آن با عنوان ماتریس تصادفی یاد می‌شود). این ماتریس از حاصل داده‌های ماتریس خوشه‌ای در ابرماتریس وزندهی نشده و نرمالیزه نمودن ماتریس حاصل شده بدست می‌آید (داداش‌پور و همکاران، ۱۳۹۱، ۱۱۸). جدول (۴) این سوپرماتریس را نشان می‌دهد.

جدول ۳: سوپرماتریس وزنی

		اثرات				
		۱۶۰۰-۱۸۰۰	۱۸۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۲۲۰۰	۲۲۰۰-۲۴۰۰	>۲۴۰۰
ارتفاع	۱۶۰۰-۱۸۰۰	0010792	0010792	0010792	0010792	0010792
	۱۸۰۰-۲۰۰۰	0033083	0033083	0033083	0033083	0033083
	۲۰۰۰-۲۲۰۰	0025012	0025012	0025012	0025012	0025012
	۲۲۰۰-۲۴۰۰	0006493	0006493	0006493	0006493	0006493
	>۲۴۰۰	0002471	0002471	0002471	0002471	0002471
شیب	۱۲-۱۲	0000853	0000853	0000853	0000853	0000853
	۲۱-۱۶	0000366	0000366	0000366	0000366	0000366
	۲۰-۲۵	0004206	0004206	0004206	0004206	0004206
	۲۵-۵۰	0004919	0004919	0004919	0004919	0004919
	>۵۰	0002382	0002382	0002382	0002382	0002382
فاصله از حاده	۰-۱۰۰	0023233	0023233	0023233	0023233	0023233
	۱۰۰-۵۰۰	0124421	0124421	0124421	0124421	0124421
	۵۰۰-۱۰۰۰	0038813	0038813	0038813	0038813	0038813
	۱۰۰۰-۱۵۰۰	0010206	0010206	0010206	0010206	0010206
	>۱۵۰۰	0006886	0006886	0006886	0006886	0006886

مرحله پنجم: محاسبه بردار وزنی عمومی

در مرحله بعد، سوپرماتریس وزنی، به‌توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا شده و مقادیر سطری آن باهم برابر شوند. بر اساس ماتریس به‌دست‌آمده، بردار وزن عمومی مشخص می‌شود (مکانیکی و سادقی، ۱۳۹۱، ۱۲۸). به عبارتی به‌منظور همگرا شدن مقادیر سوپرماتریس وزنی، تا زمانی که تمام عناصر یکسان شوند، مقادیر به‌توان می‌رسند. در جدول (۵) قسمتی از سوپرماتریس حد آورده شده است.

جدول ۵: سوپرماتریس حد

		اثرات				
		۱۶۰۰-۱۸۰۰	۱۸۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۲۲۰۰	۲۲۰۰-۲۴۰۰	>۲۴۰۰
ارتفاع	۱۶۰۰-۱۸۰۰	0010792	0010792	0010792	0010792	0010792
	۱۸۰۰-۲۰۰۰	0033083	0033083	0033083	0033083	0033083
	۲۰۰۰-۲۲۰۰	0025012	0025012	0025012	0025012	0025012
	۲۲۰۰-۲۴۰۰	0006493	0006493	0006493	0006493	0006493
	>۲۴۰۰	0002471	0002471	0002471	0002471	0002471
شیب	۱۲-۱۲	0000878	0000878	0000878	0000878	0000878
	۲۱-۱۶	0000805	0000805	0000805	0000805	0000805
	۲۰-۲۵	0004148	0004148	0004148	0004148	0004148
	۲۵-۵۰	0004777	0004777	0004777	0004777	0004777
	>۵۰	0002817	0002817	0002817	0002817	0002817
فاصله از حاده	۰-۱۰۰	0026164	0026164	0026164	0026164	0026164
	۱۰۰-۵۰۰	0122349	0122349	0122349	0122349	0122349
	۵۰۰-۱۰۰۰	0038838	0038838	0038838	0038838	0038838
	۱۰۰۰-۱۵۰۰	0010205	0010205	0010205	0010205	0010205
	>۱۵۰۰	0006776	0006776	0006776	0006776	0006776

در آخر با توجه به جدول سوپرماتریس حد، وزن نهایی هر معیار و زیرمعیار محاسبه می‌شود. در جدول (۶) اوزان نهایی زیرمعیارها و جدول (۷) اوزان نهایی معیارها درج گردیده است.

