

تحلیل شبکه ای عوامل موثر در ناپایداری های دامنه ای رشته کوه بینالود با رویکرد مدیریت محیطی

(مطالعه موردی: دامنه های شمالی و جنوبی)

محمد رضا نیکجو* - دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.
ریحانه برومند - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.
شهرام روستایی - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.
ابوالقاسم امیراحمدی - دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۰۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۶/۲۴

چکیده

رشته کوه بینالود یک سیستم چین خورده ی تراستی است که در شمال شرق ایران واقع شده و جزو کوهستان های خشک و نیمه خشک کشور محسوب میشود. دامنه های این رشته کوه به دلیل شرایط متفاوت لیتولوژیکی و مقاومت سنگها در برابر هوازدگی و فرسایش، ویژگیهای اقلیمی و تغییرات شدید آنتروپوژنیک از جمله کاربری اراضی، از موقعیت مناسبی جهت وقوع مخاطرات ژئومورفولوژیکی از نوع ناپایداریهای دامنه ای می باشد بطوریکه این ناپایداری ها از رخداد های مکرری هستند که تهدید بلقوه ای در زندگی، تجهیزات، امکانات و راه های مواصلاتی و شبکه حمل و نقل در محدوده مورد نظر به شمار می آیند. روش مورد استفاده در این پژوهش، تحلیلی و سیستمی است و به امکان سنجی خطر وقوع ناپایداریهای دامنه ای می پردازد. در این راستا به منظور شناخت عوامل موثر در بروز ناپایداریهای محدوده مورد مطالعه، ۱۱ متغیر اصلی نظیر، میزان شیب، جهت شیب لایه های زمین شناسی، واحدهای لیتولوژی، فاصله از گسل، کاربری و پوشش زمین، خطوط همبارش و سایر عوامل... بر مبنای نقشه های پایه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ و نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و نقشه پوشش و کاربری زمین ۱:۵۰۰۰۰ منطقه در سطوح مختلف مورد پژوهش قرار گرفت. در ادامه حوضه های هیدرولوژیک در قلمرو مطالعه مشخص شد که مجموعاً ۳۳ حوضه آبریز شامل ۲۳ حوضه در دامنه شمالی و ۱۰ حوضه آبریز در دامنه های جنوبی شناسایی شد. سپس بررسی متغیرها در منطقه بینالود به شکل زمین مرجع انجام گرفت و مدل سازی های جانبی تحلیل فضایی، در نرم افزار GIS تنظیم شدند لذا نقشه های عامل تولید شده، با روش ANP ارزیابی و با زیر نرم افزار جانبی expert choice به شکل معیار های اصلی و زیر معیارها مورد وزن دهی قرار گرفته و سرانجام این نقشه هادر نرم افزار GIS با منطق فازی و عملگر جمع فازی، با چهار درجه خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد، و خطر بسیار زیاد مورد همپوشانی و پهنه بندی قرار گرفتند. طبق نتایج حاصل از این پژوهش شیب موثرترین عامل در بروز ناپایداری های دامنه ای در هر دو سوی دامنه های بینالود شناخته شد و با توجه به جنس سازند زمین شناسی بیشترین تکرار فراوانی لغزش ها در دامنه های فیلیتی و سیلیتی دامنه ی شمالی بینالود، و ریزش ها در مارن های آتشفشانی دامنه های جنوبی رخ میدهد و بهترین راهکار مدیریت محیطی در جلوگیری و کاهش اثرات سوء خطر ناپایداری های دامنه ای رشته کوه بینالود، تعیین پهنه های آسیب پذیر از خطر، آمایش سرزمین و استخراج قابلیت اراضی و جلوگیری از تغییر کاربری زمین بر مبنای نتایج مستخرجه می باشد.

واژگان کلیدی: ناپایداری دامنه ای، مدل ANP، بینالود، رویکرد مدیریتی.

مقدمه

مخاطرات محیطی مجموعه وقایع ناشی از طبیعت زمین یازمین شناسی، فرآیندهای بیولوژیکی و حوادث تکنولوژیکی را شامل می‌شود که منجر به رهایی توده‌ای از انرژی یا مواد می‌شود که به طور غیر قابل انتظار، حیات انسان را تهدید می‌کند. این مخاطرات در مقیاس کلان در دو سطح مخاطرات طبیعی و مخاطرات ناشی از فعالیت‌های انسانی و تکنولوژی تقسیم بندی می‌شود. در این بین مخاطرات طبیعی هم به طور عمده دو سطح از مخاطرات با منشأ درونی (همچون زلزله، آتشفشان و...) و مخاطرات با منشأ بیرونی (همچون طوفان، سیلاب و...) را شامل می‌شود. اما مخاطرات ژئومورفیک از قبیل حرکات توده‌ای دامنه، فرونشست، فرسایش و... از زیرمجموعه‌های مخاطرات طبیعی به شمار می‌روند و شامل هر رویداد زمین شناسی و زمین ریخت شناسی است که اثر نامطلوب اجتماعی و اقتصادی بر سیستم زیستی بشر بر جای گذارد. در بین مخاطرات ژئومورفیک هم، خطر حرکات توده‌ای مواد دامنه و به طور مشخص زمین لغزش، و ریزش‌ها در وحله بعداز عمده‌ترین آنها به شمار می‌رود که غالباً در عرصه‌های کوهستانی کشور، سکونتگاه‌های شهری و روستایی را تهدید می‌کند. سازوکارهای وقوع این ناپایداریها علاوه بر اینکه ناشی از فعالیت‌های درونی زمین و تغییرات بیرونی اقلیم می‌باشد، می‌تواند متأثر از فعالیت‌های انسانی نیز باشد. یکی از وظایف مهم علم ژئومورفولوژی، پیش بینی و کنترل این مخاطره ژئومورفیک، در مناطقی است که منابع و مجموعه‌های انسانی را در معرض تهدید خود قرار می‌دهد. در این راستا تهیه نقشه وقوع خطر زمین لغزش ابزاری اساسی برای فعالیت‌های مدیریت بحران در نواحی کوهستانی است (کومار داهال^۱، ۲۰۰۸، ۴۹۶). از آنجایی که رشته کوه بینالود جزو کوهستان‌های خشک و نیمه خشک کشور می‌باشد، لذا لزوماً مخاطرات ژئومورفیک که خاص مناطق کوهستانی است بسیار مستعد نیازمند بررسی و پژوهش می‌باشد بطوری که خساراتی که فرآیندهای ژئومورفیک و حرکات توده‌ای دامنه‌ای در سطح حوضه‌های آبریز دامنه‌های شمالی و جنوبی بینالود به وجود می‌آورند هر ساله در حال گسترش است. در این راستا اغلب این حوضه‌ها از جمله مناطق بیابانی و توریستی منطقه به شمار می‌آیند که از طرفی به لحاظ احداث مناطق تفرجگاهی و خانه‌های دوم و بیابانی بسیار مورد توجه و بهره برداری واقعند. بدین ترتیب هرگونه مطالعات ژئومورفولوژیک و هیدروژئومورفولوژیک در حوضه‌های دامنه‌های شمالی و دامنه‌های جنوبی بینالود صورت پذیرد می‌تواند برای برنامه ریزان محیطی در سطح محلی و منطقه‌ای کاربرد بسیاری داشته باشد. در حال حاضر شواهد ایجاد مخاطرات ژئومورفولوژیک از نظر علمی در تمام حوضه‌های رودخانه‌های دامنه‌های بینالود وجود دارد. مضاف بر آن از آنجا که زون بینالود به وسیله تراس گسلی بزرگ از دشت نیشابور مجزا گردیده است و فعالیت‌های لرزه خیزی این گسل در مخاطرات ژئومورفولوژیک تاثیر مستقیم دارد، ضروری است که برنامه ریزان محلی و منطقه‌ای در زمینه کنترل مخاطرات محیطی به ویژه و لغزشهای زمین تدابیر ویژه‌ای را به کارگیرند. بدین ترتیب لازمه به کارگیری این تدابیر شناخت دقیق از ویژگی‌های ژئومورفولوژیک و هیدروژئومورفولوژیک منطقه است. از اینرو ارزیابی تاثیر هر یک از این عوامل می‌تواند نقش بسزایی در پیش بینی مخاطرات محیطی داشته باشد بطوری که از طریق شناسایی انواع ناپایداری‌ها و رفتار رودخانه‌های کوهستانی می‌توان پهنه بندی مخاطرات را در یک منطقه کوهستانی تعیین کرد. هدف از این پژوهش نیز پهنه بندی خطر ناپایداری‌های دامنه‌ای با استفاده از مدل تحلیل شبکه (ANP) در دامنه‌های شمالی و جنوبی بینالود می‌باشد. با توجه به جنس سازند در دامنه شمالی و جنوبی رشته کوه چین خورده بینالود 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 در این راستا پهنه بندی خطر به عنوان یک ابزار راهبردی در برخورد با برنامه ریزی‌های محیطی، مطرح می‌باشد. بنابراین اغلب برنامه ریزی‌ها با استفاده از ابزار پهنه بندی خطر اولاً به دنبال تعیین مناطق

پرمخاطره و ثانیاً به دنبال تعیین پتانسیل ها و قابلیت های توسعه اراضی می باشند. فرآیند مدل سازی این پژوهش متکی بر منطق فازی است که قابل قبول ترین آلترناتیوها را در تصمیم سازی های محیطی در اختیار می گذارد.

