

بررسی پتانسیل وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز رودخانه میمه در استان ایلام به روش تحلیل شبکه (ANP)

شهرام روستایی^{۱*}

داود مختاری^۲

زهرا حسینی^۳

مهدی اطمانی حقویران^۴

چکیده

مدیریت بلایای طبیعی نیازمند اطلاعات مکانی، جهت آمادگی در برابر خطرات و کاهش روند آنها می‌باشد. در این زمینه ارزیابی پتانسیل وقوع زمین لغزش در منطقه‌ای که به دلیل وضعیت جغرافیایی و ساخت و سازهای انسانی مستعد لغزش می‌باشد ضروری می‌نماید. منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز میمه در جنوب استان ایلام، شهرستان دهلران، بخش زرین‌آباد در موقعیت جغرافیایی بین $46^{\circ} 58'$ تا $47^{\circ} 2'$ طول شرقی و $33^{\circ} 1'$ تا $33^{\circ} 19'$ عرض شمالی قرار دارد. حوضه آبریز میمه نیز به دلیل داشتن وضعیت خاص لیتولوژیکی، اقلیمی و کاربری اراضی، ناهمواری‌های جوان با اختلاف ارتفاع زیاد و دامنه‌های پر شیب از حساسیت برخوردار است. از طرفی امروزه دخالت انسان در این حوضه افزایش یافته است؛ لذا مطالعات بیشتر در منطقه ضروری به نظر می‌رسد. در بررسی وقوع زمین لغزش در محدوده حوضه آبریز رودخانه میمه، روش تحلیل شبکه (ANP) مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش از چند معیار (شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری زمین، بارندگی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، طبقات ارتفاعی) برای تعیین مناطق مستعد استفاده شده است. روش کار بر مبنای تجزیه، تحلیل معیارها در محیط نرم‌افزار Super Decision و سپس همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار ARCGIS و تلفیق مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) و شاخص همپوشانی است. نتایج نشان داد که فرآیند تحلیل شبکه با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها $81/69$ درصد تناسب دارد همچنین تفسیرضرایب نشان داد که معیارهای، بارندگی، لیتولوژی، طبقات ارتفاعی نقش مهمی در زمین لغزش‌های منطقه دارند.

واژگان کلیدی: حوضه آبریز میمه؛ فرایند تحلیل شبکه (ANP)؛ پهنه‌بندی؛ زمین لغزش

مقدمه

Email:roostaei@tabrizu.ac.ir

۱- استاد گروه ژئومورفولوژی، ایران، تبریز، دانشگاه تبریز (نویسنده مسیول).

۲- دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز.

۳- کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی گرایش هیدرو ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی دانشگاه تبریز.

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی گرایش هیدرو ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی دانشگاه تبریز.

از جمله حساس‌ترین و مهم‌ترین مسایل در پروژه‌های عمرانی، همچون انتخاب مسیر احداث بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی و فرعی، کوهستانی، انتخاب محل احداث سد، تونل‌های عبور و مرور، توسعه جنگل‌ها و هرگونه توسعه معادن در گرو مطالعه شیب‌های طبیعی منطقه است. عدم توجه به این مسأله خسارات جبران‌ناپذیری را می‌تواند به دنبال داشته باشد (فتاحی، ۱۳۷۶: ۳۹۲). مخاطرات به عنوان فرایندها و حالاتی تعریف می‌شوند که پتانسیل ایجاد خطرات، خسارات و تأثیرات زیان‌آور دیگر را برای بشر و محیط پیرامونش دارند. مخاطرات می‌توانند باعث خطرات جانی و مالی، شکست‌های اجتماعی و یا اقتصادی و یا محیطی گردند. یکی از این خطرات طبیعی زمین لغزش‌ها هستند که، تقریباً به انواع گوناگون حرکات توده‌ای روی دامنه‌ی شامل ریزش سنگ، افتان‌ها، جریان مواد و... گفته می‌شوند (کرودن^۱، ۱۹۹۱). در نواحی استوایی معین که بیش از ۶ ماه فصل بارندگی وجود دارد، لیتولوژی، ویژگی‌های مختلف خاک و پوشش زمین، همچنین برجستگی‌های توپوگرافیکی گوناگون به آسانی می‌توانند سبب وقوع زمین لغزش گردند. داده‌های آماری از آژانس بین‌المللی اندونزی برای مدیریت خطر (BNPB)^۲ نشان داد که در سال ۲۰۰۸ حدود ۱۱٪ از مجموعه فاجعه‌های در اندونزی زمین لغزش‌هایی بودند که سبب خسارات بسیار زیادی شدند (بی ان پی بی^۳، ۲۰۰۸). هادوموکو و همکاران^۴ (۲۰۱۲)، بیان نمودند که در طی ۲۰۰۵-۱۹۹۰ حدود ۱۵۰۸ زمین لغزش در جزیره جاوا رویداد که یکی از جزایر متراکم و کوهستانی اندونزی می‌باشد. این زمین لغزش‌ها سبب به وجود آمدن خسارات زیادی به این منطقه شد. فل و همکاران^۵ (۲۰۱۲)، ارزیابی حساسیت زمین لغزش‌ها در واقع ارزیابی کیفی و یا کمی از توزیع مکانی زمین لغزش‌هایی است که به‌طور بالقوه در یک ناحیه رخ می‌دهد. این فعالیت شامل تجزیه و تحلیل متغیرهای محیطی یا عواملی است که منجر به این رویدادها در منطقه می‌شود. ایران نیز با توجه به توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت‌های زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسایی و اقلیمی عمده، شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از این حرکات دامنه‌ای دارد. اما متأسفانه تا به امروز تمام مطالعات مقطعی و بدون برنامه‌ریزی دقیق و کارآمد از سوی مسئولان ذی‌ربط انجام پذیرفته است. مطالعه و پهنه‌بندی مناطق مستعد به ناپایداری با یک دید کاملاً عملی لازم و ضروری است. طی سال‌های متمادی مطالعات زیادی در زمینه پهنه‌بندی خطر ناپایداری‌های دامنه‌ای در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. منطقه مورد مطالعه نیز به دلیل داشتن وضعیت خاص لیتولوژیکی، اقلیمی و کاربری اراضی، ناهمواری‌های جوان با اختلاف ارتفاع زیاد و دامنه‌های پر شیب از حساسیت برخوردار است. از طرفی امروزه

1- Cruden

3- BNPB

4-Hadmoko et al.,

5- Fell et al.,

دخالت انسان در این حوضه افزایش یافته است و پروژه‌هایی از جمله ساخت سد میمه و کانال‌های آبیاری و همچنین پروژه جاده‌سازی در دست اجرا است. لذا مطالعات بیشتر در منطقه ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به خطراتی که این مخاطرات در پی دارند، مطالعه در مورد علت وقوع آنها و همچنین مکان‌یابی مناطقی که این مخاطرات در آنجا رخ می‌دهد یا احتمال وقوع آنها وجود دارد ضروری به نظر می‌رسد که در این رابطه مطالعات مختلفی صورت گرفته است. روستایی (۱۳۸۳)، در یک بررسی، علل وقوع زمین لغزش در روستای نصیرآباد ورزقان (استان آذربایجان شرقی) را مطالعه کرده است. در این تحقیق داده‌های زمین‌شناسی و عوامل ژئومورفولوژیکی مؤثر در ناپایداری این دامنه‌ها، مورد بررسی قرار گرفته و بر اساس داده‌های مورفومتری تهیه نقشه زمین لغزش و شناخت ویژگی‌های کمی آن صورت گرفته است؛ که با تحلیل مکانیسم‌های فعال در حرکات توده‌ای مواد طرح‌هایی جهت کنترل آن ارائه شده است. روستایی و همکاران (۱۳۸۵)، به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در بخش مرکزی حوضه زاب (شهرستان سردشت) به روش آنبالاگان^۱ پرداخته‌اند؛ روش تحقیق این بررسی شامل تشخیص و طبقه‌بندی ناپایداری‌ها در روی زمین و همچنین علل به وقوع پیوستن آنهاست. در مرحله بعد نقشه‌های عام و نقشه پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ای ترسیم شده است. روستایی و همکاران (۱۳۸۵)، ناپایداری دامنه‌ای در بخش مرکزی حوضه زاب را با استفاده از تحلیل سلولی^۱ بررسی کرده‌اند. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که مناطق ناپایدار بر شیب‌های تند و دامنه‌های با شکل مقعر بر روی آبرفت‌ها و مواد پیر شده نامقاوم در جوار گسل اصلی پیرانشهر بیشتر در کوهستان غربی و دامنه‌های پشت به آفتاب با پوشش غیر جنگلی گسترش دارند. مناطق پایدار بر اساس نقشه خطر ناپایداری در شیب‌های کم و سرزمین‌های هموار با پوشش جنگلی و بیشه‌زار در دامنه‌های منظم کم شیب با جنس مقاوم از جمله آهک بلوری و مرمری هستند. ملاآقاچانزاده (۱۳۸۵)، در یک تحقیق به پهنه بندی و ارزیابی مدل حرکت‌های توده‌ای در حوضه زارم رود ساری با استفاده از GIS و سنجش از دور پرداخته است. در این تحقیق پس از بررسی عوامل مؤثر و ایجاد نقشه‌های عوامل مؤثر با استفاده از AHP و الحاق آن به نرم‌افزار ArcGIS ضمن معرفی لایه‌های مختلف تأثیرگذار در فرایند کلاسه‌بندی عوامل با میزان وزن‌دهی به هر کدام از این عوامل و در نهایت نقشه پهنه‌بندی لغزش تهیه شده است. آذرمی عربشاه و همکاران (۱۳۹۰)، ناپایداری‌های دامنه‌های مشرف به مخزن سد و نیار را بعد از آگیری سد مورد بررسی قرار دادند، برای این منظور نقشه زمین‌شناسی مهندسی محدوده سد تهیه شده و خصوصیات رخنمون‌های سنگی و

