

پهنه‌بندی حساسیت محدوده گسل بناروان نسبت به وقوع ناپایداری دامنه‌ای با استفاده از مدل FUZZY AHP

فریا همتی*

دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، ایران

داود مختاری

استادگروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۲۹

چکیده

حرکت‌های توده‌ای و ناپایداری‌های دامنه‌ای، یکی از معضلات جهانی پیش‌روی انسان می‌باشد که در ایران به عنوان یک بلای طبیعی، سالیانه آسیب‌های جانی و مالی فراوانی بر کشور وارد می‌سازد و در مقایسه با سایر بلایای طبیعی مانند آتشفشان، سیل، زلزله، بهتر قابل مهار و مدیریت می‌باشد. گسل بناروان با جهت کلی جنوب‌غربی-شمال‌شرقی به طول بیش از ۲۰ کیلومتر یکی از مهمترین گسل‌های موجود در دامنه جنوبی بزقوش آذربایجان است. هدف اصلی این پژوهش پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ای در ناحیه مورد مطالعه است. برای رسیدن به این هدف روش FUZZY AHP استفاده شد و مجموعاً ۹ عامل اصلی مرتبط با وقوع ناپایداری دامنه‌ای مورد تحلیل قرار گرفت. این معیارها به عنوان نقشه‌های عامل، هر کدام جداگانه کلاس بندی شده و با توجه به میزان حساسیت‌شان به وقوع ناپایداری دامنه‌ای امتیاز گذاری شدند. نقشه نهایی پهنه‌بندی ناپایداری دامنه‌ای در ۵ کلاس بر مبنای درجه‌های مختلف تهیه شد. پهنه‌بندی ناپایداری دامنه‌ای در حوضه نشان داد که پهنه با خطر زیاد، کمترین مساحت محدوده را (۶/۲۳) به خود اختصاص داده است.

واژگان کلیدی: گسل بناروان، ناپایداری‌های دامنه‌ای، پهنه‌بندی خطر، FUZZY، IDRISI، AHP.

مقدمه

ناپایداری‌های دامنه‌ای از جمله شایع‌ترین پدیده‌های طبیعی تغییر شکل‌دهنده سطح زمین می‌باشند که هر ساله آسیب‌های مالی و جانی فراوانی را بر زندگی انسان‌ها وارد می‌نمایند. کشور ایران نیز مانند سایر کشورهای در حال توسعه شاهد وقوع مخاطرات طبیعی و ژئومورفیک به ویژه حرکت‌های توده‌ای است. توپوگرافی کوهستانی ایران، فعالیت تکتونیک و لرزه‌خیزی زیاد، تنوع آب و هوایی، زمین‌شناسی، افزایش جمعیت، فشار بر منابع طبیعی و تغییر کاربری در

دهه‌های اخیر، شرایط طبیعی برای بروز طیف گسترده‌ای از ناپایداری‌های دامنه‌ای فراهم کرده است (پور قاسمی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱). در راستای اجتناب از خطر، در بین همه خطر‌ها و حوادث طبیعی گسیختگی شیب‌ها، شاید به‌طور مستقیم قابل سنجش‌ترین نوع خطر باشد. گسل بناروان یکی از مهمترین گسل‌های موجود در دامنه جنوبی بزقوش آذربایجان است. این محدوده به خاطر ویژگی‌های متنوع زمین‌شناسی نظیر سنگ‌شناسی، تکتونیک، لرزه‌خیزی و شرایط خاص آب و هوایی، از جمله مناطق دارای پتانسیل وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای است. در این مقاله، هدف پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ای است. با توجه به میزان آسیب‌های ناپایداری‌های دامنه‌ای شناسایی و بررسی عوامل مؤثر در ایجاد آن‌ها و پهنه‌بندی خطر گامی مهم در مدیریت و کنترل پدیده مخرب محسوب می‌شود. تا کنون پژوهش‌های زیادی در این زمینه صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

مهدوی فر و فاطمی عقدا (۱۳۷۶: ۱) به‌کارگیری روش‌های کمی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دلیل تجزیه و تحلیل دقیقتری که از نقش عوامل، مختلف دارد، نسبت به روش‌های کیفی نتایج بهتری را حاصل کرده است. پور قاسمی و همکاران (۱۳۸۶: ۵۱) نقاط لغزشی را با استفاده از عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی شناسایی، سپس هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش را در محیط نرم‌افزار ILWIS مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اپراتور ۹۷۵/۰ در مدل فازی گاما بهترین شکل نقشه حساسیت به خطر زمین لغزش را درحوزه آبخیز هراز ارائه داده است. شمسی پور و شیخی (۱۳۸۹: ۵۳) با استفاده از داده‌های حاصل از مدل سازی معیارها و لایه‌های مؤثر محیطی با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و طبقه‌بندی با روش فازی با کمک قابلیت‌های مدل‌سازی و تحلیل‌های فضایی بالای سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) میزان آسیب‌پذیری محیطی ناحیه مورد توجه قرار گیرد و پهنه‌بندی گردد. بنابر نتایج محاسبات انجام شده در فرآیند پژوهش و ویژگی‌های محیط طبیعی و انسانی ناحیه، زمین‌لرزه، سیلاب و حرکت‌های دامنه‌ای به ترتیب بالاترین میزان خطر و آسیب‌پذیری را دارند. بهنیا فر و همکاران (۱۳۸۹: ۸۹) با استفاده از مدل AHP و منطق فازی به ارزیابی خطر زمین لغزش در حوضه فریزی پرداخته شد. نقشه نهایی تولید شده برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه نشان داد که مجموعاً حدود ۶۸ درصد از حوضه در معرض خطر بحرانی و متوسط زمین لغزش قرار دارد. همچنین مناسب کاربرد این مدل برای پهنه‌بندی ناپایداری‌های دامنه‌ای در حوضه‌های کوهستانی تأیید شد. کریمی و نجفی (۱۳۹۱: ۷۷) با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی و با انجام مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی و استفاده از GIS و مدل ترکیبی (AHP-FUZZY) به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه یک شهر تهران پرداختند. با توجه به نقشه نهایی به دست آمده از پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و در راستای توسعه و امنیت شهری باید از ساخت و ساز در محدوده با خطر بسیار زیاد و زیاد و آبخیزهای دارای دامنه‌های پرشیب و دارای پتانسیل زمین لغزش و همچنین حریم رودها در منطقه یک ممانعت به عمل آید و بایستی همه کاربری‌های مختلف شهری از جمله کاربری‌های مسکونی با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مهندسی پایدار شوند. آسیایی و همکاران (۱۳۹۲: ۱) به مقایسه دو روش AHP و FAHP در پهنه‌بندی خطر لغزش حوزه بهشت آباد با توجه به پارامترهای کمی و کیفی مؤثر بروی این پدیده می‌باشد