پیشینه تحقیق

کشور ایران با توجه به شرایط آب و هوایی و توپوگرافی جزو کشورهایی است که وقوع ناپایداری های دامنه ای در مناطق مختلف آن باعث به وجود آمدن خسارات انسانی و مالی زیادی می شود. 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 حرکت های توده ای در ایران ۵۰۰ میلیارد ریال برآورد گردیده است (رمضانی و ابراهیمی، ۱۳۸۸، ۱۲۸). تاکنون تلاشهای بسیاری در جهت ارائه نقشه های پهنه بندی حساسیت زمین لغزش صورت گرفته است. در واقع تمامی این تلاش ها به دنبال کشف بهترین رابطه بین وقوع پدیده زمین لغزه، پراکندگی آن و متغیرهای محیطی می باشند. با بررسی نمونه های موردی انجام شده در ارتباط با مبحث پهنه بندی خطر زمین لغزش می توان به این نتیجه رسید که پژوهشگران تاکنون پراکنش زمین لغزش ها را با استفاده از فیلترهای خطی، میانگین و واریانس، هندسی، فازی و ژئومورفولوژیک نشان داده اند (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۴) اما در کل می توان ۲ سری از فعالیت های پهنه بندی خطر را مشاهده کرد. یک سری فعالیت ها به مدل های کیفی و تجربی در زمینه پهنه بندی خطر زمین لغزش شهرت دارند که مهمترین آنها عبارتند از مدل آنبالاگان^۱، مدل نیلسن^۲ و مدل مورا- وارسون^۳. البته بسته به موقعیت و شرایط محیطی مختلف حاکم بر نواحی، مدل های تجربی قابلیت توسعه و اصلاح دارند. بر همین اساس است که در ایران مدل تجربی حائری- سمیعی مطرح گردیده است. و اما در یک سری دیگر از فعالیت های پهنه بندی تأکید بر روش های آماری و تبدیل کیفیات به کمیات وجود دارد. اولین نمونه این اقدامات را می توان در فعالیت ون وستن و همکاران^۴ (۱۹۹۷) و گارتی و همکاران^۵ (۱۹۹۹) مشاهده کرد. همچنین در کارهای کسانی چون لی و همکاران^۶ (۲۰۰۲)، آیالیو و همکاران^۷ (۲۰۰۴) و گوئینائو و همکاران^۸ (۲۰۰۵)، می توان شاهد استفاده گسترده از روشهای آماری رگرسیون دو متغیره و چندمتغیره بود. این روشها که امکان تحلیل همزمان تعدادی از متغیرها را فراهم می کنند برای ارزیابی خطر زمین لغزش که ذاتاً پدیده ای چندمتغیره است حائز اهمیت می باشند. (کرمی و بیاتی خطیبی، ۱۳۸۵). ارزیابی ناپایداری دامنه ای مانند بسیاری از موضوعات زمین شناسی محیطی، از پیچیده ترین مسائل است که به دلیل تنوع عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری دامنه هاست (پور هاشمی و همکاران، ۱۳۹۳، ۷۲) که سالهاست در نظر پژوهشگران دارای اهمیت ویژه می باشد. در این راستا ارزیابی و پهنه بندی احتمال خطر زمین لغزش در حوضه آبریز یایجیلو با استفاده از مدل AHP توسط (مختاری اصل و همکاران ۱۳۸۹) صورت گرفت، که در نتیجه این پژوهش پهنه بندی حوضه نشان میدهد که ۳۶ درصد از حوضه احتمال وقوع زمین لغزش بسیار زیاد ۳۹ احتمال وقوع

۱- Anbalagan

۲- Nilsen

۳- Mora - Varson

۴- Van wasten & et al

۵- Guzetti & et al

۶- Lee & et al

۷- Ayalew & et al

۸- Guinau & et al

زمین لغزش زیاد و ۱۴ درصد احتمال وقوع متوسط و ۲۱ درصد احتمال وقوع زمین لغزش بسیار کم می باشد. ژئومورفولوژی جاده سندیج - مریوان و پهنه بندی ناپایداری های دامنه ای کاری از (یمانی و همکاران ۱۳۹۰) که در آن نتایج بدست آمده از مدل ها و تطبیق نتایج آن ها با لغزشهای روی داده در مسیر جاده ، ضمن معرفی برتری روش تحلیل سلسله مراتبی بیان داشته است که احداث جاده ، وقوع لغزش ها را تشدید نموده است و در میان عوامل مشترک موثر بر لغزش ها فاصله از مسیر راه و سپس مقاومت سنگ های زیربنا پیرامون بیشترین تاثیر را در بروز زمین لغزش های منطقه را داراست. بررسی عوامل موثر بر حرکات توده ای بر پایه تهیه نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش مطالعه موردی ارتفاعات دناي زاگرس (شیرائی، سیف و همکاران ۱۳۹۱) نتایج این پژوهش نیز نشان می دهد مناسب ترین نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حاصل از روش آماری ارزش اطلاعاتی و عوامل موثر در رخداد زمین لغزش شامل سنگ شناسی ، فاصله از آبراهه - کاربری زمین ، شیب ، جهت شیب، و بارندگی است. ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهر رودبار با استفاده از تحلیل شبکه ای ANP (مقیمی و همکاران ۱۳۹۲) که در این پژوهش با استفاده از تحلیل شبکه و تعیین معیارهای پیشنهادی مبنی بر بازدید میدانی و مطالعات کتابخانه ای در وقوع زمین لغزش شهری در دو حوضه اصلی مخاطرات طبیعی و زیست محیطی شامل میزان شیب، جهت شیب ، کاربری اراضی ... طبقه بندی شده و نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش در محیط نرم افزاری ARC GIS تهیه شده است و نتیجه آن بیانگر این است که عامل شیب و حساسیت لیتولوژیک مهمترین سهم را در بروز خطر زمین لغزش دارد. تهیه نقشه حساسیت پذیری زمین لغزش دامنه ای شمالی بینالود بر پایه الگوریتم بهینه سازی توافقی ویکور (سپهر و همکاران ۹۲) در این مطالعه ابتدا پس از تهیه نقشه پایه محدوده مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره ای و بازدید میدانی نقشه عوامل موثر در بروز زمین لغزش های منطقه تهیه شد سپس ضریب هر یک از عوامل مذکور با استفاده از الگوریتم سلسله مراتبی AHP تعیین شد که بر اساس آن معیار شیب طبقات ارتفاعی و لیتولوژی بیشترین ضرایب را بدست آورد و سپس بر پایه الگوریتم بهینه سازی ویکور درجه سودمندی و پشیمانی از انتخاب برتر (زیر حوضه ها) مشخص و در پایان با محاسبه میزان شاخص ویکور زیر حوضه ها برحسب درجه حساسیت پذیری به زمین لغزش در سه کلاس کیفی زیاد متوسط و کم طبقه و پهنه بندی شده و بیشترین و کم ترین حساسیت پذیری به لغزش در حوضه های نمونه بیان گردید. (روستایی و همکاران، ۱۳۹۳) به ارزیابی روش های تحلیل شبکه (ANP) و تحلیل چندمعیاره مکانی در بررسی پتانسیل وقوع زمین لغزش در محدوده محور مخزن سدها (سد قلعه چای) پرداخت و با تفسیر ضرایب نشان داد که کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی و جهت دامنه ها نقش مهمی در وقوع زمین لغزش دارد. تعیین مرز پهنه های خطر زمین لغزش در مسیر آزادراه خرم آباد - پل زال با روش تحلیل سلسله مراتبی - فازی به دست آمده از مدل تطبیقی آن با لغزش های روی داده در مسیر راه ضمن کارایی مدل در شناسایی پهنه هایی با خطر بسیار زیاد ، زیاد و متوسط ، و کم بیانگر آن است که در کنار عوامل شیب و سنگ شناسی به عنوان عوامل اصلی رخداد زمین لغزش احداث جاده ، وقوع لغزش ها را تشدید کرده است. پهنه بندی خطر و خسارت زمین لغزش مطالعه موردی حوضه آبخیز زیارت در استان گلستان (کرنژادی و همکاران ۱۳۹۳) برای پهنه بندی خطر زمین لغزش از دو روش آماری چند متغیره رگرسیون لجستیکو مدل LNRNF استفاده کرده اند و نتیجه حاصل از این پژوهش نشان می دهد که مدل رگرسیون برای پهنه بندی در منطقه کاربرد بیشتری دارد. پهنه بندی خطر زمین لغزش در استان تهران با استفاده از روش های داده محور و تحلیل سلسله مراتبی (کامران زاده و همکاران ۱۳۹۳) برای بررسی خطر زمین لغزش در استان تهران از دو روش بر پایه آماری و زمین لغزش استفاده شده و در نتیجه این پژوهش نشان داد محاسبه نسبت درصد زمین لغزش در پهنه خطرناک به درصد مساحت این پهنه در کل مساحت تهران نشان داد که روش داده های محور با نسبت عدد ۴٫۵ پاسخ مطلوبتری نسبت به روش AHP با نسبت عدد ۱٫۷۵ داراست. پهنه بندی خطر رخداد زمین لغزش به روش رگرسیون چند متغیره یا استفاده از داده های گسسته در حوضه رودخانه ماربر (صفاری و همکاران ۹۳) در روش بکار برده شده در این پژوهش رابطه متقابل بین متغیر های مستقل نسبت به هم و نسبت به متغیر وابسته (زمین لغزش) بطور یکجا در نظر گرفته

