

## ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه سراجو)

سید اسدالله حجازی

دانشیار گروه ژئومورفولوژی دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، ایران

مهدی جوادی<sup>۱</sup>

دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، ایران

ندا موسوی کجاباد

دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۷

### 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. به دلیل کاربرد فزاینده روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، در این مطالعه از مدل‌های فازی، در ترکیب با GIS استفاده می‌گردد. در راستای ارزیابی وقوع زمین لغزش، نقشه‌های عضویت فازی تهیه و با استفاده از ابزارهای GIS و تجزیه و تحلیل‌های آماری همبستگی و اهمیت هر کدام از زمین لغزش‌های رخ داده بررسی و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تولید گردید. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که انطباق نقشه‌های گامای فازی مناطق دارای خطر زمین لغزش خیلی پر خطر، مساحتی به اندازه ۲۴۶۱ هکتار دارا می‌باشد که نیازمند مطالعات آبخیزداری و حافظت از خاک می‌باشند.

کلیدواژه‌گان: زمین لغزش، پهنه‌بندی، فازی، حوضه آبریز سراجو.

## مقدمه

حرکات توده‌ای و به ویژه زمین لغزش یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی است (شمس و علیزاده، ۱۳۹۷: ۱۶۲). زمین لغزش‌ها شاخص مهمی برای تغییرات محیطی هستند، زیرا به عنوان فرآیند ژئومورفیک در کوتاه مدت سیستم‌های طبیعی را به هم می‌زند. امروز موضوع زمین لغزش از مهمترین مباحث در زمینه مخاطرات طبیعی است چرا که همانند سیل، زلزله، آتشفشان از بلایای طبیعی بوده (کرنازادی، ۱۳۹۸: ۲۸) و وقوع آن می‌تواند خسارات انسانی و اقتصادی فراوانی را به ویژه در مناطق کوهستانی داشته باشد (حسین پور، ۱۳۹۳). وجود لغزش یا احتمالاً وقوع آن، می‌تواند بیشتر فعالیتهای عمرانی و اجرایی از جمله فعالیتهای جاده سازی، شهرسازی، سازه‌های آبی، عملیات آبخیزداری و منابع طبیعی، نهرهای آبرسانی، دکل‌های انتقال برق و غیره را تحت تأثیر قرار دهد (مقیم و نجابت، ۱۳۹۸: ۲۷۲). حرکات لغزشی، از مهم‌ترین و گسترده‌ترین مخاطرات مناطق کوهستانی است که حیطه فعالیت آن‌ها از تپه‌های ملایم تا کوهستان‌های شیب‌دار است (حجازی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۲۲). شناسایی عوامل مؤثر بر زمین لغزش، پهنه بندی و تشخیص مناطق پرخطر، ابزار اساسی برنامه‌ریزان است. که یکی از قابلیت‌های موثر در امکان شناسایی قسمت‌های مستعد لغزش را فراهم می‌کند (بشیری و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۵۸). بررسی وقوع زمین لغزش در محور و مخزن سدها و حوضه‌های آبریز از اهمیت بالایی برخوردار است، به نحوی که در صورت وجود برخوردی واقع بینانه با این مساله، پس از اثبات وجود زمین لغزه در محل انتخاب شده، مطالعات باید مجدداً تکرار گردد و یا اینکه در صورت عدم توجه به طور کلی به این موضوع (که اکثراً اینگونه است) سد در محلی خطرناک ایجاد خواهد شد، که علاوه بر هزینه‌های سنگین بعدی برای نگه‌داری سد، در صورت ایجاد حرکت جدید در دامنه لغزنده، خطرهای جانی نیز منطقه پایین دست سد را تهدید خواهد نمود (روستائی، ۱۳۹۳: ۶۹۵). استفاده از تکنولوژی سنجش از راه دور و GIS<sup>۱</sup>، به دلیل قابلیت دریافت و ثبت آخرین تحولات و واقعیات زمینی و همچنین قابلیت به هنگام‌سازی و نمایش داده‌ها و داشتن پایگاه داده قوی، در بررسی زمین لغزش بسیار کارآمد می‌باشد. هدف اصلی این تحقیق، تعیین مناطق مستعد زمین لغزش در محدوده حوضه آبریز رودخانه سراجو، که تاکنون زمین لغزش‌های متعددی در این حوضه آبخیز رخ داده است و این لغزش‌ها باعث ایجاد خسارت‌هایی در سطح منطقه شده است از جمله این خسارت‌ها که ضرورت این مطالعه را نمایان می‌سازد می‌توان به افزایش بار رسوبی رودخانه منطقه، تخریب اراضی مرتعی و فرسایش خاک اشاره کرد. در این تحقیق برای پهنه بندی خطر زمین لغزش از منطق فازی استفاده شده است. تئوری فازی، شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کند و مهمترین نقش مدل فازی در تعیین اوزان و رتبه بندی، تحلیل و شناسایی شاخص‌ها و اوزان نقش موثری دارد. جنبه نوآوری این تحقیق در پهنه سراجو ممکن است مناطقی باشد که در مناطق بی‌خطر زمین لغزش قرار گیرند، اما از نظر لرزه خیزی در مناطق با خطر بالا قرار بگیرند؛ بنابراین باید نقشه‌هایی با استفاده از تلفیق فاکتورهای مؤثر بر این دو عامل تهیه شود. مقایسات فازی انجام می‌شود و چه بسا اولویت بندی نامناسب منجر به تهیه نقشه‌های اشتباه شود که در برخی مطالعات قبلی رخ داده است. در ادامه پس از تهیه نقشه‌ها، راست آزمایی نقشه‌های خروجی بر مبنای داده‌های واقعی و آماری صورت می‌گیرد تا بهترین نقشه خروجی انتخاب شود. همچنین برای نیل

<sup>۱</sup> Geography Information System

به اهداف، روش تحقیق از نظر هدف کاربردی و روش شناسی پیمایشی - تحلیلی است. بدین ترتیب ابتدا عوامل موثر در وقوع زمین لغزش شامل ارتفاع، بارندگی، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، فاصله جاده، فاصله از گسل، پوشش زمین و لیتولوژی به عنوان عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش شناسایی و لایه‌های مذکور در روش فازی رقومی شد.

