

ارزیابی و پهنه‌بندی وقوع مخاطره سیلاب در پارک ملی گلستان

حسن فرامرزی^۱، سید محسن حسینی^{۲*}، حمیدرضا پورقاسمی^۳، مهدی فرنقی^۴

۱. دانشجوی دکتری جنگل‌داری دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، مازندران

۲. استاد گروه جنگل‌داری دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، مازندران

۳. دانشیار بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز

۴. محقق مرکز GIS، گروه جغرافیای فیزیکی و علوم اکوسیستم، دانشگاه لند، سوئد

(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۳/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۸/۰۵/۱۵)

چکیده

شناسایی مناطق حساس به سیل، عنصر حیاتی و مهمی برای کنترل و کاهش تلفات سیل به‌شمار می‌آید. هدف از تحقیق حاضر، شناسایی متغیرهای مهم در ایجاد مناطق سیل‌گیر و ارائه پتانسیل مخاطره سیل پارک ملی گلستان با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین شامل مدل جنگل تصادفی، درخت رگرسیون تقویت‌شده و آنتروپی بیشینه است. برای رسیدن به اهداف یادشده، ابتدا عوامل تأثیرگذار با توجه به مرور منابع تعیین شده و پایگاه داده‌ها ایجاد شد. در نهایت، با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین مدل‌سازی مخاطره سیل صورت گرفت و دقت این مدل‌ها با استفاده از روش منحنی ROC و داده‌های واقعی از رخ داد سیل بررسی شد. نتایج مدل‌ها، اهمیت زیاد متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، میانگین دمای سالیانه، فاصله از آبراهه‌ها، بارش و فاصله از جاده ترانزیتی را در وقوع مخاطره سیل نشان دادند. نتایج به‌دست‌آمده از درخت رگرسیون تقویت‌شده تأثیر متغیر ارتفاع از سطح دریا، میانگین دمای سالیانه، بارندگی و فاصله از آبراهه‌ها را به ترتیب، ۳۸/۹، ۱۹/۲، ۱۳/۶ و ۱۳ درصد نشان داد. همچنین، در نتایج حاصل از آنتروپی بیشینه متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، میانگین دما و جاده ترانزیتی به ترتیب با مقدار مشارکت ۳۵/۷، ۲۲/۴ و ۱۹/۵ درصد جزء متغیرهای مهم به‌دست آمدند. نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی صحت مدل‌ها با استفاده از ۳۰ درصد از داده‌های وقوع سیل که در مدل‌سازی وارد نشده بود نیز دقت زیاد مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده و جنگل تصادفی را با مقدار ROC، ۰/۹۹ و دقت مناسب آنتروپی بیشینه را با مقدار ROC، ۰/۸۹ نشان داد، به‌طوری که نقشه‌های به‌دست‌آمده از این مدل‌ها به طور مشترک ۴۵۰۰ هکتار از مساحت پارک را دارای احتمال زیاد خطر سیل برآورد کردند.

کلیدواژگان: آنتروپی بیشینه، درخت رگرسیون تقویت‌شده، مخاطره سیل، مدل جنگل تصادفی، مدیریت بحران.

مقدمه

سیلاب‌ها از فراوان‌ترین و پرهزینه‌ترین مخاطرات طبیعی در سراسر جهان هستند [۱]؛ به‌طوری که یک سوم هزینه‌های بلایای طبیعی مربوط به آسیب‌های ناشی از آنهاست [۲]. گرمایش جهانی و توسعه در پنج دهه اخیر سبب تغییرات بزرگ در الگوی بارش و افزایش خطرات سیل در بسیاری از مناطق شده است [۳] که سالانه موجب صدمات بزرگی به جوامع کشاورزی و ساخت‌وسازهای انسانی می‌شود. تخریب شدید عرصه‌های طبیعی چه به‌صورت بهره‌برداری بی‌رویه از جنگل‌ها و چه به شکل تغییر کاربری اراضی و تبدیل آنها به زمین‌های کشاورزی نامناسب و یا ساخت مناطق مسکونی بی‌رویه، موجب شده است سیلاب‌ها از نظر تعداد وقوع و شدت خسارت، افزایش یابند [۴].

