صص ۱۴۳-۱۲۵

اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع حرکات دامنه‌ای و تهیه نقشه پهنهٔ خطر وقوع آن با استفاده از الگوریتم نوین جنگل تصادفی (مطالعه موردی: بخشی از حوضه آبریز سد لتیان)

لیلا ابراهیمی*

استادیار گروه جغرافیا، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۹

چکیده

اولین گام مهم و اساسی در ارزیابی خطر حرکات دامنه‌ای تهیه نقشه‌های خطر وقوع حرکات دامنه‌ای است، این نقشه‌ها به‌عنوان یک محصول نهایی است که می‌تواند برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی مفید واقع شود. هدف از این پژوهش اولویت‌بندی عوامل مؤثر در وقوع حرکات دامنه‌ای و پهنه‌بندی خطر وقوع آن با استفاده از الگوریتم نوین جنگل تصادفی در نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ لشکرک در قسمت شمالی سد لتیان است. با توجه به ویژگی‌های هیدرولوژیکی، توپوگرافی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی و اقلیمی منطقه مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع حرکات دامنه‌ای ۹ شاخص فاصله از جاده، گسل، رودخانه، لیتولوژی، میزان بارش، ارتفاع، شیب، جهت شیب و کاربری اراضی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع این نوع حرکات در منطقه مد نظر قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد سه عامل فاصله از گسل، جاده و میزان شیب به ترتیب جزء سه عامل مهم در وقوع حرکات دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه است. به‌منظور ارزیابی مدل تهیه شده، از منحنی تشخیص عملکرد نسبی استفاده گردید. بر اساس نتایج منحنی راک، مقدار سطح زیر منحنی در نقاط آموزشی برابر با ۰/۸۲۶ و در نقاط ارزیابی برابر با ۰/۸۳۹ درصد برآورد گردیده است. نتایج نشان داد که الگوریتم جنگل تصادفی با سطح زیر منحنی به دست آمده دقت خیلی خوب برای تهیه نقشه خطر وقوع حرکات دامنه‌ای ارائه کرده است.

واژگان کلیدی: **حرکات دامنه‌ای، الگوریتم جنگل تصادفی، منحنی راک، سد لتیان.**

مقدمه

یکی از شایع‌ترین پدیده‌های طبیعی که عموماً در نقاط کوهستانی جهان رخ می‌دهد، حرکات دامنه‌ای است که در بسیاری موارد منجر به خسارات مالی و جانی گشته و یکی از مخاطرات طبیعی شناخته می‌شود (ثابتی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۰۳). علیرغم بررسی‌های گسترده در زمینه حرکات دامنه‌ای و مدیریت خطر آن، همچنان این پدیده یکی از مهم‌ترین تهدیدات در سراسر دنیا و خصوصاً مناطق کوهستانی به شمار می‌آید (زارع و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۰۹). Kazeev and Postoev (۲۰۱۷)، زمین‌لغزش را روند تغییر در حالت یک توده زمین در اثر فشار، که نهایتاً منجر به جداسازی جمعی و جابه‌جایی توده، در حالی که ارتباط خود با بستر زیرین را از دست داده است، تعریف کرده‌اند. (Yanrong & Ping,

*نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۳۹۴۴۴۹۰ Email: geo.ebrahimi@yahoo.com

2019: 68). خطر زمین‌لغزش[1] نیز ویژگی‌های فیزیکی خطر بالقوه وقوع حرکات دامنه‌ای از نظر مکانیسم، حجم و فرکانس را بیان می‌کند (Neaupane & Piantanakulchai, 2018:281). کنترل و مدیریت مناطق ناپایدار برای جلوگیری از مخاطرات طبیعی خصوصاً در جاده‌های کوهستانی و مناطقی که دارای حرکات دامنه‌ای در محدوده سدها هستند، لازم و ضروری است. زیرا باعث تهدید و خسارت در زیرساخت‌ها می‌شوند (Nefeslioglua & Gorum, 2020: 104343).

امروزه به‌واسطه توسعه سریع قدرت پردازش کامپیوترها و فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی تعداد وسیعی از روش‌های کمی و کیفی در ارزیابی حساسیت رخداد حرکات دامنه‌ای گسترش‌یافته است (معزز و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۴). مبنای پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات دامنه‌ای در روش کیفی بر اساس ویژگی‌های ذاتی و طبیعی لغزش‌ها است (Cencetti et al, 2020: 3799). به‌عنوان مثال می‌توان به روش‌های فازی، شبکه عصبی، رگرسیون چندمتغیره، لجستیک، سلسله‌مراتبی، ANP، جنگل تصادفی و.... اشاره کرد. جنگل تصادفی[2] یک روش یادگیری نظارت شده است که از درخت‌های چندگانه در طبقه‌بندی استفاده می‌نماید. جنگل تصادفی به‌نوعی یک الگوریتم یادگیری ماشین با قابلیت استفاده آسان است که اغلب اوقات نتایج بسیار خوبی را حتی بدون تنظیم فرا پارامترهای آن، فراهم می‌کند. این الگوریتم به دلیل سادگی و قابلیت استفاده، هم برای «دسته‌بندی[3]» و هم «رگرسیون[4]» یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین محسوب می‌شود(Liu et al, 2020: 3) . در این زمینه مطالعات زیادی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود.

Sun و همکارانش (۲۰۲۰) به ارزیابی مدل جنگل تصادفی در پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات دامنه‌ای با استفاده از الگوریتم‌های هایپرمترها در منطقه فننجی کشور چین پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که ۳۵ درصد منطقه در پهنه بسیار خطرناک واقع شده است و الگوریتم جنگل تصادفی در مقایسه با سایر روش‌های سنتی کارآمدتر است و نتایج قابل قبول‌تری ارائه می‌دهد. Hong و همکارانش (۲۰۱۹) به ارزیابی الگوریتم‌های داده‌کاوی از جمله جنگل تصادفی در پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات دامنه‌ای در حوضه آبریز یوفانگ[5] در چین پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد، که مدل‌های داده‌کاوی به‌کاربرده شده دقت مناسبی در تهیه نقشه پهنه‌بندی دارند و مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع حرکات دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه شیب، جنس خاک و فاصله از رودخانه است.

طالبی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی امکان تهیه نقشه خطر حرکات دامنه‌ای با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی در حوزه آبخیز سردارآباد، استان لرستان پرداختند. نتایج ارزیابی دقت روش پهنه‌بندی با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی و ۳۰ درصد نقاط لغزشی استفاده نشده در فرآیند مدل‌سازی، بیان‌گر دقت عالی مدل جنگل تصادفی با سطح

[1] -Landslide hazard
[2] - Random Forest
[3] - Classification
[4] - Regression
[5] - Youfang