جدول ۶: وزن نهایی زیرمعیارها

معیار	زیرمعیار	وزن نهایی	معیار	زیرمعیار	وزن نهایی	معیار	زیرمعیار	وزن نهایی
ارتفاع	۱۶۰۰-۱۸۰۰	۰/۰۱۱۰۸۵	شیب	۰-۱۲	۰/۰۰۰۶۸۱	کاربری اراضی	راضی صخره‌ای	۰/۰۵۴۸۷۳
	۱۸۰۰-۲۰۰۰	۰/۰۳۲۲۰۹		۱۲-۲۰	۰/۰۰۰۶۰۳		باغات آبی	۰/۰۲۰۲۷
	۲۰۰۰-۲۲۰۰	۰/۰۲۵۲۸۱		۲۰-۳۵	۰/۰۰۴۱۴۶		مزارع دیم - مراتع	۰/۱۰۱۹۷
	۲۲۰۰-۲۴۰۰	۰/۰۰۶۷۳۴		۳۵-۵۰	۰/۰۰۴۷۶۹		بستر مسیل	۰/۰۰۹۸۱۱
	>۲۴۰۰	۰/۰۰۲۵۵۲		>۵۰	۰/۰۰۲۳۲۶		مناطق مسکونی	۰/۰۰۹۸۱۱
بارش	۳۰۰-۳۲۴	۰/۰۰۴۸۷۱	فاصله از جاده	۰-۱۰۰	۰/۰۲۹۸۴۵	فاصله از غسل	۰-۱۰۰	۰/۰۰۷۹۶۶
	۳۲۴-۳۶۹	۰/۰۳۱۵۱۵		۱۰۰-۵۰۰	۰/۱۰۰۴۵۳		۱۰۰-۳۰۰	۰/۰۴۲۳۳۳
	۳۶۹-۴۱۶	۰/۰۳۳۰۸۹		۵۰۰-۱۰۰۰	۰/۰۵۲۲۳۱		۳۰۰-۶۰۰	۰/۰۱۳۹۴۹
	۴۱۶-۴۵۸	۰/۰۰۹۴۵۷		۱۰۰۰-۱۵۰۰	۰/۰۱۳۱۱۱		۶۰۰-۱۰۰۰	۰/۰۰۷۰۰۹
	>۴۵۸	۰/۰۰۲۵۸۹		>۱۵۰۰	۰/۰۰۸۶۹۲		>۱۰۰۰	۰/۰۰۲۶۱۵
زمین شناسی	Db	۰/۰۰۷۸۸۹	جهت شیب	E-SE	۰/۰۱۲۶۰۹	فاصله از رودخانه	۰-۵۰	۰/۱۱۴۸۲
	Qal_Qtr	۰/۰۰۲۹۲۹		N-NE	۰/۰۰۳۷۷۴		۵۰-۱۵۰	۰/۰۷۳۹۹۹
	S_D	۰/۰۰۲۹۲۹		S-SW	۰/۰۰۴۱۷۸		۱۵۰-۲۵۰	۰/۰۱۳۹۱۱۳
	Sd	۰/۰۰۲۷۹۹		W-NW	۰/۰۰۰۹۷۷		۲۵۰-۳۵۰	۰/۰۱۳۹۱۱۳
	TRr_J۱	۰/۰۳۳۳۱۵		-۰/۱۴	۰/۰۳۶۷۹۶		>۳۵۰	۰/۰۱۳۹۱۱۳
			تراکم پوشش گیاهی	۰/۱۴-۰/۲۸	۰/۰۱۰۱۲			
				۰/۲۸-۰/۴۲	۰/۰۰۳۷۴			
				>۰/۴۲	۰/۰۰۳۹۴			

جدول ۷: وزن نهایی معیارها

معیار	وزن نهایی
ارتفاع	۰/۰۷۷۸۶۱
بارش	۰/۰۸۱۵۲۲
تراکم پوشش گیاهی	۰/۰۵۴۵۹۵
جهت شیب	۰/۰۲۱۵۳۸
زمین شناسی	۰/۰۴۸۸۶
شیب	۰/۰۱۲۵۲۵
فاصله از جاده	۰/۲۰۴۳۳۲
فاصله از رودخانه	۰/۲۲۸۱۵۸
فاصله از غسل	۰/۰۷۳۸۷۲
کاربری اراضی	۰/۱۹۶۷۳۵