پرداختند. نتایج نشان داد که روش FAHP در مقایسه با روش تحلیل سلسله مراتبی از دقت بالاتری برخوردار هست. همچنین نقشه پهنه‌بندی حاصل از روش فازی نشان می‌دهد که ۵۷/۷ درصد لغزش‌های منطقه در ارتفاع‌های میانی با میزان بارندگی ۶۸۰-۷۸۰ میلی‌متر اتفاق افتاده است. عابدینی و فتحی (۷۱:۱۳۹۳) در پژوهشی که مستخرج از نتایج نهایی طرح پژوهشی است و در آن از ترکیب مدل‌های منطق فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی (Fuzzy-AHP) به عنوان یکی از روش‌های قابل‌استفاده و کاربردی به‌طور موردی در حوضه آبخیز خلخال چای در استان اردبیل مورد بررسی قرار دادند، اقدام به شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش و پهنه بندی مناطق مستعد خطر وقوع زمین لغزش کردند. یافته‌های پژوهش نشانگر آن است که حدود (۲۱/۸۲) درصد از زمین لغزش‌ها با مساحتی در حدود (۴۶/۳۰) کیلومترمربع در زمره مناطق با لغزه‌خیزی زیاد و خیلی زیاد و در مناطق شرق و شمال شرق حوضه واقع شده‌اند. مناطق با خطر متوسط با مساحت (۴۱/۳۰) کیلومترمربع بیشتر در منطقه شرق و جنوب غرب حوضه آبریز واقع شده است. مناطق با حساسیت کم و خیلی کم نیز (۱۲۴/۵۴) کیلومترمربع در واقع (۵۸/۷) درصد از سطح حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. صفاری و همکاران (۱۳۹۲) به پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش در حوضه رودخانه ماربر در جنوب استان اصفهان با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره پرداختند. ۹ عامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه شناسایی شدند و پس از تهیه لایه‌های رقمی عوامل مؤثر در محیط GIS، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تهیه گردید. نتایج نشان داد که از مجموع مساحت ۸۰۰ کیلومترمربعی حوضه ماربر، گستره‌های لغزشی با خطر متوسط و کم به ترتیب با دارا بودن ۳۲ و ۳۱ درصد، بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند. از طرفی پهنه با خطر زیاد با ۵/۲۵ درصد مساحت در رده بعدی قرار گرفته است. بلوایی و همکاران (۲۲۵:۱۳۹۴) به‌منظور بررسی پایداری دامنه‌ها در این حوضه آبریز الشتر، پارامترهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش استخراج و سپس لایه‌های مربوطه را تهیه کردند. متعاقب آن نقشه پراکنش زمین‌لغزش حوضه تهیه و سپس با تلفیق نقشه عوامل مؤثر بر لغزش با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، تأثیر هر یک از این عوامل از جمله شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، بارش، کاربری اراضی، فاصله از گسل و آبراهه در محیط نرم‌افزار Arc GIS سنجیده شده است. در این پژوهش به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز الشتر، مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل سلسله مراتبی بکار گرفته شد. در مدل شبکه عصبی از لایه‌های تهیه شده و لایه هدف (زمین‌لغزش‌های نمونه‌برداری شده) جهت آموزش و آزمایش شبکه استفاده شده است. ساختار نهایی شبکه دارای ۸ نرون در لایه ورودی، ۱۱ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی می‌باشد. در نهایت با توجه به وزن خروجی، نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش تهیه گردید. در روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، پس از مقایسات زوجی و استخراج وزن پارامترها، با تلفیق آن‌ها پتانسیل زمین‌لغزشی حوضه به دست آمد. برای ارزیابی و طبقه‌بندی نتایج خروجی مدل‌های مورد استفاده در برآورد خطر لغزش منطقه از ضریب آماری کاپا استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی مصنوعی با ضریب کاپای ۰/۹۰ روش کارآمدتری نسبت به مدل تحلیل سلسله مراتبی در تهیه نقشه خطر لغزش‌های حوضه آبریز الشتر می‌باشد. بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۴۴/۳۷،

۷/۴۵، ۸/۹۳، ۳۲/۴۹، ۶/۷۶ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. زارع و همکاران (۱۰۱:۱۳۹۴) از مدل نروفازی برای تهیه نقشه حساسیت خطر لغزش حوزه آبخیز واز در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده کردند. نتایج نشان داد مدل ANFIS کارایی خوبی برای تهیه نقشه حساسیت لغزش‌ها داشت و ساختار عصبی فازی با تابع عضویت گوسی بهترین کارایی را در منطقه دارا بود. نقشه خطر لغزش نشان داد مساحت مناطق با خطرپذیری بالا بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده که نشان دهنده خطرپذیری بالای حوزه آبخیز واز در بروز لغزش‌ها می‌باشد. نظم فر و بهشتی (۵۳:۱۳۹۵)، با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه، به پهنه بندی حساسیت زمین لغزش در حوضه آبخیز چلی چای استان گلستان پرداختند. برای انجام این کار از ۱۰ پارامتر طبیعی و انسانی استفاده شده است. نرم‌افزارهای Arc Map، Super Decision و ENVI از جمله ابزارهای هستند که برای انجام مقایسات زوجی، تهیه داده‌ها و اجرای مدل مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نقشه نهایی به دست آمده از مدل در پنج کلاس خطر طبقه بندی و با استفاده از زمین لغزه‌های رخ داده در منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی نشان داد که ۷۰ درصد زمین لغزه‌های رخ داده در منطقه در کلاس‌هایی با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. این مناطق اغلب در نیمه شمالی و بخش‌های مرکزی حوضه قرار گرفته‌اند. با توجه به نتیجه ارزیابی، مدل قابلیت مناسبی را برای پیش بینی حساسیت زمین لغزش نشان می‌دهد. گراوسکی و همکاران^۱ (۲۰۰۶: ۱۲۱) به منظور تهیه نقشه خطر زمین لغزش از منطق فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرده‌اند، در این پژوهش از مقایسه دو به دو و متعاقب آن اجتماع توابع ترکیب وزنی خطی و وزنی متوسط مرتب شده جهت تهیه نقشه خطر زمین لغزش استفاده شد. استاندارد سازی داده‌ها با روش فازی و وزن دهی معیارها با روش تحلیل سلسله مراتبی صورت گرفته‌اند. کانونگو و همکاران^۲ (۲۰۰۶: ۳۴۷) در این زمینه زمین لغزش‌ها از پدیده‌های مخرب طبیعی هستند که هر ساله خسارات زیادی به بار می‌آورند؛ بنابراین شناسایی وقوع زمین لغزش برای برنامه‌ریزی و فعالیت‌های توسعه‌ای جاده‌ها ضروری است. سابویا و همکاران^۳ (۲۰۰۶: ۲۱۱) برای ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها در ریودوژانیروی برزیل از مدل منطق فازی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که چون در این مدل کارشناس می‌تواند بین صفر تا یک طبقات عوامل مختلف را وزن دهی نماید بنابراین نتایج بهتری نسبت به سایر مدل‌ها به دست می‌آید. چامپاتی ری و همکاران^۴ (۲۰۰۷: ۱۰۱)، به ارزیابی خطر زمین لغزش در مناطق زلزله‌خیز هیمالیا با استفاده از منطق فازی پرداختند. در این پژوهش مقادیر مختلفی از عملگر فازی گاما برای تهیه نقشه زمین لغزش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملگر فازی گاما با مقدار ۰/۹۸ بهترین شکل نقشه حساسیت به زمین لغزش را در منطقه مورد مطالعه نشان داده است.

¹ Gorsevski et al.

² Kanungo et al.

³ Sabuyaga et al.

⁴ Champati-ray et al.

اوتمن و همکاران^۵ (۲۰۱۲: ۵۹۵)، با استفاده از ۱۰ پارامتر مؤثر در زمین لغزش، سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش را برای بخش‌هایی از ایالت کوالالامپور و سلانگور به دست آوردند به دست آوردند در این پژوهش با وزن دهی فاکتور از AHP و مدل رتبه‌بندی استفاده شد. مقایسه نتایج دو مدل با زمین لغزش‌های ثبت شده نشان داد که دو مدل با دقت ۷۲ و ۶۵ درصد به ترتیب بهترین نتیجه را برای پهنه‌بندی داشته‌اند. پیاسنتینیا و همکاران^۶ (۲۰۱۲: ۱۹۶)، با استفاده از مدل تئوری بیز پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش را برای جنوب منطقه تیروول در کشور ایتالیا انجام دادند. نتایج پژوهش نشان داد که نقشه حساسیت زمین لغزش برای پیش‌بینی زمین لغزش‌ها با درصد بالایی (۷۵٪) قابل اطمینان است؛ بنابراین مدل فوق می‌تواند به خاطر ثمر بخش و کم هزینه بودن برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران محیطی مدلی سودمند و قابل اطمینان باشد. اکسوی و ارکانگلو^۷ (۲۰۱۲: ۸۷) در مطالعه‌ای برای تشخیص نواحی حساس به زمین لغزش در غرب دریای سیاه از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و همچنین منطق فازی برای شناسایی زمین لغزش‌های این ناحیه استفاده نموده‌اند. آن‌ها با استفاده از تکنیک جداسازی و همچنین ۱۰ عامل تأثیرگذار همراه با ۷۰ زمین لغزش رخ داده به بررسی و ترسیم نقشه پهنه‌بندی منطقه پرداختند.