### مبانی نظری

با مراجعه به اسناد مدارک مرتبط با موضوع پژوهش این نتیجه دریافت شد، که پژوهش‌های متعددی در قالب کتاب، طرح پژوهشی، مقاله و... صورت گرفته، ولی از آنجایی که امکان ذکر همه آنان مقدور نمی‌باشد. لذا به صورت خلاصه به ذکر آن دسته از سوابق که با موضوع ارتباط نزدیک‌تری داشته و از طرفی، در مآخذ سایر پژوهش‌ها دارای بیشترین استناد بوده، می‌پردازیم:

در مورد حرکات دامنه‌ای بخصوص لغزش‌ها مطالعات زیادی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است. از جمله تحقیقات داخلی می‌توان به: روستایی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی ویژگی‌ها و تأثیرات ژئومورفولوژیکی لغزش سیمره و چگونگی تحول ژئومورفیک این زمین لغزش و مقایسه با زمین لغزش‌های بزرگ دنیا پرداخته‌اند. عرب عامری و همکاران (۱۳۹۶) به پهنه بندی استعداد اراضی نسبت به وقوع زمین لغزش در حوضه سرخون کارون پرداختند. در این تحقیق از روش‌های نسبت فراوانی استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که اصلی‌ترین عوامل در بروز زمین لغزش‌های این منطقه بر اساس مشاهدات میدانی و نظرات کارشناسی شامل لیتولوژی، فاصله از جاده و ارتفاع به ترتیب با کسب امتیازات بالا می‌باشند. حسنی (۱۳۹۶) به پهنه بندی خطر زمین لغزش در جاده کن - سولقان پرداختند. در این تحقیق با استفاده از سیستم منطق فازی نقشه‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که در میان عملگرهای اعمال شده در این پژوهش مشاهده عملگر اشتراک فازی در میان سایر عملگرهای فازی استفاده شده در این پژوهش مناسب‌تر بوده است. قویمی پناه و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی و مقایسه صحت دو روش سلسله مراتبی و رگرسیون چند متغیره در پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز ولی عصر در استان اردبیل پرداختند. بر پایه این پژوهش روش رگرسیون چندمتغیره نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی در منطقه مورد مطالعه دقت بیشتری دارد. اصغری کلجاهی (۱۳۹۵) به پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه غرب شهرستان خوی پرداختند. در این تحقیق از روش آنبالاگان استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که حدود ۱/۱ درصد از منطقه در پهنه با خطر بسیار بالا و ۲۳ درصد از منطقه در پهنه با خطر بالا قرار دارد. یمانی و همکاران (۱۳۹۳) به تعیین پهنه بندی خطر زمین لغزش در مسیر آزادراه خرم آباد پل زال پرداختند. در این تحقیق از روش منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که ضمن اینکه این مدل کارایی مناسبی جهت تشخیص مناطق مستعد لغزش دارد، در کنار عامل شیب و سنگ شناسی به عنوان عوامل اصلی رخداد لغزش، احداث جاده وقوع لغزش‌ها را تشدید نموده است. پورقاسمی و همکاران (۲۰۱۸) در منطقه جوامون جین در کره جنوبی اقدام به تولید نقشه‌های حساسیت زمین لغزش کردند. در این پژوهش از سه الگوریتم یادگیری ماشین LR، LB و NB استفاده کرده‌اند و نتایج پژوهش آنها نشان داد مدل‌های LR و LB دقت منطقی نسبت به مدل NB در ارزیابی حساسیت وقوع لغزش دارند.

پولکریتیس<sup>۱</sup> (۲۰۱۷) به ارزیابی عملکرد مدل استنتاج عصبی فازی تطبیقی با استفاده از تابع عضویت و هفت عامل ورودی در منطقه پلوپونز یونان پرداختند، نتایج نشان از توانایی این مدل در منطقه دارد. زو و کارنزا<sup>۲</sup> (۲۰۱۷) به اندازه‌گیری بعد فرکتالی و ارتباط عوامل محیطی با زمین لغزش در جنوب چین پرداختند. بررسی متغیرهای گسل، رودخانه‌ها، زمین شناسی و جاده نشان داد که بین تراکم زمین لغزش‌ها و فاصله با عوامل محیطی رابطه فرکتالی وجود دارد و با افزایش بعد فرکتالی، قدرت رابطه بیشتر می‌شود. پاپاداکیس و کاریمالیس<sup>۳</sup> (۲۰۱۷) در تحلیل حساسیت زمین لغزش با روش تحلیل سلسله مراتبی در یونان، شیب و لیتولوژی را مهمترین عوامل وقوع زمین لغزش معرفی کردند و مدل AHP با قدرت ۶۹.۴۵ پهنه‌های با خطر بالا و خیلی بالا را تخمین زد. چن<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۶) در استان شانکسی چین به مقایسه روش‌های دمپستر شيفر، رگرسیون لجستیک و شبکه‌ی عصبی مصنوعی جهت پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش پرداخته و به این نتیجه رسیدند که مدل شبکه عصبی مصنوعی بیشترین دقت را دارد. دلاسرنا<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۶) به پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی و تکنیک GIS در مناطق کوچک مقیاس معدن سوریگائوری شمالی، فیلیپین پرداختند. در این مطالعه چندلایه از عوامل لغزش یعنی شیب، تراکم زهکشی، هوازدگی، سنگشناسی، پایداری زمین، نوع خاک و پوشش گیاهی در نظر گرفته شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که دو معیار شیب و جابجایی عمودی عامل اصلی در لغزش‌های منطقه است.

#### قلمرو جغرافیایی تحقیق

حوضه آبخیز سراجو در نزدیکی شهر مراغه واقع شده است. این حوضه به مساحت ۷۲۰۵۵ هکتار بین عرض‌های شمالی ۳۷ درجه و ۲۱ دقیقه و ۲۱ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۲۰ ثانیه و طول‌های شرقی ۴۶ درجه و ۲۷ دقیقه و ۲۳ ثانیه و ۴۶ درجه و ۳۳ دقیقه و ۱۸ ثانیه واقع شده است. محیط حوضه ۲۳۱ کیلومترمربع می‌باشد. با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و بازدیدهای میدانی صورت گرفته ۱۶ مورد حرکات توده‌ای که عمدتاً از نوع لغزشی هستند، شناسایی گردید. حوضه آبخیز انتخابی یکی از شعبات رودخانه لیلان چای آذربایجان شرقی است که از کوه‌های سهند سرچشمه می‌گیرد و پس از مشروب کردن اراضی ملکان به دریاچه ارومیه می‌ریزد. حوضه آبخیز مورد مطالعه در بخش سراجوی شهرستان مراغه (جنوب مراغه) واقع شده است. بخش جنوبی شهرستان مراغه به صورت دشت و جلگه می‌باشد و یکی از رودخانه‌های مهم آن لیلان چای است که تأمین کننده آب کشاورزی این شهرستان می‌باشد. جریان آب این رودخانه اکثراً در زمستان یخ می‌بندد. آب و هوای شهرستان مراغه معتدل متمایل به سرد و نسبتاً مرطوب است. هوای قسمت‌های جلگه و کنار دریاچه گرمسیر و در قسمت‌های کوهستانی معتدل می‌باشد.