آبرفتی براساس طبقه‌بندی GIS و بر اساس اطلاعات گمانه‌های اکتشافی برآورد گردیده است. سپس پایداری تک‌تک دامنه‌های مشرف به مخزن سد با استفاده از نرم‌افزار Slide 5.0 در شرایط بعد از آگیری و وقوع

1- Anbalagan

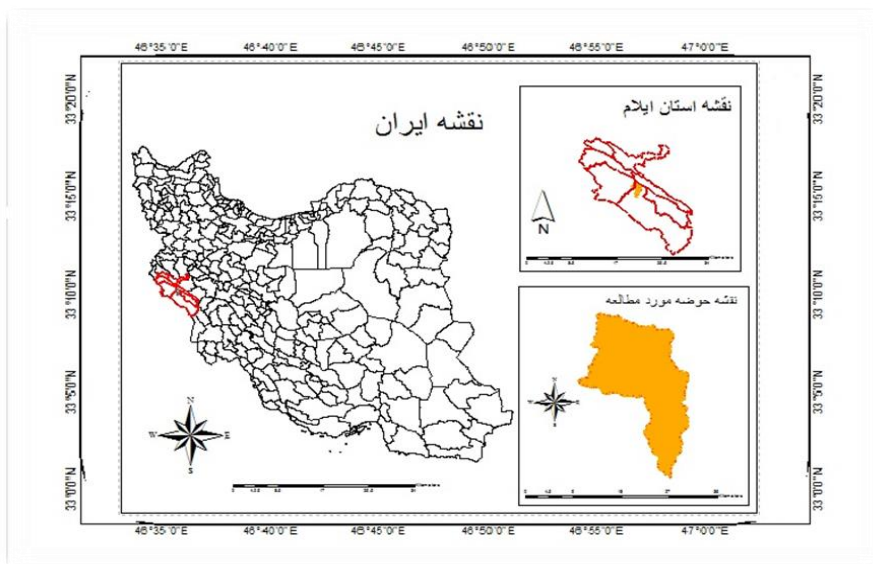
زمین‌لرزه‌های مینا طراحی، ارزیابی گردیده و بر مبنای آن نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش دامنه‌های پیرامون مخزن سد تهیه شده است. سارولی^۲ (۲۰۰۱) به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در کشور کره پرداخته است. در این بررسی با ترکیب سه مدل نسبت فراوانی (FR)، رگرسیون خطی (LR0) و شبکه عصبی (ANN) همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASTER و سیستم اطلاعات جغرافیایی به پهنه‌بندی زمین لغزش اقدام شده است. چاو و همکاران^۳ (۲۰۰۲)، به تحلیل خطر زمین لغزش در شهر هنگ‌کنگ با استفاده از GIS به پهنه‌بندی زمین لغزش‌های صورت گرفته پرداختند. بدین منظور به تحلیل سیستماتیک خطر زمین لغزش بر مبنای ساختار زمین لغزش‌های قدیمی و GIS با به‌کارگیری داده‌های تاریخی زمین لغزش در هنگ‌کنگ، منطبق با زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، جمعیت و شرایط آب و هوایی منطقه و داده‌های بارندگی پرداختند. نهایتاً نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را برای شهر مذکور با استفاده از داده‌های تاریخی تهیه نمودند. کامپوس^۴ و همکاران (۲۰۰۸)، با تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش بر پایه GIS در کشمیر، بعد از بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش و همچنین زلزله به‌وجود آمده در ۲۰۰۵ به این نتیجه رسیدند که، در این منطقه عامل لیتولوژی مهم‌ترین عامل مؤثر بر زمین لغزش بوده و بعد از آن به ترتیب عامل گسل، رودخانه و جاده‌ها مؤثر بوده است. سوگانتی^۵ و سرنیواسان^۶ (۲۰۱۰)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Cartosat1 و DEM ایجاد شده از تصاویر ماهواره مذکور به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش پرداختند و نهایتاً نقشه حساسیت زمین لغزش جهت تعیین پتانسیل توزیع فضای زمین لغزش در مناطق مستعد تهیه گردید. یالچین^۷ (۲۰۰۸)، در ناحیه آردیس ترکیه پهنه‌بندی مناطق مستعد زمین لغزش را با استفاده از شاخص آماری (WI) و عامل وزنی (WF) انجام داد سنگ‌شناسی، هوازدگی، پوشش زمین و شیب به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در محدوده مورد بررسی تعیین شدند. ساها و همکاران^۸ (۲۰۰۵)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را برای مناطق کوهستانی هیمالایا با استفاده از روش GIS انجام دادند. مالت و همکاران^۱ (۲۰۰۵) به بررسی شرایط و جریان حرکت مواد جامد در ارتباط با ترکیبات پیچیده جریان‌های زمین پرداخته‌اند. ساعتی (۲۰۰۵)، که طراح این روش است، مقاله‌های بسیاری را در زمینه سیستم‌های اقتصادی و پروژه منتشر کرده است. تازکایا و دیگران (۲۰۰۸)، در مقاله‌ای، از روش تحلیل شبکه برای مکان‌یابی مطلوب صنایع و تأسیسات استفاده کردند. اگر چه در زمینه لغزش با روش‌های مختلف مطالعات زیادی صورت گرفته است ولی در رابطه با

1- Cellular Analyse
 2- Bsaroulie
 3- Chau et al.,
 3- Compoce & Secavia
 5- Suganthi
 6- Srinivasan
 7- Yalcin
 8- saha & al

روش تحلیل شبکه (ANP) در ایران مطالعات زیادی صورت نگرفته است و به طور خلاصه می‌توان به مطالعات مقیمی و همکاران (۱۳۸۹) که به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) که در یک پژوهش به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) پرداختند. در رابطه با منطقه مورد مطالعه هم مطالعات محدودی صورت گرفته است از جمله: حیدری (۱۳۸۳)، عوامل مؤثر بر فرسایش و رسوبگذاری را در حوضه رودخانه میمه با استفاده از مدل Mpsiac بررسی کرد. آزادنی و همکاران (۱۳۸۸)، به مقایسه برخی از روابط تجربی در برآورد زمان تمرکز در حوضه آبخیز میمه پرداخته‌اند. هدف از این تحقیق انتخاب بهترین روش از روش‌های برآورد زمان تمرکز در این حوضه بود.

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز میمه در جنوب استان ایلام، شهرستان دهلران، بخش زرین‌آباد در موقعیت جغرافیایی بین $5^{\circ} 58' 46''$ تا $0^{\circ} 2' 47''$ طول شرقی و $30^{\circ} 1' 33''$ تا $33^{\circ} 19' 00''$ عرض شمالی قرار دارد. حدود حوضه از جنوب کوه کبیرکوه، شروع شده و تا مرز ایران و عراق ادامه یافته و سپس وارد عراق می‌شود، ولی قسمت مورد مطالعه به مساحت $313/67$ کیلومتر مربع و محیط $99149/17$ متر است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این مقاله برای رسیدن به هدف تحقیق از: ۵۳۵۶

نقشه‌های توپوگرافی رقومی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، برگ‌های شماره ۵۳۵۶I (کلم بالا) و ۵۳۵۶II (میمه)؛ نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ به شماره برگ 208 II E، کوه ورزین؛ استفاده شده است و برای تهیه نقشه‌های پایه و موضوعی مانند (شیب و جهت شیب، پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه، بارندگی و... سایر نقشه‌ها برحسب نیاز) با استفاده از نرم‌افزارهای ARCGIS و ENVI؛ تصویر ماهواره‌ای لندست ۱۹۹۸سنجنده TM به شماره مسیر ۱۶۷ و ردیف ۳۷؛ DEM منطقه مورد مطالعه ۳۰*۳۰ متری (DEM-ASTER-30) بهره‌گیری شده است. این تحقیق از نظر نوع جز تحقیقات کاربردی - تجربی و از نظر روش جز تحقیقات توصیفی - تحلیلی است. روش کار بر مبنای تجزیه، تحلیل معیارها در محیط نرم‌افزار Super Decision و سپس همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار ARCGIS و تلفیق مدل‌های وزن‌دهی معیاراز جمله مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) و شاخص همپوشانی است. برای شناسایی معیارهای مناسب از نظرات متخصصان زمین‌شناسی و کارشناسان منابع طبیعی استان ایلام و شهرستان دهلران بهره‌گیری شد و حدود ۸ معیار انتخاب و لایه‌های اطلاعاتی مربوط به معیارهای منتخب تهیه شد. جهت بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای هشت فاکتور شیب، جهت دامنه، لیتولوژی، کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و بارندگی (به منظور روشن شدن وضعیت بارش آمار و اطلاعات ایستگاه‌های موجود در اطراف حوضه در طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۰ استفاده شده است)، به عنوان عوامل و فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه تشخیص داده شدند. لایه‌های مربوط به معیارها در محیط ARCGIS و ENVI تهیه شدند.