شده است. ارزیابی مدل با استفاده از نسبت تراکمی و شاخص زمین لغزش صورت گرفته است. روند صعودی نسبت تراکمی و شاخص زمین لغزش برای گستره های مواجه با خطر بسیار کم و خطر بسیار زیاد در وقوع زمین لغزش، حاکی از صحت تهیه نقشه از طریق این روش را دارد. با توجه به نتایج بدست آمده از ضرایب رگرسیونی فاصله از گسل تا ۰-۱۵۰ متر بیشترین احتمال وقوع لغزش های محدوده مورد مطالعه دارد. در نهایت به پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در سه کلاسه زیاد متوسط و کم در حوضه مورد مطالعه می پردازد. تحلیل و پهنه بندی خطر جریانات واریزه ای و مخروط های آن در منطقه کوهستانی پایه (خضری و همکاران ۱۳۹۴) در این مقاله با استفاده از مدل لجستیک نقشه پهنه بندی خطر جریان واریزه ای صورت گرفته که نتایج آن بیانگر این است که جریانات واریزه ای در منطقه نیازمند انجام مطالعات جامع و تفصیلی تر است و با توجه به حساسیت و ناپایداریهای دامنه ای لازم است مکان یابی دقیق برای پروژه های عمرانی و کشاورزی صورت بگیرد. پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل ANP- مطالعه موردی حوضه آبریز پیوه ژن دامنه جنوبی بینالود کار دیگریست که (امیراحمدی و همکاران، ۹۴) به آن پرداخته اند نتایج حاصل از این پژوهش نشان می دهد 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 زمین لغزش رخ داده در حوضه مطالعاتی، ۱۷ زمین لغزش در فاصله ۰-۵۰ متری و ۱۴ زمین لغزش دیگر در فاصله ۵۰-۱۵۰ متری از رودخانه به وقوع پیوسته است که نشان از تأثیر مستقیم و مهم فرسایش و زیر شویی رودخانه می باشد. همچنین فعالیت های انسانی نظیر جاده سازی در حوضه مورد نظر خطر وقوع زمین لغزش را چندین برابر نموده است به طوری که ۲۲ زمین لغزش در فاصله ۰ تا ۵۰۰ متری از راه های ارتباطی، رخ افتاده و راه ها را مورد هجوم خود قرار داده اند. ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از روش های آماری در حوضه آبریز باراندوز چای (محمدنژاد - اصغری ۱۳۹۵) در این پژوهش شیب عامل اصلی برای وقوع زمین لغزش ها قلمداد میشود و در نهایت نشان داده می شود که علی رغم محدودیت های عملی و مفهومی و داده های دقیق تهیه نقشه خطر زمین لغزش و ارزیابی آن می تواند در برنامه ریزی آمایش سرزمین و کاهش خطرات طبیعی و هزینه ها موثر واقع شود. و اما در موارد خارجی میتوان به فعالیت هایی نظیر: نیلسن و همکارانش^۱ (۱۹۷۹) برای ارزیابی سریع پایداری شیب ها در منطقه خلیج سانفرانسیسکو، با انطباق سه نقشه شیب، نهشته های زمین لغزش و واحدهای زمین شناسی حساس به گسیختگی نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش را تهیه نمودند. بر اساس روش وی در هر عرصه مورد بررسی، ابتدا نقشه جامع در گستره های شیب با سه رده کمتر از ۵٪، بین ۵٪-۱۵٪ و بیش از ۱۵٪ تهیه می گردد. سپس با استفاده از تفسیر عکسهای هوایی و بازدیدهای صحرائی نقشه نهشته های زمین لغزش ترسیم می شود. همچنین بر اساس بررسیهای صحرایی نقشه واحدهای زمین شناسی حساس به گسیختگی ترسیم و با انطباق سه نقشه مذکور در نهایت نقشه پایداری نسبی شیبها تهیه می گردد مورا و وارسون (۱۹۹۳) مجموعه مطالعات موردی انجام شده در رابطه با گسیختگی های به وقوع پیوسته و در نتیجه وقوع زلزله های تاریخی و بارندگی های سنگین در آمریکای مرکزی را ساماندهی کرده و بر اساس نتایج بدست آمده روشی را برای پیشگویی پهنه های مستعد گسیختگی شیب پیشنهاد دادند. در این روش سه عامل پستی و بلندی نسبی، شرایط لیتولوژیک و رطوبت خاک به عنوان فاکتورهای مؤثر در استعداد گسیختگی شیب مورد توجه واقع شده و دو عامل شدت لرزه و شدت بارندگی نیز به عنوان عوامل ماشه ای در نظر گرفته شد. ناگاراگان و همکارانش^۲ (۲۰۰۰) برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در نواحی حاره ای هند از روش وزن دهی به پارامترهای منطقه ای و اقلیمی استفاده کردند و با در نظر گرفتن فراوانی زمین لغزش ها در کلاس های مختلف عوامل ایجاد زمین لغزش ها، کلاس های نهایی

۱- Nilsen & et al

۲- Nagarajan & et al

را پس از وزن دهی کارشناسانه برای پهنه بندی خطر زمین لغزش انتخاب کردند. سارولی^۳ (۲۰۰۱) با استفاده از روش رگرسیون خطی در کشور کره، سوزن و دویوران^۴ (۲۰۰۴) برای ارزیابی نواحی مستعد خطر زمین لغزش در منطقه آرسویو در ترکیه، به تلفیق نقشه های عامل با نقشه پراکنش زمین لغزش ها به منظور تحلیل آماری دو متغیره^۵ اقدام کردند. در نهایت پس از استخراج تراکم زمین لغزش در سطح کلاسه های هر کدام از متغیرهای مورد بررسی، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی پهنه بندی خطر زمین لغزش را تهیه کردند همچنين گورسوسکی و همکاران^۶ (۲۰۰۶) در جنگل ملی ویکی در مرکز آیداهو، ایالات متحده، نیز به پهنه بندی خطر زمین لغزش میپردازند. نئوپان و پیتاناکولچای^۶ (۲۰۰۶) در فعالیتی تحت عنوان فرآیند تحلیل شبکه مدلی برای پهنه بندی خطر زمین لغزش برای حوضه ای از ارتفاعات هیمالایا در نپال انجام داده اند، به معرفی فرآیند تحلیل شبکه^۷ (ANP) برای استفاده در مطالعات پهنه بندی خطر زمین لغزش می پردازند. تیه ری و همکاران^۸ (۲۰۰۷) نیز برای فعالیتی که در زمینه ارزیابی نواحی مستعد زمین لغزش در محیط های پیچیده کوهستانی جنوب شرقی فرانسه انجام داده اند از تلفیق الگوهای احتمال^۹ با روش آماری دومتغیره (BSA) و تکنیک (GIS) برای ارزیابی خطر زمین لغزش استفاده کرده اند. وو^{۱۰} و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۴) خطر زمین لغزش در تایوان را با استفاده از مدل WSN^{۱۱} و ANP موردبررسی قرارداد و مهم ترین عوامل خطر با استفاده از مدل K میانگین برای ساختن مدل پیش بینی موردبررسی قرارداد. فتحی و همکاران^{۱۲} (۲۰۱۵) به پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در سانگورچی^{۱۲} پرداخت. نامبرده در این تحقیق از روش های دورسنجی و روش ANP استفاده نمود و نشان داد که ۷۶ درصد از رانش هایی که در این منطقه رخ داده در کلاس خطرناک و بسیار خطرناک قرار می گیرد و مدل (ANP) را مدلی مناسب برای پیش بینی پدیده لغزش معرفی کرد.

موقعیت حوضه مورد مطالعه

رشته کوه بینالود در شمال شرق ایران (شمال خراسان رضوی) و در میان دو مدار جغرافیایی^۱ ۵۷° و ۳۵° شمالی تا ۵۲° و ۳۶° شمالی و دو نصف النهار^۲ ۲۹° و ۵۸° شرقی تا ۴۴° و ۵۹° شرقی واقع شده است. این کوهستان به بام خراسان معروف است، زیرا بلندترین قله خراسان به نام گودرز دوبا ارتفاع ۳۲۴۹ متر در این ارتفاعات قرار دارد. طول آن ۱۴۳،۷۵ کیلومتر بوده و از جنوب شرق شهر قوچان تا شرق - شمال شرق نیشابور امتداد یافته است.