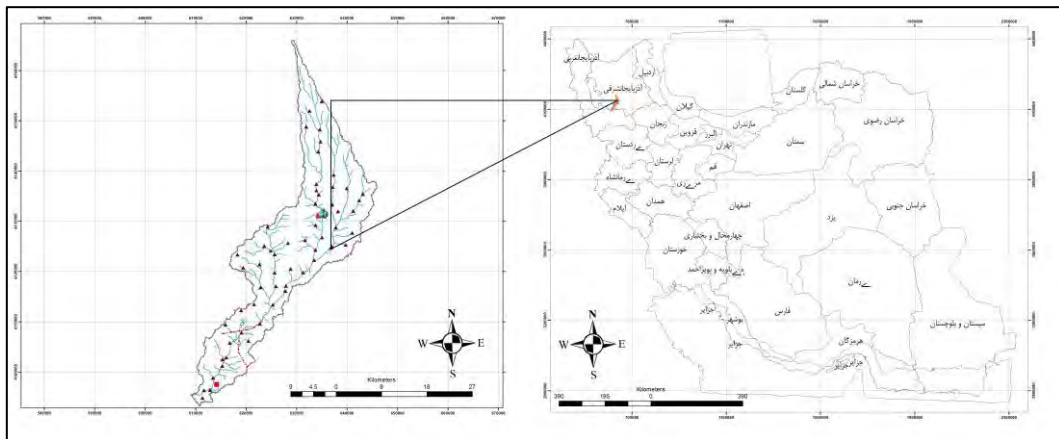
<sup>1</sup> Polykretis

<sup>2</sup> Zuo & Carranza

<sup>3</sup> Papadakis & Karimalis

<sup>4</sup> Chen

<sup>5</sup> Dela Cerna



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز سراجو در استان آذربایجان شرقی

### مواد و روش تحقیق

برای انجام تحقیق و خطر زمین لغزش، تهیه نقشه پراکندگی زمین لغزش یا سیاهه لغزش مهمترین بخش کار بوده که انجام آن با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی با دقت بالایی میسر می‌باشد. دقت و صحت پهنه‌بندی زمین لغزش تا حدود زیادی وابسته به این مرحله است. بنابراین در ابتدا با استفاده از ابزارهای مختلف شامل عکس-های هوایی ۱:۵۰۰۰۰۰ (از وضوح و کیفیت بالایی نسبت به عکس‌های هوایی مقیاس ۱:۲۰۰۰۰۰ برخوردار هستند)، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث، اطلاعات موجود، بررسی‌های میدانی زمین لغزش‌های موجود شناسایی و مشخص شدند در تحقیق حاضر ۱۰ عامل موثر بر وقوع زمین لغزش‌های منطقه مورد بررسی قرار گرفتند که عبارتند از: ارتفاع، شیب، جهت شیب فاصله از آبراهه زمین شناسی کاربری اراضی، بارش و پوشش گیاهی. در راستای هدف تحقیق داده‌های مورد نیاز از روی نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ نقشه‌های زمین شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ تصاویر ماهواره‌ای ETM+ و Google Earth با قدرت تفکیک تقریباً کمتر از یک متر مطالعات میدانی و نیز منابع کتابخانه حاصل شد. جهت رقوم‌سازی و تهیه لایه‌های اطلاعاتی به منظور انجام پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش از نرم‌افزار GIS استفاده گردید. جهت شناسایی مناطق حساس به لغزش، پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از روش منطق فازی صورت گرفت.

در تحقیق حاضر، برای بررسی و پهنه بندی زمین لغزش از تئوری فازی که بوسیله دکتر لطفی زاده معرفی شده استفاده شده است. در تئوری مجموعه فازی مقادیر عضویت عوامل مختلف در دامنه بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند، در صورتی که تا قبل از آن عضویت مجموعه بصورت بود (۱) یا نبود (۰) بوده است. از عملگرهای مختلفی می‌توان در ترکیب مقادیر عضویت استفاده کرد. پنج عملگر مختلف شامل «یا» فازی، «و» فازی، ضرب جبری فازی، جمع جبری فازی و گامای فازی موجود است. برای تعیین مقادیر عضویت فازی از فرایند نرمالیزه کردن استفاده می‌شود. چون مقادیر عضویت فازی در دامنه بین ۰ تا ۱ می‌باشند از طریق نرمالیزه کردن ماکزیمم-مینیمم طبق رابطه زیر نسبت فراوانی به مقادیر عضویت فازی تبدیل می‌شود. پهنه بندی حساسیت زمین لغزش پس از تعیین مقادیر عضویت فازی برای هر یک از کلاس‌های لایه‌های موضوعی با استفاده از عملگرهای مختلف فازی (عملگر «یا» فازی، «و» فازی، ضرب جبری فازی، جمع جبری فازی و فازی گاما) انجام می‌گردد.

### یافته‌های تحقیق

## عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش

برای پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل منطق فازی، عوامل مختلف به شرح ذیل مورد بررسی قرار گرفت:

- تصویر مدل ارتفاع رقومی (DEM) منطقه با قدرت تفکیک ۱۰ متر از روی نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ با فواصل منحنی‌های میزان ۱۰ متر تهیه گردید. حداقل ارتفاع منطقه ۱۳۳۰ متر و حداکثر ارتفاع آن ۲۵۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. منطقه از نظر ارتفاعی، به ۶ طبقه با فاصله طبقات ۳۵۰ متر تقسیم شد. تقریباً ۶۱ درصد توده‌های لغزشی در محدوده ارتفاعی ۱۶۰۰ تا ۱۹۰۰ متری و ۱۵ درصد لغزش‌ها فقط در محدوده ارتفاعی ۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰ متری رخ داده‌اند (شکل شماره ۲).

- شیب: لایه شیب منطقه از روی تصویر مدل ارتفاع رقومی (DEM) با قدرت تفکیک ۱۰ متر تهیه گردید و به ۷ طبقه با فاصله طبقات مختلف بر اساس وضعیت شیب منطقه تقسیم شد (شکل شماره ۳). متوسط شیب منطقه ۱۸ درصد می‌باشد. بیش از ۲۷ درصد توده‌های لغزشی حوضه در کلاس شیب ۵-۱۰ درصد و نزدیک به ۵۱ درصد رخداد لغزش در کلاس ۱۰-۱۵ درصد واقع شده‌اند.