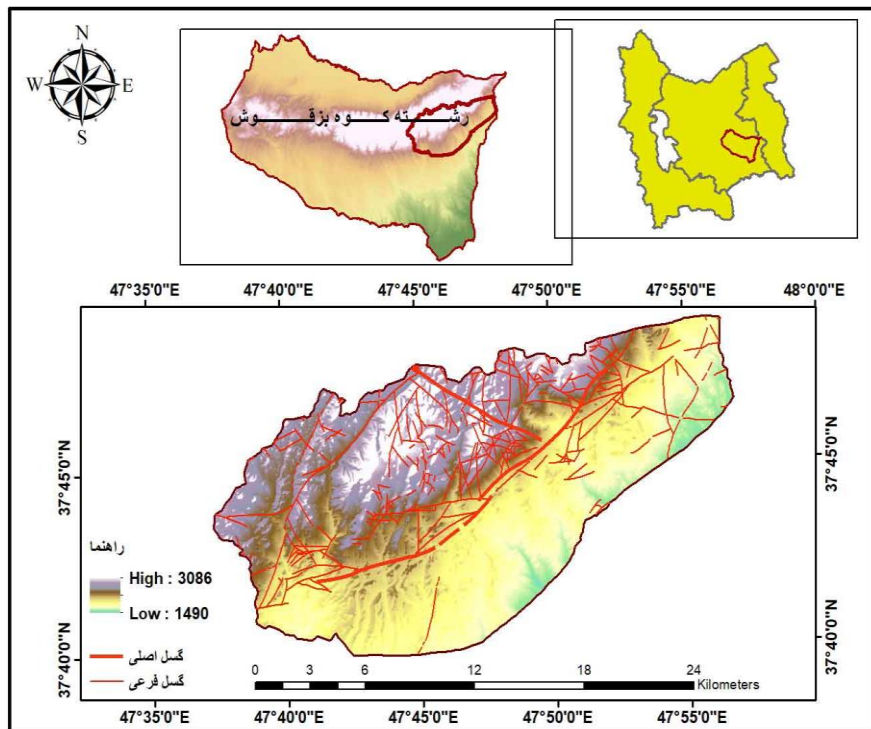
منطقه مورد مطالعه

رشته کوه بزقوش در شمال غرب ایران و بین استان آذربایجان شرقی و اردبیل با روند شرقی- غربی در مختصات بین $30^{\circ} 48'$ تا $30^{\circ} 47'$ درجه طول شرقی و $38^{\circ} 00'$ تا $37^{\circ} 30'$ درجه عرض شمالی قرار دارد. ارتفاع‌های بزقوش شامل تناوبی از سنگ‌های ولکانیک و ولکانوکلاستیک آئوسن است که توسط دایک‌های میکرودیوریتی تا مونزونیتی قطع شده‌اند. این ارتفاعات بین دو گسل شمالی و جنوبی بزقوش مسدود شده و این دو گسل باعث راندگی این ارتفاعات به سمت دشت‌های سراب و میانه شده‌اند و در مجموع یک ساختار بالارنده را نشان می‌دهد. گسل بناوان به طول بیش از ۲۰ کیلومتر یکی از مهمترین گسل‌های موجود در منطقه است که با جهت کلی جنوب‌غربی- شمال‌شرقی در دامنه جنوبی بزقوش آذربایجان، واقع شده است. دشت سراب در شمال و دشت میانه در جنوب آن قرار دارد بالاترین ارتفاع منطقه 3086 متر و پایین‌ترین ارتفاع 1490 متر می‌باشد (شکل ۱).

⁵ Othman et al.

⁶ Piacentinia et al.

⁷ Aksoy Ercanoglu.



شکل ۱: مختصات و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان).

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش از تصویر ماهواره لندست (GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 30.00، GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00، GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00)، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ سراب استفاده شده است. همچنین بازدیدهای میدانی از منطقه صورت گرفته است. به‌طور خلاصه مراحل مطالعات به شرح زیر بوده است:

(۱) تعیین و تحدید منطقه پژوهش بر مبنای نقشه زمین‌شناسی، (۲) تهیه نقشه‌های پایه عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای، شامل: طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، (۳) اجرای مدل AHP FUZZY، (۴) تحلیل و تفسیر اطلاعات با استفاده از نرم‌افزار IDRISI.GIS. ENVI4.8.

مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی بر اساس تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده و فازی توسط محقق به نام توماس- آل- ساعتی «در سال ۱۹۷۰ پیشنهاد گردیده است (اصغر پور، ۱۳۸۷:۲۹۸). این تحلیل یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به‌صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد (زیاری و رضوانی،

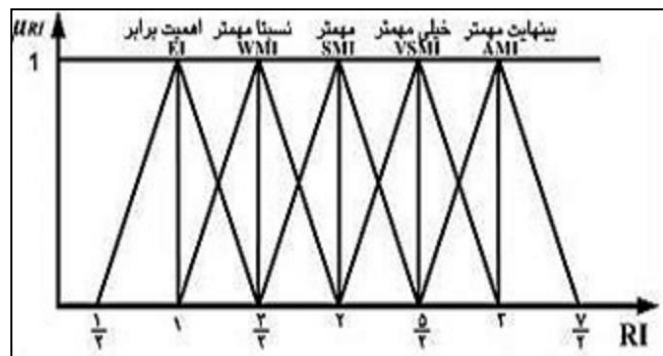
۷۸:۱۳۸۹). این فرآیند گزینه‌های مختلف را دارد. علاوه بر این، این روش بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل نموده و میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد (قدسی پور، ۱۳۹۲: ۵).

همان‌طور که از مطالب فوق مشخص می‌گردد یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این روش نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری، سنجش میزان اهمیت معیارها و زیرمعیارها و ... بر اساس قضاوت‌های دودویی توسط متخصصان می‌باشد؛ اما در بسیاری موارد، این نوع قضاوت درباره میزان اهمیت پارامترها یک محدودیت جدی به شمار می‌رود. چرا که در برخی از موارد تعیین میزان اولویت‌های متخصصان درباره هریک از پارامترها به‌طور کامل و دقیق امکان‌پذیر نبوده و از این‌رو در چنین مواردی انجام مقایسات عددی اقدامی دشوار و ناصحیح به حساب می‌آید. در سال‌های اخیر به‌منظور مرتفع سازی این مشکل، ترکیبی از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و فازی که در ادبیات تخصصی به AHP فازی معروف می‌باشد مورد توجه قرار گرفته است. این روش در نسبت با رویکرد معمول AHP، روش مناسب‌تری برای استخراج بردار اولویت معیارها و گزینه‌ها به حساب می‌آید. چرا که در این روش، قضاوت‌های منطقی‌تری در رابطه با اولویت‌بندی معیارها و وزن دهی آن‌ها صورت می‌پذیرد. دلیل این امر را می‌بایست در این نکته جستجو نمود که در حالت فازی معمولاً تصمیم‌گیران قضاوت‌های راحت‌تری را با بیان قضاوت‌های بازه‌ای به‌جای بیان قضاوت‌های ثابت به سبب ماهیت فرآیند مقایسات دودویی فازی انجام می‌دهند (بزدیج و همکاران^۸ ۲۰۰۳: ۱۳). تاکنون روش‌های کاربردی متنوعی در علوم مدیریت و برنامه‌ریزی شناسایی و معرفی شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

به‌طور کلی هسته مرکزی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، نحوه وزن دهی معیارها و گزینه‌هاست؛ و موضوع اساسی در اولویت دهی فازی آن است که به‌توان بردار اولویت‌های ستونی ناشناخته $(i=1, \dots, N)$ $W^T = [W_i]$ را از مجموعه قضاوت‌های فازی $\tilde{X} = [\tilde{X}_{ij}], (i, j = 1, \dots, N)$ که در قالب ماتریس‌های مقایسات دودویی به‌صورت فازی بیان شده‌اند استخراج کرد. برای این منظور در این روش، هر یک از قضاوت‌ها در ماتریس‌های مقایسه فازی \tilde{X} و به‌صورت اعداد فازی مثلثی^۹ (TFN)، $X = (l_{ij}, mij, u_{ij})$ بیان می‌گردند که در آن M_{ij} محتمل‌ترین ارزش عدد فازی X_{ij} ؛ و l_{ij} و u_{ij} به ترتیب کمترین و بیشترین میزان آن را به خود اختصاص می‌دهند. جدول ۱ و تصویر ۲ مقیاس‌های فازی مورد استفاده در روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی را نشان داده می‌دهند.

^۸ - Bozdag et al.

^۹ - Triangular Fuzzy Number



شکل ۲: مقیاس‌های زبانی برای بیان درجه اهمیت (اصغر پور، ۱۳۸۷: ۳۹۸).

جدول ۱: طریقه وزن دهی معیارها (اصغر پور، ۱۳۸۷: ۳۹۸).

مقیاس زبانی برای وزن دهی	اعداد فازی	معکوس اعداد فازی
عیناً یکسان (JE)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)
اهمیت برابر یا عدم ترجیح (EI)	(۱/۲، ۳، ۱/۲)	(۲/۳، ۱، ۲/۳)
نسبتاً مهمتر (WMI)	(۱، ۳/۲، ۲)	(۱/۲، ۲/۳، ۱)
مهمتر (SMI)	(۳/۲، ۵، ۲)	(۲/۵، ۱/۲، ۲/۳)
خیلی مهمتر (VSMI)	(۲، ۵/۲، ۳)	(۱/۳، ۲/۵، ۱/۲)
کاملاً (بی نهایت) مهمتر (AMI)	(۵/۲، ۳، ۷/۲)	(۲/۷، ۱/۲، ۲/۵)

مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به روش چانگ به شرح زیر است:

مرحله ۱- رسم نمودار سلسله مراتبی؛

مرحله ۲- تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی؛

مرحله ۳- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی (\tilde{A}) با به کارگیری اعداد فازی.