یکی از زمینه‌های پژوهش برای کنترل مخاطره سیل، شناسایی نقاط بحرانی منطقه است، زیرا نبود شناخت کافی این نقاط، سبب خسارت‌های مالی و جانی سنگین می‌شود [۵] به این منظور، در درجه نخست به شناسایی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر مخاطره سیل و سپس شناسایی مناطق بحرانی ناشی از آن نیاز است. تهیه نقشه‌های مناطق سیل‌گیر، پایه مدیریت خطر سیل را برای برنامه‌ریزان عمومی و شهری در این مناطق فراهم می‌کند [۶]. به‌رغم پیشرفت‌های اخیر در تکنیک‌های محاسباتی و در دسترس بودن اطلاعات توپوگرافی با وضوح زیاد، نقشه‌های خطر سیل هنوز در بسیاری از مناطق وجود ندارد که سبب ضعف در استراتژی‌های مقابله با سیل و مدیریت ناکارآمد این بحران شده است [۱]. تهیه نقشه‌های پتانسیل مخاطره سیل نوعی اقدام غیرساختاری و یک قدم مهم در کاهش آثار سیل با توجه به روند رو به افزایش آن در کشور به شمار می‌آید. تکنیک‌های یادگیری ماشین زمینه نسبتاً جدیدی از هوش مصنوعی هستند. این تکنیک‌ها با استفاده از تجربه یادگیری به دنبال نوشتن برنامه‌ای با بهترین عملکرد هستند [۷]. مدل‌های یادشده با الگوریتم‌های متفاوت می‌توانند پیشگویانه یا توصیفی باشند و یا هر دو خاصیت را داشته باشند و در مدل‌سازی مخاطره سیل استفاده شوند که در این زمینه به شناسایی الگوریتم‌های بهینه نیاز است.

مرور مطالعات پیشین در این زمینه، علاقه روزافزون به تحقیق روی شناسایی مناطق مستعد سیل در سال‌های اخیر را نشان می‌دهد. در مطالعه‌ای که موسوی و همکاران (۱۳۹۵)

به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل حوضه آبخیز شهر باغملک با استفاده از منطق فازی TOPSIS و GIS و متغیرهای بارش، ارتفاع، شیب، جهت، سازند، فاصله از آبراهه‌ها و کاربری زمین پرداختند، نشان دادند ۱۷/۸۶ درصد از این منطقه دارای احتمال خطر سیل بسیار زیاد و ۲۴/۱۵ درصد دارای احتمال خطر زیاد است [۸]. در مطالعه‌ای عابدینی و فتحی‌جوکدان (۱۳۹۶) هم که به پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در حوضه آبخیز گرگان‌رود با استفاده از متغیرهای شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، خاک، بارندگی و رتبه‌بندی آبراهه‌ها در محیط GIS پرداختند، نشان دادند در ۳۵/۶۸ درصد از مساحت این حوزه احتمال وقوع سیل زیاد است [۹]. در مطالعه رحمتی و پورقاسمی (۲۰۱۷) نیز مناطق بحرانی سیل با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین و متغیرهای ارتفاع، شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)^۱، انحنای زمین^۲، بافت خاک، زمین‌شناسی، کاربری و فاصله از رودخانه در منطقه گالیکش استان گلستان شناسایی شد که نتایج به‌دست‌آمده از آن بیانگر دقت مناسب مدل‌های EBF^۳ و BRT^۴ با مقدار ارزش زیرمنحنی (AUC)^۵ ۰/۷۸، نسبت به روش جنگل تصادفی (RF)^۶ با مقدار ۰/۷۳ در این زمینه بوده است [۱۰]. در مطالعه‌ای دیگر دارابی و همکاران (۲۰۱۸) خطر سیلاب را با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین و مدل‌های GRAP^۷ و QUEST^۸ و متغیرهای بارندگی، شیب، کاربری زمین، ارتفاع، منحنی حوضه، فاصله از رودخانه‌ها و کانال‌ها و عمق آب‌های زیرزمینی در شهرستان ساری ارزیابی کردند که مدل GRAP با مقدار AUC، ۰/۹۳ دقت بیشتری نسبت به مدل QUEST با مقدار ۰/۷۹ داشت [۱۱]. در مطالعه‌ای تهرانی و همکاران (۲۰۱۹) خطر سیل را با در نظر گرفتن متغیرهایی از جمله شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص توان آبراهه (SPI)^۹، شیب، جهت جغرافیایی، کاربری، زمین‌شناسی، خاک، شاخص انتقال رسوب و انحنای حوضه با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین شامل درخت تصمیم و ماشین بردار پشتیبان ارزیابی کردند. نتیجه ارزیابی صحت

1. Topographic Wetness Index (TWI)
2. Curvature
3. Evidential Belief Function
4. Boosted Regression Trees
5. Area Under the Curve
6. Random Forest
7. Genetic Algorithm Rule-Set Production
8. Quick Unbiased Efficient Statistical Tree
9. Stream Power Index

برای ارزیابی مخاطره سیل در این پارک نشان دهد و نیز با شناسایی مناطق بحرانی به منظور جلوگیری از آسیب‌های احتمالی برنامه‌ریزی شود.