مراحل اصلی مدل ANP

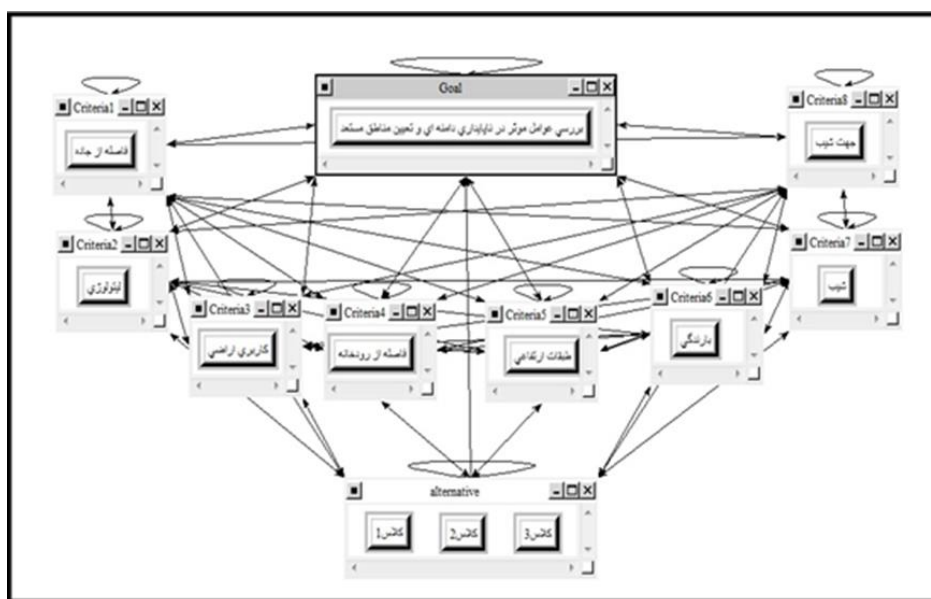
ANP از چهار مرحله اصلی تشکیل شده است:

مرحله اول: ساختن مدل و سازماندهی مساله؛ مساله باید به صورت شفاهی بیان و به صورت یک سیستم منطقی یک شبکه تجزیه شود.

مرحله دوم: ماتریس‌های مقایسه زوجی و بردارهای اولویت می‌باشد. عناصر زوج‌های تصمیم‌گیری در هر دسته با توجه به اهمیت آنها در جهت معیارهای کنترل آنها باهم مقایسه می‌شوند گروه‌ها خودشان نیز به صورت زوجی با توجه به تأثیرگذاری آنها در هدف با هم مقایسه می‌شوند.

مرحله سوم: تشکیل ابرماتریس (ماتریس تصمیم). برای به دست آوردن اولویت‌بندی کلی در یک سیستم با تأثیرات وابسته، بردارهای اولویت محلی وارد ستون‌های مناسب یک ماتریس می‌گردند. در حقیقت یک ماتریس تصمیم یک ماتریس تقسیم شده به اجزای کوچک‌تر است.

مرحله چهارم: محاسبه بردار وزن نهایی. اگر ابر ماتریس به دست آمده در گام سوم کل شبکه را پوشش دهد وزن گزینه‌ها و عناصر خوشه‌های مختلف را می‌توان در ستون‌های مربوطه در ابرماتریس حدی یافت و اگر ابرماتریس کل شبکه را پوشش نداده و فقط ارتباطات داخلی بین خوشه‌ها را شامل شود، مشابه این محاسبات می‌بایست ادامه یابد تا بردار اولویت نهایی گزینه‌ها استخراج گردد. در این تحقیق یک مدل شبکه‌ای سه لایه متشکل از لایه هدف، لایه معیارها و لایه گزینه‌ها با توجه به مساله تحقیق طراحی و سازماندهی شد. طراحی شبکه مورد نظر از چندین مرحله تشکیل شده بود، مرحله اول، هدف و موضوع مورد مطالعه بود. یعنی باید یک موضوع و هدفی تعیین می‌شد تا فرایند ارزش‌یابی و انتخاب بهترین گزینه برای این هدف صورت گیرد، بررسی زمین لغزش‌ها به‌عنوان هدف این مطالعه برای لایه نخست طراحی گردید. مرحله دوم، وجود معیارها و شاخص‌هایی بود که برای ارزش‌یابی موضوع انتخاب می‌گردید معیارهای تحقیق نیز، فاکتورهای تأثیرگذار در وقوع زمین لغزش‌های منطقه بودند که در خوشه‌های جداگانه برای لایه دوم طراحی شدند. کلاس‌ها یا گزینه‌های مورد نظر براساس طبقات خطر در یک خوشه جداگانه در لایه سوم قرار گرفتند. پس از طراحی مدل، ایجاد ارتباط بین عناصر و خوشه‌ها انجام گرفت لازم به ذکر است که این فرآیند در محیط نرم‌افزار Superd Decision انجام گرفت. شکل (۱۳) ساختار شبکه‌ای مدل را نشان می‌دهد.

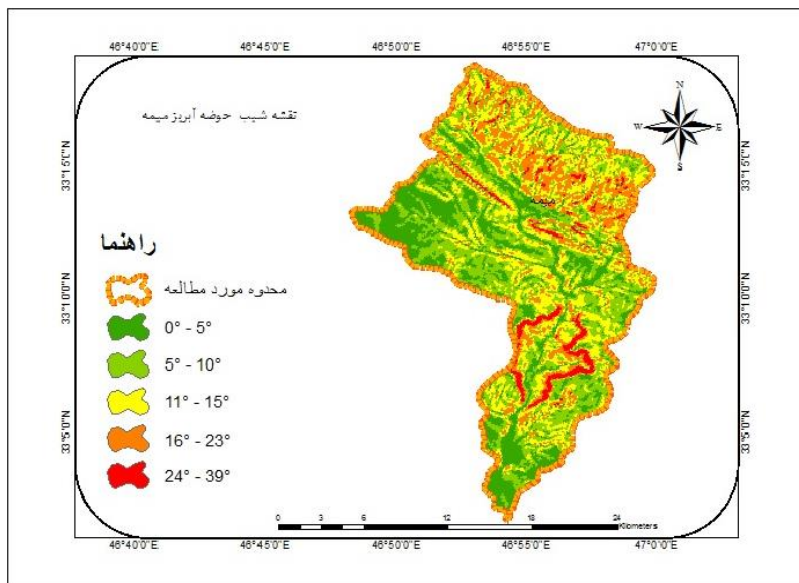


شکل (۲) ساختار شبکه‌ای مدل

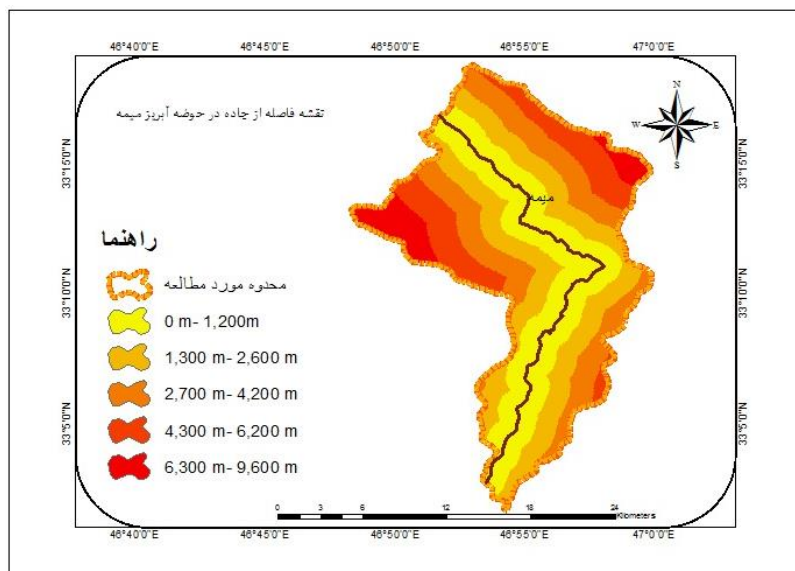
بحث و نتایج

نقشه شیب منطقه با استفاده از تابع Topographic Modeling نرم‌افزار ENVI و مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه، برحسب درجه، تهیه و سپس با استفاده از تابع Reclassify نرم‌افزار ArcGIS کلاس‌بندی شد.

طبقات شیب در داخل ۵ کلاس با توجه به درجاتی که نشان دهنده اشکال زمین هستند طبقه بندی گردیدند (شکل ۳ و جدول ۱).