ماتریس مقایسه زوجی به صورت زیر خواهد بود:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

که این ماتریس حاوی اعداد فازی زیر است:

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1, 3, 5, 7, 9 \text{ or } 1^{-1}, 3^{-1}, 5^{-1}, 7^{-1}, 9^{-1} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} i &= j \\ i &\neq j \end{aligned}$$

اگر کمیته تصمیم گیرنده دارای چندین تصمیم گیرنده باشد، درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع که در روش تحلیلی سلسله مراتبی فازی به کار می‌رود، یک عدد فازی مثلثی است که مؤلفه اول آن حداقل نظرسنجی‌ها، مؤلفه دوم آن میانگین نظرسنجی‌ها و مؤلفه سوم آن حداکثر نظرسنجی‌ها است (عطایی، ۱۳۸۹: ۱۰۶).

مرحله ۴- محاسبه S_i برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی

S_i که خود یک عدد فازی مثلثی است از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m M_{gi}^j \right]^{\wedge -1}$$

که در این رابطه i بیان گر شماره سطر و j بیان گر شماره ستون می‌باشد. M_{gi}^j در این رابطه اعداد فازی

$$\left[\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m M_{gi}^j \right]^{\wedge -1} \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \cdot M_{gi}^j$$

مثلثی ماتریس‌های مقایسه زوجی هستند. مقادیر را می‌توان به ترتیب از روابط زیر محاسبه کرد (عطایی، ۱۳۸۹: ۱۰۶).

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m M_{gi}^j &= \left[\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right] \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m M_{gi}^j &= \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \\ \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{\wedge -1} &= \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^m l_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^m m_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^m u_j} \right) \end{aligned}$$

در روابط بالا l_i, m_i, u_i به ترتیب مؤلفه‌های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

حداقل نظر سنجی‌ها = l_i

میانگین نظر سنجی‌ها = m_i

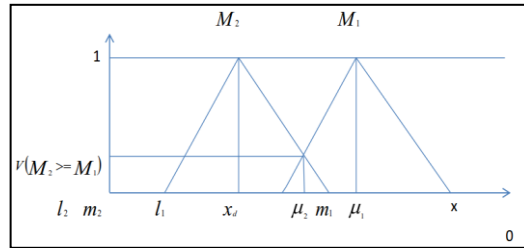
حداکثر نظر سنجی‌ها = u_i

مرحله ۵- محاسبه درجه بزرگی S_i ها نسبت به همدیگر.

به‌طور کلی اگر $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، ۴ درجه بزرگی M_1 نسبت به M_2

به‌صورت زیر تعریف می‌شود (عطایی، ۱۳۸۹: ۱۰۶).

$$v(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ \cdot & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{Otherwise} \end{cases}$$



از طرف دیگر میزان بزرگی
عدد فازی مثلثی دیگر از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$i = 1, 2, 3, \dots, k \quad v(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = v[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \text{ and } \dots \text{ and } (M \geq M_k)] = \text{Min}V(M \geq M_k),$$

مرحله ۶- محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسه زوجی.
بدین منظور از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$d^i(A_i) = \text{Min}V(S_i \geq S_k) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad \text{و} \quad k \neq i$$

بنابراین بردار وزن نرمالیزه نشده به صورت زیر خواهد بود:

$$W^i = (d^i(A_1), d^i(A_2), \dots, d^i(A_n)) \wedge T \quad A_i (i = 1, 2, \dots, n)$$

مرحله ۷- محاسبه بردار وزن نهایی.

برای محاسبه بردار وزن نهایی باید بردار وزن محاسبه شده در مرحله قبل را نرمالیزه کرد (عطایی، ۱۳۸۹: ۱۰۶).
بنابراین:

$$w = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n)) \wedge T$$

بحث

بررسی ارتباط عوامل تأثیرگذار بر وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای

برای بررسی ارتباط عوامل تأثیرگذار بر وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه بعد از تهیه نقشه پراکنش نقاط ناپایداری، پراکنندگی این نقاط به ۹ عامل مؤثر در وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی (طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، لیتولوژی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی) در ۵ کلاس طبقه‌بندی شد و بر اساس درجه حساسیت نسبت به ناپایداری‌های دامنه‌ای به هر کدام از طبقات امتیاز بین ۱ تا ۵ تعلق می‌گیرد بدین صورت که امتیاز ۵ به طبقه‌ای داده شد که بیشترین حساسیت را به ناپایداری‌های دامنه‌ای داشت. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی، لایه‌های اطلاعاتی ذیل تشکیل و آماده سازی بانک اطلاعاتی به کار گرفته شده است. خصوصیات این لایه‌ها در ذیل بیان شده است:

نقشه پراکنش ناپایداری‌های دامنه‌ای: معمولاً ناپایداری دامنه‌ای به صورت ناحیه‌ای و یا اشکال نقطه‌ای ظاهر می‌شود. در صورت وجود عکس‌های هوایی و یا تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا، ناپایداری دامنه‌ای می‌تواند به صورت

مناطق پهنه‌ای شکل بگیرند. در ناحیه مورد مطالعه نقشه پراکنش ناپایداری دامنه‌ای به صورت پهنه ناپایداری برای اساس تصویر ماهواره‌ای لندست سال ۲۰۱۶ تهیه شد و مساحت پیکسل‌های ناپایداری منطقه حدود ۲/۶۵ کیلومتر مربع می‌باشد که حدود ۱ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. نقشه (۳) نقشه پراکنش ناپایداری دامنه‌ای را در زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

طبقات ارتفاعی: برای تهیه مدل رقومی ارتفاع از داده‌های ارتفاعی نقشه‌های رقومی سازمان نقشه‌برداری استفاده و در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده است. این حوضه دارای اختلاف ارتفاعی بیش از ۱۵۹۶ متر است به طوری که ارتفاع زمین در بلندترین منطقه ۳۰۸۶ متر و در خروجی حوضه ۱۴۹۰ متر می‌باشد. شرایط طبیعی آن از نظر میزان بارش دریافتی، نوع بارش، روزهای یخبندان، درجه شیب و غیره با افزایش ارتفاع تغییر می‌کند با افزایش ارتفاع در منطقه مورد مطالعه، حساسیت نسبت به خطر ناپایداری‌های دامنه‌ای تغییرات نامنظمی داشته است (شکل ۴). بیشترین تعداد ناپایداری‌ها در ارتفاع ۳۰۸۶-۲۶۶۰ متر رخ داده است.

شیب: جهت بررسی رابطه بین عامل شیب با رویداد ناپایداری‌های دامنه‌ای لایه شیب بر اساس درجه در ۵ طبقه تهیه گردید نقشه (۵) شیب در حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد؛ که بیشترین تعداد ناپایداری‌ها در شیب ۳۲-۲۴ درجه رخ داده است. نتایج نشان می‌دهد که در شیب‌های پایین به دلیل ضعیف بودن نیروی ثقل و در شیب‌های بالا به دلیل ضعیف بودن فرآیند خاک سازی و افزایش استحکام سازندهای زمین‌شناسی تعداد ناپایداری‌های رخ داده (به جز ریزش) کاهش می‌یابد.

جهت شیب: نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی در ۸ طبقه تهیه گردید. نقشه (۶) شیب در حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بررسی عامل جهات جغرافیایی نسبت به پراکندگی ناپایداری‌های نشان می‌دهد که این جهات تأثیرات مختلفی بر وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای دارند. در منطقه مورد مطالعه ما بیشترین حساسیت ناپایداری‌های دامنه‌ای در جهت جنوب شرق وجود دارد و می‌توان گفت تا حد متوسطی یک عامل غالب برای وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای محسوب می‌گردد.

فاصله از گسل: معمولاً با دور شدن از گسل‌های اصلی تأثیر زمین‌لرزه کاهش می‌یابد و احتمال وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای نیز کمتر می‌شود، لذا می‌توان برحسب فاصله از گسل‌ها انتظار احتمال وقوع یا عدم وقوع ناپایداری‌های لغزشی را داشت. برای ایجاد نقشه گسل‌های منطقه از فایل رقومی نقشه گسل‌های سراب سازمان زمین‌شناسی تبریز استفاده شد و گسل‌های منطقه از درون آن استخراج گردید. برای این منظور نقشه فاصله از گسل منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی در ۵ طبقه تهیه گردید (شکل ۷). بررسی پراکندگی ناپایداری‌های نسبت به گسل اصلی در منطقه نشان می‌دهد بیشترین ناپایداری در فاصله ۰-۳۶۰ متری از گسل وجود دارد که ناشی از خردشدگی سنگ‌ها توسط گسل می‌باشد که این امر باعث نفوذ آب از این مناطق به داخل دامنه و بروز ناپیوستگی در اطراف گسل‌ها می‌شود.