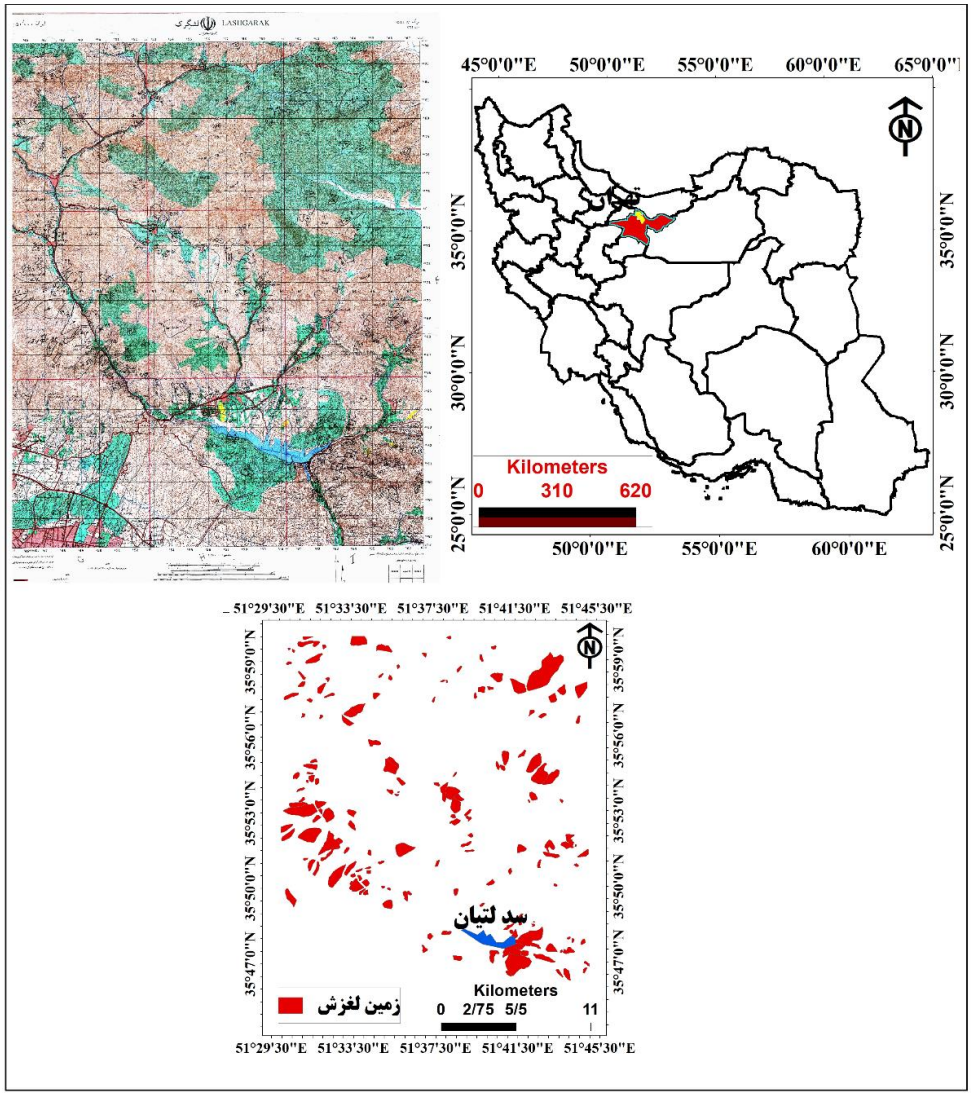
زیرمنجنی ۹۸,۸ درصد است. هم‌چنین بر اساس الگوریتم جنگل تصادفی، عوامل لیتولوژی، فاصله از جاده و فاصله از رودخانه به ترتیب بیش‌ترین تأثیر را در وقوع حرکات دامنه‌ای حوزه آبخیز سردارآباد داشته‌اند. سلیمانی و همکاران (۱۳۹۸) به مقایسه تکنیک‌های داده‌کاوی آنتروپی شانون و الگوریتم جنگل تصادفی در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی جهرم پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد سطح زیر منحنی (AUC) به دست آمده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) استفاده شد. سطح زیرزمینی (AUC) به دست آمده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی، نشان‌دهندهٔ دقت ۸۳,۹۰ و ۷۶,۲۰ درصد به ترتیب برای مدل‌های آنتروپی شانون و جنگل تصادفی است. نتایج به دست آمده نشان‌دهندهٔ دقت بالای مدل آنتروپی شانون نسبت به مدل جنگل تصادفی است. مقصودی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی عوامل مؤثر بر مخاطره حرکات دامنه‌ای‌های بالادست سد لتیان با استفاده از روش‌های ارزیابی آنتروپی و فازی پرداختند. نتایج نشان آن‌ها نشان می‌دهد که بافت خاک‌فاصله از گسل، پوشش‌گیاهی، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی و شیب در وقوع حرکات دامنه‌ای‌های منطقه تأثیرگذار بوده‌اند. همچنین در مدل آنتروپی تعداد لغزش‌های رخداده نسبت به پهنه‌های خطر توزیع منطقی‌تری داراست. در صورتی‌که در مدل فازی این رابطه برقرار نیست. محمدی و پورقاسمی (۱۳۹۶) به اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع حرکات دامنه‌ای و تهیه نقشه حساسیت آن با استفاده از الگوریتم نوین جنگل تصادفی (مطالعه موردی: بخشی از استان گلستان) پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد مدل جنگل تصادفی با سطح زیر منحنی ۰,۷۰۶ دقت قابل قبولی برای تهیه نقشه حساسیت حرکات دامنه‌ای ارائه کرده است. و اولویت‌بندی عوامل مؤثر نشان داد که فاصله از جاده، فاصله از گسل و ارتفاع به ترتیب بیش‌ترین تأثیر را در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند.

منطقه مورد مطالعه بخش شمالی سد لتیان است. سد لتیان در شمال شرق شهر تهران واقع شده و از اهمیت ویژه اقتصادی و اجتماعی برای این شهر و مردم آن برخوردار است. به‌خصوص در طی سال‌های اخیر به دلیل خوش و آب و هوا بودن این منطقه، پذیرایی گردشگران زیادی در طول هفته بوده است. و همین امر سبب ساخت و سازهای زیادی شده است. در حالی‌که این سد در منطقه‌ای به‌شدت تکتونیزه ساخته شده است، به‌گونه‌ای که گسل‌ها و دسته‌درزه‌ای متعددی سنگ‌های منطقه را قطع کرده است. این وضعیت به هوازدگی و خردشدگی شدید سنگ‌ها منجر شده است. در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۸ در این منطقه سیل شدیدی به وقوع پیوست که در اثر آن حرکات دامنه‌ای‌های متعددی رخ داد که منجر به بسته شدن مسیر رودخانه گردید. در اثر وقوع این پدیده، سیل وارد خانه‌ها و منازل مردم شد و خسارات مالی فراوانی را به بار آورد. هدف از این پژوهش اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع حرکات دامنه‌ای و تهیه نقشه پهنهٔبندی خطر وقوع آن با استفاده از الگوریتم نوین جنگل تصادفی در منطقه مورد مطالعه برای اولین بار است. در طبیعت مرز مشخصی برای طبقه‌های هر یک از عوامل از قبیل نوع خاک، انواع کاربری اراضی و واحدهای سنگ‌شناسی وجود ندارد. همچنین تعیین مرز طبیعی برای عوامل پیوسته نظیر ارتفاع، شیب، فاصله از عناصر خطی و شاخص‌های توپوگرافی بسیار مشکل است. به همین دلیل مدل‌های سنتی و آماری در برخورد با پارامترهای ورودی مذکور دارای

معایبی هستند. تعیین دقت بالا در مطالعات ارزیابی خطر وقوع حرکات دامنه‌ای بسیار مهم بوده و ساده گرفتن پارامترهای اصلی حرکات دامنه‌ای طبقه‌های آن‌ها و تعاملات بین آن‌ها می‌تواند منجر به نتایج نادرست در نقشه نهایی گردد. همچنین قضاوت‌های کارشناسی نقش مهمی داشته و رویکردهای تجربی برای ارزیابی‌های مختلف به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این مسائل منجر به استفاده از روش‌های داده‌کاوی در مطالعات حرکات دامنه‌ای گردیده است. از طرفی، پژوهش‌های گذشته نشان داده، که مدل مذکور در پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات دامنه‌ای بسیار جدید و نوین است. این امر مدیران را در برنامه‌ریزی‌های آینده کمک کرده تا از تغییرات و دخالت‌های انسانی در این مناطق تا حد امکان جلوگیری نموده و موجب تحریک این مناطق نشود.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه قسمت بالادست سد لتیان و جزء شیت نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ لشکرک است. این محدوده جزء جریان سطحی انتقالی از حوزه آبریز هراز (سد لار) به سد لتیان می‌باشد و در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ دقیقه و ۳۰ درجه تا ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی واقع شده است. رودخانه اصلی این منطقه جاجرود است که از ارتفاع‌های البرز سرچشمه می‌گیرد. (شکل ۱). در محل دریاچه شاخه‌های کند رود و نارون به‌اتفاق جاجرود وارد دریاچه پشت سد می‌شوند. این منطقه یکی از حوضه‌های آبخیز کوهستانی کشور با ارتفاع و شیب زیاد می‌باشد. ارتفاع متوسط منطقه ۲۳۲۹ متر از سطح دریا و شیب متوسط آن ۴۱ درصد است. بر همین اساس کمترین ارتفاع منطقه ۱۵۳۵ متر که در جنوب غرب منطقه مشاهده می‌شود و بیشترین ارتفاع منطقه ۴۲۸۰ متر می‌باشد که در قسمت‌های شمالی منطقه قابل مشاهده است. به‌طور کلی ارتفاع از شمال به جنوب کاهش می‌یابد. بیش از ۶۰ درصد مساحت منطقه در ارتفاعی بین ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر واقع شده است. از لحاظ شیب در دامنه جنوبی البرز واقع شده است. بیشتر منطقه شیبی بین ۲۰ تا ۳۰ درجه دارند که این مسئله بیانگر کوهستانی بودن منطقه می‌باشد. به دلیل کوهستانی و کم عمق بودن منطقه، خاک تکامل یافته‌ای ندارد. بافت‌های خاک منطقه شامل رسی، لوم رسی، لوم رس ماسه‌ای، لوم رس لای، لوم لای هستند. از نظر پوشش بیشترین مساحت منطقه را مراتع ضعیف تا متوسط، توده و بیرون‌زدگی سنگی در بر می‌گیرد. همچنین هر سه نوع فرم رویشی درختی، بوته‌ای و علفی در منطقه دیده می‌شوند.