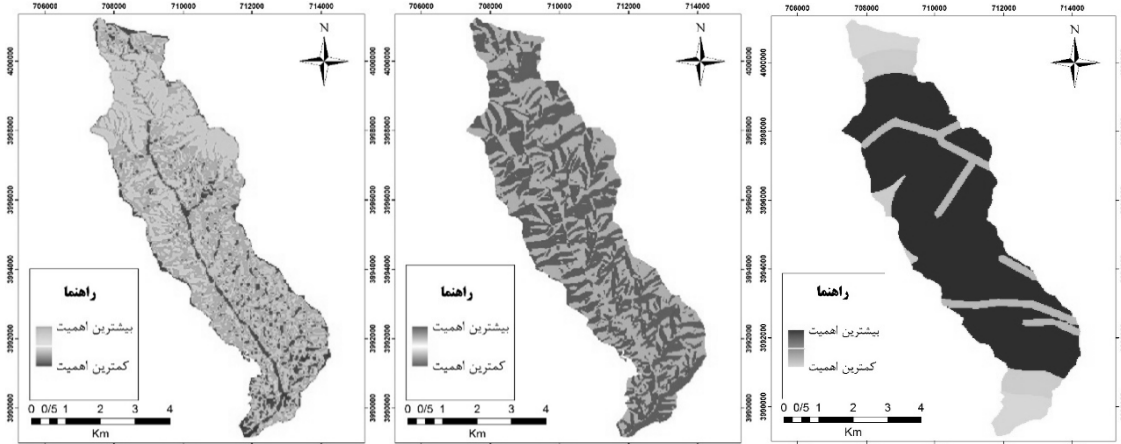
آماده‌سازی لایه‌ها

بعد از طی مراحل مرتبط با مدل تحلیل شبکه‌ای و به‌دست آوردن وزن هر معیار و عناصر آن، نوبت به آماده‌سازی لایه‌ها می‌رسد. همان‌طور که گفته شد در این تحقیق از ۱۰ معیار مؤثر در زمین‌لغزش استفاده شده است. لذا برای هر یک از آن‌ها در محیط GIS لایه‌ای تعریف گردید. در رابطه با لایه‌های فاصله‌ای، از تابع Distance به‌منظور تعیین میزان فاصله استفاده گردید.

پردازش و تلفیق داده‌ها

در گام بعد، بر اساس وزن کلاس‌های هر لایه که در نتیجه انجام مقایسه‌های زوجی حاصل شد، تمام داده‌ها در محیط GIS به لایه‌هایی با فرمت رستر تبدیل شدند. مجموع این لایه‌ها در اشکال زیر آمده است. در نهایت، نقشه پهنه‌بندی

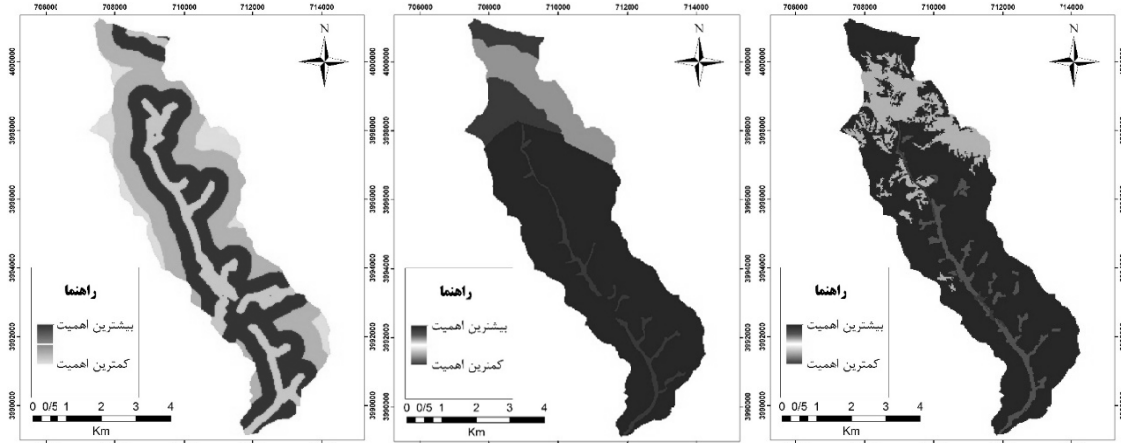
زمین‌لغزش به صورت فرمت رستری و از طریق عملیات تلفیق لایه‌ها تهیه گردید و به منظور ارائه نتایج بهتر، کل منطقه با استفاده از روش شکست‌های طبیعی (Natural Breaks) به ۵ کلاس از خیلی کم تا خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد. شکل (۱۷) نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش و جدول (۸) درصد مساحت پهنه‌های لغزشی و درصد زمین‌لغزش‌ها در هر پهنه را نمایش می‌دهد.