57- Sarolee-

4- Suzen & Doyuran

5- Bivariate Statistical Analysis (BSA)

6- Neaupane & Piantanakulchai

7- Analytic Network Process (ANP)

8- Thiery & et al

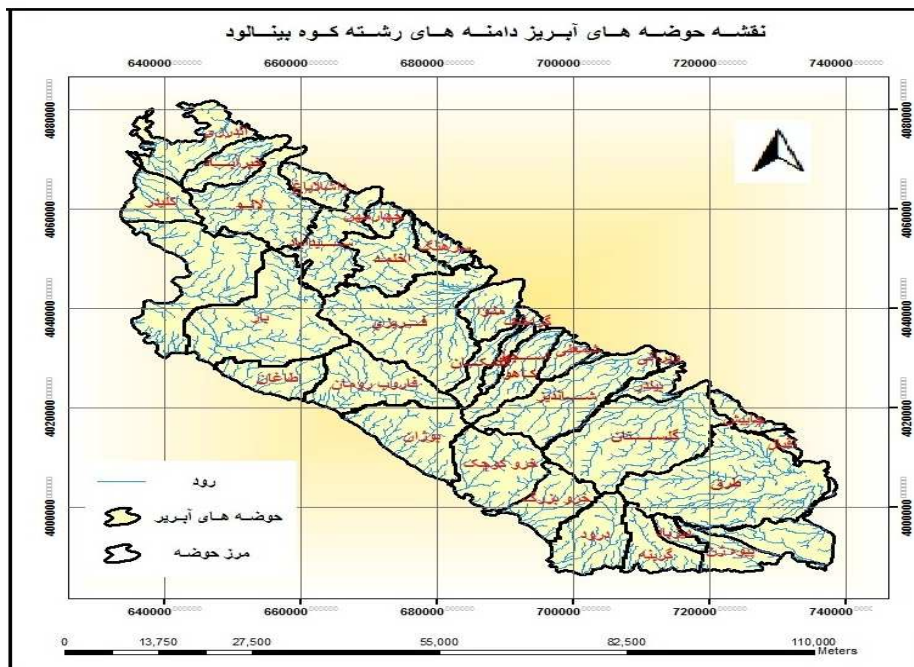
9- Probabilities Patterns

10- Wu

11- Wireless Sensor Networks

12- Sangorchay

پرداخته شده است. فرایند مدل سازی در این تحقیق براساس مطالعات صورت گرفته براساس فرایند تحلیل شبکه ای (ANP) صورت گرفته است.



شکل شماره ۲: نقشه تفکیک حوضه های آبریز در محدوده مورد مطالعه

فرایند تحلیل شبکه ای

در واقع فرایند تحلیل شبکه (ANP)، شامل بررسی روابط ساختاری بین متغیرها اولاً با وقوع یک پدیده خاص در محیط و ثانیاً با همدیگر می باشد. این موضوع با یک تحلیل منطقی می تواند ضریب تشدید متغیرها و نیز رفتار دینامیک آنها را در ارتباط با خود و با محیط آشکار سازد. تحلیل سلسله مراتبی نظریه ای ریاضیاتی از ارزش، دلیل و قضاوت است که بر اساس مقیاس های نسبی جهت تجزیه و تحلیل مسائل تصمیم گیری چند معیاره استفاده می شود (ولفسلنر^۱ و همکاران، ۲۰۰۵، ۲۰۰۵). در واقع ANP پیوند دو بخش می باشد: بخش اول شامل مجموعه ای از معیارها و زیرمعیارهای کنترلی شبکه ای و یا سلسله مراتبی می باشد که برهمکنش ها و ارتباطات متقابل را کنترل می کند و دومی شبکه ای از برتریها و تاثیرگذارها میان عناصر و خوشه ها می باشد. اگر چه هم فرایند تحلیل شبکه ای و هم فرایند تحلیل سلسله مراتبی اولویتها را با انجام مقایسات زوجی اتخاذ میکنند، تفاوتیابی میان آنها وجود دارد. به طور کلی مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی چارچوب تصمیم گیری است که رابطه ای یک سویه و سلسله مراتبی را میان سطوح تصمیم در نظر میگیرد. در عوض، فرایند تحلیل شبکه ای نیازی به این ساختار اکیداً سلسله مراتبی و عمودی ندارد. در واقع مدل تحلیل شبکه (ANP) از سلسله مراتب کنترل، خوشه ها، عناصر و روابط متقابل بین خوشه ها و عناصر تشکیل می شود (فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۸۹، ۱۳۳۲). فرایند تحلیل شبکه ای، همه ویژگی های مثبت AHP، از جمله سادگی، انعطاف پذیری، به کارگیری معیارهای کمی و کیفی به طور هم زمان و قابلیت بررسی سازگاری و قضاوتها را دارد و علاوه بر آن، می تواند ارتباطات پیچیده (وابستگی های متقابل و بازخورد) بین عناصر تصمیم را به کارگیری ساختار شبکه ای به جای ساختار سلسله مراتبی در نظر بگیرد (جوادیان کوتنایی و همکاران، ۱۳۹۳، ۱۵۹؛ زبردست، ۱۳۸۹: ۸۰). به طور کلی ANP از چهار مرحله اصلی

تشکیل شده است: مرحله اول، ساختن مدل، مرحله دوم، ماتریسهای مقایسه زوجی و بردارهای اولویت، مرحله سوم: تشکیل ابرماتریس، گام چهارم: محاسبه برداروزن نهایی.

روش شناسی منطق فازی و تحلیل شبکه ای در تلفیق با GIS

منطق فازی یک منطق چند ارزشی است که بر پایه استدلال تقریبی^۱ پی ریزی شده است. از روش های فازی که می توان در مطالعات محیطی و در تلفیق با GIS استفاده کرد مربوط به فرآیند تحلیل شبکه ای ANP^۲ می باشد. این متد به عنوان یکی از معروف ترین فنون تصمیم گیری چندمنظوره برای وضعیت های پیچیده ای که سنجه های چندگانه اقتصادی دارند، ابزار تصمیم گیری نرمش پذیر و در عین حال قوی به شمار می رود. متد ANP در تلفیق با GIS دارای مراحل مختلف است. (آذر و فرجی، ۱۳۸۶، ۲۵۷-۲۵۳). در قسمت پهنه بندی خطر وقوع ناپایداری ها با توجه به هدف تحقیق نیز، می توان از عملگرهای مختلف فازی مثل جمع فازی، ضرب فازی، And فازی، Or فازی و Not فازی استفاده کرد. که ما در این پژوهش از اپراتور جمع فازی استفاده می کنیم. به طور خلاصه اساس کاربرد منطق فازی در GIS مبتنی بر شبکه ای سازی لایه های اطلاعاتی و تولید لایه های شبکه مرجع (Grid File) می باشد. تولید لایه های شبکه مرجع Grid از داده های مبتنی بر پهنه و پلی گون نظیر نقشه های زمین شناسی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و... به سهولت انجام می پذیرد. اما برای تهیه لایه های مبتنی بر روابط توپولوژیک از داده های نقطه ای (نظیر چشمه ها) و داده های خطی (نظیر آبراهه ها) از عملیات مبتنی بر پیوند مجاورتی^۳ و عملیات مبتنی بر انتشار^۴ (مالچفسکی، ۱۳۸۵، ص ۹۶) از سری تحلیل های فضایی موجود در محیط نرم افزاری GIS استفاده می کنیم تا لایه های پلی گونی و بافری قابل تبدیل به شبکه مرجع Grid را فراهم آوریم. در نهایت پس از تولید نقشه های شبکه ای از لایه های اطلاعاتی عملیات طبقه بندی^۵ انجام می پذیرد. در طی این فرآیند، کلاسه های لایه های اطلاعاتی بر مبنای ارزش های جدید تخصیص یافته در پایگاه داده ها (ماتریس ارزش گذاری) که بر اساس ارزش های توصیفی مکانی و غیرمکانی شکل می گیرد، طبقه بندی می شوند، (مالچفسکی، ۱۳۸۵، ۷۵) تا به منظور انجام عملیات همپوشانی فازی مهیا شوند.