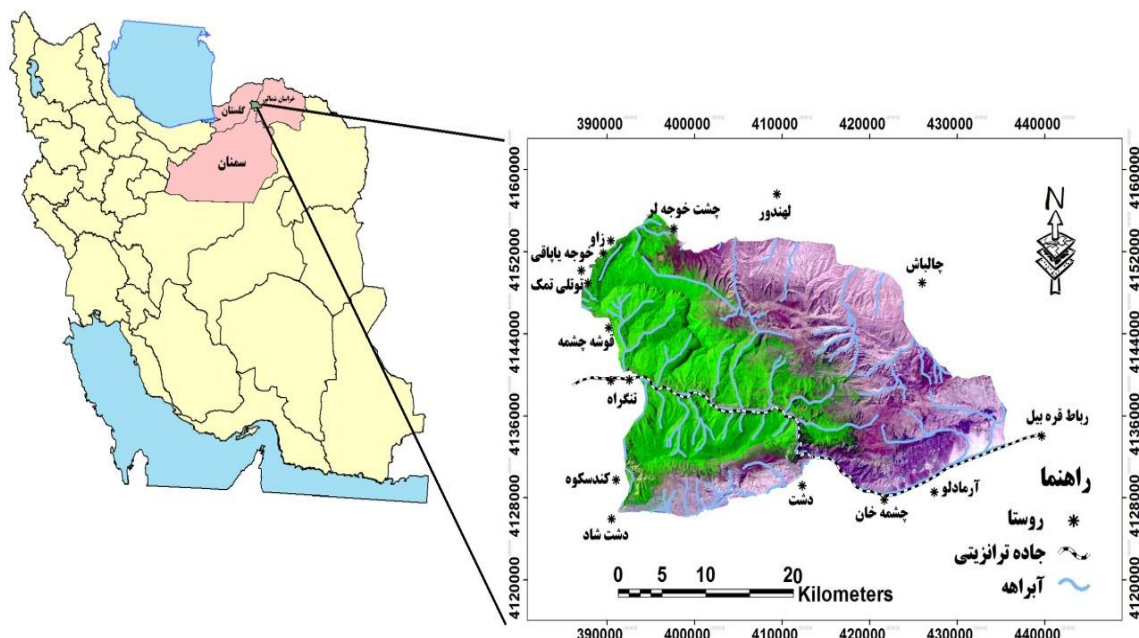
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه‌شده

در پژوهش حاضر، پارک ملی گلستان واقع در شرق استان گلستان و غرب استان خراسان شمالی و شمال استان سمنان به‌عنوان منطقه مطالعه‌شده انتخاب شد. این پارک با مساحت حدود ۹۱۸۵۹ هکتار در محدوده جغرافیایی $37^{\circ} 16' 43''$ تا $37^{\circ} 31' 35''$ عرض شمالی و $43^{\circ} 25'$ تا 55° تا $17' 48''$ طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). منابع آب موجود در منطقه یادشده، شامل آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود که مهم‌ترین آنها رودخانه مدرسو یا دوغ از سرشاخه‌های گرگان‌رود است. از نظر آب‌های زیرزمینی نیز چشمه‌های زیادی در این منطقه وجود دارد که ۱۱۴ نمونه از آنها اندازه‌گیری شده است. درون پارک یک ایستگاه آب‌سنجی در منطقه تنگراه با میانگین آبدهی سالانه ۱/۵۱ قرار گرفته است [۱۸].

مدل‌های یادشده با استفاده از AUC به‌ترتیب با مقدار ۰/۸۸ و ۰/۸۵ دقت مناسب آنها را نشان داد [۱۲].