مآخذ: نگارنده، ۱۳۹۹

شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بیشتر تحت تأثیر جبهه‌های آب و هوایی خزری و جبهه‌های که از شمال و شمال شرق وارد کشور می‌شوند، قرار دارد. محدوده مورد مطالعه بیش از ۵۰۰ میلی‌متر در سال بارش دارد که بیش از نیمی از آن به شکل برف است (محمدخان، ۱۳۸۸). رشته‌کوه‌های البرز در قسمت مرکزی، آنتی‌کلی‌نوریوم ساده‌ای در حاشیه شمالی ایران مرکزی است. البرز مرتفع، زون چین‌خورده پیچیده‌ای از رسوبات پالئوزوئیک–مزوزوئیک و ترشیاری است که توسط گسل مشاء–فشم به سمت جنوب روی زون چینه‌های حاشیه‌ای رانده است. از نظر چینه‌شناسی در منطقه مورد مطالعه از قدیمی‌ترین سازندها مانند باروت تا جوان‌ترین نهشته‌ها مانند پادگانه‌های آبرفتی کواترنری، واریزه‌ها، حرکات دامنه‌ای و رسوبات بستر رودخانه‌ها دیده می‌شوند. سازندهای منطقه از قدیم به جدید عبارت‌اند از سازندهای: باروت، فجن، کرج، کند، قرمز بالایی، نهشته‌های کواترنری. منطقه از نظر سنگ‌شناسی متنوع و در آن سه نوع سنگ رسوبی، آذرآورای و آذرین به ترتیب وسعت وجود دارند. سنگ‌های رسوبی درز نظر شمال شرقی و جنوب حوضه و سنگ‌های آذرآورای بیشتر

در غرب منطقه مورد مطالعه برون‌زد دارند. ترکیب سنگ‌شناسی این منطقه عمدتاً شیل–ماسه‌سنگ–بازالت–توف–مارن و رسوبات آبرفتی است. از ژئومورفولوژی نیز بیشتر به‌صورت توده و بیرون‌زدگی سنگی است (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۷: ۵). یکی از ویژگی‌های مهم زمین‌شناسی این منطقه عبور سه گسل مشاء– فشم، رودهن و گسل شمال تهران می‌باشد. گسل شمال تهران با طول بیش از ۷۵ کیلومتر و امتداد تقریباً غربی – شرقی شیب متغیر تندی به سمت شمال دارد و از نزدیک کرج شروع شده و در حوالی لواسان (بزرگ) به راندگی مشاء – فشم می‌پیوندند و باعث بالا آمدن سازندهای ائوسن بر روی کنگلومرای سازند هزار دره و نیز آبرفت‌های چین نخورده کواترنری گردیده است. گسل رودهن با امتداد تقریباً شرقی – غربی و شیبی تند به سمت شمال به گسل شمال تهران می‌پیوندد.

داده‌ها و روش‌ها

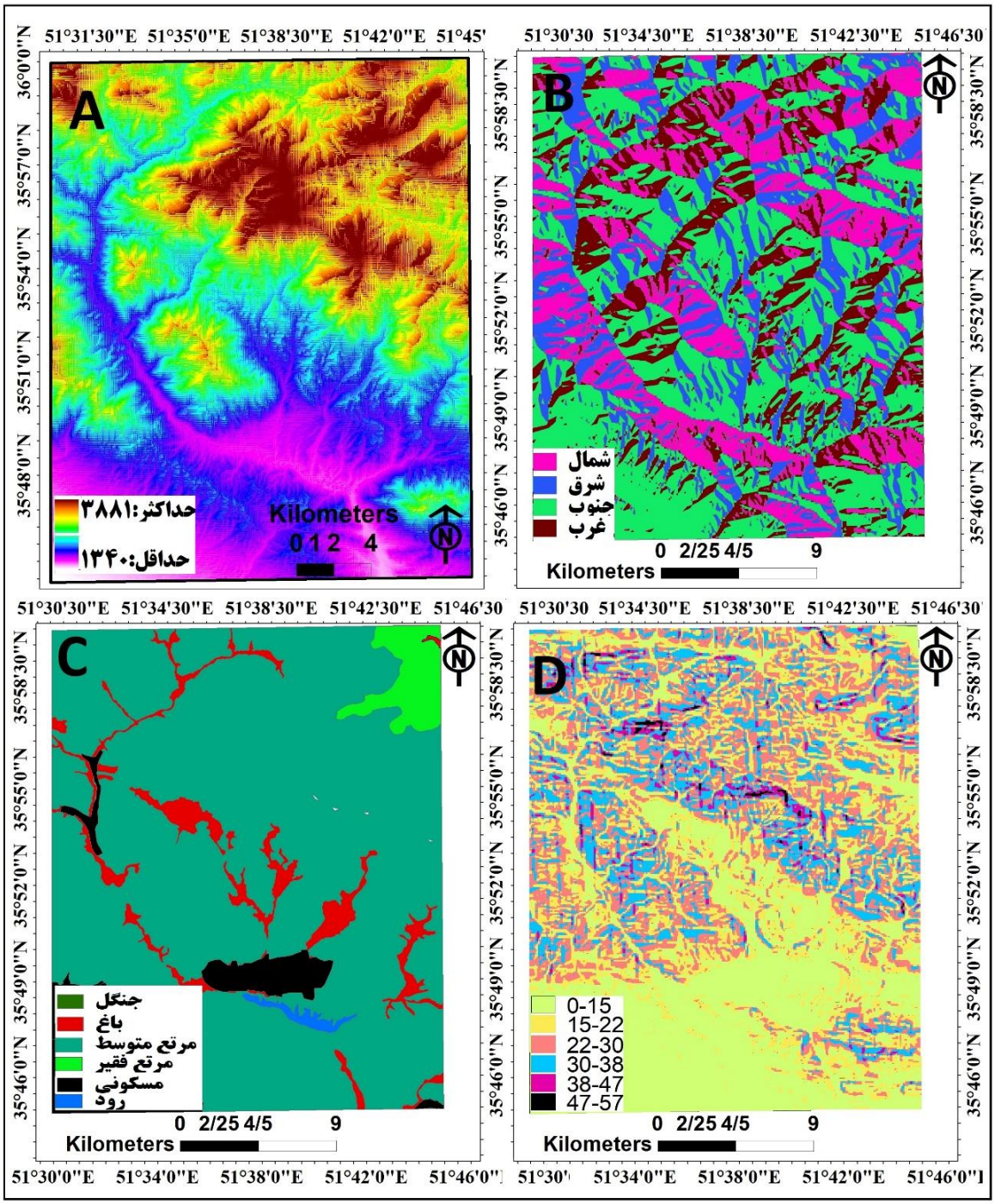
روش پژوهش

روش ارزیابی به چهار مرحله تقسیم شده است:

(الف) ساخت پایگاه داده مکانی. هدف از تقسیم داده‌ها برای تأیید نتایج. است:.