شکل (۳) نقشه شیب حوضه آبریز میمه



شکل (۴) نقشه فاصله از جاده در حوضه آبریز میمه

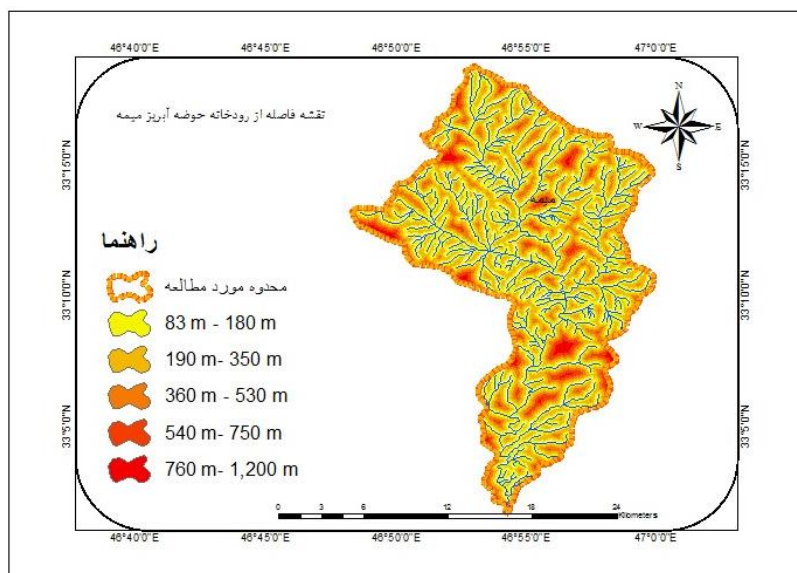
جدول (۱) اطلاعات مربوط به شیب دامنه‌های محدوده مورد مطالعه و مساحت تحت اشغال آنها

شیب دامنه برحسب درجه	مساحت هر طبقه (کیلومتر مربع)	درصد مساحت هر طبقه
۰ - ۵	۷۷/۵۴	۲۴/۷۱
۵ - ۱۰	۹۸/۴۷	۳۱/۳۸

۲۶/۰۶	۸۱/۷۷	۱۰ - ۱۵
۱۴/۲۳	۴۴/۶۶	۱۵ - ۲۳
۳/۵۸	۱۱/۲۶	۲۳ - ۳۹

در منطقه مورد مطالعه جاده اصلی، از سمت شمال غربی به شرق سپس جنوب غربی گسترش یافته است. برای کلاس بندی شبکه جاده‌ای از تابع تحلیلی، فاصله اقلیدسی^۱ استفاده شد (شکل ۴).

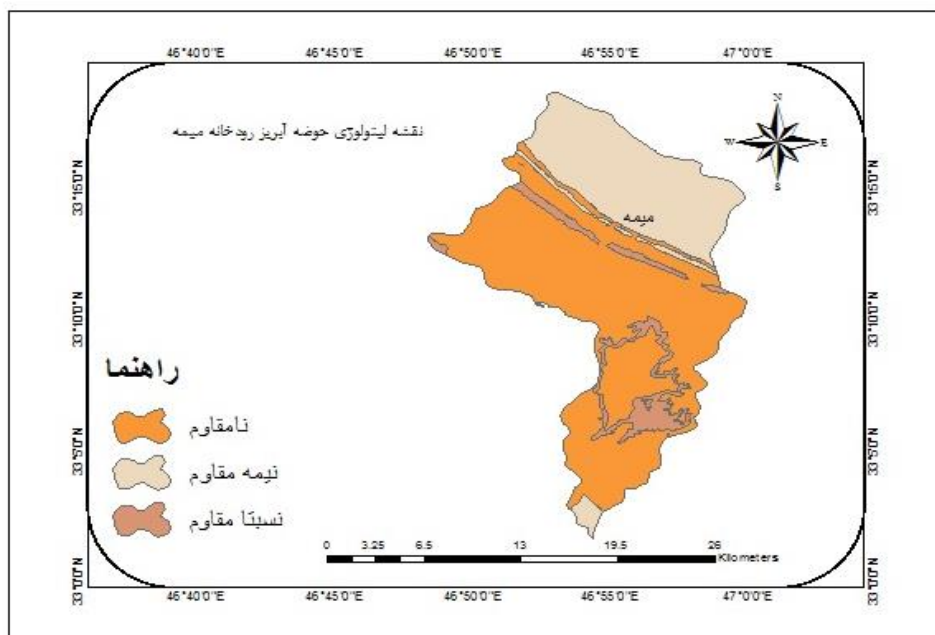
در حوضه مورد مطالعه به نظر می‌رسد که رودخانه با حرکت در جهت شیب منطقه دره خود را در میان سنگ‌های نرم‌تر حفر کرده است، به عبارتی جنس سازنده‌ها نقش تعیین کننده‌ای در ایجاد مسیر حرکت رودخانه‌ای بازی کرده‌اند. شکل (۵) تجزیه و تحلیل‌های فاصله برای ایجاد ارزش‌های پیوسته را در حوضه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل (۵) نقشه فاصله از رودخانه حوضه آبریز میمه

برای بررسی تأثیر لیتولوژی در ناحیه مورد مطالعه در وقوع پدیده لغزش در محدوده مطالعاتی مورد بررسی از طریق داده‌های نقشه زمین شناسی پهنه‌های مقاومت سنگ‌ها تفکیک و مساحی و پس از رقومی شدن داده‌ها ۳ کلاس مقاومت به دست آمد (شکل ۶ و ۷ و جدول ۲ و ۳).

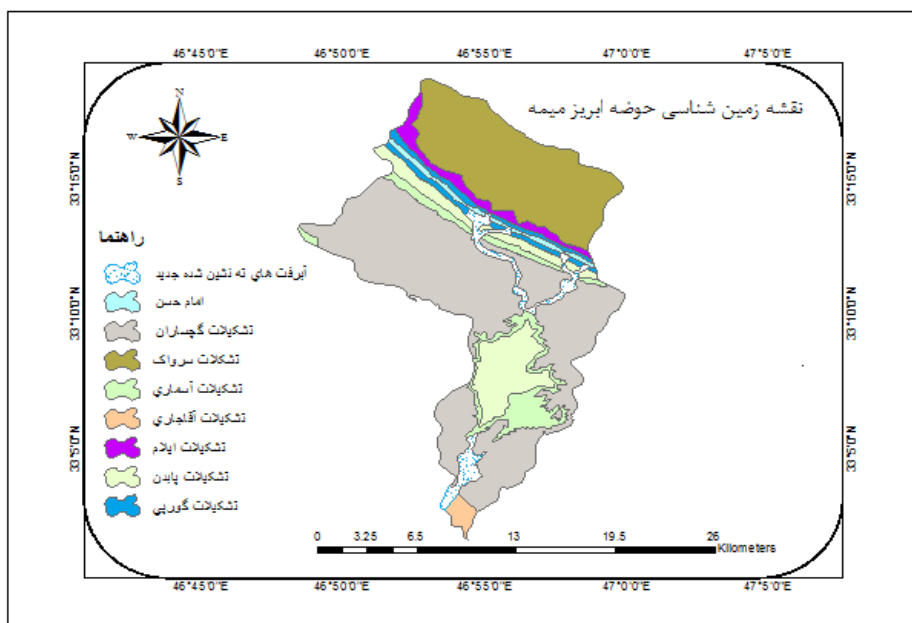
1- Euclidosi Distance



شکل (۶) نقشه لیتولوژی حوضه آبریز رودخانه میمه

جدول (۲) اطلاعات مربوط به مقاومت سنگ‌ها و مساحت تحت اشغال آنها

مقاومت سنگ‌ها	مساحت هر کلاس (کیلومتر مربع)	درصد مساحت هر طبقه
نامقاوم	۱۹۳/۹۵	۶۱/۵۵
نیمه مقاوم	۹۳/۷۵	۲۹/۸۶
نسبتاً مقاوم	۲۶/۹۵	۸/۵۸

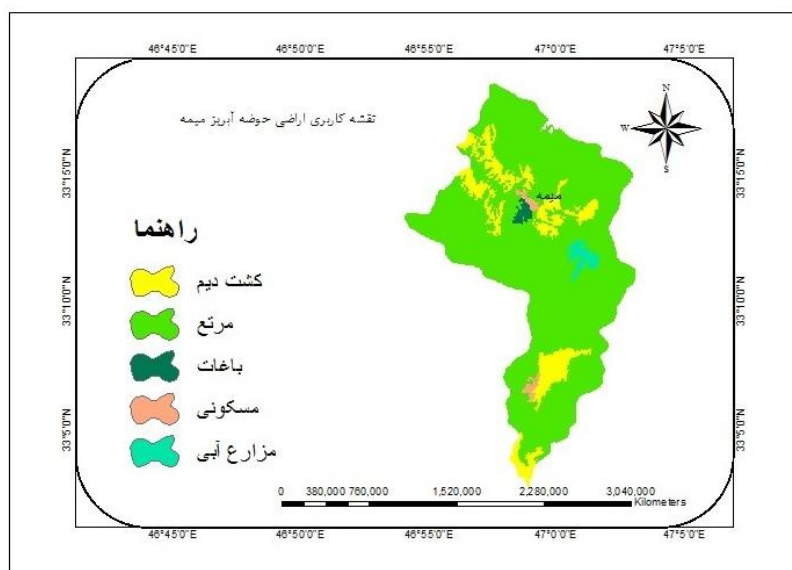


شکل (۷) نقشه زمین‌شناسی محدوده حوضه آبریز رودخانه میمه

جدول (۳) سازندهای موجود در منطقه مورد مطالعه و مشخصات آنها

سازند	سن (دوره یا اشکوب)	سنگ شناسی
سرواک	سنوماین - نوروین	آهک ضخیم لایه تا توده‌ای با بافت خمیری شکل
ایلام	سانتوین - کامپاین	در قاعده آهک‌های دانه‌ای و سپس آهک نازک لایه تا متوسط لایه با بافت دانه شکر
گورپی	کامپاین - ماستریشتین	آهک‌های مارنی و شیل‌های عموماً خاکستری تیره
پابده	پالیوسن - ایوسن	در قاعده شیل‌های آهکی و آهک فسیل‌دار و سپس مارن و آهک مارنی در بالا
آسماری	الیگوسن - میوسن	سنگ آهک ضخیم لایه تا توده‌ای
بختیاری	پلیوسن بالایی	کنگلوмера و ماسه سنگ آهکی
گچساران	میوسن میانی	سنگ گچ و سنگ نمک و آندریت و مارنهای الوان - آهک و شیل بیتومین‌دار
امام حسن	کامپاین - ماستریشتین	آهک ضخیم لایه و فسیل‌دار
آقا جاری	پلیوسن	سنگ آهک و مارن‌های گچ‌دار و سیلت استون

بعد از تهیه نقشه‌ی زمین‌شناسی و شناسایی ویژگی‌های سنگ‌شناسی محدوده مورد مطالعه نوع کاربری مشخص و نقشه‌ی کاربری منطقه تهیه گردید (شکل ۸ و جدول ۴).