فاصله از رودخانه: رودخانه‌ها و زهکشی جریان‌ها ممکن است به علت شیب برشی و یا فرسایش جریان شکست و خرابی کناره‌ای رودخانه‌ها گردند و از عوامل افزایش رویداد ناپایداری در دامنه‌ها به شمار می‌روند. نقشه فاصله از رودخانه در فواصل مختلف تهیه و در لایه‌ای ۵ طبقه‌ای جای گرفته است (شکل ۸). نتایج به دست آمده از بررسی نقشه پراکندگی ناپایداری‌های دامنه‌ای نسبت به آبراهه نشان می‌دهد که ۵۲/۶۴ درصد از ناپایداری‌ها در فاصله ۱۳۰۶-۰ متری از رودخانه قرار گرفته است که دقیقاً در دامنه‌های منتهی به رودخانه به وقوع پیوسته است. به عبارت بهتر ۸۰/۰۷ درصد از ناپایداری‌ها تا فاصله ۲۱۱۴ متری از رودخانه رخ داده‌اند. چون فرسایش کنار رودخانه‌ای باعث به هم خوردن تعادل شیب است و به هم خوردن این تعادل به شدت باعث ناپایداری دامنه شده است.

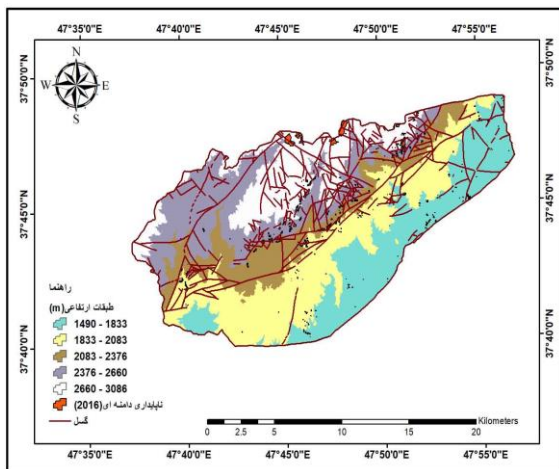
فاصله از جاده: جهت تحلیل رابطه فاصله از جاده با رویداد ناپایداری‌های دامنه‌ای در حوضه مورد مطالعه، لایه‌ای ۵ طبقه‌ای ایجاد گردید (شکل ۹). انتظار می‌رفت با بررسی فاصله از جاده این نتیجه حاصل شود که در محدوده اطراف جاده فرآیند دامنه بیشتر اتفاق افتاده باشد اما به این صورت نبود. با فاصله گرفتن از جاده پتانسیل وقوع فرآیند دامنه‌ای افزایش یافته به طوری که در فاصله ۴۵۹۸-۲۹۰۸ متری از جاده به حداکثر وزن خود رسیده است. دلیل این امر می‌تواند این موضوع باشد که در محدوده مورد مطالعه جاده آسفالت در قسمت‌های جنوبی منطقه است و در قسمت‌های شمالی تحت تأثیر سایر عوامل این پدیده رخ داده است.

لیتولوژی: سنگ‌های سخت در مقابل عوامل فرساینده مقاوم بوده و سنگ‌های سست در مقابل فرسایش آسیب‌پذیر می‌باشد. به منظور تهیه این نقشه، آر نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سراب استفاده گردید و واحدهای لیتولوژی بر این اساس تعریف گردید. همچنین بر اساس مطالعات انجام شده توسط فیض نیا (۱۳۷۴: ۱۰۴) مقاومت هر یک از واحدهای سنگی و حساسیت آن‌ها در برابر فرسایش نیز تعیین شد. سنگ‌ها از نظر فرسایش‌پذیری در رده‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند که در محدوده مورد مطالعه، سنگ‌ها در هشت گروه لیتولوژیکی جای گرفته‌اند (شکل ۱۰). بررسی نتایج به دست آمده از تلفیق نقشه لیتولوژی با نقشه ناپایداری‌های منطقه نشان می‌دهد که بیشترین ناپایداری‌ها در سنگ‌های خیلی سخت (۴۵/۹) رخ داده است. وجود گسل‌های متعدد، پوشش گیاهی ضعیف و منطقه فاقد پوشش گیاهی و ارتفاع زیاد در محدوده منطبق بر سازندهای سخت باعث شده است ناپایداری بیشتری در این محدود رخ دهد.

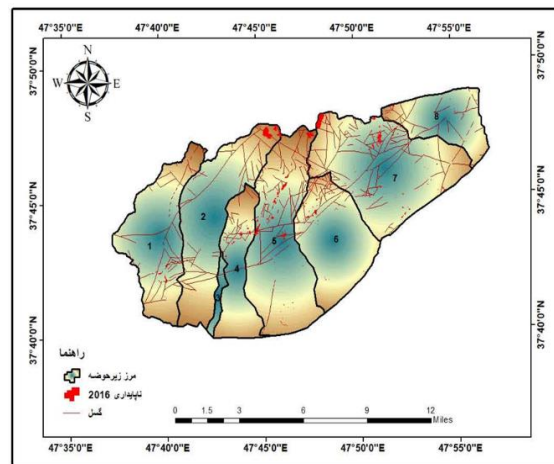
پوشش گیاهی: به منظور بررسی پوشش گیاهی از تصویر ماهواره‌ای سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۱۶ استفاده گردید و جهت تهیه نقشه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه از شاخص پوشش گیاهی (NDVI) استفاده شده است... شکل (۱۱) وضعیت پوشش گیاهی منطقه را در چهار طبقه متراکم تا فاقد پوشش گیاهی نشان می‌دهد. بررسی نتایج به دست آمده از تلفیق نقشه پوشش گیاهی با نقشه ناپایداری‌های منطقه نشان می‌دهد که بیشترین ناپایداری‌ها در منطقه فاقد پوشش گیاهی (۸۱/۹) رخ داده است. اثر پوشش گیاهی بر روی پایداری دامنه‌ها را می‌توان به وسیله نقش آن در افزایش مقاومت مصالح و کنترل محتوای آب توده‌های خاکی بیان کرد.

کاربری اراضی: در مواردی تغییر ناآگاهانه کاربری اراضی، سبب آسیب پذیری محیط در برابر انواع ناپایداری می شود. میزان و شدت این آسیب پذیری به طور مستقیم با نوع و چگونگی تغییرات انجام شده در رابطه است. به منظور تعیین کاربری اراضی در حوضه مورد مطالعه از نقشه های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ سازمان نقشه برداری استان آذربایجان شرقی استفاده شد. چهار تیپ باغ، صخره، زمین زراعی و سطوح آبی در منطقه شناسایی شد (شکل ۱۲). بیشترین حساسیت به ناپایداری در اراضی صخره ای وجود دارد، این امر تا حدود زیادی می تواند ناشی از قرار گرفتن برای روی توپوگرافی و شیب تند، مناطق دارای پوشش گیاهی ضعیف و فاقد پوشش گیاهی و جود منطقه خورد شده گسلی باشد.

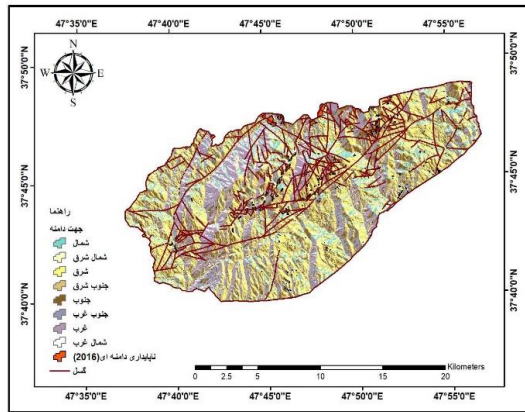
نقشه های مربوط به عوامل مؤثر در ناپایداری های دامنه ای که متغیرهای مستقل در رویداد ناپایداری هستند، وارد نرم افزار ادریسی شد و مورد پردازش قرار گرفتند، بر این اساس سه لایه رودخانه، جاده و گسل که در ابتدا به صورت لایه وکتوری بودند به لایه رستر تبدیل شده سپس تابع Distance برای آن ها اجرا گردید تا لایه های فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و فاصله از جاده به دست آمد. لایه های کاربری اراضی و لیتولوژی نیز از لایه وکتوری به رستری تبدیل شدند. برای آن ها تابع Edit/ASSIGN تعریف شد در این قسمت وزن هر کلاس بر اساس درصد تراکم ناپایداری های دامنه ای در هر کلاس معین گردید. نمودارهای بالا درصد تراکم ناپایداری های دامنه ای در کلاس های مختلف متغیرهای مورد مطالعه را نشان می دهند. درصد تراکم ناپایداری های دامنه ای از نسبت مساحت ناپایداری های دامنه ای در هر کلاس به مساحت کل ناپایداری های دامنه ای به دست آمد برای این منظور از تابع Zonal Statistics در محیط ArcGIS استفاده شد. در ادامه لایه های شیب، جهت دامنه و طبقات ارتفاعی توسط تابع Reclassify به صورت مجدد کلاس بندی گردید. لایه پراکنش ناپایداری های دامنه ای منطقه نیز توسط تابع Calculator Image به صورت نقشه باینری ۰ و ۱ تبدیل گردید. بدین معنی که پیکسل های ناپایداری های بر روی نقشه مزبور با عدد ۱ (وجود ناپایداری) پیکسل های غیر ناپایداری با عدد ۰ (عدم وجود ناپایداری) نشان داده شد. به منظور تعیین نقش هر یک از عوامل مؤثر در وقوع ناپایداری های دامنه ای، تراکم ناپایداری های دامنه ای برای هر یک از متغیرهای مؤثر محاسبه شده است.