یافته ها و بحث:

اجرای مدل ANP در امکانسنجی و پهنه بندی وقوع ناپایداری های دامنه ای بینالود

فرآیند روش انجام ANP برای وزن دهی لایه های اطلاعاتی در مبنای نظری تحقیق حاضر از نظر گذشت. در اینجا به طور خلاصه با مروری بر این روند، جداول تولید شده را از نظر می گذرانیم. بعد از طی مراحل مرتبط با مدل تحلیل شبکه ای و به دست آوردن وزن هر معیار و عناصر آن، نوبت به آماده سازی لایه ها می رسد. همان طور که گفته شد در این تحقیق از ۱۱ معیار مؤثر در وقوع ناپایداری ها استفاده شده است. لذا برای هر یک از آن ها در محیط GIS لایه ای تعریف گردید. در رابطه با لایه های فاصله ای، از تابع Distance به منظور تعیین میزان فاصله استفاده گردید. در گام بعد، بر اساس وزن کلاس های هر لایه که در نتیجه انجام مقایسه های زوجی حاصل شد، تمام داده ها در محیط GIS به لایه هایی با فرمت رستر تبدیل شدند. مجموع این لایه ها در اشکال زیر آمده است. در نهایت، نقشه پهنه بندی ناپایداری ها به صورت فرمت

۱- Approximate Reasoning

۲- Analytic Hierarchy Process

۳- Proximity Operation

۴- Spread Operation

۵ Classification

رستری و از طریق عملیات تلفیق لایه‌ها تهیه گردید و به‌منظور ارائه نتایج بهتر، کل منطقه با استفاده از روش شکست‌های طبیعی (Natural Breaks) به ۴ کلاس از کم تا خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد. همانطور که میدانیم 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 به‌صورت 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 که این امر در موارد کلاس بندی معیارها در این پژوهش نیز به کار گرفته شده است. به طوری که با توجه به نظر کارشناسی حاصل از بررسی های میدانی و مطالعات اسنادی به معیار شیب رتبه ۹ به واحد لیتولوژی رتبه ۸ گسل ها، ارتفاع و فاصله از رودخانه رتبه ۷ و کاربری اراضی و خطوط همدمار تبه ۶ و خطوط همبارش و جهت شیب رتبه ۵ و مراکز جمعیتی و فاصله از جاده رتبه ۴ داده 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 متوسط	اهمیت متوسط	اهمیت متوسط تا اهمیت قوی	اهمیت قوی	تا اهمیت خیلی قوی	اهمیت خیلی قوی	از اهمیت خیلی قوی تا اهمیت فوق العاده قوی	اهمیت فوق العاده قوی

منبع (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۷۴)

در این قسمت جدول مربوط به کلاس بندی مرتبط با هر یک از پارامترهای موثر در بروز ناپایداری ها با قضاوت کارشناسانه آورده شده است.

جدول ۲: کلاس بندی و امتیاز گذاری کلاس لایه های اطلاعاتی

پارامترها	کلاس بندی	امتیاز
طبقات ارتفاعی	کمتر از ۱۲۰۰ متر	۱
	بین ۱۲۰۰ تا ۱۸۰۰ متر	۵
	بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ متر	۹
میزان شیب	بیشتر از ۲۲۰۰ متر	۷
	کمتر از ۵ درجه	۱
	بین ۵ تا ۱۵ درجه	۵
	بین ۱۵ تا ۳۰ درجه	۹
جهت شیب	بیشتر از ۳۰ درجه	۷
	دامنه های رو به آفتاب	۵
	دامنه های پشت به آفتاب	۷
فاصله از رودخانه	سایر	۱
	فاصله ۱۰۰ متری از رودخانه	۹
	فاصله ۳۰۰ متری از رودخانه	۷
	فاصله ۵۰۰ متری از رودخانه	۵
	سایر محدوده ها	۱
واحدهای لیتولوژی	گرانیت، آپلیت، اسلیت، اسلیت رادیولیتی، سنگهای اولترابازیک، دیاباز، گابرو، سنگ آهک بلورین	۱

۲	شیل، کنگلومرا و ماسه سنگ (لایه های قرمز رنگ گاردو)	
۳	ماسه سنگ	
۴	پادگانه های ابرفتی کواترنری، پهنه های رسی	
۵	سنگ آهک میکریتی (چمن بید)، ماسه دار، مارنی، آهک مارن دار خاکستری، توف سبز	
۶	سنگ آهک اولیپتیک خاکستری تا قهوه ای (تیرگان)	
۷	مارن و تبخیری های عمدتاً ژیبسی (بهرام)	
۸	سنگ آهک و دولومیت (مزدوران)	
۹	آهک توده ای زرد	
۱۰	شیل، فیلیت خاکستری تیره (فیلیت مشهد)	
۹	فاصله ۳۰۰ متری از گسل	گسل ها
۷	فاصله ۱۰۰۰ متری از ماکروگسل	
۵	سایر محدوده ها	
۹	مراتع کم تراکم	کاربری و پوشش زمین
۸	مراتع نیمه متراکم	
۷	زراعت آبی و باغات	
۶	کاربری سکونتگاهی	
۵	زراعت دیم	
۴	مراتع متراکم	
۳	جنگل و بیشه زار	
۲	بیرون زدگی سنگی، بستر رودخانه و پهنه های آبی	
۱	سایر	
۱	محدوده همبارش ۲۲۵ تا ۲۷۵ میلیمتر	همبارش
۲	محدوده همبارش ۲۷۵ تا ۳۰۰ میلیمتر	
۴	محدوده همبارش ۳۰۰ تا ۳۲۵ میلیمتر	
۵	محدوده همبارش ۳۲۵ تا ۳۵۰ میلیمتر	
۷	محدوده همبارش ۳۵۰ تا ۳۷۵ میلیمتر	
۸	محدوده همبارش ۳۷۵ تا ۴۰۰ میلیمتر	
۹	محدوده همبارش ۴۰۰ تا ۴۵۰ میلیمتر	
۳	محدوده همدمای ۱۱ تا ۱۳ درجه سانتیگراد	همدما
۵	محدوده همدمای ۹ تا ۱۱ درجه سانتیگراد	
۷	محدوده همدمای ۷ تا ۹ درجه سانتیگراد	
۹	فاصله ۵۰۰ متری از مراکز مسکونی	مراکز جمعیتی
۷	فاصله ۳۰۰ متری از مراکز سکونتگاهی	
۵	فاصله ۱۰۰ متری از مراکز مسکونی	
۱	سایر محدوده ها	

منبع محاسبه: نگارنده، ۱۳۹۶

در روش ANP به نحو دقیقی پارامترها را به طور جفتی مورد آنالیز قرار دادیم و نسبت به ۱۱ متغیر پڑ وهش حاضر نتایج نشان داد که پارامترهای میزان شیب، طبقات ارتفاعی، واحدهای لیتولوژی، گسل ها، کاربری اراضی و پوشش زمین و ... به ترتیب بیشترین وزن های به دست آمده را به خود اختصاص داده اند.

جدول (۳): وزن استاندارد پارامترهای مؤثر در بروز ناپایداری های دامنه ای به روش ANP

ردیف	پارامترها	وزن های استاندارد
۱	طبقات ارتفاعی	۰,۱۱۲
۲	میزان شیب	0.۲۷۹
۳	جهت شیب	0.۰۴۱
۴	مراکز جمعیتی	۰,۰۲۸
۵	فاصله از رودخانه	0.۱۱۲
۶	واحدهای لیتولوژی	0.۱۸۵
۷	جاده	۰,۰۲۸
۸	گسل ها	0.1۱۲
۹	کاربری و پوشش زمین	0.۰۶۵
۱۰	همبارش	0.0۶۵
۱۱	همدما	0.0۶۵

منبع محاسبه: نگارنده ، ۱۳۹۶

در مرحله بعد باتوجه به کلاسه بندی های مرتبط با هر معیار به زیرمعیارهایی مشخص و رتبه بندی شده مجدداً به وزن دهی زیرمعیارها پرداخته شد که جهت جلوگیری از اطاله مطلب امتیازهای زیر معیار های عامل شیب و گسل در جدول های شماره (۴) و (۵) بعنوان نمونه آورده شده است.

جدول (۴): وزن استاندارد زیرمعیارهای ،معیار شیب به روش ANP

امتیاز	کلاسه بندی معیار شیب با وزن ۰,۲۷۹	وزن های زیرمعیار استاندارد
۱	شیب کمتر از ۵ درجه	۰,۰۴۰
۵	شیب بین ۵ تا ۱۵ درجه	0.۱۲۷
۹	شیب بین ۱۵ تا ۳۰ درجه	0.۵۶۶
۷	شیب بیش از ۳۰ درجه	۰,۲۶۷