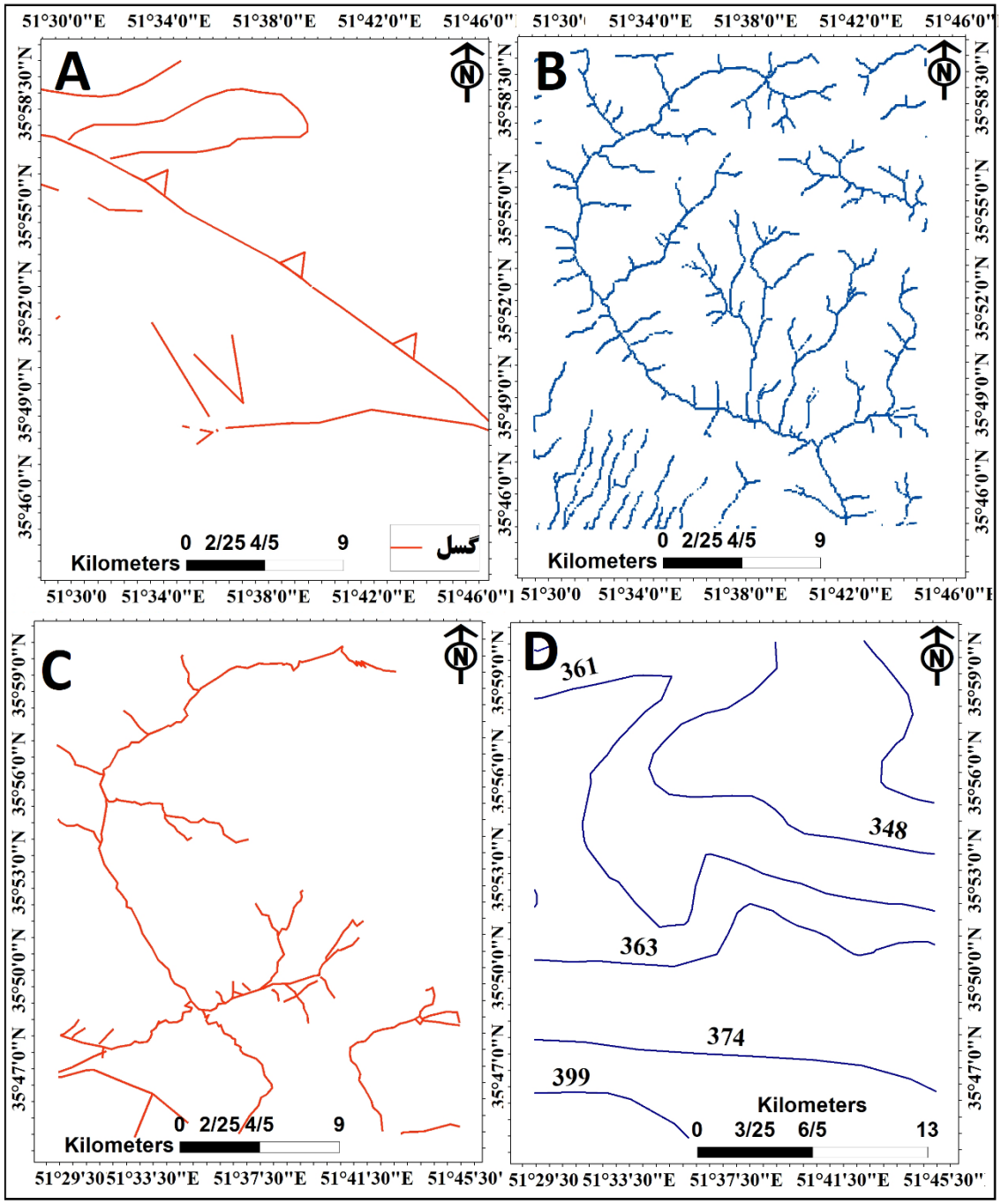
(ب) انتخاب شاخص‌های مؤثر و تهیه لایه‌های رقومی آن‌ها: در این مرحله با توجه به مطالعات و پیشینه پژوهش ۹ شاخص فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، شیب، ارتفاع، نوع سنگ، پوشش گیاهی، بارش، فاصله از جاده، جهت شیب انتخاب گردیدند. لایه رقومی گسل و نوع سنگ از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه تهیه شدند. لایه رودخانه، جاده و ارتفاع از نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه گردیدند. لایه شیب و جهت شیب پس از تولید لایه رقومی منطقه به وجود آمدند و لایه بارش از آمار بارش ایستگاه‌های لواسانات و شمیران استفاده شده است (شکل ۲ و ۳).

ج) تهیه نقشه خطر وقوع حرکات دامنه‌ای: نقشه خطر وقوع حرکات دامنه‌ای بر اساس روش جنگل تصادفی تهیه گردید. این الگوریتم را نخستین بار لئوبرایمن و آدل کاتلر ایجاد کردند و توسعه دادند. الگوریتم جنگل تصادفی مبتنی بر درسته‌ای از درخت‌های تصمیم است و در حال حاضر یکی از بهترین الگوریتم‌های یادگیری است Chen et al, (2018: 137). الگوریتم جنگل تصادفی با جایگزینی و تغییر مداوم عوامل مؤثر و مرتبط باهدف، منجر به ایجاد تعداد زیادی درخت تصمیم‌گیری شده، سپس تمام درختان به‌منظور پیش‌بینی باهم ترکیب می‌گردد (شکل ۴).



مآخذ: نگارنده، ۱۳۹۹

شکل ۲: A نقشه ارتفاع منطقه، B نقشه جهت شیب منطقه، C نقشه کاربری اراضی منطقه، :D نقشه شیب منطقه



مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹

شکل ۳: A نقشه گسل منطقه، B نقشه جهت هیدرولوژی منطقه، C نقشه راه ارتباطی منطقه، D: نقشه خطوط همبارش منطقه

مدل پیش‌بینی کننده جنگل تصادفی بر اساس میانگین‌گیری از نتایج حاصل از تمامی درخت‌های تصمیم مربوط استوار است و برای بسیاری از مجموعه داده‌ها، طبقه‌بندی با صحت بالایی را انجام می‌دهد. جنگل تصادفی درخت تصمیم‌های تولید می‌کند. برای طبقه‌بندی یک شیء جدید بردار ورودی در انتهای هر یک از درختان جنگل تصادفی قرار می‌دهد، که هر درخت به یک طبقه‌بندی منجر می‌شود که گفته می‌شود این درخت به آن کلاس رأی می‌دهد (محمدی، پورقاسمی، ۱۳۹۶: ۱۶۵). جنگل حاصل از طبقه‌بندی که بیشترین رأی را داشته باشد یک جنگل تصادفی آن‌قدر بزرگ

است که تفسیر آن کار بسیار دشواری است، لذا نیاز است که اطلاعات آن با استفاده از شاخص‌های کمی خلاصه شود. یکی از این شاخص‌ها، شاخص اهمیت متغیر (VI[۶]) است. شاخص اهمیت متغیر، شاخصی برای رتبه‌بندی متغیرها برحسب اهمیت آن‌ها در اثرگذاری روی پاسخ است. معروف‌ترین شاخص‌های اهمیت متغیر، شاخص اهمیت گینی[۷] و شاخص اهمیت جایگشتی[۸] است.

شاخص اهمیت گینی: در طی ساخت درخت‌های جنگل تصادفی برای تعیین اینکه گره بر اساس کدام متغیر افزار شود. از شاخص ناخالصی گینی استفاده می‌شود. اهمیت متغیر Xi در یک درخت مجموع کاهش در شاخص ناخالصی گینی روی تمامی گره‌هایی است که بر اساس Xi افزار شده‌اند. میانگین اندازه اهمیت متغیر Xi روی تمام درخت‌های جنگل، اندازه شاخص اهمیت گینی است (اکبری و همکاران، ۱۳۹۶).

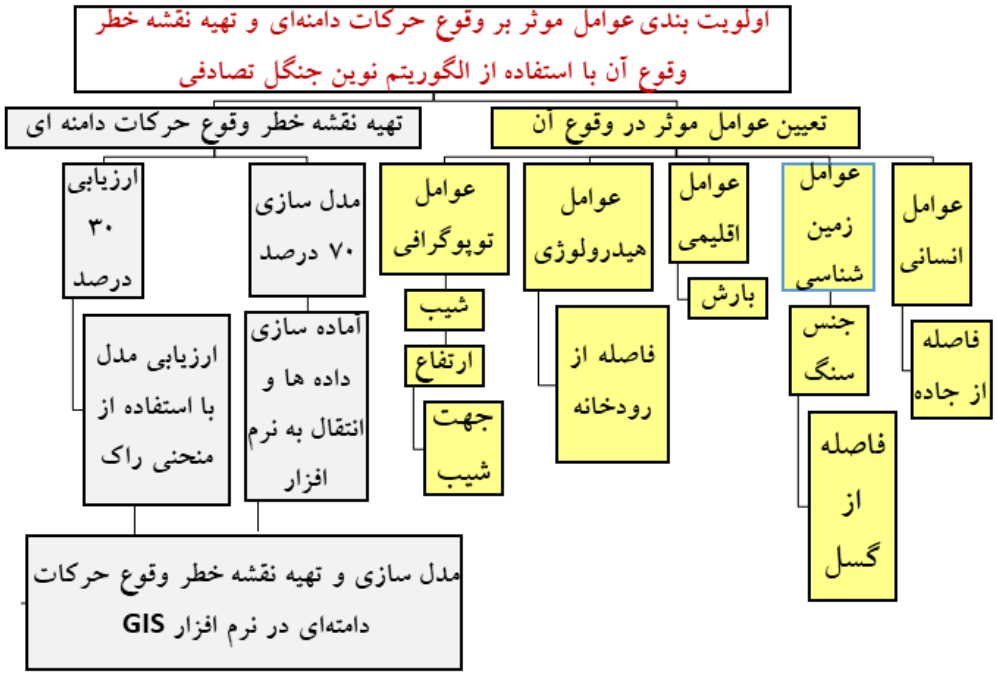
شاخص اهمیت جایگشتی: برای محاسبه این شاخص، الگوریتم جنگل تصادفی از تمام مشاهدات نمونه برای ساخت استفاده نمی‌کند بلکه یک نمونه تصادفی با جایگذاری به حجم nl (معمولاً دو سوم داده‌ها) برابر از مشاهدات انتخاب شده نمونه آموزشی LS[۹] و به بقیه آن‌ها نمونه خارج از کیسه[۱۰] گفته می‌شود. درخت‌ها با مشاهدات نمونه آموزش ساخته می‌شود و از نمونه خارج از کیسه برای اندازه‌گیری ناخالصی درخت استفاده می‌شود. در هر درخت، ابتدا اندازه ناخالصی روی مشاهدات خارج از کیسه محاسبه می‌شود. سپس مقادیر متغیر Xi مشاهدات خارج از کیسه به‌طور تصادفی جابجا می‌شوند و اندازه ناخالصی است و میانگین این مقادیر شاخص اهمیت جایگشتی است. انگیزه این روش این است که اگر Xi متغیر مهمی باشد جابجا شدن مقادیر آن به‌طور تصادفی منجر به افزایش ناخالصی می‌شود در حالی که متغیر تأثیرگذاری نباشد، تغییری در ناخالصی ایجاد نمی‌شود (طالبی و همکاران، ۱۳۹۷: ۵۲-۵۳). در این مدل از دو عامل میانگین کاهش دقت و میانگین کاهشی جینی برای تعیین اولویت هر یک از عوامل مؤثر استفاده شده است. استفاده از میانگین کاهشی دقت در مقایسه با شاخص اهمیت جینی در تعیین اولویت عوامل مؤثر، بهتر و پایدارتر می‌باشد، به‌ویژه در شرایطی که بین فاکتورهای محیطی ارتباط وجود داشته باشد (نوروزی و همکاران، ۱۳۹۶).