پارک ملی گلستان از قدیمی‌ترین ذخیره‌گاه‌های زیست‌کره و از بیوم سیستم‌های مختلط کوهستانی مطرح در سطح جهان است [۱۳]. این پارک در دو قلمروی زیست‌جغرافیایی شامل یورو سیبری و هیرکانی قرار گرفته است [۱۴] و تنها زیستگاه امن باقی‌مانده برای بسیاری از گونه‌های حیات وحش است و از معدود زیستگاه‌های طبیعی کشور به شمار می‌آید [۱۵]. به‌دلیل کاربری نامناسب اراضی، رعایت نکردن حریم رودخانه، احداث سازه‌های نامناسب، شیب زیاد حوضه و بارش رگبارهای شدید، این پارک هر ساله دچار خسارت‌های سیل می‌شود [۱۶]. از مخرب‌ترین سیل‌های این منطقه می‌توان به وقوع سیل در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۷ اشاره کرد. با وجود اهمیت این مخاطره در پارک تا کنون مطالعه‌ای روی آن صورت نگرفته است. مطالعه حاضر به تعیین متغیرهای مهم در ایجاد مناطق سیل‌گیر و پهنه‌بندی آن با استفاده از آنتروپی بیشینه^۱، درخت رگرسیون تقویت‌شده (BRT) و مدل جنگل تصادفی (RF) که در سیستم‌های ژئومورفیک و در مدل‌سازی مخاطره سیل نو هستند [۱۷]، می‌پردازد تا از این راه هم‌کارایی این مدل‌ها را



شکل ۱. منطقه مطالعه‌شده

روش تحقیق

در حالت کلی، مراحل اجرایی تحقیق حاضر را می‌توان شامل سه مرحله کلی دانست که عبارت‌اند از: تشکیل پایگاه داده مکانی، اجرای مدل‌های آنتروپی بیشینه، درخت رگرسیون تقویت‌شده و جنگل تصادفی و ارزیابی مدل‌های تهیه‌شده.

به‌منظور تشکیل پایگاه داده مکانی، متغیرهای تأثیرگذار روی مخاطره سیل شامل عوامل فیزیوگرافی، فاصله از جاده، اقلیمی، هیدرولوژی، کاربری و شاخص پوشش گیاهی آماده‌سازی شدند. عوامل توپوگرافی شامل متغیرهای شیب، ارتفاع، انحنای زمین، شاخص رطوبت توپوگرافی و قدرت جریان آبراهه با ایجاد تغییرات روی ترکیب و توزیع پوشش گیاهی، آب‌وهوا و خاک روی مخاطره سیل تأثیرگذارند [۱۹]. بنابراین، متغیرهای یادشده با استفاده از نقشه DEM ۳۰ متر که از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شده بود، آماده‌سازی شدند. چگونگی تأثیرگذاری این عوامل به این صورت است که در طبقات ارتفاعی پایین پتانسیل زیادی بر وقوع سیل‌گیری وجود دارد [۲۰] و شیب زیاد با توجه به تأثیر بر میزان نفوذ آب و ایجاد رواناب‌ها و سرعت جریان، بر وقوع سیل نیز تأثیرگذار است [۱۰]. متغیر انحنای زمین نیز با کنترل و حرکت آب بر زهکشی و نگهداری آب تأثیر دارند که به این صورت بر شکل‌گیری مناطق سیل‌گیر تأثیر می‌گذارد [۲۱]. شاخص‌های TWI و SPI از عوامل پرکاربرد برای تعیین اطلاعات مربوط به توزیع مکانی وضعیت رطوبت و قدرت فرساینده‌گی جریان آب هستند و در مناطق دارای مقادیر زیاد این شاخص‌ها احتمال زیاد وقوع سیل وجود دارد [۲۲]. این عوامل از روابط ۱ و ۲ در نرم‌افزار SAGA GIS 2 به‌دست آمدند [۲۳]:

$$TWI = \ln\left(\frac{As}{\tan}\right) \quad (1)$$

$$SPI = A_s \tan \beta \quad (2)$$

که در آنها: As سطح ویژه حوضه بر حسب مساحت تجمعی بالادست (مساحت بالادست در واحد طول خط تراز) و β درجه شیب است.

فاکتورهای اقلیمی شامل دما و بارندگی نه‌تنها به‌عنوان عامل منفرد در وقوع مخاطره سیل مؤثرند، بلکه به‌طور

غیرمستقیم با اثرگذاری بر تیپ و تراکم پوشش گیاهی نیز آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۲۴]. به‌منظور بررسی اثر عوامل یادشده آمار متوسط سالانه متغیرهای دما و بارندگی برای ۱۵ سال گذشته (۱۳۸۲-۱۳۹۶) ایستگاه‌های هواشناسی اطراف و درون پارک ملی گلستان از سازمان هواشناسی کل کشور تهیه شد و با استفاده از روش کریجینگ ساده، میان‌یابی صورت گرفت.