شکل ۹: لایه فاصله از گسل

شکل ۸: لایه جهت شیب

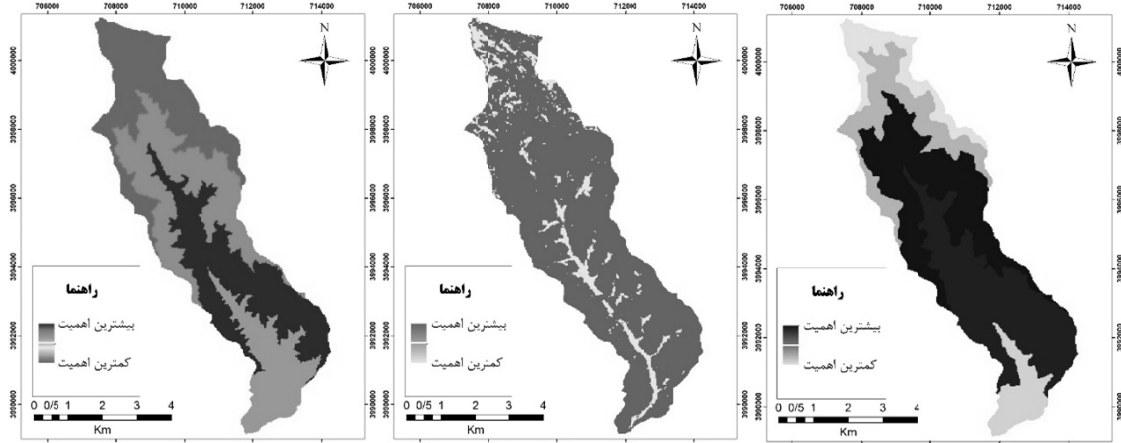
شکل ۷: لایه شیب



شکل ۱۲: لایه کاربری اراضی

شکل ۱۱: لایه زمین‌شناسی

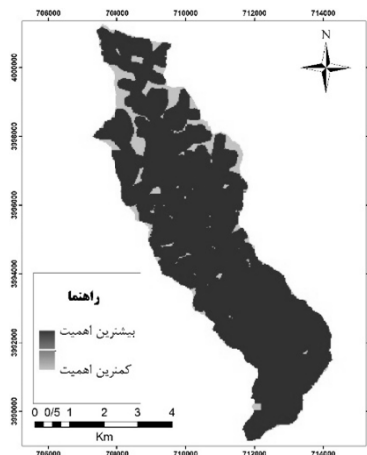
شکل ۱۰: لایه فاصله از جاده



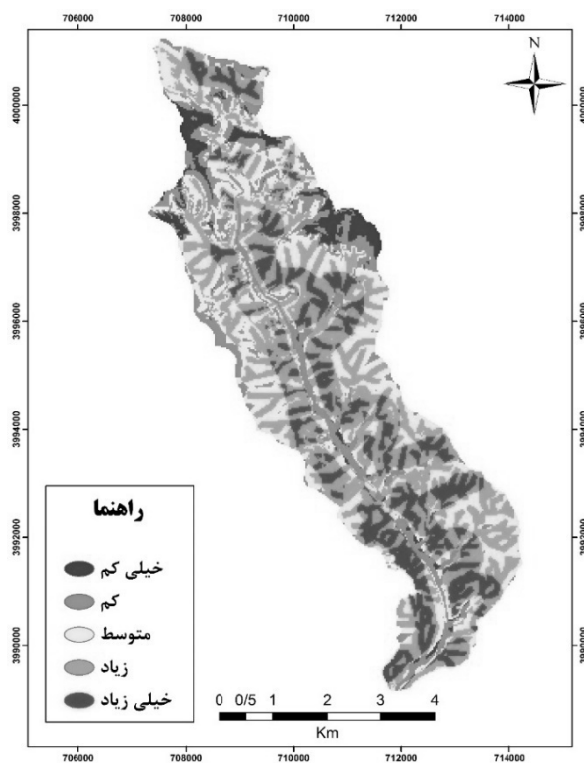
شکل ۱۵: بارش

شکل ۱۴: لایه تراکم پوشش گیاهی

شکل ۱۳: لایه طبقات ارتفاعی



شکل ۱۶: لایه فاصله از رودخانه



شکل ۱۷: پهنه‌بندی زمین لغزش

جدول ۸: درصد مساحت پهنه‌های و درصد زمین لغزش در هر پهنه

طبقه	مساحت		زمین لغزش	
	کیلومترمربع	درصد مساحت	تعداد	درصد
خیلی کم	۱/۱۸	۳/۸۵	۰	۰
کم	۴/۶۶	۱۵/۱۹	۵	۱۶/۱۳
متوسط	۸/۲۵	۲۶/۹	۶	۱۹/۳۵
زیاد	۱۱/۲۵	۳۶/۶۸	۱۲	۳۸/۷۱
خیلی زیاد	۵/۳۳	۱۷/۳۸	۸	۲۵/۸۱

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل لغزش در حوضه پیوه‌زن انجام گرفت. این حوضه واقع در دامنه جنوبی رشته‌کوه بینالود، متشکل از سازندهای آهکی (سازند بهرام)، سری میان، سازندهای نئوژن و... می‌باشد که فرایندهای جریانی و رودخانه‌ای از مهم‌ترین فرایندهای این منطقه کوهستانی می‌باشد. نقشه پهنه‌بندی بر اساس لایه‌های اطلاعاتی ۱۰ عامل: ارتفاع، بارش، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، تراکم پوشش گیاهی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و