(د) اعتبارسنجی مدل. به‌منظور ارزیابی مدل تهیه شده، از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) استفاده شد (Sun et al, 2020: Chen et al, 2017 :Chen et al, 2018: طالبی و همکاران، ۱۳۹۷: محمدی و پورقاسمی، ۱۳۹۶). منحنی راک یک نمایش گرافیکی از موازنه بین نرخ خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از برش‌هاست. سطح زیر منحنی راک بیان‌گر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین، درست وقایع رخداده (وجود حرکات دامنه‌ای) و عدم وقوع رخداد (عدم وجود زمین‌لغزش) آن است. شاخص عملکرد نسبی، منحنی این است که مؤلفهٔ قائم و افقی آن‌که از ماتریس مقایسه با تعریف حد آستانهٔ بین صفر و یک به دست می‌آیند، محاسبه می‌شوند.

---

6 - Variable importance
7 - Gini importance index
8 - Substitution importance index
9 -Learning sample(LS)
10 -Out-of-bag(OOB)

ایده‌ال‌ترین مدل، بیش‌ترین سطح زیر منحنی را دارد. مقادیر سطح زیر منحنی از ۰٫۵–۱ متغیر است. هرچه سطح زیر منحنی به یک نزدیک‌تر باشد، بیان‌گر بهترین دقت از نقشه پهنه‌بندی تهیه شده است (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۸: ۳۹).

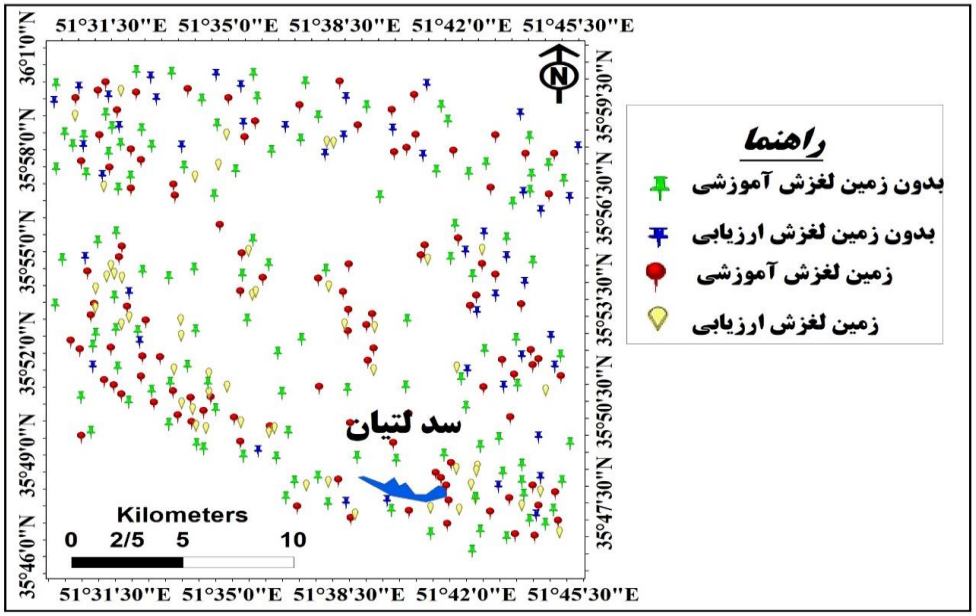


مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹

شکل ۴: فلوچارت مراحل انجام پژوهش

یافته‌های پژوهش

در اولین گام نقشه پراکنش حرکات دامنه‌ای منطقه تهیه شد. بدین منظور در منطقه پیمایش زمینی صورت گرفته و موقعیت و تعداد نقاط لغزش با استفاده از GPS ثبت گردید. در این مطالعه،۱۶۱ مکان حرکات دامنه‌ای (شکل ۵) به‌طور تصادفی به دو زیرمجموعه با نسبت ۷۰/۳۰ تقسیم شده است. بدین ترتیب ۱۱۳ حرکات دامنه‌ای برای آزمایش (آموزش) مدل و ۵۰ حرکات دامنه‌ای باقی‌مانده برای ارزیابی (آزمون) الگوریتم جنگل تصادفی استفاده گردید. علاوه بر این، همان تعداد نقاط غیر رانش زمین به‌طور تصادفی در منطقه بدون حرکات دامنه‌ای تولید و به نسبت ۷۰/۳۰ تقسیم شد. سرانجام، به نقاط رانش زمین مقدار ۱ و نقاط غیر حرکات دامنه‌ای مقدار ۰ اختصاص داده شد. (شکل ۵).



مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹

شکل ۵: پراکنش نقاط آموزشی و ارزیابی زمین‌لغزش

در مرحله بعد، به‌منظور بررسی هم خطی بین متغیرها از دو شاخص عامل تورم واریانس، و ضریب تحمل استفاده گردید. ضریب تحمل کم‌تر از ۰,۲ یا ۰,۱ و عامل تورم واریانس ۵ یا بزرگ‌تر از مقدار مذکور نمایانگر هم خطی بودن و ارتباط زیاد بین دو متغیر است.

جدول ۱: بررسی هم خطی بین عوامل مؤثر بر وقوع حرکات دامنه‌ای منطقه مورد مطالعه

شاخص	عامل تورم واریانس (VIF)	ضریب تحمل (Tolerance)
بارش (میلی‌متر)	۱/۹۲۲	۰/۷۷۸
ارتفاع (متر)	۱/۸۷۸	۰/۷۴۴
فاصله از رودخانه (متر)	۱/۳۱۱	۰/۸۲۳
لیتولوژی	۲/۲۰۲	۰./۵۰۳
کاربری اراضی	۱/۱۰۵	۰/۹۰۸
شیب (درصد)	۲/۲۷۸	۰/۳۲۱
جهت شیب	۱/۱۱۱	۰/۹۰۳
فاصله از جاده (متر)	۲/۲۴۳	۰/۳۷۵
فاصله از گسل (متر)	۴/۰۱۲	۰/۲۰۱

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹

جدول ۱ بررسی هم خطی بین عوامل مؤثر بر وقوع حرکات دامنه‌ای منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بدین ترتیب با توجه به نتایج به دست آمده ضریب تحمل در هیچ‌کدام از شاخص‌ها کم‌تر از ۰,۲ یا ۰,۱ و عامل تورم واریانس نیز در هیچ‌یک از شاخص‌ها ۵ یا بزرگ‌تر نیست لذا بین شاخص‌های مورد استفاده هیچ‌گونه هم خطی وجود ندارد، و ارتباط زیاد بین دو متغیر مشاهده می‌شود.

پس از تعیین عامل تورم واریانس و ضریب تحمل، در مرحله بعد با وارد کردن داده‌های مربوط به عوامل مؤثر و نقشه پراکنش حرکات دامنه‌ای‌ها به نرم‌افزار R، مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی انجام و نقش عوامل مؤثر در وقوع حرکات دامنه‌ای تعیین گردید. بدین منظور از دو عامل میانگین کاهش دقت و میانگین کاهشی جینی همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، برای تعیین اولویت هر یک از عوامل مؤثر استفاده شده است.