- جهت شیب: لایه جهت شیب منطقه از روی تصویر مدل ارتفاع رقومی (DEM) با قدرت تفکیک ۱۰ متر تهیه گردید و به ۹ طبقه شامل جهت‌های اصلی، فرعی و بدون جهت تقسیم گردید (شکل شماره ۴). بررسی لغزش‌های صورت گرفته در منطقه نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های صورت گرفته در دامنه‌های متمایل به شمال بوده که نشان از تاثیر رطوبت می‌باشد که همین امر موجب گسیختگی ذرات خاک و وقوع زمین لغزش می‌گردد.

- در تهیه نقشه کاربری اراضی از تصویر ماهواره لندست و روش طبقه بندی نظارت شده استفاده شد. برای اطمینان از دقت نقشه تهیه شده، از نقشه‌هایی که توسط اداره منابع طبیعی تهیه شده بود استفاده گردید و جهت افزایش دقت با کنترل‌های زمینی و همچنین تصویر ماهواره‌ای Google Earth که از قدرت تفکیک بالایی برخوردار است اصلاح شد و لایه نهایی تهیه گردید. کاربری‌های عمده حوضه، بیشتر مرتع و اراضی کشاورزی دیم می‌باشند که مجموعاً بیش از ۷۰ درصد از مساحت حوضه را شامل می‌شود که اکثر لغزش‌ها بر روی این واحدها رخ داده‌اند (شکل شماره ۵). استفاده بی‌رویه از مراتع و تبدیل آن به اراضی دیم شرایط طبیعی خاک سطحی را از بین برده و مقدمات تخریب آن را به اشکال مختلف مهیا کرده است.

- آبراهه‌های حوضه با استفاده از تصویر مدل ارتفاع رقومی (DEM) تهیه گردید. برخی از زمین لغزش‌ها در مجاورت آبراهه‌ها و در نتیجه پدیده زیرشوئی توسط جریانات موجود رخ داده‌اند. برای دخالت دادن تاثیر فاصله از آبراهه در وقوع زمین لغزش، حریم‌هایی به فواصل ۱۰۰ متر نسبت به آبراهه‌ها ترسیم گردید (شکل شماره ۵). در حدود ۵۰ درصد توده‌های لغزشی در فاصله صفر تا ۵۰۰ متری آبراهه‌ها واقع شده‌اند و با بیشتر شدن فاصله از آبراهه، از مقدار لغزش‌ها کاسته می‌شود.

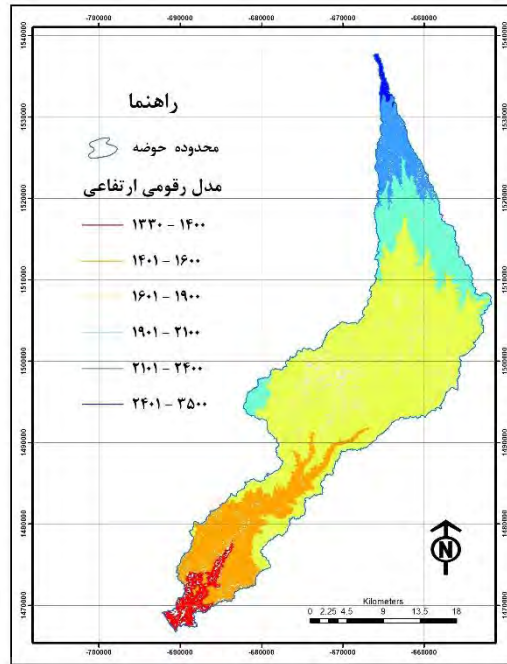
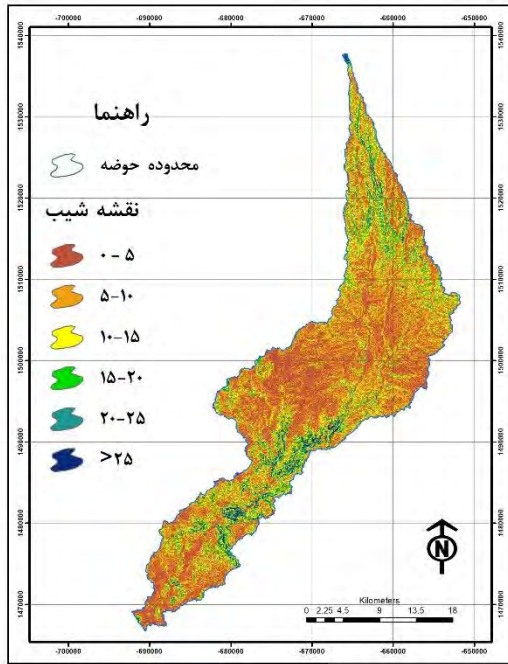
- بارش: نقشه بارش حوضه نازلوچای با استفاده از مطالعات حصاری و همکاران، ۱۳۸۴ و بر اساس بارش ۳۰ ساله تهیه گردیده است. در مطالعه فوق دلیل عدم تطابق داده‌های بارش و رواناب، مقدار بارش مناطق مرتفع حوضه از مقدار رواناب حوضه تخمین و با استفاده از بیلان آب سطحی و بصورت سلولی تهیه گردیده است. در نقشه اصلاحی بارش، بیشترین مقدار بارش حدود ۸۸۰ میلیمتر در محدوده مرزی (مرز کشور ترکیه و کمترین مقدار

حدود ۲۶۰ میلیمتر در قسمتهای کم ارتفاع در پایین دست حوضه بدست آمد (شکل شماره ۶). حدود ۵۸ درصد لغزش‌های حوضه در کلاس ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلیمتری و ۸۱ درصد در کلاس ۳۰۰-۶۰۰ میلیمتری بارش بوقوع پیوسته-اند. از کلاس ۶۰۰ میلیمتری به بالا از مقدار لغزش‌ها کاسته شده است.

-شاخص پوشش گیاهی: نقشه پوشش گیاهی برای تکمیل کاربری اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در پژوهش حاضر، از شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، برای تهیه نقشه پوشش گیاهی استفاده گردید. بدین منظور از تصاویر ETM+ ماهواره لندست (مربوط به سال ۲۰۱۵) استفاده شد (شکل شماره ۷). مقدار این شاخص بین -۱ تا +۱ می‌باشد. هرچه مقدار آن به +۱ نزدیکتر باشد نشان دهنده سرسبزی منطقه و بالا بودن پوشش گیاهی است روستایی و همکاران، (۱۳۹۳). بر اساس شاخص NDVI حوضه مورد مطالعه به شش طبقه تقسیم گردیده است. افزایش پوشش گیاهی در مناطق و دامنه‌های غربی نشان از رطوبت زیاد بوده و این خود دلیل تراکم لغزش‌ها در این قسمت از حوضه می‌باشد.