آبراهه‌ها پایداری دامنه را از طریق فرسایش و اشباع بخش‌های پایینی دامنه تحت تأثیر قرار داده‌اند و یکی از عوامل مهم در سیل‌گیری اراضی مجاور خود هستند [۲۰] و [۲۵]. بنابراین، از آبراهه‌های فرعی و رودخانه مادرسو که از عمیق‌ترین دره پارک می‌گذرد، نقشه فاصله از آبراهه و تراکم شبکه آبراهه‌ای^۱ در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد.

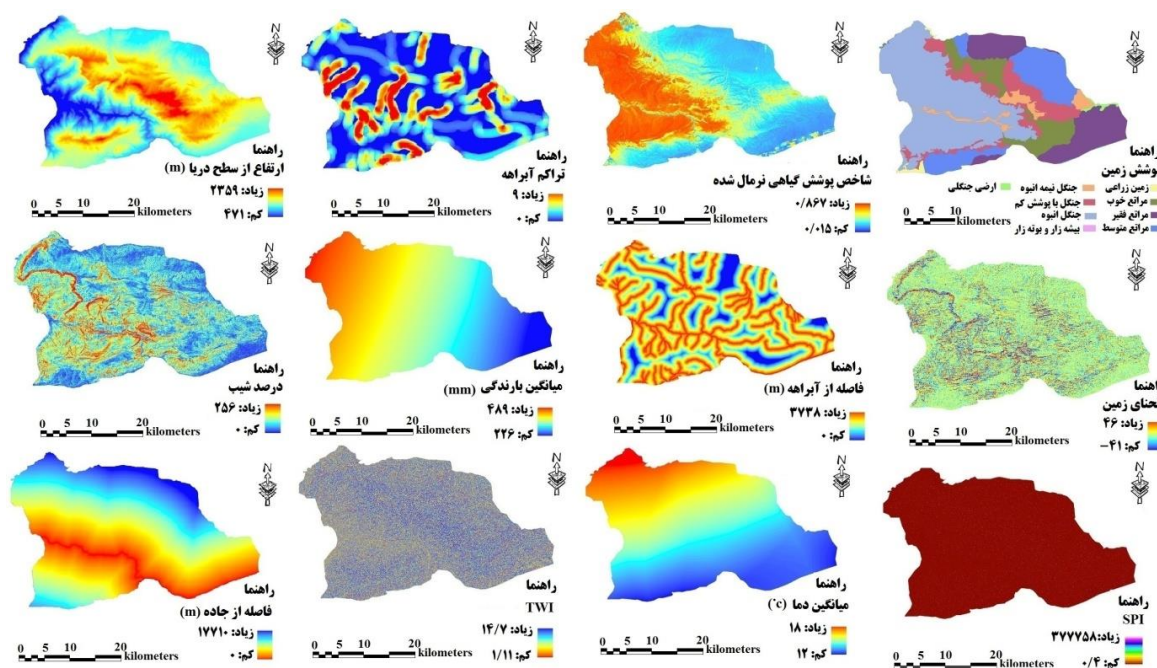
حضور جاده‌ها در هر اکوسیستم به افزایش وسعت، شدت و تناوب اختلالات طبیعی مانند افزایش سرعت رواناب ناشی از سیل به‌دلیل نفوذناپذیر بودن منجر می‌شود [۲۶]. بنابراین، این لایه به صورت نقشه فاصله از جاده ترانزیتی که با استفاده از GPS برداشت شده بود، در نرم‌افزار Arc GIS آماده‌سازی شد و مورد استفاده قرار گرفت.

پوشش گیاهی با تنظیم نفوذپذیری سطوح و جریان آب سبب کاهش سیل در منطقه‌ای خاص می‌شوند [۱۰]. بنابراین، نقشه کاربری منطقه از سازمان نقشه‌برداری کشور با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ تهیه شد و از شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI)^۲ حاصل از تصاویر ماهواره‌ای Landsat سال ۲۰۱۸ نیز استفاده شد. شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال‌شده از معروف‌ترین و ساده‌ترین شاخص‌های گیاهی است که برای مشخص کردن شاخص تر و خشک گیاهان استفاده می‌شود [۲۷].