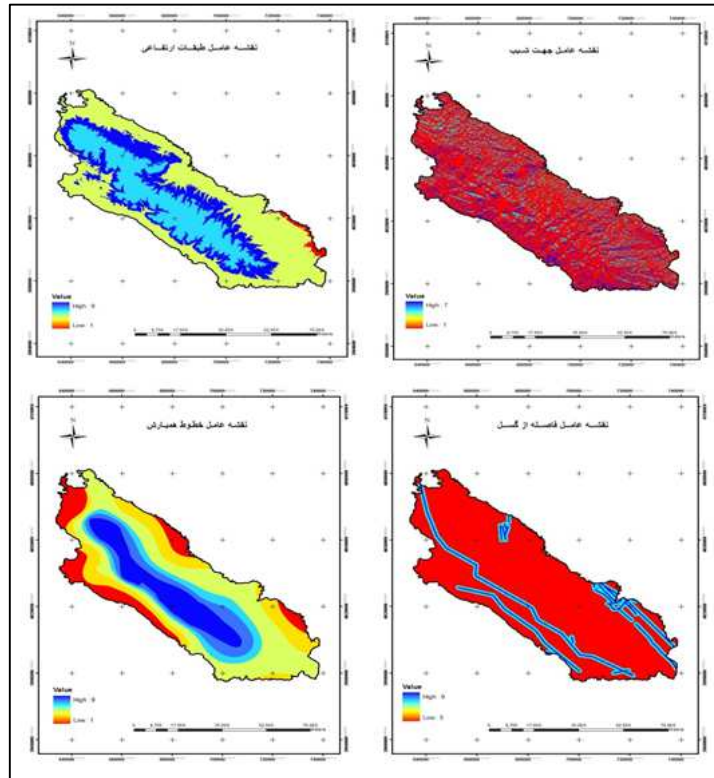
منبع محاسبه: نگارنده ، ۱۳۹۶

جدول (۵): وزن استاندارد زیرمعیارهای ،معیار گسل ها به روش ANP

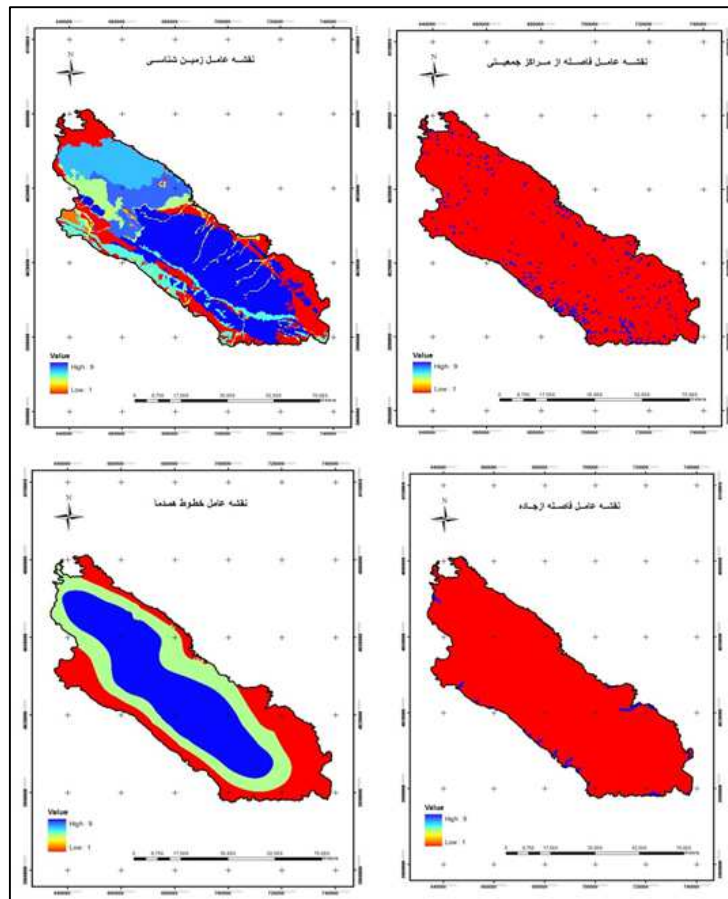
امتیاز	کلاسه بندی معیار گسل با وزن ۰,۱۱۲	وزن های زیرمعیار استاندارد
۹	فاصله ۳۰۰ متری از گسل	۰,۶۳۷
۷	بین ۱۰۰۰ متری از گسل	0.۲۵۸
۵	سایر محدوده ها	0.۱۰۵

منبع محاسبه: نگارنده ، ۱۳۹۶

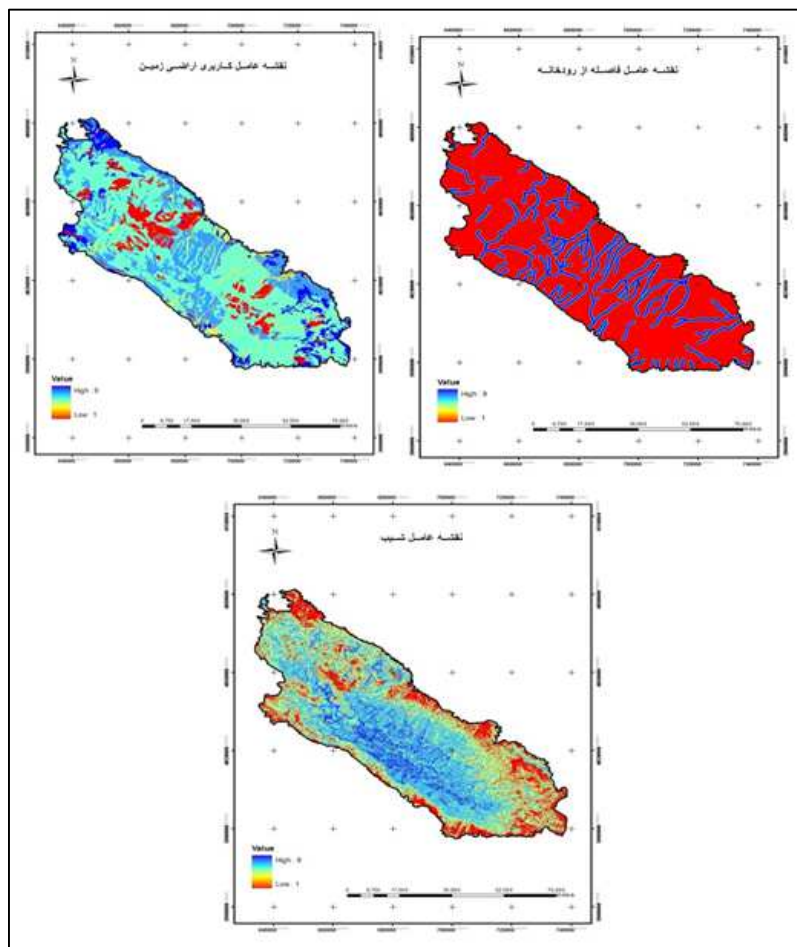
در ادامه نقشه های عامل مرتبط با کلاسه بندی معیارها و زیرمعیارها و پهنه بندی خطر وقوع ناپایداری های دامنه ای در دامنه های دو سوی رشته کوه بینالود آورده میشود.



نقشه شماره ۲، ۳، ۴، ۵: عوامل کلاسه بندی شده موثر در بروز ناپایداری های دامنه ای

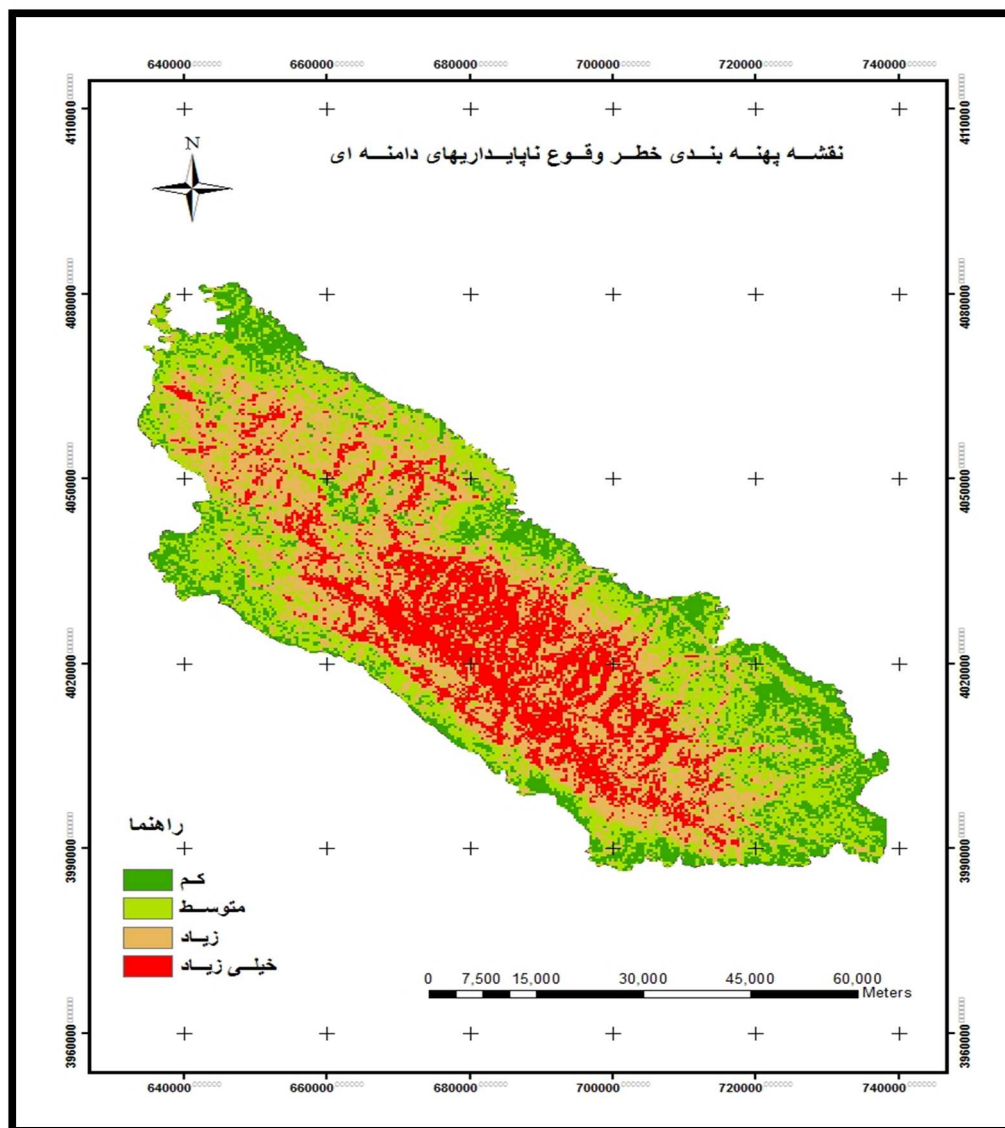


نقشه های شماره ۶، ۷، ۸، ۹: عوامل کلاسه بندی شده موثر در بروز ناپایداری های دامنه ای بینالود