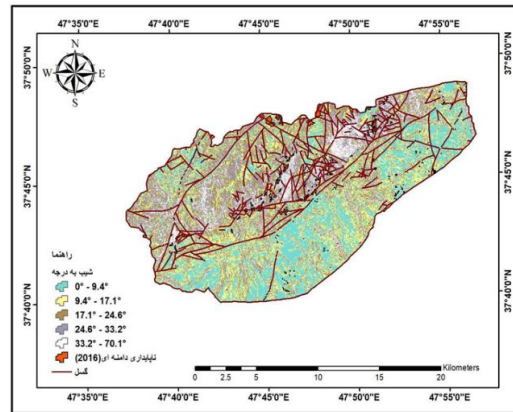
شکل (۴) نقشه طبقات ارتفاعی (مأخذ: نگارندگان)



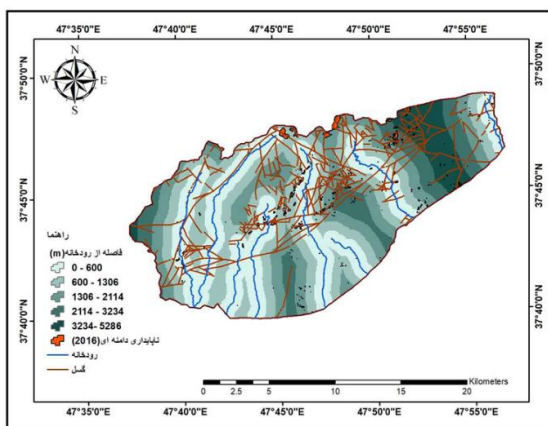
شکل (۳) نقشه پراکنش ناپایداری های دامنه ای (مأخذ: نگارندگان)



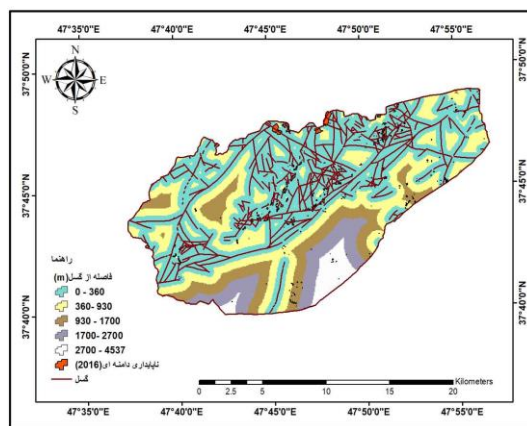
شکل (۶) نقشه جهت شیب (مأخذ: نگارندگان)



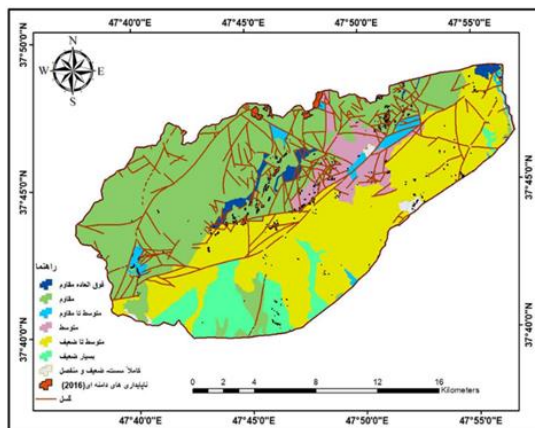
شکل (۵) نقشه شیب (مأخذ: نگارندگان)



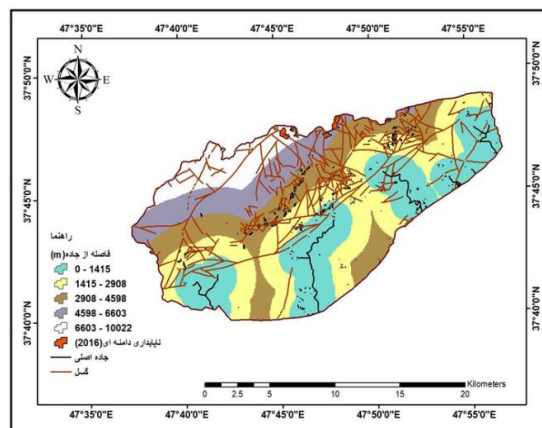
شکل (۸) نقشه فاصله از رودخانه (مأخذ: نگارندگان)



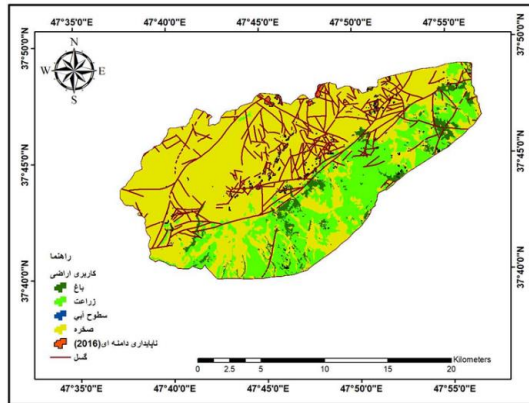
شکل (۷) نقشه فاصله از گسل (مأخذ: نگارندگان)



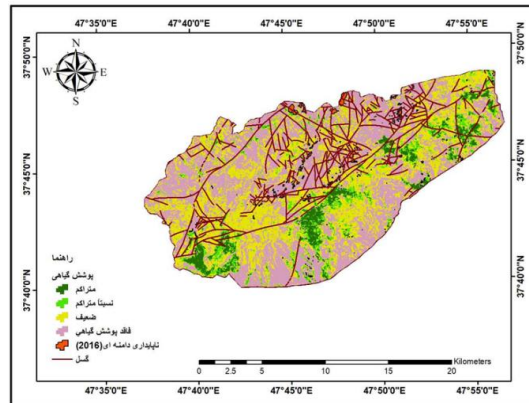
شکل (۱۰) نقشه لیتولوژی (مأخذ: نگارندگان)



شکل (۹) نقشه فاصله از جاده (مأخذ: نگارندگان)



شکل (۱۲) نقشه کاربری اراضی (مأخذ: نگارندگان)



شکل (۱۱) نقشه پوشش گیاهی (مأخذ: نگارندگان)

بحث

Fuzzy AHP

برای بررسی و مطالعه دقیق تر و ارزیابی خطر ناپایداری دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در نرم‌افزار Idrisi مراحل پژوهش به شرح زیر انجام شد:

۱- فراخوانی تمام لایه‌ها؛

۲- تعیین معیارها

تعریف معیار: معیارها پایه‌ای برای تصمیم‌گیری است که بر اساس آن‌ها تصمیم‌گیری، اندازه‌گیری و ارزیابی می‌شود. معیارها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- **فاکتورها:** فاکتورها به صورت افزایشده یا کاهشده مطلوبیت یک گزینه خاص برای رسیدن به هدف تحت بررسی می‌باشند که معمولاً در یک مقیاس پیوسته اندازه‌گیری می‌شوند.

محدودیت‌ها: محدودیت‌ها به منظور محدود کردن گزینه‌های تحت بررسی به کار می‌روند. در بسیاری از موارد محدودیت‌ها به شکل یک نقشه بولین معرفی می‌شوند، به صورتی که مناطقی که در تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار نمی‌گیرند کد ۰ و مناطقی که در تصمیم‌گیری دخیل می‌شوند کد ۱ را دریافت می‌کند. در این پروژه برای گزینه محدودیت هیچ‌کدام از لایه‌ها را در نظر نگرفتیم.