فاصله از گسل با استفاده از مدل تحلیل شبکه (ANP) تهیه گردید. نقشه نهایی به‌دست‌آمده از تلفیق لایه‌های مختلف به ۵ طبقه: خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شده است. در این بین، ۵۴/۰۶ درصد مساحت حوضه را پهنه‌های خطر خیلی زیاد و زیاد تشکیل داده که ۶۴/۵ درصد (۲۱ زمین‌لغزش) از نقاط لغزشی در این پهنه‌ها قرار دارد. نتایج حاصل از این مدل در حوضه مطالعاتی نشان می‌دهد که عوامل فاصله از رودخانه و فاصله از جاده به ترتیب بیشترین امتیاز وزنی (۰.۲۲۸ و ۰.۲۰۴) و شیب و جهت شیب کمترین وزن (۰.۰۱۲، ۰.۰۲۱) را در حوضه مورد مطالعه به خود اختصاص دادند. از تعداد ۳۱ زمین‌لغزش رخ داده در کل حوضه مطالعاتی، ۱۷ زمین‌لغزش در فاصله ۵۰-۰ متری و ۱۴ زمین‌لغزش دیگر در فاصله ۱۵۰-۵۰ متری از رودخانه به وقوع پیوسته است که نشان از تأثیر مستقیم و مهم فرسایش و زیر شویی رودخانه می‌باشد. همچنین فعالیت‌های انسانی نظیر جاده‌سازی در حوضه مورد نظر خطر وقوع زمین‌لغزش را چندین برابر نموده است بطوریکه ۲۲ زمین‌لغزش در فاصله ۰ تا ۵۰۰ متری از راه‌های ارتباطی، اتفاق افتاده و راه‌ها را مورد هجوم خود قرار داده‌اند. از طرفی فاکتورهای شیب و جهت شیب در حوضه مطالعاتی تأثیر کمتری را بر وقوع زمین‌لغزش داشته‌اند.