جدول ۲ میزان اهمیت عوامل مؤثر حرکات دامنه‌ای بر اساس دو معیار میانگین کاهش دقت و میانگین کاهشی جینی را نشان می‌دهد.

جدول ۲: میزان اهمیت عوامل مؤثر حرکات دامنه‌ای بر اساس دو معیار میانگین کاهش دقت و میانگین کاهشی جینی

شاخص	۰	۱	میانگین کاهشی دقت	میانگین کاهش جینی
بارش (میلی‌متر)	۳/۰۴	۱۱/۱۱	۱۰/۹۸	۲/۸۵
ارتفاع (متر)	۷/۴۵	۱۳/۱۳	۱۲/۸۴	۳/۵۶
فاصله از رودخانه (متر)	۱۵/۱۸	۱۶/۶۷	۱۲/۹۴	۳/۸۵
لیتولوژی	۱۴/۰۱	۱۶/۷۶	۱۵/۲۰	۴/۵۳
کاربری اراضی	۱/۳۳	۲/۸۱	۳/۰۱	۰/۶۱
شیب (درصد)	۱۶/۶۱	۱۹/۲۵	۱۶/۱۸	۵/۱۳
جهت شیب	۱/۷۵	۱/۳۶	۲/۶۴	۲/۳۵
فاصله از جاده (متر)	۱۶/۱۸	۱۸/۸۷	۱۸/۱۴	۵/۷
فاصله از گسل (متر)	۲۱/۹۳	۲۵/۴	۱۹/۴۱	۶/۷۳

مآخذ: نگارنده، ۱۳۹۹

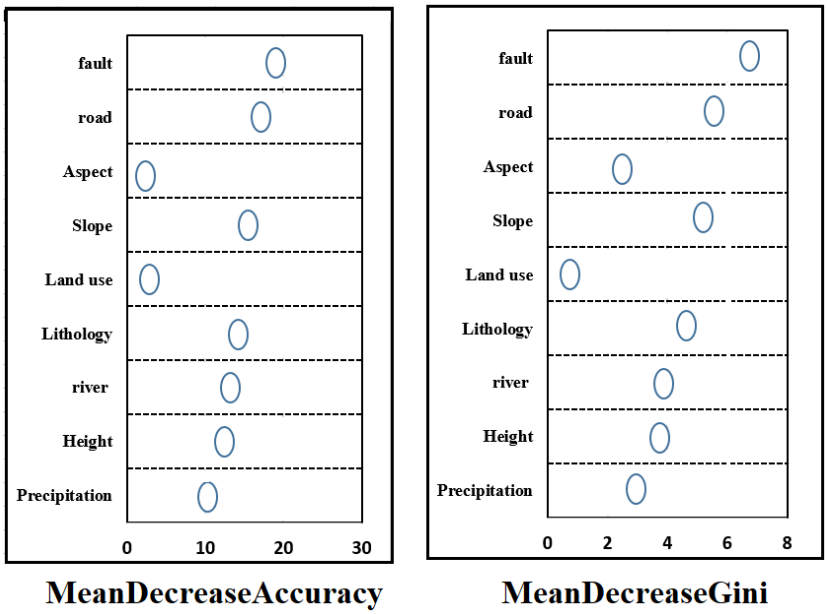
بدین ترتیب با توجه به نتایج جدول ۲ فاصله از گسل مهم‌ترین عامل در وقوع حرکات دامنه‌ای منطقه است. این امر به دلیل آن می‌باشد که، این منطقه به‌شدت تکتونیزه است، به‌گونه‌ای که گسل‌ها و دسته‌درزه‌ای متعددی سنگ‌های منطقه را قطع کرده است. این وضعیت به هوازدگی و خردشدگی شدید سنگ‌ها انجامیده است. لذا همان‌طور که نتایج نشان داده است، فاصله از گسل مهم‌ترین عامل وقوع حرکات دامنه‌ای در منطقه می‌باشد. سپس فاصله از جاده، شیب و عامل لیتولوژی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در وقوع حرکات دامنه‌ای در منطقه می‌باشند. عبور جاده‌ها از مناطق کوهستانی که دارای شیب زیاد می‌باشند و از طرف دیگر لیتولوژی زمین ناپایدار است سبب حرکات دامنه‌ای‌ها متعددی می‌شوند.

عمده سنگ‌ها منطقه توف، کنگلومرا سیمان رسی – ماسه‌ای می‌باشد که در اثر فرسایش آبی شیارها و دره‌هایی بر روی آن‌ها ایجاد شده است (شکل ۶ و ۷).

شکل ۶: نمایی از حرکات دامنه‌ای میگون در منطقه موردمطالعه

شکل ۷: ناپایداری دامنه‌های در منطقه موردمطالعه در مجاورت رودخانه

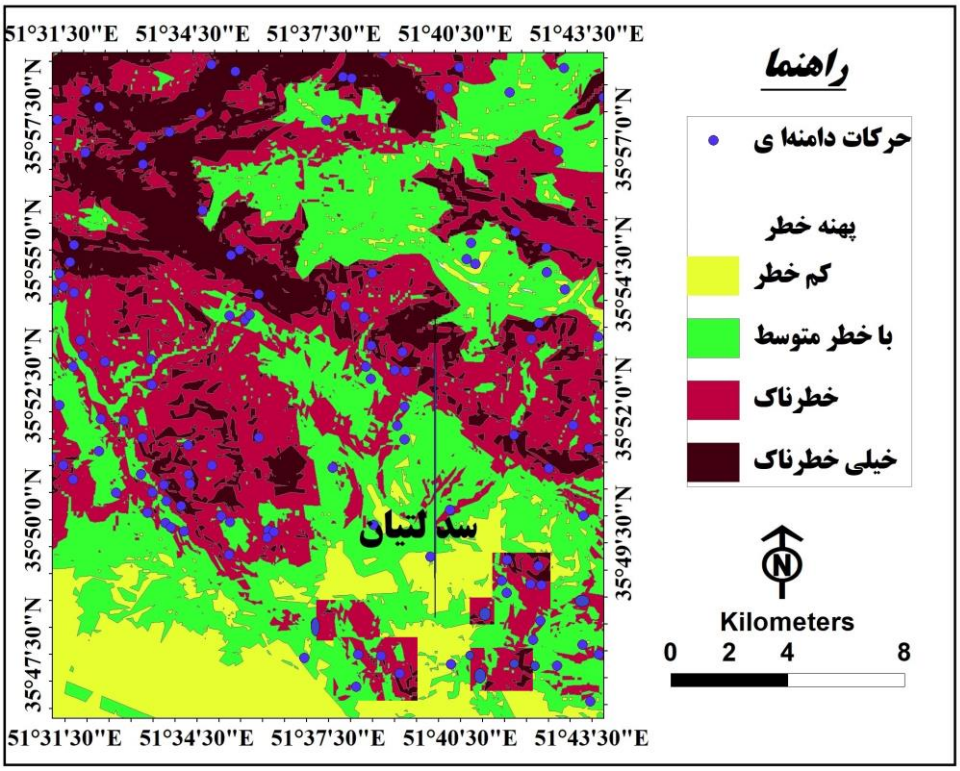
همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد سه گسل مهم رودهن، مشاء – فشم و گسل شمال تهران از این منطقه عبور می‌کنند. همین مسئله سبب ایجاد درز و شکاف‌های متعدد در سنگ‌های منطقه شده است. همچنین عبور جاده میگون – فشم و لواسانات سبب ناپایداری بیشتر دامنه‌ها در منطقه شده است. به‌طور کلی جاده‌ها سبب بریده شدن دامنه‌ها و ناپایداری بیشتر شده، این موضوع امر باعث افزایش فشار بر بخش پایین جاده شده و منجر به افزایش حرکات دامنه‌ای در اطراف جاده‌ها می‌شود.



مآخذ: نگارنده، ۱۳۹۹

شکل ۸: اولویت‌بندی عوامل مؤثر در وقوع حرکات دامنه‌ای بر اساس الگوریتم جنگل تصادفی

پس از مشخص شدن وزن هر یک از عوامل در محیط نرم‌افزار R، این اوزان در محیط ARC/MAP 10.2 منتقل، و بر روی لایه‌های مورد نظر اعمال گردید. این وزن‌ها بین ۰ و یک است. ستون صفر به معنای مقادیر غیر لغزشی برای هر پیکسل و ستون یک بیان‌گر مقادیر لغزشی برای هر پیکسل از کل منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۸). به‌منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش، ستون پیکسل‌های صفر حذف شده و مقادیر ستون یک (لغزش) بر اساس مختصات هر یک از پیکسل‌ها در محیط ARC/MAP در قالب یک فایل نقطه‌ای در آمده و سپس از مسیر تبدیل نقطه به رستر، نقشه‌های وزنی با هم جمع شده و نقشه‌نهایی به دست می‌آید. در این نقشه وزن هر پیکسل از مجموع وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر فاکتور در آن پیکسل محاسبه می‌شود. بر اساس نقاط شکست منحنی تجمعی، نقشه به چهار طبقه حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شده و نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه به دست آمد (شکل ۹).



مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹

شکل ۹: پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی

همچنین به‌منظور مشخص شدن وضعیت کلی منطقه مورد مطالعه، مساحت طبقات پهنه‌های خطر حرکات دامنه‌ای محاسبه گردید (جدول ۳). بررسی مساحت طبقات نشان داد، که بیشتر مساحت منطقه را پهنه خطرناک و متوسط در برگرفته‌اند. به‌طور کلی نزدیک به نیمی از منطقه در پهنه خطرناک و خیلی خطرناک واقع شده است.

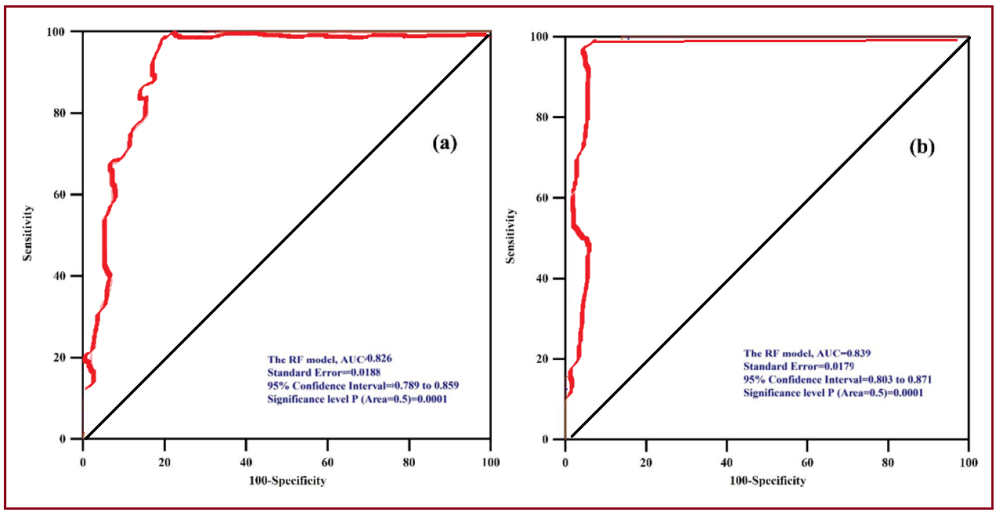
جدول ۳: درصد و مساحت پهنه‌های خطر در منطقه مورد مطالعه

پهنه خطر	تعداد پیکسل	درصد مساحت
کم‌خطر	۱۲۲۰۸۳	۱۸/۳
متوسط	۲۱۱۸۹۹	۳۱/۷
خطرناک	۲۱۲۴۷۵	۳۱/۸
خیلی خطرناک	۱۲۰۲۵۴	۱۸/۲

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹

به‌منظور ارزیابی مدل تهیه شده، همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) استفاده گردید. در ارزیابی منحنی راک هر چه سطح زیر منحنی بیشتر باشد دقت مدل بیشتر است که میزان آن بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است. به‌طور کلی تقسیم‌بندی ۰/۹–۱ عالی، ۰/۸–۰/۹ خیلی خوب، ۰/۷–۰/۸ خوب، ۰/۶–۰/۷ متوسط و ۰/۵–۰/۶ ضعیف را برای آن ارائه کرده‌اند. برای رسم منحنی راک الگوریتم جنگل تصادفی قبل از کلاسه‌بندی نقشه وزن نهایی، نقاط لغزشی را که برای ارزیابی در نظر گرفته شده روی نقشه انداخته و وزنی که در هر نقطه لغزشی به دست آمده را

یادداشت کرده (کد ۱) و به همین تعداد نیز نقاطی به‌صورت تصادفی در مناطق دیگر انتخاب و وزن آن‌ها نیز یادداشت می‌شود (کد صفر). سپس وزن‌های به دست آمده آن را وارد نرم‌افزار آماری R می‌گردد و با استفاده از کد نوشته شده سطح زیر منحنی که نشان‌دهنده دقت مدل است به دست می‌آید (شکل ۹).



مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹

شکل ۱۰: منحنی راک و سطح زیر منحنی نقشه پهنه‌بندی حساسیت حرکات دامنه‌ای (a) نقاط آموزشی، (b) نقاط ارزیابی

شکل ۱۰ منحنی راک و سطح زیر منحنی نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات دامنه‌ای در منطقه را بر اساس نقاط آموزشی و نقاط ارزیابی نشان می‌دهد. نقاط آموزشی شامل ۱۱۱ نوع حرکت دامنه‌ای در منطقه می‌شود که به‌طور تصادفی انتخاب شده‌اند. بر اساس نتایج منحنی راک، مقدار سطح زیر منحنی در نقاط آموزشی برابر با ۰/۸۲۶ می‌باشد که این مسئله بیانگر این است که ارزیابی خیلی خوب را در برگرفته است. منحنی راک در نقاط ارزیابی که همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد ۵۰ نوع حرکت دامنه‌ای در منطقه می‌باشد که به‌طور تصادفی انتخاب شده‌اند برابر با ۰/۸۳۹ درصد برآورد گردیده است. که بیانگر ارزیابی خیلی خوب الگوریتم جنگل تصادفی در پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات دامنه‌ای با استفاده از این مدل است.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش استفاده از الگوریتم تصادفی جنگل به‌عنوان تکنیکی در روش داده‌کاوی به‌عنوان صحت و اعتماد به اولویت‌بندی عوامل‌موثر در وقوع حرکات دامنه‌ای و تهیه نقشه خطر وقوع حرکات دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه است. با توجه به ویژگی‌های هیدرولوژیکی، توپوگرافی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی و اقلیمی منطقه مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع حرکات دامنه‌ای ۹ شاخص به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع این نوع حرکات در منطقه مدنظر قرار گرفت. نتایج نشان داد که مهم‌ترین عامل مؤثر در وقوع حرکات دامنه‌ای در منطقه فاصله از گسل می‌باشد.

عبور گسل مشاء از منطقه در دقیقاً با جهت شمال غرب به جنوب شرق منطقه را به دو نیمه تقسیم می‌کند سبب ایجاد شکستگی و درز در سنگ‌ها شده است. هوازدگی و فرسایش زیاد، وجود دسته‌های درزهای تمیز، لایه‌بندی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی توده سنگ‌ها از جمله عوامل مؤثر در وقوع حرکات دامنه‌ای در این محدوده می‌باشد. این منطقه به‌شدت تکتونیزه ساخته شده است، به‌گونه‌ای که گسل‌ها و دسته درزهای متعددی سنگ‌های منطقه را قطع کرده است. این وضعیت به هوازدگی و خردشدگی شدید سنگ‌ها انجامیده است. این نتیجه با نتایج پژوهش مقصودی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت می‌کند. بعد از عامل فاصله از گسل، فاصله از راه ارتباطی به‌عنوان دومین عامل مؤثر در منطقه شناخته‌شده است. عبور جاده میگون – لواسانات در منطقه سبب شده است در امتداد جاده به‌کرات این نوع حرکات مشاهده شود. شیب نیز به‌عنوان سومین عامل در بروز حرکات دامنه‌ای در منطقه شناخته شده است که این امر به سبب کوهستانی بوده منطقه می‌باشد. عمده‌ترین ویژگی ریخت‌شناسی منطقه تکیه‌گاه راست شیب زیاد دامنه‌های آن است. طبق مطالعات پیشین ثابتی و همکاران، ۱۳۹۸)، زارع و همکاران (۱۳۹۵)، محمدی و پورقاسمی (۱۳۹۶) عامل شیب همواره جزء یکی از عوامل مهم در بروز حرکات دامنه‌ای است. چهارمین عامل مؤثر در بروز حرکات دامنه‌ای در منطقه عامل سنگ‌شناسی می‌باشد. منطقه از نظر سنگ‌شناسی متنوع و در آن سه نوع سنگ رسوبی، آذرآورای و آذرین به ترتیب وسعت وجود دارند. سنگ‌های رسوبی درز نظر شمال شرقی و جنوب حوضه و سنگ‌های آذرآورای بیشتر در غرب منطقه مورد مطالعه برون‌زد دارند. همین مسئله سبب تشدید وقوع حرکات دامنه‌ای در منطقه شده است. بر اساس اطلاعات ارائه شده توسط کارشناسان اداره راه و ترابری استان تهران، و سازمان جنگل و مراتع تهران این منطقه جزء مناطق پرخطر است که با دیواره‌های پرشیب سالیانه در معرض بسیاری از عوامل مورفوژنیک تهدید کننده شبکه‌های ارتباطی اعم از ریزش، لغزش، بهمن و.... می‌گیرد و از سویی دیگر در اثر اقدامات انسانی در جهت ساخت سازه‌های عمرانی و احداث راه‌های ارتباطی و... فراوانی وقوع این نوع از حرکات دامنه‌ای، افزایش یافته است.