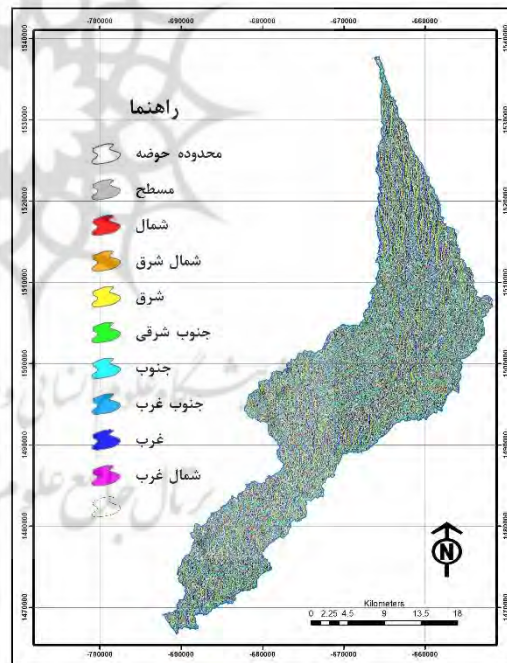
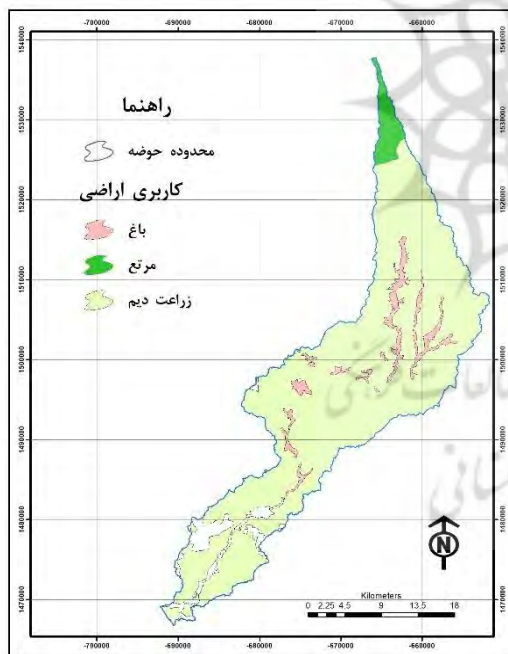
-ژئومورفولوژی واحد کوهستان تپه در منطقه دارای گسترش وسیعی بوده و بیش از ۸۰ درصد مساحت حوضه مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهد. شیب عمومی دامنه‌ها در این واحد عموماً بیش از ۱۲٪ بوده و گسترش واحدهای با برونزد سنگی از ویژگیهای این واحد است. در این واحد ژئومورفولوژیکی از نظر لیتولوژی و مورفولوژی مناطق توده سنگی، دامنه‌ها و ستیغ‌ها را در بر می‌گیرد. عمده این مناطق بر ارتفاعات سازنده‌ای کربناته بویژه قله‌ها و ستیغ‌های ارتفاعات سازند روته و قم منطبقند. همچنین مناطق برونزد سنگی (Rock Outcrops) دامنه‌ها و پهنه‌هایی را در بر می‌گیرد که ۲۵ تا ۷۵ درصد سطح رخنمونشان سنگی است. این مناطق اکثراً در سازندهای کربناته یا کنگلومرایی با سیمان کربناته واقع گردیده‌اند. این دو منطقه (مناطق توده سنگی و مناطق برونزد سنگی) محل و جایگاه اکثر لغزش‌های رخ داده در حوضه می‌باشد.

-گسل‌های حوضه مورد مطالعه از روی نقشه‌های زمین‌شناسی استخراج شد. سپس حوضه برحسب فاصله از گسل-ها به شش طبقه تقسیم گردید (شکل شماره ۹). برخی از زمین لغزش‌ها در مجاورت گسل‌ها بوده که نزدیک به ۳۰ درصد آنها در فاصله صفر تا ۴۰۰ متری از گسل‌ها واقع شده که با بیشتر شدن فاصله از گسل، از مقدار لغزش‌ها کاسته می‌شود. اما گسل‌ها تا چه حدی در وقوع زمین لغزش‌ها موثر هستند نمی‌توان نظری داد. مناطق با فعالیت‌های گسلی امکان شکست و تخریب سنگ‌ها را نیز افزایش داده که عاملی است برای نفوذ بیشتر آب که با اشباع آب ذرات و دانه‌های خاک از هم جدا شده و گسستگی رخ می‌دهد. در نهایت سطوح توده‌های لغزشی نسبت به فاصله از گسل‌ها محاسبه شده و در پهنه بندی منظور گردیدند. فاصله از جاده: احداث جاده تاثیر مخربی بر سطوح حوضه داشته و در صورت عدم رعایت موارد احتیاطی شرایط را برای وقوع ناپایداری دامنه‌ای مخصوصاً زمین لغزش مهیا خواهد کرد (شکل شماره ۱۰). در حوضه مورد مطالعه حدود ۳۶ درصد لغزش‌ها در محدوده ۰ تا ۵۰۰ متری و بیش از ۶۳ درصد در محدوده ۰ تا ۱۰۰۰ متری از خطوط جاده‌ای رخ داده‌اند که در این بین با نزدیک شدن به جاده بر مقدار لغزش‌ها افزوده و بر عکس با بیشتر شدن فاصله از مقدار لغزش‌ها کاسته می‌شود.