پس از اتخاذ تصمیم در مورد داده‌های ورودی مربوط به مدل، اقدام به طراحی و ساخت پایگاه داده مکانی در قالب بانک اطلاعاتی شد. شکل ۲ نقشه‌های عوامل تأثیرگذار روی مخاطره سیل مربوط به پایگاه داده را نشان می‌دهد.

پس از تشکیل پایگاه داده مکانی، مدل‌سازی صورت پذیرفت که مدل آنتروپی بیشینه با استفاده از نرم‌افزار MaxEnt اجرا شد و اهمیت متغیرها نیز با استفاده از

1. Stream Density
2. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)



شکل ۲. نقشه‌های مربوط به پایگاه داده عوامل تأثیرگذار روی مخاطره سیل

مجموعه متغیرها (n) اجرا می‌شود و در هر بار اجرا یک متغیر مستقل حذف (n-1) و ارزیابی مدل صورت می‌گیرد که با انجام این کار اهمیت و جایگاه هر متغیر در مدل مشخص می‌شود [۳۱].

به منظور برآزش مدل‌های RF و BRT از بسته «randomForest» و نرم‌افزار R3.3.3 استفاده شد. BRT یکی از تکنیک‌هایی است که به منظور بهبود عملکرد خود از مدل‌های مختلف و ترکیب آنها برای پیش‌بینی استفاده می‌کند [۳۲]. این روش چند مزیت دارد، از جمله اینکه به Overfitt نسبت به سایر تکنیک‌های طبقه‌بندی کمتر حساس است [۳۳]. این روش می‌تواند داده‌هایی با حجم زیاد را به سرعت آنالیز کند و نیاز به پیش‌فرض‌های توزیع داده‌ها را ندارد و قادر به تعیین مهم‌ترین مشخصه‌ها در طبقه‌بندی است [۳۴]. جنگل تصادفی نیز یکی از روش‌های غیرپارامتری و درخت پایه است که شامل انبوهی از درخت‌های کلاسه‌بندی و رگرسیونی می‌شود و گسترش یافته مدل رگرسیون درختی است [۳۵]. این مدل با استفاده از مقدار خطای OOB^۲ پیش‌بینی را انجام می‌دهد و در این روش از داده‌ها برای آزمایش استفاده نمی‌شود [۳۶].

آزمون جک‌نایف^۱ به دست آمد [۲۸]. این مدل با استفاده از داده‌های واقعیت، داده‌های گسسته و پیوسته، اثر متقابل فاکتورها و همبستگی احتمال وقوع خطر نسبت به مکان‌های وقوع، متغیرهایی که به عنوان ورودی ضرورت کافی در حداکثر رساندن دقت مدل را دارند، پیش‌بینی کرده و درصد مشارکت و میزان اهمیت آنها را مشخص می‌کند [۲۹]. توزیع احتمال این روش به صورت نمایی و براساس تقسیم مجموع وزن متغیرهای محیطی بر یک مقیاس ثابت برآورد می‌شود، به طوری که مقادیر احتمال بین صفر و یک قرار می‌گیرد و مجموع احتمالات برابر یک می‌شود. رابطه^۳ توزیع احتمال این مدل را نشان می‌دهد که در آن λ برداری از n ضریب با ارزش واقعی یا وزن‌های متغیرهای محیطی، f برداری از همه n متغیر و $Z\lambda$ ثابت نرمال‌سازی است تا اطمینان حاصل شود که مجموع $q\lambda$ برابر یک می‌شود [۳۰].

$$q_{i(x)} = \frac{e^{f(x)}}{Z} \quad (3)$$

آزمون جک‌نایف نیز نوعی روش تعیین اهمیت متغیرها به روش جایگزین در مدل‌های پیش‌بینی است که به روش حذف متغیرهای مستقل عمل می‌کند و مدل به تعداد

2. Out Of Bag (OOB)

1. Jackknife

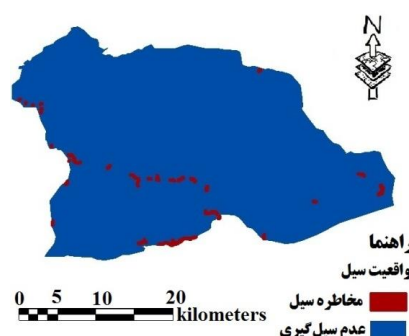
حضور آزمون جک‌نایف است. بر این اساس، نتایج بیانگر مشارکت زیاد و اهمیت فراوان متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، میانگین دما، فاصله از رودخانه و جاده ترانزیتی بود.