۳- استانداردسازی فاکتورها

استانداردسازی فاکتورها برای تبدیل واحدهای اندازه‌گیری متفاوت از هم به مقادیر مطلوبیت قابل مقایسه با یکدیگر، انجام می‌شود. استانداردسازی فاکتورها بر اساس پیوسته و گسسته بودن فاکتورها فرق می‌کند.

استانداردسازی فاکتورهای پیوسته:

به‌منظور استانداردسازی فاکتورهای پیوسته از مجموعه‌های فازی استفاده می‌کنیم. مجموعه‌های فازی، مجموعه‌هایی (کلاس‌هایی) هستند که دارای مرز کاملاً مشخصی نمی‌باشند، به‌بیان‌دیگر محل گذار آن‌ها بین عضویت و عدم عضویت در مجموعه‌ها به‌صورت تدریجی است. یک مجموعه فازی به‌وسیله درجه عضویت فازی آن مشخص می‌شود که دامنه آن از ۰ تا ۱ می‌باشد و نشانگر افزایش پیوسته از عدم عضویت به سمت عضویت کامل است.

(۱) **فازی سازی لایه ارتفاع:** برای فازی سازی لایه ارتفاع، بر اساس اینکه با افزایش میزان ارتفاع میزان ناپایداری دامنه‌ای بیشتر می‌شود از تابع عضویت Linear که به‌صورت تابع رشد است استفاده شد.

(۲) **فازی سازی لایه شیب:** برای فازی سازی لایه شیب، با توجه به اینکه با افزایش میزان شیب، میزان خطر ناپایداری دامنه‌ای بیشتر می‌شود از تابع عضویت Sigmoidal که به‌صورت تابع رشد است استفاده شد.

(۳) **فازی سازی لایه جهت شیب:** از تابع J-shaped که به‌صورت تابع رشد است استفاده شد.

(۴) **فازی سازی لایه فاصله از گسل:** برای فازی سازی لایه فاصله از گسل، بر اساس اینکه هر چه فاصله به گسل‌ها نزدیک‌تر باشد، میزان ناپایداری دامنه‌ای بیشتر می‌شود، بنابراین بیشتر امتیاز داده می‌شود. نوع تابع برای فازی سازی آن تابع عضویت Linear که به‌صورت تابع رشد استفاده شد.

(۵) **فازی سازی لایه فاصله از رودخانه:** برای فازی سازی لایه فاصله از رودخانه، بر اساس اینکه هر چه فاصله به رودخانه نزدیک‌تر باشد، میزان ناپایداری دامنه‌ای بیشتر می‌شود، بنابراین بیشتر امتیاز داده می‌شود. نوع تابع برای فازی سازی آن تابع عضویت Linear که به‌صورت تابع رشد استفاده شد.

(۶) **فازی سازی لایه فاصله از جاده:** برای فازی سازی لایه فاصله از جاده، بر اساس اینکه هر چه فاصله به جاده نزدیک‌تر باشد، میزان ناپایداری دامنه‌ای بیشتر می‌شود، بنابراین بیشتر امتیاز داده می‌شود. نوع تابع برای فازی سازی آن تابع عضویت Linear که به‌صورت تابع رشد استفاده شد.

(۷) **فازی سازی لایه لیتولوژی:** برای فازی سازی لایه زمین‌شناسی، نوع تابع برای فازی سازی آن Sigmoidal که به‌صورت تابع زوال استفاده شد.

(۸) **فازی سازی لایه پوشش گیاهی:** برای فازی سازی لایه پوشش گیاهی، بر اساس اینکه هر چه پوشش گیاهی ضعیف‌تر باشد، میزان ناپایداری دامنه‌ای بیشتر می‌شود. نوع تابع برای فازی سازی آن تابع عضویت Linear که به‌صورت تابع افزایشی استفاده شد.

(۹) **فازی سازی لایه کاربری اراضی:** برای فازی سازی لایه کاربری اراضی، بر اساس اینکه با افزایش کاربری‌های شهری و پوشش گیاهی و باغی و جنگل، میزان خطر ناپایداری دامنه‌ای کمتر می‌شود، نوع تابع برای فازی سازی آن تابع عضویت J-shaped که به‌صورت تابع افزایشی استفاده شد.

۴- وزن دهی فاکتورها

در wlc وزن فاکتورها نشانگر اهمیت نسبی فاکتورها به یکدیگر و تعیین کننده چگونگی موازنه فاکتورها با یکدیگر می‌باشد. در wlc فاکتورها با یکدیگر موازنه کامل دارند. در اینجا متد وزن دهی AHP برای مقایسه زوجی فاکتورها و تعیین وزن نسبی آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱۳). در نهایت میزان اهمیت هر کدام از فاکتورها را نسبت به هم تعیین و در جدول محاسبه وزن‌ها برای ما نشان داده می‌شود که نرخ ناسازگاری به دست آمده ۰/۰۶ است. با توجه به اینکه وزن‌های محاسبه شده قابل قبول می‌باشند شروع به دادن وزن فاکتورها می‌کنیم و نهایتاً نقشه پهنه‌بندی بر اساس مدل Fuzzy AHP دست می‌آید.

Pairwise Comparison 9 Point Continuous Rating Scale									
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
extremely	very strongly	strongly	moderately	equally	moderately	strongly	very strongly	extremely	
Less Important					More Important				

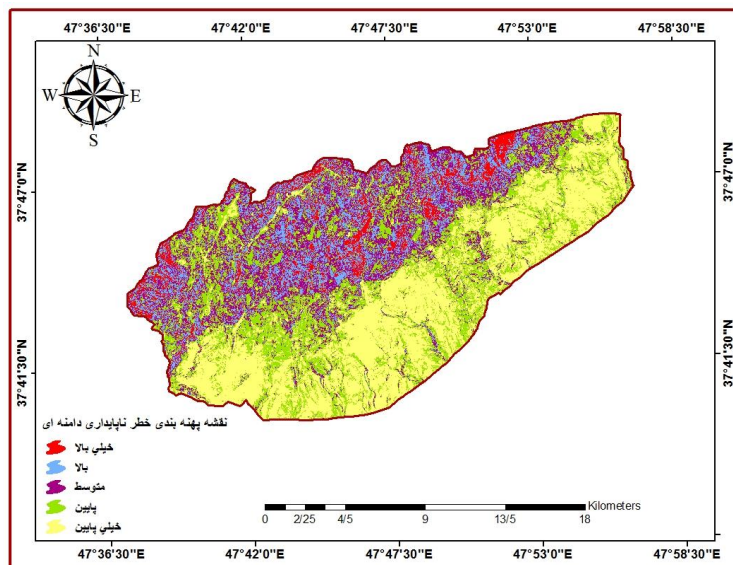
شکل ۱۳: مقیاس وزن دهی در مدل FUZZY AHP (مأخذ: نگارندگان)

پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ای و تحلیل آن

با استفاده از دستور Spatial Analyze و با استفاده از Raster calculator نتایج را محاسبه می‌کنیم. سپس reclass می‌کنیم و نقشه پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ای به دست می‌آید.

$$(dis\ fauit * 0.261) + (Elevation * 0.170) + (slop * 0.143) + (Vegetation * 0.090) + (Aspect * 0.074) + (dis\ river * 0.071) + (litology * 0.066) + (landuse * 0.065) + (dis\ road * 0.060).$$

همان‌گونه که در جدول ۲ و شکل ۱۴ آمده است نقشه پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ای نشان می‌دهد که مناطق دارای خطر زیاد و بسیار زیاد حدود ۲۲ درصد محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرد که بیشتر منطبق بر پهنه گسلی، ارتفاعات بالا، رودخانه و جاده می‌باشد.



شکل ۱۴: نقشه پهنه‌بندی ناپایداری دامنه‌ای به مدل FUZZY AHP در محدوده مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان)

مساحت پهنه‌های ناپایداری به درصد

پس از انجام پهنه‌بندی ناپایداری دامنه‌ای درصد پهنه‌های ناپایداری در هر کلاس محاسبه شد نتیجه نشان داد که در محدوده مورد مطالعه، مناطقی که با خطر بسیار بالا پهنه‌بندی شده‌اند کمترین درصد از میزان مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند، جدول (۱) درصد پهنه‌های ناپایداری در هر کلاس را نشان می‌دهد.