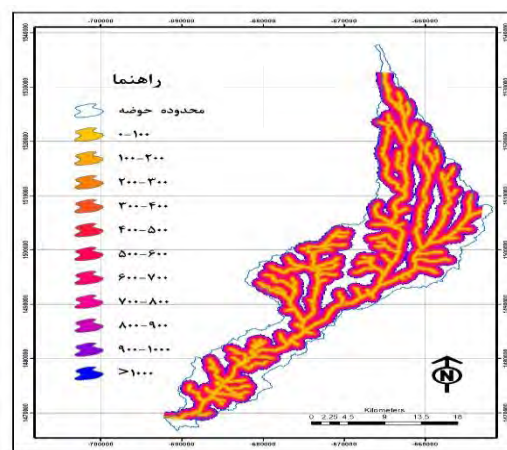
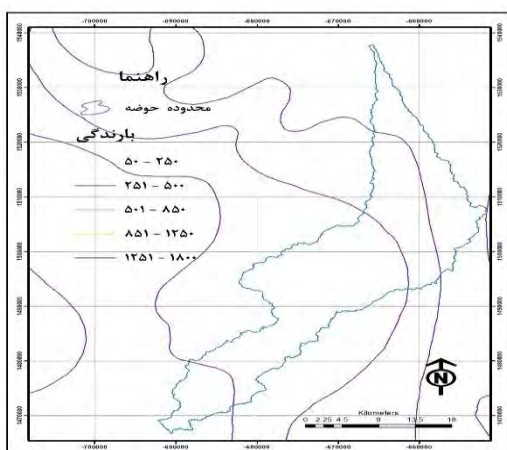
شکل ۳. کلاس‌های شیب حوضه سراجو

شکل ۲. کلاس‌های ارتفاعی حوضه سراجو



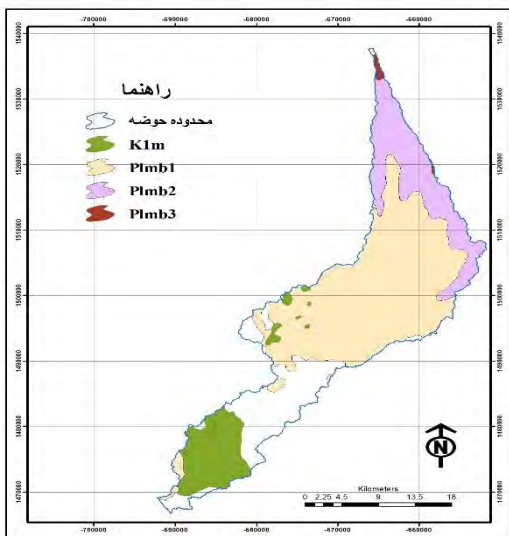
شکل ۴. کاربری اراضی حوضه سراجو

شکل ۳. کلاس‌های جهت شیب حوضه سراجو

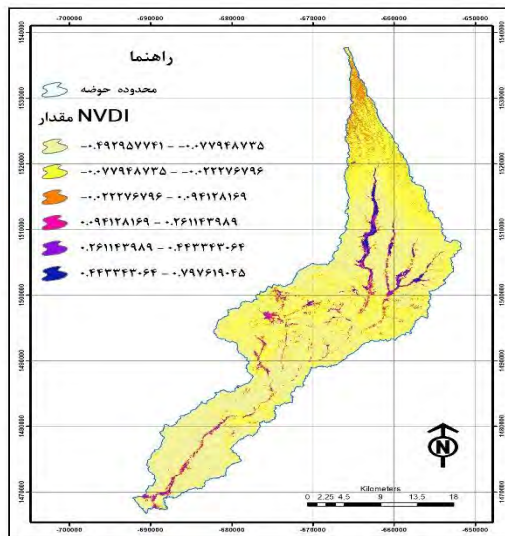




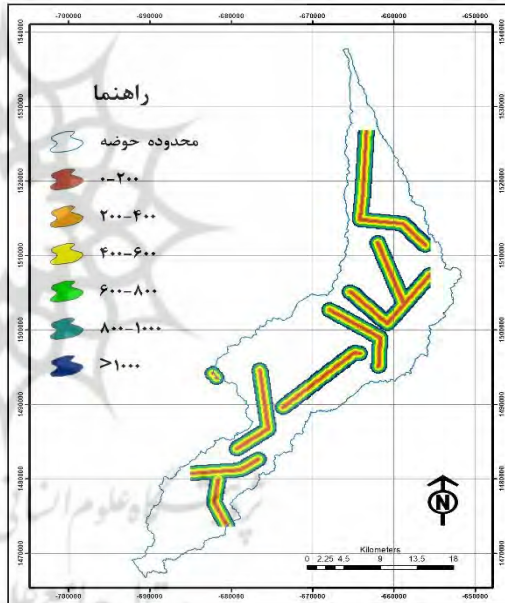
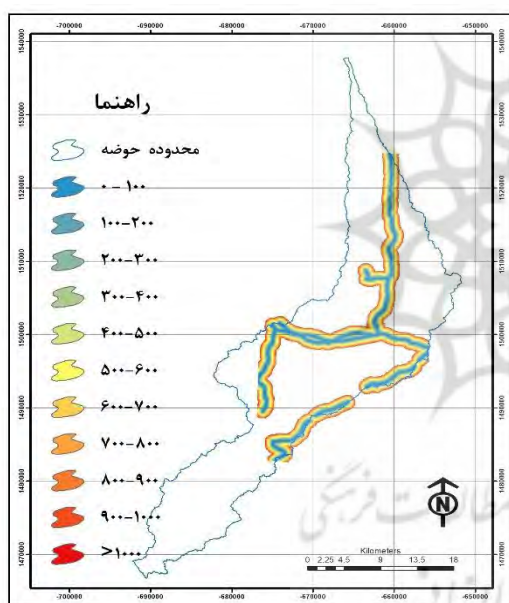
شکل ۶. بارش حوضه سراجو