شکل ۴ نتایج منحنی آزمون جک‌نایف است که این آزمون میانگین پاسخ را نسبت به متغیرهای محیطی بعد از ۱۲ بار تکرار در تعیین عوامل مهم در وقوع مخاطره سیل نشان می‌دهد که به ازای تعداد عوامل تأثیرگذار منحنی پاسخ وجود دارد.

در شکل ۴ نمودار رنگ قرمز حالت بهینه، رنگ آبی نوسانات پیرامون آن، محور x ارزش هر متغیر و محور y احتمال حضور و مطلوبیت را نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده از این آزمون، بیانگر آن است که ارتفاع از سطح دریا، میانگین دمای سالانه، فاصله از جاده ترانزیتی، فاصله از آبراه‌ها، میانگین دما و بارندگی جزء عوامل مهم در رخداد سیل‌های منطقه مطالعه‌شده به شمار می‌آیند.

با استفاده از آنتروپی بیشینه، نمودارهای چگونگی تأثیرگذاری متغیرها روی مخاطره سیل نیز به‌دست آمد (شکل ۵). همان‌طور که از نمودارها برمی‌آید، افزایش وقوع سیل نیز با روند کاهشی فاصله از آبراه‌ها، میانگین بارندگی، شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال‌شده، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت جریان، تراکم آبراه‌ها، فاصله از جاده، ارتفاع از سطح دریا و شیب و حالت بهینه متغیرهای انحنای زمین، پوشش کاربری و میانگین دما افزایش می‌یابد.

نقشه رخداد مخاطره سیل به عنوان متغیر وابسته با پیمایش گسترده در منطقه مطالعه‌شده و با استفاده از GPS و Google Earthe برداشت شد (شکل ۳) که به این منظور ۴۴ مورد مخاطره منطقه سیل‌گیر ثبت شد. برای اجرای مدل‌های یادشده این نقشه به پیکسل سایز 30×30 متر تبدیل شد که در این حالت ۱۹۹۹ پیکسل مناطق سیل‌گیر به‌دست آمد. همچنین، از ۷۰ درصد تعداد یادشده یعنی ۱۳۹۹ پیکسل برای مدل‌سازی استفاده شد و با استفاده از ۳۰ درصد باقی‌مانده و مشخصه عملکرد نسبی (ROC) و مقدار ارزش زیر منحنی ارزیابی مدل‌ها صورت پذیرفت [۳۷].