مدل ANP با توجه به در نظر گرفتن وابستگی‌های درونی و بیرونی و جلوگیری از تأثیر مستقیم نظر کارشناسان می‌تواند به‌عنوان مدلی مناسب و کارآمد برای پیش‌بینی پدیده لغزش کارایی داشته باشد. نتایج مطالعات محققانی نظیر نیویان (۲۰۰۶)، فتحی و همکاران (۲۰۱۵)، مقیمی و همکاران (۱۳۹۲) نیز تأییدی بر مناسب بودن مدل (ANP) برای پیش‌بینی پدیده لغزش می‌باشد. در نهایت، پیشنهاد می‌شود هرگونه برنامه‌ریزی و کاربری اراضی در این منطقه، با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر تهیه‌شده صورت گیرد.

منابع

- ایزدی، زهرا، انتظاری، مژگان، ۱۳۹۲، زمین‌لغزش‌های ایران معرفی، عوامل و مدیریت، مجله رشد آموزش جغرافیا، دوره ۲۷، شماره ۴
- بزرگمهر، کیا، حکیم‌دوست، سیدیاسر، محمدپورزیدی، علی، صیدی، زهرا، ۱۳۹۳، مکان‌یابی بهینه محل دفن مواد زائد جامد شهری با استفاده از مدل (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان تنکابن)، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۳، شماره ۹۱، صص ۸۸-۸۱.
- پورهاشمی، سیما، امیراحمدی، ابوالقاسم، اکبری، الهه، ۱۳۹۳، انتخاب مدل مناسب از بین روش‌های آماری دومتغیره جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محیط GIS مطالعه موردی: حوضه آبخیز بقیع، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال چهارم، شماره پانزدهم، بهار ۱۳۹۳ صص ۸۹-۷۱
- جوادیان کوتنایی، سارا، ملماسی، سعید، اورک، نداء، مرشدی، جعفر، ۱۳۹۳، تدوین الگوی ارزیابی توان اکولوژیک توسعه شهری با بهره‌گیری از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) (نمونه موردی: شهرستان ساری)، آمایش سرزمین، دوره ششم، شماره اول، صص ۱۷۸-۱۵۳.
- داداش‌پور، هاشم، خدابخش، حمیدرضا، رفیعیان، مجتبی، ۱۳۹۱، تحلیل فضایی و مکان‌یابی مراکز اسکان موقت با استفاده از تلفیق فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره اول، صص ۱۳۱-۱۱۱.