شکل ۵. فاصله از آبراهه حوضه سراجو



شکل ۷. شاخص پوشش گیاهی حوضه سراجو



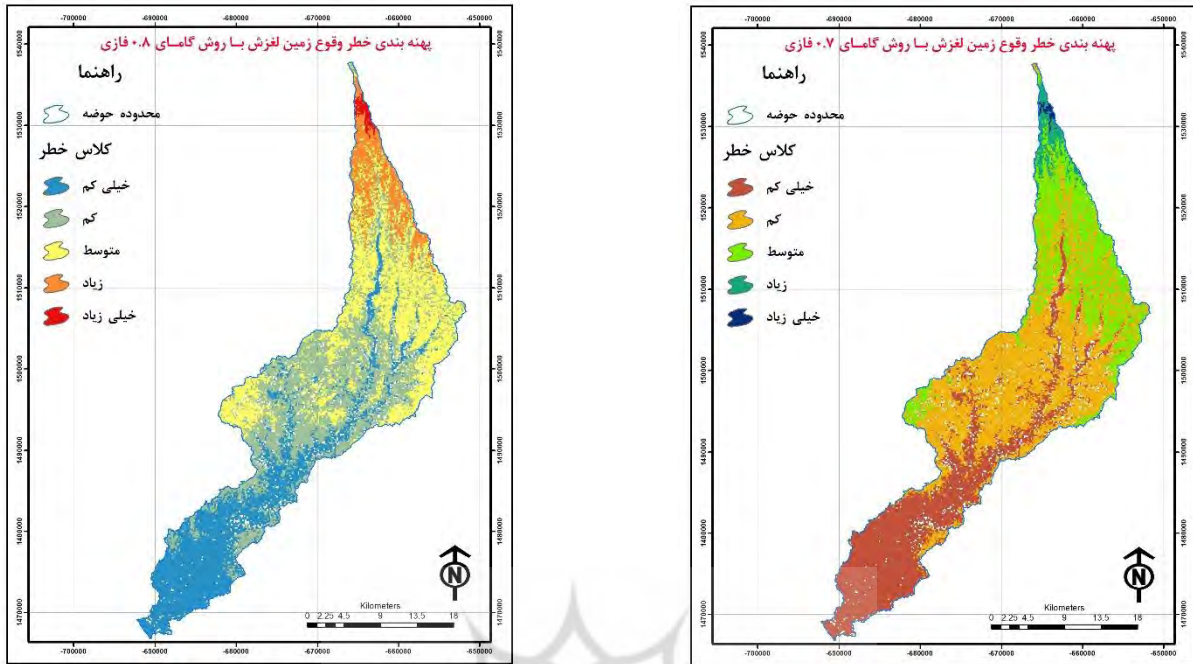
شکل ۱۰. فاصله از جاده حوضه سراجو

شکل ۹. فاصله از گسل حوضه سراجو

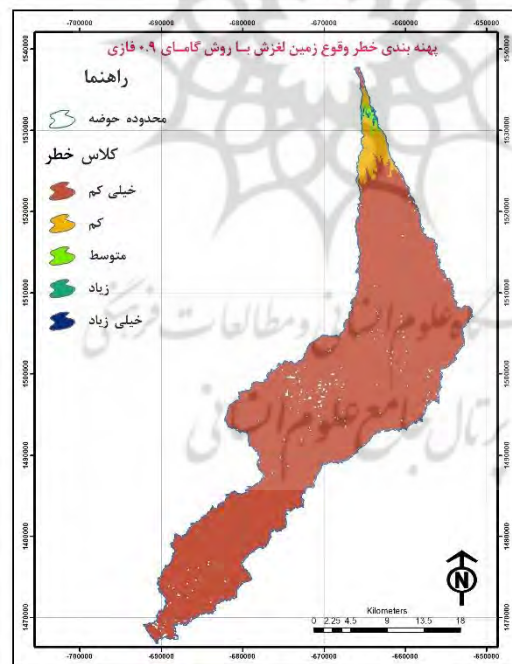
### نتیجه گیری و دستاورد علمی پژوهشی

در این تحقیق، پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از روش منطق فازی صورت گرفت. پهنه بندی با استفاده از عملگرهای و فازی، یا فازی، جمع جبری فازی و ضرب جبری فازی نتایج قابل قبولی را نشان دادند. در حالیکه نتایج حاصل از عملگر ۰.۷، ۰.۸ و ۰.۹ فازی با واقعیت‌های موجود منطقه مطابقت بیشتری را نشان دادند. برای انتخاب مدل‌های مناسب از شاخص نسبت تراکم، شاخص جمع مطلوبیت و مشاهدات میدانی بهره گرفته شد که در نهایت روش گامای ۰.۷ فازی برای حوضه مطلوب تشخیص داده شد و از دقت و مطلوبیت بیشتری در مقایسه با عملگرهای دیگر جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش برخوردار می‌باشد. نتایج حاصل از پهنه بندی با

استفاده از روش گامای ۰.۷ فازی تا گامای ۰.۹ فازی نشان می‌دهند که نقشه‌های حاصله انطباق بیشتری با پراکنش زمین لغزش‌ها دارند (اشکال ۱۱ تا ۱۲).



شکل ۱۱. نقشه پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با روش گامای ۰.۷ و ۰.۸ فازی



شکل ۱۲. نقشه پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با روش گامای ۰.۹ فازی

پهنه بندی خطر حرکات توده‌ای، ترسیم نقشه نواحی با احتمال یکسان وقوع زمین لغزش در زمان معین می‌باشد. از این طریق، سطح زمین به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل با بالقوه خطر (خیلی زیاد تا خیلی کم) وضوح زمین لغزش‌ها تقسیم می‌شوند. زمین لغزش‌ها فرآیندهای فعالی هستند که در فرسایش و تحول چشم اندازه‌ها مشارکت دارند. این پدیده‌ها در زمره‌ی مخاطرات طبیعی مهم قلمداد می‌شوند که هر ساله در سراسر دنیا رخ می-

دهند، به طوری که زندگی هزاران انسان را تهدید کرده و بر سکونت گاه‌های انسانی، زیرساخت‌های ترابری، خطوط انتقال نیرو، شبکه آبرسانی و اراضی زراعی آسیب می‌رسانند. بر اساس اطلاعات بدست آمده منطقه از عملگر فازی ۰.۷ با مساحت ۲۴۶۱ هکتار در معرض خطر خیلی زیاد لغزش قرار دارند. جدول شماره ۱ مساحت وقوع زمین لغزش را در بازه‌های مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۱. مساحت زمین لغزش

ردیف	طبقه خطر	مساحت زمین لغزش (هکتار)
۱	خیلی کم	۲۲۲۰۰
۲	کم	۳۱۳۶۰
۳	متوسط	۱۴۱۳۵
۴	زیاد	۱۸۹۹
۵	خیلی زیاد	۲۴۶۱

با توجه به نتایج حاصل از پهنه بندی می‌توان گفت که زمین شناسی جهت شیب و شبکه آبراه‌ها به ترتیب مهم‌ترین عوامل کنترل کننده وقوع زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه می‌باشند. مخصوصاً عامل زمین شناسی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. اکثر زمین لغزش‌های حوضه مورد مطالعه بر روی سنگ گنگلومرا رخ داده‌اند که با نتایج تنگستانی در جنوب غرب ایران سنخیت دارد و این در حالی است که این سازندها از مساحت زیادی در حوضه برخوردار نیستند. مهم تر این که سنگ های گنگلومرا با جهت‌های متمایل به شمال منطبق بوده که نقشه جهت شیب و رطوبت را نیز در وقوع زمین لغزش تأیید می‌کند. تأثیر عامل انسانی بطور عمده مربوط به تغییر شرایط محل از جمله شخم نامناسب، چرای بی رویه و انحراف آب برای مصارف کشاورزی می‌باشد بطوریکه در برخی موارد، جهت انتقال آب به مزارع مسافت زیادی را در روی دامنه طی کرده که این امر باعث افزایش نفوذ آب بر روی دامنه شده و به همان اندازه نیز خطر وقوع زمین لغزش را افزایش می‌دهد. بنابراین با بررسی تحقیقات صورت گرفته در ایران و مناطق مختلف جهان عوامل لغزشی در حوضه‌ها و مناطق مختلف یکسان عمل نکرده و در واقع شرایط لغزشی متفاوتی دارند. با عنایت به اینکه نقشه‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش ابزاری برای پیش‌بینی و احیاناً پیش‌گیری از وقوع زمین لغزش‌ها هستند، پیشنهاد می‌گردد نقشه‌های تهیه شده به منظور برنامه ریزی جهت هر گونه فعالیت عمرانی و کاربری اراضی توسط مسئولین مربوطه به کار گرفته شود.