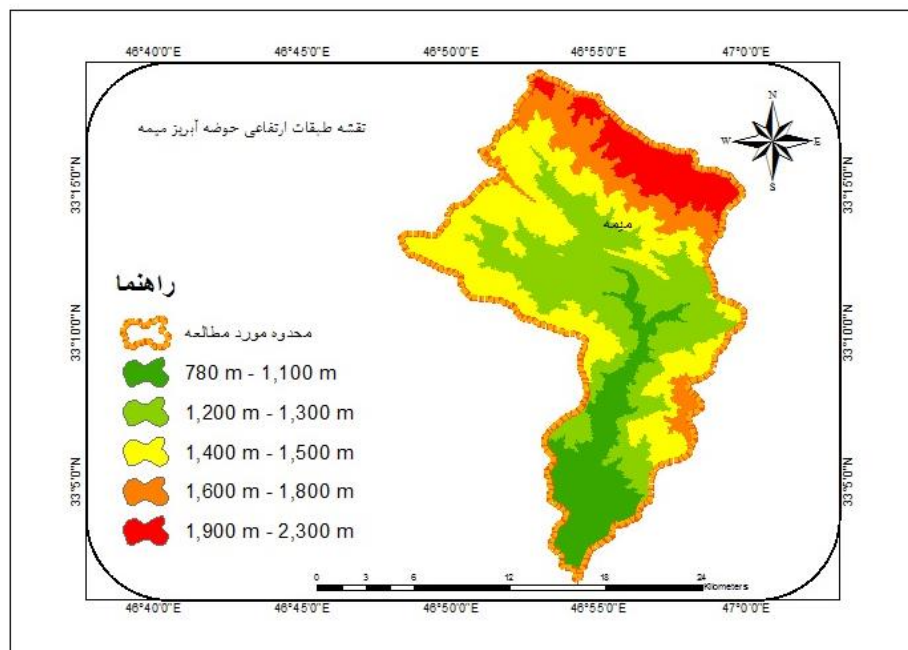


شکل (۸) نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز میمه

جدول (۴) اطلاعات مربوط به کاربری اراضی و مساحت تحت اشغال آنها

کاربری اراضی	مساحت هر کلاس (کیلومتر مربع)	درصد مساحت هر طبقه
مسکونی	۴/۹۶	۱/۵۸
باغات	۵/۲۴	۱/۶۶
کشت دیم	۳۳/۹۷	۱۰/۸۲
مزارع آبی	۶/۱۶	۱/۹۶
مراتع	۲۶۳/۴۸	۸۳/۹۶

تغییرات ارتفاع در حوضه مورد مطالعه از ۷۸۰ تا ۲۳۰۰ متر است که بیشترین زمین لغزش‌ها در ارتفاع ۱۴۰۰ تا ۲۳۰۰ متر اتفاق افتاده است. شکل (۸) طبقات ارتفاعی در حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد (جدول ۵).

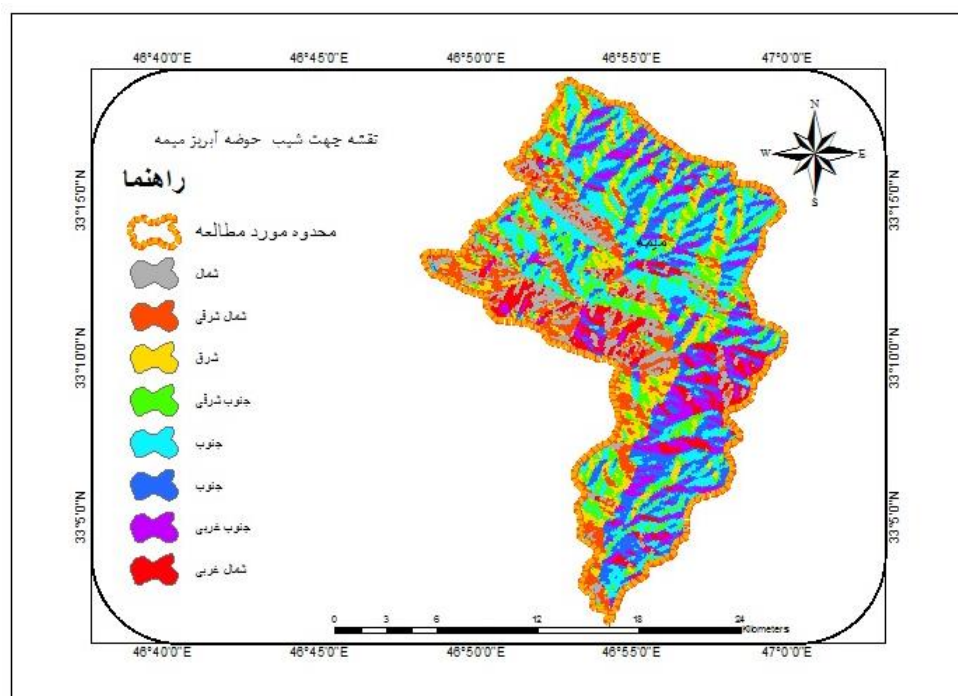


شکل (۹) نقشه طبقات ارتفاعی حوضه آبریز میمه

جدول (۵) اطلاعات مربوط به طبقات ارتفاعی و مساحت تحت اشغال آنها

درصد مساحت	مساحت هر طبقه (کیلومتر مربع)	طبقات ارتفاعی به متر
۱۵/۵۸	۴۸/۹۱	۷۸۰ - ۱۱۰۰
۳۱/۵۷	۹۹/۰۹	۱۱۰۰ - ۱۳۰۰
۳۱/۸۶	۹۹/۸۷	۱۳۰۰ - ۱۵۰۰
۱۰/۹۸	۳۴/۴۷	۱۵۰۰ - ۱۸۰۰
۱۰/۰۳	۳۱/۵	۱۸۰۰ - ۲۳۰۰

نقشه جهت شیب با استفاده از تابع Topographic Modeling نرم افزار ENVI و مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه تهیه و سپس با استفاده از تابع Reclassify نرم افزار ArcGIS به ۸ کلاس شامل ۴ جهت اصلی، ۴ جهت فرعی طبقه بندی شد در منطقه مورد مطالعه جهت شیب غالب، شیب های جنوبی است. شکل (۱۰) نقشه جهت دامنه را در حوضه مورد مطالعه نشان می دهد.

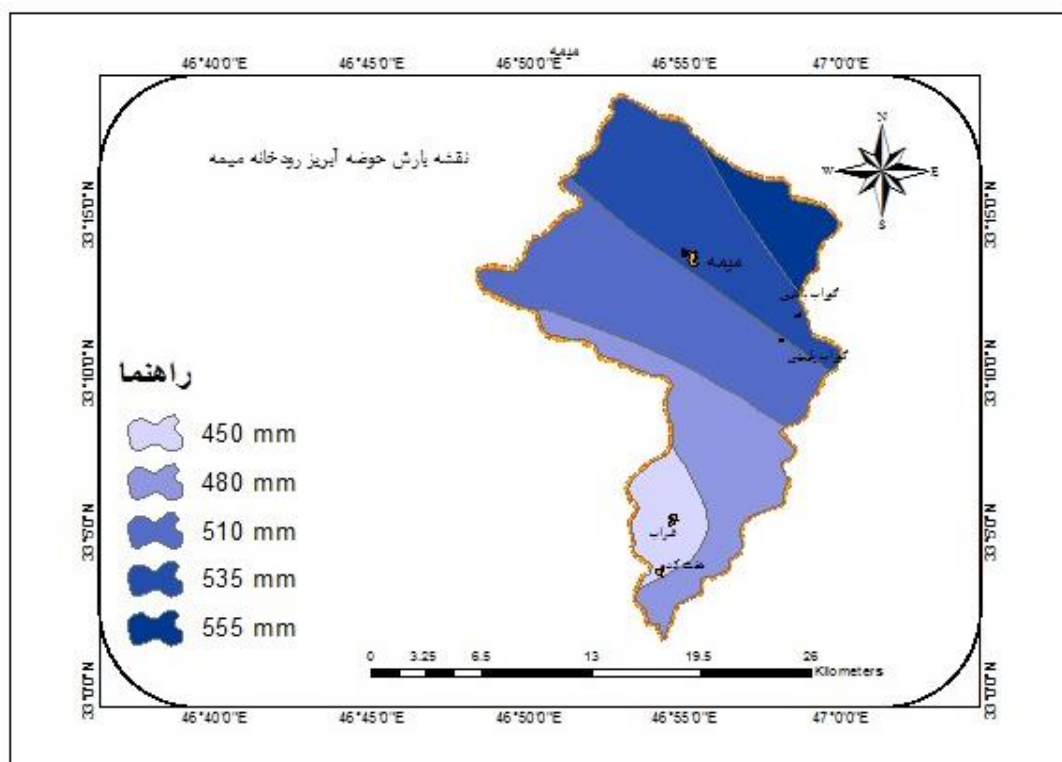


شکل (۱۰) نقشه جهت شیب حوضه آبریز میمه

جدول (۶) موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مورد استفاده

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نوع ایستگاه
ایلام	۴۶/۲۵	۳۳/۳۸	سینوپتیک
ملکشاهی	۴۶/۴۸	۳۳/۲۰	هواشناسی
دهلران	۴۷/۹	۳۲/۴۴	سینوپتیک
گل کل	۴۶/۲۹	۳۳/۲۵	بارن سنج