- دهقانی سانج، جلال، محمودی، حسن، ۱۳۹۰، شناسایی و رتبه‌بندی معیارهای مؤثر بر مکان‌یابی کتابخانه‌های عمومی با استفاده از ANP فازی و TOPSIS فازی، مجله کتابداری و اطلاع‌رسانی، شماره ۵۳، صص ۳۴۵-۳۱۹.
- رحیمی، داریوش، موسوی، سید.حجت، ۱۳۹۲، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شاهرود - بسطام)، جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۷، شماره ۴۴، صص ۱۵-۱۳۹.
- رضائی، بهمن، ابراهیمی، هدی، ۱۳۸۸، شناخت عوامل مؤثر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز سد برنجستانک قائم‌شهر، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیای انسانی، سال اول، شماره چهارم، صص ۱۳۶-۱۲۷.
- روستایی شهرام، خدائی قشلاق، لیلا، خدائی قشلاق، فاطمه، ۱۳۹۳، ارزیابی روش‌های تحلیل شبکه (ANP) و تحلیل چندمعیاره‌ی مکانی در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در محدوده‌ی محور و مخزن سدها (مطالعه موردی: سد قلعه چای)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۶، شماره ۴، صص ۴۹۵-۵۰۸.
- زارع، محمد، احمدی، حسن، غلامی، شعبانعلی، ۱۳۸۹، ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره و سامانه اطلاعات جغرافیای (GIS) (مطالعه موردی، حوزه آبخیز واز)، فصلنامه علمی تخصصی اکوسیستم‌های طبیعی ایران، سال اول، شماره دوم، زمستان ۱۳۸۹، صص ۱۶۸-۱۷۹.
- زبردست، اسفندیار، ۱۳۸۹، کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی، شماره ۴۱، صص ۹۰-۷۹.
- زیاری، کرامت اله، اکبرپور سراسکانرود، محمد، سلامی، هادی، عابدینی، اصغر، ۱۳۸۶، بررسی تطبیقی دلایل عدم تحقق اهداف شهرهای جدید در ایران با به‌کارگیری روش ANP، جغرافیا، دوره جدید، سال پنجم، شماره ۱۲ و ۱۳، صص ۱۳۹-۱۱۷.
- سلطانی، علی، طالبی اردکانی، طیب، ۱۳۹۲، بررسی نظام توزیع فضایی و تحلیل مکان‌گزینی پایانه‌های حمل‌ونقل اتوبوسرانی درون‌شهری شیراز با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال پنجم، شماره هجدهم، صص ۱۲۲-۱۰۷.
- عشورنژاد، غدیر، فرجی سبکبار، حسن.علی، علوی‌پناه، سید. کاظم، نامی، محمد.حسن، ۱۳۹۰، مکان‌یابی شعب جدید بانک‌ها و مؤسسات مالی و اعتباری با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی (Fuzzy ANP)، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال دوم، شماره هفتم، صص ۲۰-۱.
- عظیم پور، علیرضا، صدوق، حسن، دلال اوغلی، علی، ثروتی، محمدرضا، ۱۳۸۷، ارزیابی نتایج مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین لغزه مطالعه موردی حوضه آبریز اهر چای، مجله علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال نهم شماره ۲۶، صص ۸۷-۷۱.
- عیسی‌لو، علی‌اصغر، ابراهیم‌زاده، حسین، شاهمرادی، بهزاد، ۱۳۹۳، امکان‌سنجی مداخله‌پذیری بافت‌های فرسوده و ناکارآمد شهری با استفاده از مدل تحلیل شبکه مطالعه موردی: منطقه ۶ شهر قم، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۴، صص ۶۸-۵۷.
- فرجی سبکبار، حسن علی، سلمانی، محمد، فریدونی، فاطمه، کریم‌زاده، حسین، رحیمی، حسن، ۱۳۸۹، مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله روستایی با استفاده از مدل فرآیند شبکه‌ای تحلیل (ANP): مطالعه موردی نواحی روستایی شهرستان قوچان، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۴، شماره ۱، صص ۱۴۹-۱۲۷.
- فرجی سبکبار، حسنعلی، نصیری، حسین، حمزه، محمد، طالبی، سمیه، رفیعی، یوسف، ۱۳۹۰، تعیین عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی بر پایه‌ی تلفیق روش‌های ANP و مقایسه زوجی در محیط GIS، مطالعه موردی دشت گربایگان فسا، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۴، شماره ۴، صص ۱۶۶-۱۴۳.
- فیض نیا، سادات، کلارستاقی، عطالله، احمدی، حسن، صفایی، مهرداد، ۱۳۸۳، بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شیرینرود سد تجن)، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره ۱، صص ۲۲-۳.