نقشه‌های شماره ۱۰، ۱۱، ۱۲: کلاسه بندی شده عوامل موثر در بروز ناپایداری‌های دامنه ای بینالود

در گام آخر بعد از تهیه نقشه‌های عامل کلاسه بندی شده براساس زیرمعیارها و لحاظ کردن امتیاز وزنی آنها در نهایت نقشه پهنه بندی خطر ناپایداری‌های دامنه ای در ۴ کلاسه کم-متوسط-زیاد-خیلی زیاد تهیه شده است که در ادامه آورده میشود.



نقشه شماره ۱۳: نقشه پهنه بندی خطر وقوع ناپایداری های دامنه ای در بینالود

بحث و نتیجه گیری

سرانجام با استدلال بر تمامی نتایج بدست آمده حاصل از بررسی های متعدد میدانی و شبیه و روش پژوهش و مطالبی که در قسمت های پیشین آورده شد می توان اینگونه اذعان داشت که در دامنه های شمالی بینالود زمین لغزش های متعدد کوچک و بزرگی رخ داده که برخی از آنها نیز خسارات قابل توجهی را به بار آورده اند که به طرف شرق و جنوب شرق بینالود وقوع زمین لغزش ها کم اهمیت تر می گردد. چرا که در حوضه های غربی و جنوب غربی ناحیه مورد مطالعه، ماسه سنگ و مارن مربوط به کرتاسه (معادل سازند شوربچه) و در برخی از آنها سنگ آهک و مارن (معادل سازند مزدوران) رخنمون یافته و از سویی میزان بارندگی آنها بیشتر است. لذا بیشترین، بزرگترین و مخربترین زمین لغزش ها در این بخش رخ داده اند. در حالیکه در حوضه های آهکی مثل اخلمد، احتمال وقوع این فرآیند بسیار ضعیف و تقریباً به صفر می رسد، حوضه های فیلیتی که عمدتاً دامنه های اسکری و شیستی دارند، بیشتر مستعد حرکات ریزشی هستند تا حرکات لغزشی البته در بخشهایی از این حوضه ها که شیلهای هوا زده دامنه ها را فرا گرفته و یا در محل آبرفتهای پادگانه ای و مخروط افکنه ای آنها، نمونه هایی از لغزش و رانش زمین مشاهده می گردد(این به مطلب استناد به بررسی های میدانی متعدد صورت گرفته در دامنه های جنوبی بینالود بوضوح قابل شناسایی ست). در برخی از حوضه های پایکوهی منطقه نیز، که

متشکل از ماسه سنگ شیل و کنگلومرا هستند، آثاری از ریزش کاملاً مشهود است. بطور کلی از نظر استعداد بروز ناپایدار های دامنه ای می توان حوضه های محدوده مورد مطالعه را به چهار گروه تقسیم نموده و درجه هر یک از آنها را به شرح زیر تعیین کرد.

- حوضه های درجه یک یا دارای پتانسیل بالای ناپایداری و لغزندگی، که عمدتاً در غرب و جنوب غرب بینالود واقع شده اند. مثل چهارسوق، کلاته زمان، خیرآباد، گودزرد و نظایر آنها.
- حوضه های درجه دو، که بیشتر در مرکز و شرق ناحیه قرار گرفته و غالباً فیلیتی هستند مثل حوضه آبریز زشک، طوق، و پیوه ژن، گرینه، خرو، فاروب رومان...
- حوضه های درجه سه، شامل مواردی است که عمدتاً در بخش پایکوههای شمالی رشته کوه بینالود واقع اند، و زمین لغزش‌های کوچک مقیاسی را بوجود آورده اند مثل حوضه های آبریز شمعلی، گراخک، ویرانی و چایش
- حوضه های درجه چهار، که کمترین احتمال وقوع ناپایداری و زمین لغزش را دارند و خطر لغزندگی در آنها نزدیک به صفر و یا کاملاً هیچ است. مثل حوضه آبریز اخلمد که دامنه های آن یکپارچه سنگی و بسیار پر شیب اند.

گرچه عوامل متعددی از جمله شرایط اقلیمی و آب، جنس زمین، تکتونیک و سیسم شکستگیها، وضعیت لایه بندی و شیب توپوگرافی، ویژگی ژئومورفولوژیک، ویژگیهای پوشش گیاهی، انسان و فعالیت‌های مربوطه و امثال آن در وقوع ناپایداری های دامنه ای دخالت دارند اما بطور کلی بیشترین ناپایداری ها بویژه لغزشهای رخ داده در دامنه های شمالی رشته کوه بینالود بر اثر عملکرد آب به صورت نفوذ در دامنه، با حفر زیرین در سواحل رود بوده است. یکسری دیگر از حرکات دامنه‌ای متعلق به محدوده مورد مطالعه مربوط دینامیک‌های خشک می‌باشد. هر چند در این موارد نیز ممکن است آب به طور غیرمستقیم و یا به عنوان عامل محرک و تشدید کننده، تحرک و جابجایی تخته سنگ‌ها و سازنده‌های مشابه، فرایند کرایوکلاسیتم (یخ شکافتگی) را به دنبال داشته و یک چنین فرآیندی در ارتفاعات و لبه پرتگاه‌ها قطعه سنگ‌های در آستانه سقوط را تحرک نموده و موجبات ریزش آن‌ها را فراهم می‌آورد. و یا فرآیند پایپ کراک در سازنده‌های نرم و به ویژه دامنه‌های ماسه‌ای، جابه جایی دانه‌های ماسه و حرکت خزشی آن‌ها را به همراه دارد. به این ترتیب ملاحظه می شود که در هر دو مورد فوق آب به صورت یک عامل جنبی آن هم نه به شکل مایع بلکه به حالت جامد وارد عمل می شود و به همین خاطر می توان حرکات و جابجایی های ناشی از آن را نیز از نوع خشک قلمداد نمود. به هر حال میتوان گفت در سطح دامنه‌های شمالی رشته کوه بینالود حرکات خزشی (کریپینگ) نسبت به سایر حرکات دامنه‌ای ناچیز بوده و به برخی سطوح، به ویژه دامنه‌های متشکل از گوروارن (ماسه گرانیتی) واقع در جنوب مشهد محدود می‌گردد. از اینرو در حوضه‌های مورد مطالعه در دامنه شمالی این پژوهش، عمل خزش بسیار نادر و غیر محسوس است. مضافاً به اینکه ماهیت حرکت مذکور نیز کند و غیر محسوس و غیر قابل رویت بوده و بررسی آن به زمان طولانی و کارهای میدانی گسترده نیاز خواهد داشت. و اما اعمال ریزشی در سطح حوضه‌های مورد مطالعه در دامنه های شمالی بینالود تا حدی بیشتر قابل توجه بوده و ویژگی‌های آن در حوضه‌های فیلیتی و آهکی منطقه تا حدودی متفاوت و متمایز از یکدیگر است. بدین نحو که در حوضه‌های کارستی و آهکی نظیر حوضه‌ی آبریز اخلمد، اختصاصاً به سمت دامنه های جنوبی حرکات ریزشی عمدتاً از نوع سقوط تخته سنگی بوده و قطعات سقوطی غالباً به صورت بلوک‌ها و تخته سنگ‌هایی به ابعاد متریک (حتی به حجم چندین ده متر مکعب) خودنمایی می‌کنند. از طرفی ابعاد بزرگ بلوک‌ها و تخته سنگ‌ها، شیب زیاد و فرازی بسیار دیواره ها، شتاب ریزش و قدرت تخریبی و انهدامی آنها را زیاد می نماید. در دره‌ها و حوضه‌های متشکل از فیلیت، اعمال ریزش