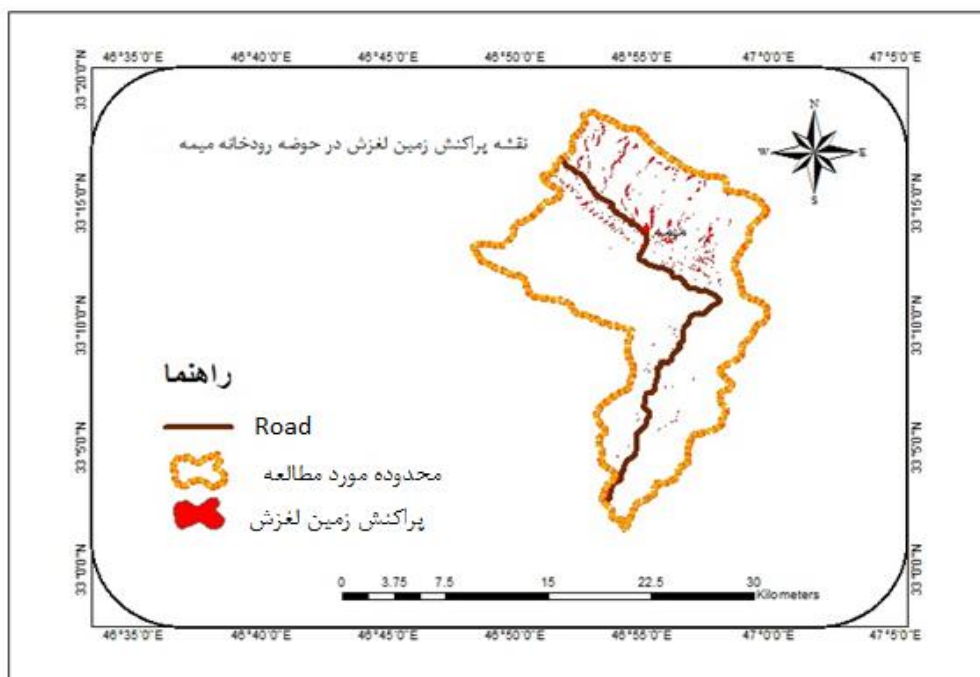
به منظور روشن شدن وضعیت بارش آمار و اطلاعات ایستگاه‌های موجود در اطراف حوضه استفاده شده است. قابل ذکر است در محاسبات اصلی میزان بارش ایستگاه سینوپتیک ایلام مبناء و آمار سایر ایستگاه‌ها برای دقت بیشتر مورد توجه بوده است این امر به این علت انجام شده است که در داخل حوضه هیچگونه ایستگاه هواشناسی وجود ندارد و از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های اطراف برای درک شرایط آب و هوایی استفاده شده است (شکل ۱۱ و جدول ۶).



شکل (۱۱) نقشه بارندگی حوضه آبریز میمه

تهیه‌ی پراکنش زمین لغزش‌های منطقه

معمولاً زمین لغزش‌ها به صورت ناحیه‌ای و یا اشکال نقطه‌ای ظاهر می‌شوند. در صورت وجود، عکس هوایی و یا تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا، زمین لغزش‌ها می‌توانند به صورت مناطق پهنه‌ای بر روی تصاویر شکل بگیرند. در ناحیه مورد مطالعه نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها به صورت پهنه لغزشی براساس تصویر ماهواره‌ای سال ۱۹۹۸ تهیه شد. مساحت پیکسل‌های لغزشی منطقه حدود ۶/۳۱ کیلومترمربع است که حدود ۲/۰۱ درصد مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. لازم به توضیح است که در زمان جمع‌آوری داده‌ها امکان دانلود تصاویر جدید وجود نداشت و تنها تصویر موجود در سایت‌ها تصویر سال ۲۰۰۵ منطقه بود که به دلیل خطای بالا و کیفیت پایین به ناچار از تصویر سال ۱۹۹۸ استفاده شد. شکل (۱۲) پراکنش زمین لغزش‌های منطقه را نشان می‌دهد.



شکل (۱۲) پراکنش زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه

در تحقیق حاضر ابتدا مقایسه زوجی بین خوشه‌ها به سبک پرسشنامه‌ای انجام گرفت که در حدود ۴۴۱ مقایسه به صورت زوجی در پژوهش حاضر انجام گرفت. پس از انجام مقایسه، برای مشاهده نتایج مقایسه‌ها میزان نرخ ناسازگاری آنها بررسی شد. نرخ ناسازگاری قضاوت انجام شده برابر با ۰/۰۹۹۱ بوده و کمتر از ۰/۱ می‌باشد در این روش میزان نرخ ناسازگاری نباید بیشتر از ۰/۱ باشد این میزان از خطا با توجه به تعداد زیاد قضاوت‌ها قابل قبول می‌باشد. برای انجام مقایسه زوجی بین عناصر درون خوشه‌ها مثل روش مقایسه زوجی بین خوشه، نسبت به معیار کنترلی، هر معیار نسبت به معیار دیگر از نظر اهمیت و ارجحیت مورد مقایسه قرار گرفت، حدود ۳۶ مقایسه بین عناصر درون خوشه‌ها انجام یافت، و نرخ ناسازگاری برای هر قضاوت کنترل گردید، میزان نرخ ناسازگاری به دست آمده برای هر مقایسه باید کمتر از ۰/۱ باشد. برای نمونه میزان نرخ ناسازگاری برای قضاوت انجام شده برابر با ۰/۰۱۴۷ بوده و کمتر از ۰/۱ نشان داد که با توجه به تعداد قضاوت‌ها این میزان از نرخ ناسازگاری برای قضاوت‌های انجام شده قابل قبول است.



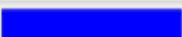
پس از محاسبات طولانی، ضریب و ارزش نهایی هر عنصر و گزینه تعیین شد. برای محاسبه ضریب نهایی، سه نوع ابرماتریس مورد محاسبه قرار گرفت:

۱- ابرماتریس غیر وزنی؛

۲- ابرماتریس وزنی؛

۳- ابرماتریس حدی^۲.

این سه نوع ماتریس در ارتباط با یکدیگر مورد محاسبه و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و نهایتاً نتیجه کلی به دست آمد، به عبارتی دیگر ابر ماتریس وزن دهی نشده از حاصل جمع بردار الویت‌های داخلی (ضرایب اهمیت) عناصر و خوشه‌ها در ابرماتریس اولیه ایجاد شد. سپس ابرماتریس وزن دهی شده از ضرب مقادیر ابرماتریس وزن دهی نشده در ماتریس خوشه‌ای حاصل شده و با نرمالیزه کردن ابرماتریس وزن دهی شده، ابرماتریس به لحاظ ستونی به حالت تصادفی تبدیل گشت و در انتها ابرماتریس محدود با به توان رساندن همه عناصر ابرماتریس موزون محاسبه گردید. پس از انجام این مراحل، وزن نهایی عناصر حاصل شد. این وزن برای اعمال مراحل بعد به کار می‌آید. در گام بعدی اهمیت کلاس‌های معرفی شده به مدل، تعیین شد. شکل (۱۳) نتایج اهمیت کلاس‌ها را بر اساس اهمیت و الویت آنها نشان می‌دهد. همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌گردد کلاس ۱ بیشترین اهمیت را از نظر وقوع زمین لغزش داراست و به ترتیب از میزان اهمیت کلاس‌ها و خطرپذیری کاسته می‌شود به طوری که کلاس ۳ دارای کمترین میزان خطرپذیری و اهمیت می‌باشد.

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
کلاس 1		1.000000	0.400939	0.021742
کلاس 2		0.916807	0.367583	0.019933
کلاس 3		0.577340	0.231478	0.012553

شکل (۱۴) میزان اهمیت کلاس‌ها

همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی و پیاده‌سازی مدل

برای پیاده‌سازی مدل در محدوده مورد مطالعه، پایگاه داده‌های مکانی ایجاد شد. و بر اساس شاخص‌های تعیین شده لایه‌های مختلف اطلاعاتی مورد نیاز در پایگاه داده قرار گرفتند. سپس با توجه به نیازهای اطلاعاتی و تحلیلی، فرآیند مدل‌سازی فضایی روی داده‌ها انجام شد. در مرحله بعد لازم بود تا لایه‌های اطلاعاتی با هم ترکیب شوند، لذا پس از به دست آمدن ضرایب فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه، این ضرایب بر روی لایه‌های اطلاعاتی اعمال گردید. جدول (۷) ضرایب حاصل از فرآیند تحلیل شبکه را نشان می‌دهد.