- قنبری، حکیمه، روستایی، شهریور، ۱۳۹۲، بررسی اولویت‌های برنامه‌ریزی و آمایش مناطق مرزی در استان آذربایجان شرقی با به‌کارگیری مدل تجلیل شبکه (ANP)، آمایش سرزمین، دوره ۵، شماره ۲، صص ۳۳۵-۳۶۰.
- محمودزاده، حسن، امامی کیا، وحید، رسولی، علی‌اکبر، ۱۳۹۴، ریزپهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر تبریز با استفاده از روش AHP، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۱، شماره پیاپی، صص ۱۶۷-۱۸۰.
- محمودی، فرج‌الله، ۱۳۸۲، ژئومورفولوژی دینامیک، انتشارات دانشگاه تهران
- مقیمی، ابراهیم، باقری سید شکری، سجاده، صفر راد، طاهر، ۱۳۹۱، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی مطالعه موردی تاقدیس نثار زاگرس شمال غربی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۹ بهار ۱۳۹۱ صص ۷۷-۹۰.
- 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.
- مکانیکی، جواد، صادقی، حجت اله، ۱۳۹۱، مکان‌یابی مراکز بهداشتی - درمانی (بیمارستان‌ها) شهر بیرجند، از طریق فرآیند تجلیل شبکه‌ای (ANP) و مقایسه زوجی در محیط GIS، فصل‌نامه آمایش محیط، شماره ۱۹، صص ۱۴۲-۱۲۱.
- Bharat Prashad Bhatt¹, Keshab Datt Awasthi¹, Binod Prasad Heyojoo¹, Thakur Silwal¹, Gandhiv Kafle¹, (2013), *Using Geographic Information System and Analytical Hierarchy Process in Landslide Hazard Zonation Applied Ecology and Environmental Sciences*. 1 (2). doi: 10.12691/aees-1-2-1
- *Encyclopedia of geomorphology: A-I. Vol. 1, Edited by A.S. Goudie, Routledge-Taylor & Francis, 2004.*
- Fathi Mohammad Hoessin, Khohdel Kazem, Amir, Kandi Shoreh, Ashraffifeini Zahra, Khaliji, Mohammad Ali (2015) *The combination of spectral and spatial data in zoning of landslides susceptibility (Case study: Sangorchay reservoir) Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES) ISSN: 2220-6663 (Print) 2222-3045 (Online) Vol. 6, No. 2, p. 515-527,*
- Gorsevski, P.V., Jankowski, P., and Gessler, P.E. (2006). *Heuristic approach for mapping landslide hazard integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process, Control and Cybernetics, 35: 1-26*
- Khan, Sheeba, Faisal, Mohd Nishat (2008), *An analytic network process model for municipal solid waste disposal options, Volume 28, Issue 9, pp 1500-1508.*
- Kumar Dahal, R., (2008), *Predictive Modeling of Rainfall-induced Landslide Hazard in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights-of-evidence, Geomorphology, Vol. 102, PP.496-510*
- Marrapu Balendra Mouli and Ravi Sankar Jakka (2014) *Landslide Hazard Zonation Methods: A Critical Review International Journal of Civil Engineering Research. ISSN 2278-3652 Volume 5, Number 3, pp. 215-220*
- Mohammadi, A., Heshmatpoor, A., Mosaedi, A., (2004), *Study on Efficiency of an Iranian Method for Landslide Hazard Zonation in Golestan Province (Iran), Geophysical Research Abstracts, Vol. 6, PP. 10-22.*
- Neaupane K.M., Piantanakulchai M. (2006) *Analytic network process model for landslide hazard zonation Engineering Geology, Volume 85, Issues 3-4, 21 June 2006, Pages 281-294*
- Panizza, M., (2004), *Environmental Geomorphology, Encyclopedia of Geomorphology, Vol.1, P. 318-320.*
- Pourghasemi, Hamid Reza, Biswajeet Pradhan, Candan Gokceoglu (2012) *Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran Natural Hazards September 2012, Volume 63, Issue 2, pp 965-996*
- Rosenfeld, C. L., (2004), *Geomorphological Hazard, Encyclopedia of Geomorphology, Vol. 1, P.423-426*
- SAATY, Thomas L. (2004), *Fundamentals of the analytic network process — Dependence and feedback in decision-making with a single network, Journal of Systems Science and Systems Engineering, Volume 13, Issue 2, pp 129-157.*

- Sarolee, K.M. (2001), "Statistical Analysis of landslide susceptibility at Yonging, Korea, *Environmental Geology*, 40, pp. 1095-1113.
- Sidle, R.C., and Ochiai, H., (2006), *Landslides: Processes, Prediction, and Landuse*, Water Resource Monograph: 18, AGU books, ISSN: 0170-9600
- Tuzkaya, Gulfem, Onut, Semih, Tuzkaya, Umut R., Gulsun, Bahadır (2008), An analytic network process approach for locating undesirable facilities: An example from Istanbul, Turkey, *Environmental Management*, Volume 88, Issue 4, pp 970–983.
- Wolfslehner, Bernhard, Vacik, Harald, Lexer, Manfred J. (2005), Application of the analytic network process in multi-criteria analysis of sustainable forest management, Volume 207, Issues 1–2, pp 157–170.
- Wu Che-I, Yang Kung Hsu-, Hua Chen Chi-, Chia Kuo Li-(2014) An intelligent slope disaster prediction and monitoring system based on WSN and ANP Expert Systems with Applications, Volume 41, Issue 10, August 2014, Pages 4554-4562
- Yalcin., A., (2008), GIS-based landslidesusceptibility mapping usinganalytical hierarchy Process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Journal of Catena*, No: 72; Pp. 1 – 12.