جدول ۲: مساحت پهنه‌های ناپایداری به درصد در مدل Fuzzy AHP (مأخذ: نگارندگان)

کلاس خطر	مساحت هر کلاس (KM ²)	درصد مساحت اشغال شده توسط هر کلاس
بسیار بالا	۱۷/۹۵	۶/۲۳
بالا	۴۳/۷۷	۱۵/۲۵
متوسط	۷۹/۹۹	۲۷/۸۵
پایین	۹۲/۸۶	۳۰/۲۶
بسیار پایین	۵۲/۶۱	۱۸/۳۱
مجموع	۲۸۷/۱۸	۱۰۰

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ای در محدوده گسل بناروان ۹ عامل مورد بررسی قرار گرفته است. این عوامل شامل طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، کاربری اراضی، پوشش گیاهی می‌باشد. برای پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ای با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی در نرم‌افزار Idris ابتدا تمامی لایه‌ها فراخوانی و تعیین معیار شد، سپس لایه‌ها استاندارد شده و

در نهایت وزن فاکتورها محاسبه و نقشه پهنه‌بندی ناپایداری‌های دامنه‌ای به دست آمد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که ۶/۲۳، ۱۵/۲۵، ۲۷/۸۵، ۳۰/۲۶، ۱۸/۳۱ درصد از مساحت منطقه به ترتیب در کلاس‌های خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، پایین و بسیار پایین قرار گرفته است. نقشه پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ای نشان می‌دهد که مناطق داری خطر زیاد و بسیار زیاد حدود ۲۲ درصد محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرد، ناپایداری دامنه‌ای با عامل فاصله از گسل، ارتفاع و شیب در ارتباط است.

منابع

- ۱- اصغر پور، محمد جواد. (۱۳۸۷): تصمیم‌گیری چند معیاره. موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، جلد اول.
- ۲- آسیایی، مجید. سید محمد تاج‌بخش و عباس خاشعی سیوکی و علیرضا متولی. (۱۳۹۲): ارزیابی دو روش تحلیل سلسله مراتبی و فازی در پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش (منطقه مورد بررسی حوزه بهشت‌آباد چهارمحال و بختیاری). فصل‌نامه علمی- پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال سوم، شماره ۱۱، صص ۱۴-۱.
- ۳- بلوآسی، ایمانعلی. محمدحسین رضائی مقدم و محمدرضا نیک جو و کامران خلیل ولی زاده. (۱۳۹۴): مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش. مدیریت مخاطرات محیطی، دوره ۲، صص ۲۵۰-۲۲۵.
- ۴- بهنیا، ابوالفضل. محمدرضا منصوری دانشور و پروین کهربائیان. (۱۳۸۹): کاربرد مدل AHP و منطق فازی در منطقه بندی خطرات زمین‌لغزش نمونه موردی: حوضه آبریز فریزی دامنه شمالی کوه‌های بینالود. جغرافیای طبیعی، شماره ۹، صص ۱۰۰-۸۹.
- ۵- پور قاسمی، حمیدرضا. حمیدرضا مرادی. سید محمود فاطمی عقدا. (۱۳۸۸): ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دوره ۳، شماره ۸، صص ۶۲-۵۱.
- ۶- پور قاسمی، حمیدرضا. مجید محمدی و حمیدرضا مرادی و سید محمود فاطمی عقدا. (۱۳۸۶): کاربرد روابط فازی در تحلیل خطر زمین‌لغزش، مجموعه مقالات دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، دانشگاه فنی تهران، ۴-۵ دی‌ماه، http://www.civilica.com/Paper-GEODM02-GEODM02_086.html.
- ۷- زارع، محمد. علیرضا مقدم‌نیا و صادق تالی خشک و حسین سلمانی. (۱۳۹۴): پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل نرو فازی در حوضه آبخیز و از. پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز سال ششم، شماره ۱۱، صص ۱۱۰-۱۰۱.
- ۸- زیاری، یوسفعلی. مهرناز رضوانی. (۱۳۸۹): بررسی و مکان‌یابی مراکز خدمات پستی با استفاده از روش AHP در محیط GIS مطالعه موردی: شهر سمنان. آمایش محیط، دور ۳، شماره ۱۰، صص ۸۹-۷۳.
- ۹- سازمان زمین‌شناسی. (۱۳۷۱): شرح نقشه زمین‌شناسی چهارگوش سراب.
- ۱۰- شمسی‌پور، علی‌اکبر و محمد شیخی. (۱۳۸۹): پهنه‌بندی مناطق حساس و آسیب‌پذیری محیطی در ناحیه غرب فارس با روش طبقه‌بندی فازی و فرآیند سلسله مراتبی. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، صص ۶۸-۵۳.
- ۱۱- صفاری، امیر. مسعود علیمراد و رامین حاتمی فرد. (۱۳۹۲): پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش به روش رگرسیون چند متغیره با استفاده از داده‌های گسسته در حوضه رودخانه ماربر. فصل‌نامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۳ (پیاپی ۷)، صص ۷۴-۵۹.
- ۱۲- عابدینی، موسی و محمدحسین فتحی. (۱۳۹۳): پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در حوضه آبخیز خلخال چای با استفاده از مدل‌های چند معیاره. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۴، صص ۸۵-۷۱.
- ۱۳- عطایی، محمد. (۱۳۸۹): تصمیم‌گیری چند معیاره فازی. چاپ اول، دانشگاه صنعتی شاهرود.

- ۱۴- فیض نیا، سادات. (۱۳۷۴): مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران. مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۷، صص ۱۶۶-۹۵.
- ۱۵- قدسی پور، سید حسن. (۱۳۹۲): فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). چاپ یازدهم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- ۱۶- کریمی، مرتضی و اسماعیل نجفی. (۱۳۹۱): ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ترکیبی FUZZY-AHP در راستای توسعه و امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه یک کلان‌شهر تهران). فصل‌نامه علمی- پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال دوم، شماره ۸، صص ۷۷-۹۵.
- ۱۷- مهدوی فر، محسن. محمود فاطمی عقدا. (۱۳۷۶): کاربرد تحلیل‌های فازی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و شرح سامانه کامپیوتری تهیه‌شده. مجموعه مقالات دومین سمینار زمین‌لغزه و کاهش خسارت‌های آن، انتشارات موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، جلد اول.
- a. http://www.civilica.com/Paper-SLHR02-SLHR02_013.html.
- ۱۸- نظم‌فر، حسین و ابراهیم بهشتی. (۱۳۹۵): کاربرد مدل ترکیبی فرآیند تحلیل شبکه و منطق فازی در پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز چلی چای). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۲۷، پیاپی ۶۱ شماره ۱، صص ۶۸-۵۳.
- 19- Aksoy, B. & Ercanoglu, M. (2012): Landslide Identification and Classification By Object-Based Image Analysis and Fuzzy Logic: An Example From The Azdavay Region (Kastamonu, Turkey). *Computers & Geosciences*, Vol 38, Issue 1, PP: 87-97.
- 20- Bozdog, C.E. Kahraman, C. & Ruan, D. (2003): Fuzzy Group Decision Making Forselection Among Computer Integrated Manufacturing Systems. *Computers Industry*, Vol. 51, Issue 1, PP: 13-29.
- 21- Champati-ray, P.K. Dimri, S. Lakhera, R.C. & Sati, S. (2007): Fuzzy-Based Method For Landslide Hazard Assessment in Active Seismic Zone of Himalaya. *Landslides*, Vol. 4, Issue 2, PP: 101- 111.
- 22- Gorsevski, P. V. Jankowski. P. & P. E. Gessler. (2006): An Heuristic Approach For Mapping Landslide Hazard Integrating Fuzzy Logic With Analytic Hierarchy Process. *Control and Cybernetics*, Vol. 35, No 1, Pp: 121-146.
- 23- Kanungo, D. P. Arora, M. K. Sarkar, S. & Gupta, R. P. (2006): A Comparative Study of Conventional, ANN, Black Box, Fuzzy and Combined Neural and Fuzzy Weighting Procedures For Landslide Susceptibility Zonation in Darjeeling Himalayas, *Engineering Geology*, Vol. 85, Issues 3-4, Pp: 347-366.
- 24- Othman, A. N. Mohd, W. Naim. W. M. & Noraini S. (2012): GIS Based Multi-Criteria Decision Making for Landslide Hazard Zonation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 35, PP: 595 – 602.
- 25- Piacentinia, D. Troiani, F. Soldati, M. Notarnicola, C. Savelli, D. Schneiderbauer, S., & Strada, C. (2012): Statistical Analysis For Assessing Shallow-Landslide Susceptibility in South Tyrol (Southeastern Alps, Italy). *Geomorphology*, Vol. 151-152, PP: 196-206.
- 26- Sabuya, F, M. G. Alves & Pinto, W. D. (2006): Assessment of Failure Susceptibility of Soil Slopes sing Fuzzy Logic. *Engineering Geology*, Vol. 86, Issue 4, Pp: 211-224.