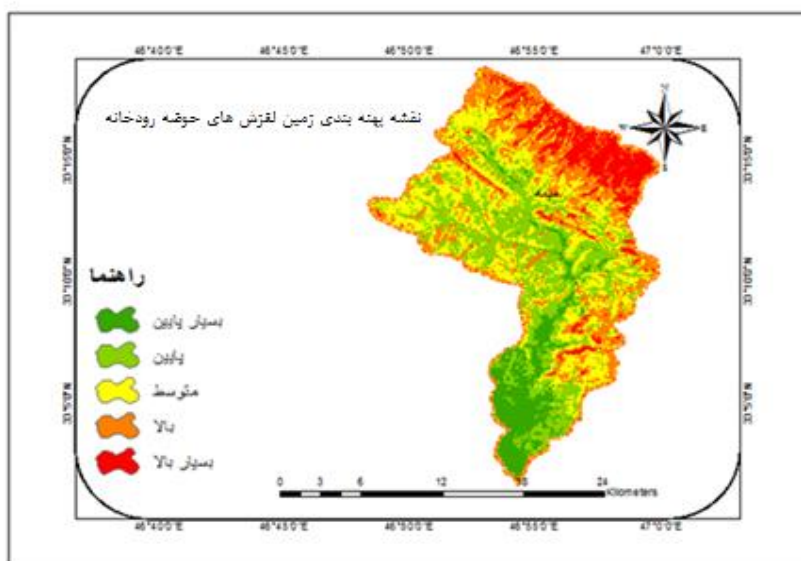
جدول (۷) ضرایب حاصل از فرآیند تحلیل شبکه‌ای

علایم اختصاری برای معیارها	معیارها	ضرایب
X ₁	شیب	۰/۱۱۵۲۵۶
X ₂	جهت شیب	۰/۰۶۷۵۲۰
X ₃	طبقات ارتفاعی	۰/۱۲۱۳۷۳
X ₄	کاربری اراضی	۰/۰۷۴۴۲۰
X ₅	بارندگی	۰/۱۹۸۳۰۵
X ₆	فاصله از رودخانه	۰/۰۶۸۸۹۶
X ₇	لیتولوژی	۰/۱۷۱۱۴۲
X ₈	فاصله از جاده	۰/۰۶۴۵۹۰

باتوجه به ضرایب به دست آمده برای هرکدام از فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین لغزشها در مدل تحلیل شبکه‌ای، مشخص گردید که براساس ضرایب محدود، عامل بارندگی، لیتولوژی، طبقات ارتفاعی دارای بیشترین اهمیت و تأثیر می‌باشند. پس از اعمال ضرایب بر روی فاکتورها اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش براساس مدل تحلیل شبکه‌ای در محیط ArcGIS گردید. نقشه فوق در ۵ کلاس خطر بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین، بسیار پایین طبقه‌بندی شد، شکل (۱۴) نقشه پهنه‌بندی شده به روش تحلیل شبکه (ANP) را نشان می‌دهد. پس از اجرای روش مذکور، مدل پیشنهادی به صورت معادله (۱) ارایه گردید.

معادله (۱)

$$ANP = 0.067520 \times \text{جهت شیب} + 0.115256 \times \text{شیب} + 0.074420 \times \text{کاربری اراضی} + 0.171142 \times \text{لیتولوژی} + 0.121373 \times \text{طبقات ارتفاعی} + 0.064590 \times \text{فاصله از جاده} + 0.068896 \times \text{فاصله از رودخانه} + 0.198305 \times \text{بارندگی} + \text{ارتفاعی}$$



شکل (۱۵) نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه

همانطور که نقشه بالا نشان می‌دهد بیشترین زمین لغزش‌ها در مناطق مرتفع بین ارتفاع ۱۶۰۰ تا ۲۳۰۰ متر که تحت تأثیر پوشش تشکیلات سراواک و ایلام می‌باشد هم‌چنین بیشترین بارندگی را نیز دارا می‌باشد، به وقوع پیوسته است. البته در قسمت‌های پایین دست حوضه هم زمین لغزش قابل مشاهده است. با توجه به کوهستانی بودن و جوان بودن ناهمواری‌های حوضه همانطور که در شکل (۲) نقشه شیب قابل مشاهده است، در نواحی پایین دست هم دامنه‌هایی با شیب زیاد دیده می‌شوند که این دامنه‌ها همانطور که نقشه لیتولوژی شکل (۵) نشان می‌دهد دارای لیتولوژی نامقاوم از جمله تشکیلات گچساران هستند و با توجه به اینکه در سال‌های اخیر فعالیت انسانی در حوضه افزایش یافته است این زمین لغزش‌ها به وقوع پیوسته است، و این مطلب نشان‌دهنده این است که نمی‌توان گفت فاکتورهای دیگر کاملاً بی‌تأثیر هستند و هیچ تأثیری در ناپایداری و زمین لغزش ندارند بلکه تأثیر آنها نسبت به فاکتورهایی که ضرایب بیشتری دارند به مراتب کمتر است و تأثیر کمتری در ایجاد زمین لغزش‌های حوضه مورد مطالعه دارا می‌باشند که ممکن است با گذشت زمان این ضرایب تغییر کنند. پس از انجام پهنه‌بندی درصد پهنه‌های لغزشی در هر کلاس محاسبه شد. نتیجه نشان داد بر اساس نتایج حاصله کلاس خطر بسیار بالا با ۱۰/۲ درصد کمترین میزان از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. جدول (۸) مساحت پهنه‌های لغزشی به درصد را نشان می‌دهد.

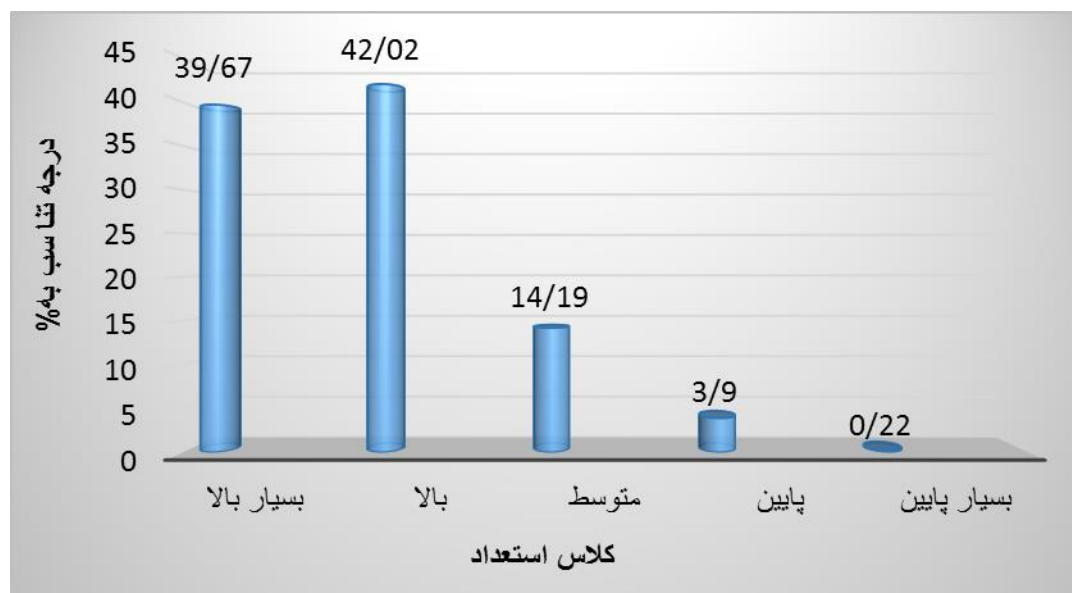
جدول (۸) مساحت پهنه‌های لغزش به درصد

کلاس	مساحت به درصد
بسیار بالا	۱۰/۲
بالا	۲۶/۱۸
متوسط	۱۱/۶۶
پایین	۲۸/۱۶
بسیار پایین	۲۳/۸۰

ارزیابی روش تحلیل شبکه با پراکنش زمین لغزش‌های منطقه

جهت ارزیابی عملکرد تحلیل شبکه (ANP) در تعیین مناطق مستعد خطر زمین لغزش از درجه تناسب بین نقشه پهنه‌بندی (شکل ۱۴) و نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها (شکل ۱۲) استفاده گردید. درجه تناسب عملکرد مدل را به وسیله ارزیابی خطای نسبی و موفقیت نسبی بیان می‌کند که در آن خطای نسبی: «جمع ارزش کلاس‌های مستعد پایین و خیلی پایین»، و مقدار نسبی موفقیت: «جمع ارزش کلاس‌های استعداد بالا و خیلی بالا» می‌باشد که برای این منظور در محیط GIS نقشه پهنه‌بندی و نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها با هم انطباق داده شدند و درصدهای زیر به دست آمدند. همانطور که شکل (۱۵) نشان می‌دهد مقدار خطای نسبی

(حاصل جمع ارزش‌های دو کلاس خطر پایین و بسیار پایین) برای تحلیل شبکه برابر با ۴/۱۲٪ می‌باشد در حالی که مقدار موفقیت نسبی (حاصل جمع ارزش‌های دو کلاس خطر بالا و بسیار بالا) برابر با ۸۱/۶۹٪ است.