تهیه نقشه خطر وقوع حرکات دامنه‌ای ابزار مهمی در شناسایی نقاط حساس و جلوگیری از تحریک این مناطق بوده و توجه زیادی به آن می‌شود. در میان مدل‌های مختلف، استفاده از مدل‌های نوین الگوریتم جنگل تصادفی و تلفیق آن با GIS نقش به سزایی در این پژوهش‌ها داشته و می‌تواند موجب افزایش دقت نقشه‌های تهیه شده گردد. نتایج این پژوهش نشان داد منطقه مورد مطالعه حساسیت زیادی به وقوع حرکات دامنه‌ای داشته و مدل جنگل تصادفی ابزار مناسب برای کمی کردن ارتباط حرکات دامنه‌ای و فاکتورهای مؤثر بر آن است. بنابراین می‌توان گفت که تهیه نقشه پهنه‌بندی حرکات دامنه‌ای ابزار مهمی برای کمک به سیاست‌گذاران، طراحان و مهندسان بوده تا خسارات ناشی از وقوع آن را کاهش دهند. با توجه به سطح زیر منحنی به دست آمده از این پژوهش، نتایج این پژوهش با مطالعات دیگر پژوهشگران سلیمانی و همکاران (۱۳۹۸)، طالبی و همکاران (۱۳۹۷)، محمدی و پورقاسمی (۱۳۹۶)، Chena و همکاران (۲۰۱۸) و Honga و همکاران (۲۰۲۰) و Thapa و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت می‌کند.

منابع

۱- اکبری، مریم؛ بشیری، مهدی؛ رنگ‌آور، عبدالصالح (۱۳۹۶): کاربرد الگوریتم‌های داده‌کاوی در تحلیل حساسیت و پهنه‌بندی مناطق مستعد به فرسایش آبکندی در حوضه‌های شاخص استان خراسان رضوی، مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۲(۲۶)، صص ۴۲-۱۶.

۲- ثابتی، هادی، معتق، مهدی، شریفی، محمدعلی، اکبری، بهمن، اکبری‌مهر، مهرداد، فرد، داوود، (۱۳۹۸): بررسی میزان جابجایی حرکات دامنه‌ای ماسوله با روش تداخل‌سنجی راداری به‌منظور مدیریت خطر لغزش، نشریه علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دوره ۱۳، شماره ۴۴، صص ۱۰۳-۱۱۵.

۳- زارع، محمد، جوری، محمدحسن، عسکری زاده، دیانا، سالاریان، تینا، فخر قاضی، مونا، (۱۳۹۵): تحلیل خطر حرکات دامنه‌ای در حوزه آبخیز ماسوله با استفاده از تئوری دمپستر – شیفر (Dempster-Shafer) و Gis، مجله پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال هفتم، شماره ۱۳، صص ۲۱۷-۲۰۹.

۴- سلیمانی، کریم، علی دادگان فرد، فاطمه، پورقاسمی، حمیدرضا، (۱۳۹۸): مقایسهٔ تکنیک‌های داده‌کاوی آنتروپی شانون و الگوریتم جنگل تصادفی در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی جهرم، مجله مهندسی اکوسیستم بیابان، سال هشتم، شماره بیست و چهارم، صص ۴۸-۳۷.

۵- طالبی، علی، گودرزی، سحر، پورقاسمی، حمیدرضا، (۱۳۹۷): بررسی امکان تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی (محدودهٔ مورد مطالعه: حوزه آبخیز سردار آباد، استان لرستان)، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۶، صص ۶۴-۴۵.

۶- محمدی، مجید، پورقاسمی، حمیدرضا، (۱۳۹۶): اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع حرکات دامنه‌ای و تهیه نقشه حساسیت آن با استفاده از الگوریتم نوین جنگل تصادفی (مطالعه موردی: بخشی از استان گلستان)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال هشتم، شماره ۱۵، صص ۱۶۱-۱۷۵.

۷- محمدخان، شیرین؛ (۱۳۸۸): برآورد کمی فرسایش و رسوب به روش ژئومورفولوژی (مطالعه موردی حوزه آبخیز لتیان)، رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۸- مقصودی، مهران، محمدخان، شیرین، پیرانی، پریسا ریاحی، سمانه، گراوند، فاطمه، (۱۳۹۷): بررسی عوامل مؤثر بر مخاطره حرکات دامنه‌ای‌های بالادست سد لتیان با استفاده از روش‌های ارزیابی آنتروپی و فازی، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی شماره ۲۸، صص ۱۷-۱.

۹- معزز، سمیه، روستایی، شهرام، رحیم‌پور، توحید، (۱۳۹۸): پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات دامنه‌ای در حوضه آبخیز نهند چای با استفاده از مدل ANP و تکنیک GIS، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۲، صص ۲۳-۳۷.

۱۰- نوروزی، حسین؛ ندیری، عطاا...؛ اصغری مقدم، اصغر؛ قره‌خانی، مریم (۱۳۹۶): پیش‌بینی قابلیت انتقال آبخوان دشت ملکان با استفاده از روش جنگل تصادفی، *نشریه دانش آب و خاک*، ش ۲، صص ۷۵-۶۱.

11- Cencetti Corrado, Pierluigi De Rosa, Andrea Fredduzzi, (2020): Characterization Of Landslide Dams In A Sector Of The Central-Northern Apennines (Central Italy), Heliyon.

12- Chena, Wei, Xiaoshen Xiea, Jianbing Pengb, Himan Shahabic, Haoyuan Hongd, Dieu Tien Buig, Zhao Duana, Shaojun Lii, A-Xing Zhud, (2018): GIS-Based Landslide Susceptibility Evaluation Using A Novel Hybrid Integration Approach Of Bivariate Statistical Based Random Forest Method, Journal Catena,No 164, Pp. 135–149

13- Kazeev, A., Postoev, G. (2017): Landslide Investigations In Russia And The Former USSR. Nat. Hazards Pp. 1–21

14- Honga, Haoyuan, Yamin Miaoa, Junzhi Liua, A-Xing Zhu, (2019): Exploring The Effects Of The Design And Quantity Of Absence Data On The Performance Of Random Forest-Based Landslide Susceptibility Mapping, Journal Catena, No 176, Pp. 45-64.

15- Liu, Jun, Siqi Sun, Zhenglin, Tan, Yang Liu, (2020): Nondestructive Detection Of Sunset Yellow In Cream Based On Nearinfrared Spectroscopy And Interval Random Forest, Journal Pre-Proof, No 12, Pp. 1-21.

16- Nefeslioglua, Hakan, Tolga Gorum, (2020): The Use Of Landslide Hazard Maps To Determine Mitigation Priorities In A Dam Reservoir And Its Protection Area, Journal Land Use Policy, No 91, Pp. 104363-104678.
17- Neaupane, K.M, Piantanakulchai, M. (2018): Analytic Network Process Model For Landslide Hazard Zonation, Journal Engineering Geology, 85, Pp. 281–294.
18- Sun, Deliang, Haijia Wen, Danzhou Wang, Jiahui Xu, (2020): A Random Forest Model Of Landslide Susceptibility Mapping Based On Hyperparameter Optimization Using Bayes Algorithm, Geomorphology, No 362, Pp. 107201-107215.
19- Thapa, Saraswati; Anup, Shrestha; Suraj, Lamichhan; Rabindr, Adhikari; Dipendra, Gautam (2020): "Catchment-Scale Flood Hazard Mapping And Flood Vulnerability Analysis Of Residential Buildings: The Case Of Khando River In Eastern Nepal", Journal Of Hydrology: Regional Studies, 30, Pp. 100704-100721.
20- Yanrong Li, Ping Mo, (2019): A Unified Landslide Classification System For Loess Slopes: A Critical Review, Journal Geomorphology, No 340, Pp. 67–83.