محدود به قطعه سنگ‌ها و سنگریزه‌های حاصل از تخریب شیست و گاهاً شیل می‌گردد. سطوح متورق و درز و شکاف های ناشی از شیستوزیته ی سنگ های شیستی، درز و ترک های ناشی از فرآیند ترموکلاستیسم، زمینه تخریب و انفصال قطعات شیست را فراهم نموده و عامل شیب نیز موجب حرکت و سقوط آن ها می‌گردد. به گونه ای که حرکت قطعات سنگ گاهی به صورت سرخوردگی و لغزیدن و غلطیدن بر روی یکدیگر صورت گرفته است. انباشت برف و فشار ناشی از سنگینی آن، بر روی دامنه های هوازده یکی از عوامل این سرخوردگی می باشد. در برخی موارد نیز، فرسایش دیفرانسیل در لایه های مختلف الجنس، موجب حرکات ریزشی ناحیه مورد مطالعه گردیده است. و اما بررسی ناپایداری های دامنه ای در دامنه های جنوبی بینالود به شکل اختصاصی بیانگر این موضوع میباشد که احتمال وقوع انواع این حرکات با درصد بالاتری به سمت ریزش هاست. بطوری که در دامنه های جنوبی بینالود بر اثر هوازده گی مکانیکی و بیولوژیکی سنگهای آهکی و یا گرانیتی شکسته شده و پس از تخریب با زوایای تیز و گوشه دار روی دامنه ها تجمع می یابند و واریزه های برش را بوجود می آورند. این در حالی است که شکل قرارگیری آنها روی دامنه ها متفاوت است. برای مثال در حوضه های گرینه، خروین و بوژان و بار به دلیل تخریب مکانیکی و شیب زیاد کوهستان در مسیر آبراهه های کوچک تجمع می یابند. ولی در دامنه های مسیر جاده مشهد - نیشابور به شکل سفره ای روی دامنه ها پخش گردیده اند. و اما واریزه های تخته سنگی یا همان راک فالزها در قطعات ریزشی به صورت بزرگ و در وزن چندین تن باشد روی دامنه ها در اثر نیروی ثقل انتقال یافته و حتی تا پایان دامنه پیش می رود. تخته سنگهای بزرگ در اثر درز و ترک مقاومت خود را از دست داده و به صورت بلوکی بر روی دامنه سرازیر می شوند. همچنین در قسمت هایی از بینالود جنوبی که لیتولوژی از شیست، اسلیت و سنگ آهک شیلی تشکیل شده است به دلیل هوازده گی مکانیکی و ساختمان سنگ قطعات به صورت مدادی شکل و تیز خرد شده و روی دامنه ها و حتی پای دامنه ها به صورت مخروط های واریزه ای تجمع یافته اند. این اشکال مدادی شکل در مسیر ارتفاعات بوژان به سمت شرق گسترش بیشتری دارد. با توجه به مشاهدات میدانی نگارنده انباشت این واریزه ها در حواشی جاده کاملاً مشهود و خطرناک می باشد. و اما مخروط های تالوس که در سنگهای خرد شده ناشی از تخریب مکانیکی روی دامنه های پرشیب و در محل آبراهه ها تجمع یافته و اشکال مخروطی شکل به وجود می آورد. بیشتر واریزه های مخروطی در داخل یک گذرگاه یا آبراهه قرار دارد که راس آنها به طرف بالای دامنه و قاعده به طرف پایین دامنه است. شیب متوسط مخروط های واریزه بین ۳۰ تا ۳۵ درجه می باشد. در حوضه های گرینه، طاغان، خروین، بوژان و درود در دامنه های جنوبی وسعت مخروط های واریزه زیاد است. و اما انواع متعددی از لغزشهای سنگی و سنگ لغزه ها و لغزشها در رسوبات سست که در بینالود جنوبی گسترش یافته، قابل مشاهده هستند. در سنگهای رسی و مارنی که چسبیده بهم هستند لغزشها عمدتاً به صورت پهنه های لغزشی یا جریان های گلی رخ می دهند و از جمله مخاطرات ژئومورفولوژیک در شیبهای تند دامنه های جنوبی بینالود قلمداد میشوند. لغزشهای حواشی رودخانه ها که بر اثر عمل زیربری توسط جریان آب صورت می گیرد در تمام حوضه های آبریز بینالود جنوبی گسترش یافته است و موجب ناپایداری و ایجاد سوانح محیطی در منطقه مورد مطالعه گردیده است. در مناطق مرتفع کوهستانی مانند خط الراس بینالود در بالا دست حوضه های آبریز جایی که تعداد درزه ها و جونیت ها زیاد می باشد پدیده سنگ لغزه رخ می دهد. این پدیده به ویژه در سازند آهکی و دولومیتی بهرام گسترش بیشتری دارد.

منابع

- آذر، عادل - فرجی، حجت (۱۳۸۶) علم مدیریت فازی، انتشارات مؤسسه کتاب مهربان نشر با همکاری مرکز مطالعات مدیریت و بهره وری ایران، چ ۱ ناشر
- امیراحمدی، الوالقاسم و همکاران (۹۴) پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل ANP (مطالعه موردی حوضه آبریز پیوه ژن دامنه جنوبی بینالود) - پژوهش های ژئومورفولوژی کمی

- پورهایمی، سیمای، امیراحمدی، ابوقاسم، 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 ۷۱-۸۹
- خضری، سعید- احمدی، محمد- محمدی، احمد (۱۳۹۴) تحلیل و پهنه‌بندی خطر جریان‌ات واریزه‌ای و مخروط‌های آن در منطقه کوهستانی پاره پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی - سال سوم
- 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
- سپهر، عادل و همکاران (۱۳۹۲) تهیه نقشه حساسیت پذیری زمین لغزش دامنه‌ی شمالی بینالود برپایه الگوریتم پهنه‌سازی توافقی ویکور- پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی
- شیرائی، کورش- عرب عامری، علی رضا (۱۳۹۴) پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی حوضه دره علیا) - مجله علوم و فنون کشاورزی منابع طبیعی علوم آب و خاک سال ۱۹ شماره ۲۳ .
- شیرائی، کورش - سیف، عبدالله و همکاران (۱۳۹۱) بررسی عوامل مؤثر بر حرکات توده‌ای بر پایه تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مطالعه موردی ارتفاعات دنا زاگرس علوم زمین سال ۲۳
- صفاری، امیر - علیمزادی، مسعود - حاتمی فرد، رامین (۱۳۹۳). پهنه‌بندی خطر رخداد زمین لغزش به روش رگرسیون چند متغیره یا استفاده از داده‌های گسسته در حوضه رودخانه ماربر
- فتحی، مریم و همکاران (۱۳۹۴) پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی - حوضه آبریز گرم‌چای میانه - اولین همایش علوم زمین و توسعه شهری
- 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.
- فیض‌نبا، سادات، کلارستاقی، عطاله، 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 ۳۶۰-۳۳۵.
- کامران زاده، فرناز و همکاران (۱۳۹۳) پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در استان تهران با استفاده از روش‌های داده‌محور و تحلیل سلسله‌مراتبی
- کرمی، فریبا - بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۵) شناسایی و پهنه‌بندی نواحی مستعد زمین لغزش در حوضه آبریز اوجان چای (با استفاده از روش‌های آماری و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی)، مجموعه مقالات دومین کنفرانس مدیریت جامع بحران
- کرنزادی، آیدینگ - اوتق - مجید - سعدالدین، امیر (۱۳۹۳) پهنه‌بندی خطرو خسارت زمین لغزش مطالعه موردی حوضه آبخیز زیارت در استان گلستان دو فصل نامه مدیریت بحران - شماره هفتم
- مالچفسکی، یاکچ (۱۳۸۵) سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم‌چندمعیاری، ترجمه اکبر پرهیزکار و عطا غفاری گیلانده، انتشارات سمت، تهران، چ ۱

- محمودزاده، حسن، امامی کیا، وحید، رسولی، علی اکبر، ۱۳۹۴، ریزپهنه بندی خطر سیلاب در محدوده شهر تبریز با استفاده از روش AHP، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۱، شماره پیاپی، صص ۱۸۰-۱۶۷.
- مقیمی، ابراهیم، باقری سید شکری، سجاد، صفر راد، طاهر، ۱۳۹۱، پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی مطالعه موردی تاقدیس نثار زاگرس شمال غربی، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۹ بهار ۱۳۹۱ صص ۹۰-۷۷
- مقیمی، ابراهیم، یمانی، مجتبی، رحیمی هرآبادی، سعید، ۱۳۹۲، ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، صص ۱۱۸-۱۰۳
- یمانی، مجتبی و همکاران (۱۳۹۰) ژئومورفولوژی جاده سندج - مریوان و پهنه بندی ناپایداری های دامنه ای فصل نامه جغرافیا و آمایش سرزمین - سال اول شماره اول
- 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
- Fathi Mohammad Hoessin, Khohdel Kazem, Amir, Kandi Shoreh, Ashraffteini Zahra, Khaliji, Mohammad Ali (2015) The combination of spectral and spatial data in zoning of landslide susceptibility (Case study: Sangorchay reservoir) Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES) ISSN: 2220-6663 (Print) 2222-3045 (Online) Vol. 6, No. 2, p. 515-527,
- 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
- 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
- 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
- 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.