شکل (۱۶) درجه تناسب بین نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش با نقشه پراکنش زمین لغزش

نتیجه‌گیری

در بررسی وقوع زمین لغزش در محدوده حوضه آبریز رودخانه میمه، روش تحلیل شبکه مورد استفاده قرار گرفت. از میان هشت فاکتور مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه عامل بارندگی و لیتولوژی بیشترین تأثیر را داشته‌اند. پس از به‌دست آمدن ضرایب فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه، اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش بر اساس مدل تحلیل شبکه‌ای گردید. بدین منظور ابتدا در محیط ArcGIS لایه‌های اطلاعاتی که از قبل تهیه و رقمی شده بودند به فرمت رستری یا شبکه‌ای تبدیل گشته و سپس طبقه‌بندی مجدد شدند و نهایتاً ضرایب به دست آمده از مدل تحلیل شبکه‌ای ANP بر روی لایه‌های اطلاعاتی فوق اعمال گردید و در نهایت نقشه پهنه‌بندی حاصل از مدل تحلیل شبکه‌ای به دست آمد. نقشه فوق در ۵ کلاس خطر بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین، بسیار پایین طبقه‌بندی شد، با توجه به نقشه حاصل از اجرای مدل مشاهده می‌گردد که بیشترین زمین لغزش‌ها در شیب‌های جنوبی و جنوب غربی در ارتفاع ۱۶۰۰ تا ۲۳۰۰ متر به وقوع پیوسته است که تحت تأثیر پوشش تشکیلات سراواک و ایلام می‌باشند و در سال‌های اخیر فعالیت‌های انسانی از جمله کشت دیم در منطقه افزایش داشته است. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده در شکل (۱۳) در بین کلاس‌های خطر، کلاس ۱ بیشترین اهمیت را از نظر وقوع خطر زمین لغزش با توجه به وزن

ایده آل^۱ داراست. این کلاس در نقشه پهنه‌بندی تحت عنوان کلاس خطر بسیار بالا معرفی شد و سپس به ترتیب از میزان اهمیت کلاس‌ها و خطرپذیری آنها کاسته می‌شود به طوری که کلاس ۳ دارای کمترین میزان خطرپذیری و اهمیت می‌باشد و در نقشه پهنه‌بندی عنوان کلاس خطر بسیار پایین را به خود اختصاص داده است. همچنین ارزیابی نتایج مدل از طریق قطع دادن نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها با نقشه پهنه‌بندی به صورت درجه تناسب مدل نشان داد که مقدار خطای نسبی به ترتیب برابر با $4/12\%$ و میزان موفقیت نسبی برابر با $81/69\%$ می‌باشد. با توجه به مطالب ذکر شده، نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که روش تحلیل شبکه از عملکرد مناسب در شناسایی مناطق خطر و پهنه‌بندی آن در منطقه مورد مطالعه برخوردار می‌باشد.

منابع

- آذرمی عربشاه، رباب؛ حافظی مقدس، ناصر؛ اصغری کلجاهی، ابراهیم و خلیل ولیزاده کامران (۱۳۹۰)، بررسی ناپایداری‌های دامنه‌های مشرف به مخزن سد و نیار، هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شهریور ۹۰.
- آزادنی، فرزاد؛ رستمی، نورالدین؛ کمال مقدم، راید (۱۳۸۸)، مقایسه برخی از روابط تجربی در برآورد زمان تمرکز در حوضه آبریز میمه استان ایلام، مجله پژوهش آب ایران، سال سوم، شماره ۴.
- حاله، حسن و حسین کریمیان (۱۳۸۹)، انتخاب مناسب‌ترین ساختار برای بهبود قابلیت اعتماد سیستم با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP). نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، صص: ۲۴-۳۲.
- حیدری، علیرضا (۱۳۸۲)، ارزیابی فرسایش و برآورد رسوب از حوضه رودخانه میمه با استفاده از GIS و مدل Mpsiac، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- حسین‌زاده، م.؛ رحیمی هرآبادی، س.؛ اروجی صمدی، م. (۱۳۹۱)؛ بررسی خطر ریزش سنگ در آزادراه رودبار - رستم‌آباد با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره دوم، صص ۱۳۲-۱۱۷.
- خراسانی، نعمت‌الله؛ جعفری، محمد و سیدمصطفی منصوری (۱۳۸۵)، بررسی آلاینده رودخانه میمه، دوره ۶۰، شماره ۱، نشریه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- خدایی قشلاق، لیلیا (۱۳۹۲)، ارزیابی روش‌های رگرسیون لجستیک و تحلیل شبکه در بررسی پتانسیل وقوع زمین لغزش در محدوده محور و مخزن سد. مطالعه موردی: سد قلعه چای عجشیر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
- روستایی، شهرام (۱۳۸۳)، بررسی وقوع زمین لغزش در روستای نصیرآباد ورزقان (استان آذربایجان شرقی) با استفاده از روش‌های کمی. فصلنامه علوم انسانی، دوره ۸، شماره ۱.
- روستایی، شهرام؛ خضری، سعید؛ و عبدالحمید رجایی (۱۳۸۵)، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در سنجش مرکزی حوضه زاب (شهرستان سردشت)، به‌روش آنبالاگان، دانشگاه تبریز.
- روستایی، شهرام؛ خضری، سعید؛ و عبدالحمید رجایی (۱۳۸۵)، پهنه‌بندی و تحلیل سلولی ناپایداری دامنه‌ای در بخش مرکزی حوضه آبریز رودخانه زاب، نشریه دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز.
- فتاحی، محمدعلی (۱۳۷۶)، بررسی علل لغزش شیب‌های بزرگراه شمال تبریز و آرایه روش‌های بهینه جهت تثبیت، مقالات دومین سمینار زمین لغزه و کاهش خسارت‌های آن، تهران.

- فرجی سبکبار، حسنعلی؛ سلمانی، محمد؛ فریدونی، فاطمه؛ کریمزاده، حسین و حسن رحیمی (۱۳۸۹)، مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله روستایی با استفاده از مدل فرایند شبکه‌ای تحلیل (ANP): مطالعه موردی نواحی روستایی شهرستان قوچان، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۴، شماره ۱، بهار، صص ۱-۲۳.
- محمدی‌لرد، عبدالحمید (۱۳۸۸)، فرآیندهای تحلیل شبکه‌ای در (ANP) و سلسله مراتبی، نشر تهران البرز فردانش، سال ۱۳۸۸.
- ملاآقاچانزاده، سارا (۱۳۸۵)، پهنه‌بندی و ارزیابی مدل حرکت‌های توده‌ای در حوضه زادم رود ساری با استفاده از GIS و سنجش از دور، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- مقیمی، ابراهیم و مجتبی یمانی (۱۳۸۹)، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرایند تحلیل شبکه (ANP)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال اول-شماره ۴.
- Ayalew, L. Yamagishi, H. Marui, H. & Kanno, T. (2005), **Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based Susceptibility Mapping with Comparisons of Results from Two Methods and Verifications**, Engineering Geology 81, PP 432-445.
- BNPB - National Agency for Disaster Tackling and Refugee (2008), **Disaster Statistic 2008**. URL:http://www.bnpb.go.id/website/index.php?option=com_content&task=view&iid=2101, accessed on August 23rd, 2010.
- Chau. K.T. Sze. Y.L .M.K. Fung .W.Y. Wong. E.L. Fong .L.C.P (2004), **Landslide Hazard Analysis for HongKongusing Landslide Inventory and GIS** K.T. Computers & Geosciences 30, (2004). PP 429-443.
- Cruden, D.M. (1991), **A Simple Definition of a Landslide**, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 43 (1), PP 27-29.
- Fell R, Corominas J, Bonnard C, Cascini L, Leroi E, Savage WZ (2010), **Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Planning**, Engineering Geology 102: PP 85-98.
- Hadmoko DS, Lavigne F, Sartohadi J, Hadi P, Winaryo (2012), **Landslide Hazard and Risk Assessment and Their Application in Risk Management and Landuse Planning in Eastern Flank of Menoreh Mountains**, Yogyakarta Province, Indonesia.
- Kamp. U. Growley. B. Khattak. G. & Owen.L (2008), **GIS- based landslid Susceptibility Mapping for the 2005 Kashmir Earthquake Region**, Journal of Geomorphology, 101, PP 631-642.

- Malet, J.P. Laigle, D. Remaître, A. Maquaire, O. (2005), **Triggering Condition and Mobility of Debris Flows Associated to Complex Earth flows**, Geomorphology, Vol. 66, PP 215-235.
- Tuzkaya, G., Tuzkaya, U.R., Lsun, B.G., (2008), **An Analytic Network Process Approach for Locating Undesirable Facilities: An Example from Istanbul, Turkey**, Journal of Environmental Management, No. 88, PP. 970-983.
- Saaty, L.T. (2005), **An Analytical Hierarchy and Network Processes Approach for Themeasurement Springer**.
- Saaty, T.L., (2005), **Making and Validating Complex Decisions With the AHP/ ANP**, Journal of Systems Science and Systems Engineering, Vol. 14, No. 1, PP 1-36.
- Sarolee. K.M. (2001), **Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yonging, Korea**, Environmental Geology, 40, PP 1095-1113.
- Suganthi, S. & Srinivasan, K. (2010), **Digital Elevation Model Generation and its Application in Landislid Studies Using Cartosat-1**, International Journal of Geomatics and Geosciences, Vol. 1, No 1, PP 41-50.
- Saha, A.K. Arora, M.K, Gupta*. R.P, Vird. M.L, E. Csaplovics (2005), **GIS-based Route Planning in Landslide-prone Areas**, International Journal of Geographical Information Science Vol. 19, No. 10, November 2005, PP 1149–1175.
- Yalcin. A. (2008), **GIS-based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchyprocess and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey)**, Comparisons of Results and Confirmations, Catena 72, PP 1–12.