#### منابع

- اصغری کلجاهی، ابراهیم، فاطمه نمکچی، عبدالرضا واعظی هیر. ۱۳۹۵. پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه غرب شهرستان خوی به روش آنبالاگان. جغرافیا و برنامه ریزی. سال ۲۰. شماره ۵۶. ص ۳۸-۱۹.
- بشیری، مهدی، سیده مائده کاوسی داودی، علی افصلی. ۱۳۹۷. پهنه بندی اثر ویژگی های زمین شناسی و ژئومورفولوژی بر الگوی زمین لغزش با استفاده از هندسه ی فرکتال (مطالعه ی موردی: حوضه توبه دروار).
- هیدروژئومورفولوژی. سال ۴. شماره ۱۴. ص ۱۵۷-۱۷۸.
- جلیل، شمس، البروس عزیزاده. ۱۳۹۷. پهنه بندی حساسیت خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل احتمالات شرطی (قضیه بیز)، مطالعه موردی: قارداغ (ارسباران، از قره سو تا دره دیز). جغرافیا و برنامه ریزی. سال ۲۲. شماره ۶۳. ص ۱۶۱-۱۸۰.

- حجازی، سید اسداله، زهرا زنگنه تبار. زهرا زمانی. ۱۳۹۸. شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین لغزش در حوضه سرپل ذهاب. هیدروژئومورفولوژی. سال ۵، شماره ۲۰، ص ۱۲۱-۱۴۰.
- حسنی، سحر، علی ارومیه ای، زهرا ملکی. ۱۳۹۶. پهنه بندی خطر زمین لغزش جاده کن- سولقان به روش منطق فازی. زمین شناسی محیط زیست. سال ۱۱. شماره ۳۸. ص ۳۵-۵۰.
- حسین پور میل آغاردان، امین عباسپور، رحیم علی. ۱۳۹۳. بهبود نتایج پیش بینی وقوع زمین لغزش با استفاده از تئوری آنتروپی شانون. دانش مخاطرات. سال ۱. شماره ۲، ص ۲۵۳-۲۶۸.
- روستائی، شهرام. ۱۳۹۳. ارزیابی روش‌های تحلیل شبکه (ANP) و تحلیل چند معیاره مکانی در بررسی پتانسیل وقوع زمین لغزش در محدوده محور و مخزن سدها (مطالعه موردی، سد قلعه چای).
- روستائی، شهرام، صمد عظیمی راد. داوود مختاری. سید اسداله حجازی. مجتبی یمانی. ۱۳۹۷. مورفومتری لغزش بزرگ سیمره و بازسازی تأثیرات لندفرمی آن در کواترنری پسین (رشته‌کوه زاگرس در ایران). هیدروژئومورفولوژی. سال ۴. شماره ۱۶. ص ۱۱۹-۱۳۸.
- قویمی پناه، محمدحسین، عبدالواحد خالدی درویشان. محمدرضا قویمی پناه. ۱۳۹۶. صحت سنجی روش‌های تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و رگرسیون چند متغیره (MR) در پهنه بندی زمین لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ولی عصر استان اردبیل). اکوهیدرولوژی. سال ۴. شماره ۳. ص ۷۷۵-۷۸۹.
- کرنازادی، آیدینگ، حمیدرضا پورقاسمی. ۱۳۹۸. ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل‌های داده‌کاوی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز چهل‌چای. مهندسی و مدیریت آبخیز. سال ۱۱. شماره ۱. ص ۲۸.۴۲.
- مقیم، حسن، مسعود نجابت. ۱۳۹۸. گزارش فنی: مقایسه کارآمدی مدل‌های نیلسون اصلاح شده و اثر نسبی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز سد پارسیان، استان فارس. مهندسی و مدیریت آبخیز. سال ۱۱. شماره ۱. ص ۲۶۴-۲۷۲.
- یمانی، مجتبی، علی اکبر شمسی پور، ابوالقاسم گورابی، مریم رحمتی. ۱۳۹۳. تعیین مرز پهنه‌های خطر زمین لغزش در مسیر آزادراه خرم‌آباد - پل زال با روش تحلیل سلسله مراتبی - فازی. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی). سال ۱۴. شماره ۳۲. ص ۲۷-۴۴.
- Arab Ameri, A., Shirani, K., Rezaei, K. (2017). Landslide zoning of landslide occurrence by Dempstersiffer techniques and frequency ratio in Karun watershed. *Water and Soil Conservation Research Journal*, 24, 3.(Persian)
- Assessment of Landslide-Prone Areas and Their Zonation Using Logistic Regression, LogitBoost, and NaïveBayes Machine-Learning Algorithmsand, Sustainability, 10(3697). 1-23.
- Chen, W., Pourghasemi, H. R., & Zhao, Z. (2017). A GIS-based comparative study of Dempster-Shafer, logistic regression and artificial neural network models for landslide susceptibility mapping. *Geocarto international*, 32(4), 367-385.
- Dela Cerna, M. A., & Maravillas, E. A. (2016). An Application of Partitive Clustering Algorithm for Landslide Hazard Zonation. In Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (Vol. 1).
- Komac M. 2006. A Landslide Susceptibility Model Using the Analytical Hierarchy Process method and Multivariate Statistics in prialpne Slovenia. *Geomorphology*, 74: 17-28

Papadakis, M., & Karimalis, A. (2017). Producing a landslide susceptibility map through the use of analytic hierarchical process in finikas watershed, North Peloponnese, Greece. *Am J Geogr Inf Syst*, 6(1A), 14-22.

Polykretis, Ch., Chalkias, Ch., Ferentinou, M., (2017), Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) modeling for landslide susceptibility assessment in a Mediterranean hilly area *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 76(137),1-15.

Zuo, R., & Carranza, E. J. M. (2017). A fractal measure of spatial association between landslides and conditioning factors. *Journal of Earth Science*, 28(4), 588-594.