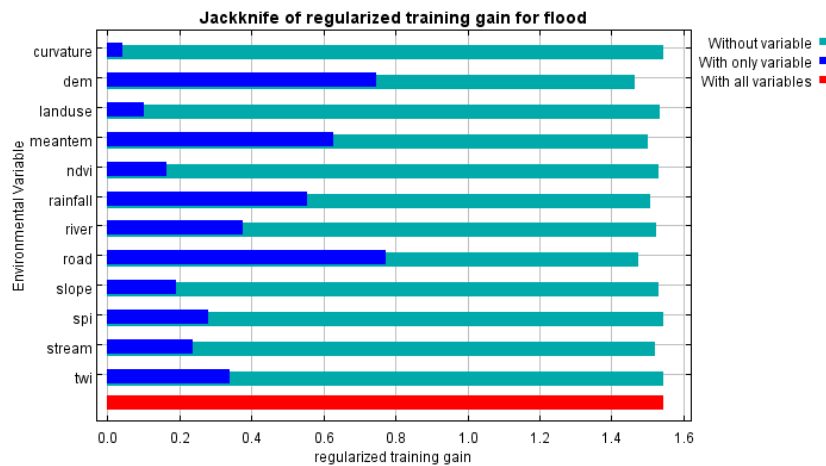
شکل ۳. نقشه واقعیت مناطق سیل‌گیر

یافته‌ها

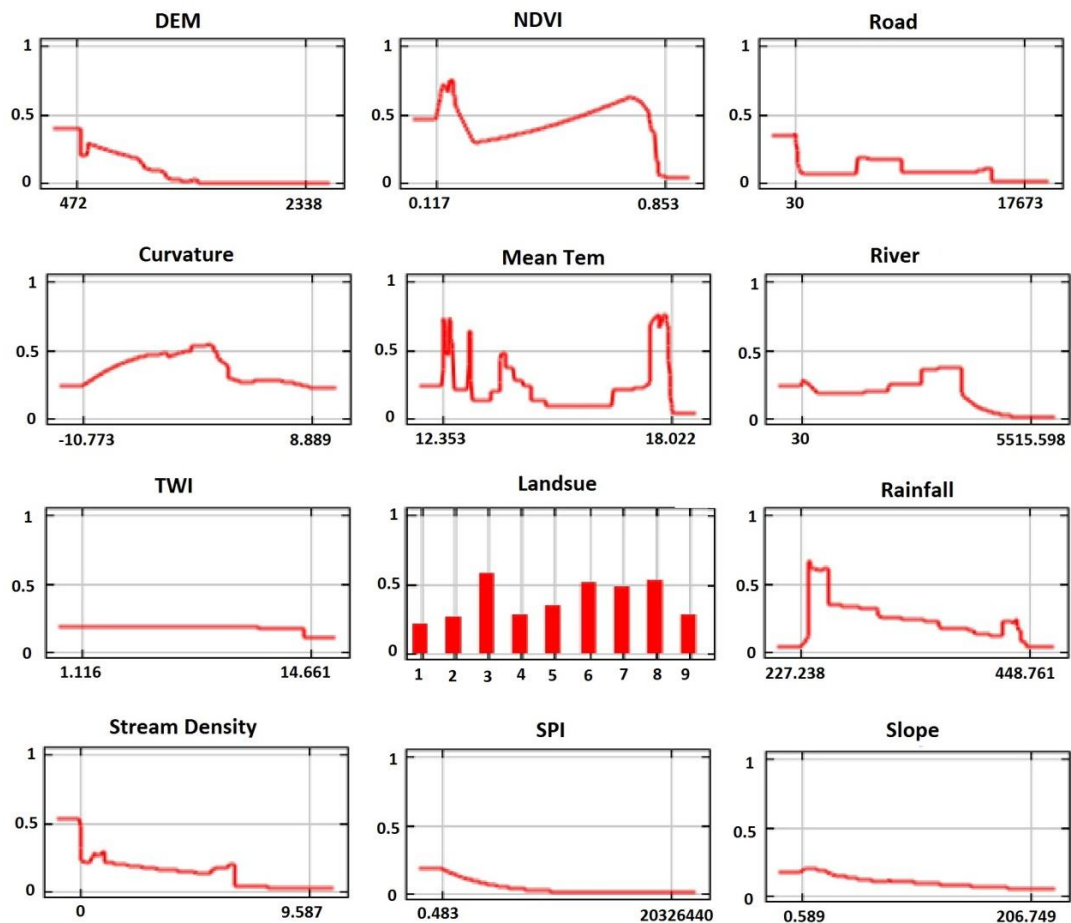
در پژوهش حاضر با استفاده از آنتروپی بیشینه، درصد مشارکت و اهمیت جایگزینی متغیرها به‌دست آمد (جدول ۱). درخور یادآوری است که تحلیل مدل یادشده بدون

جدول ۱. اهمیت جایگزینی و درصد مشارکت متغیرها در مخاطره سیل با استفاده از آنتروپی بیشینه

مخاطره سیل		متغیر	
درصد مشارکت	اهمیت جایگزینی		
۱۹/۵	۹/۷	Road	فاصله از جاده
۳/۷	۱	Slope	درصد شیب
۵/۸	۷/۱	Rainfall	میانگین بارش
۸/۵	۱/۱	River	فاصله از آبراه‌ها
۳۵/۷	۶۵/۳	DEM	ارتفاع از سطح دریا
۱/۹	۱/۴	Landuse	پوشش کاربری
۲۲/۴	۱۰/۶	Meantem	میانگین دما
۰/۱	۰/۱	Curvature	انحنای زمین
۰	۰/۴	TWI	شاخص رطوبت توپوگرافی
۰/۹	۱/۳	NDVI	شاخص تفاضلی پوشش گیاهی
۱/۶	۲	Stream	تراکم شبکه آبراه‌های
۰	۰	SPI	شاخص قدرت جریان



شکل ۴. نمودار جک‌نایف حاصل از تحلیل آنتروپی بیشینه در اولویت‌بندی عوامل تأثیرگذار مخاطره سیل



شکل ۵. چگونگی تأثیرگذاری متغیرها روی مخاطره سیل (محور y ها احتمال حضور و محور x ها مقدار متغیر)

بیش از ۵۰ درصد بسیار کم و در حد ۰/۰۱۸ تا ۰/۰۲ است.

نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی، مدل جنگل تصادفی با استفاده از میانگین کاهش دقت و میانگین کاهش

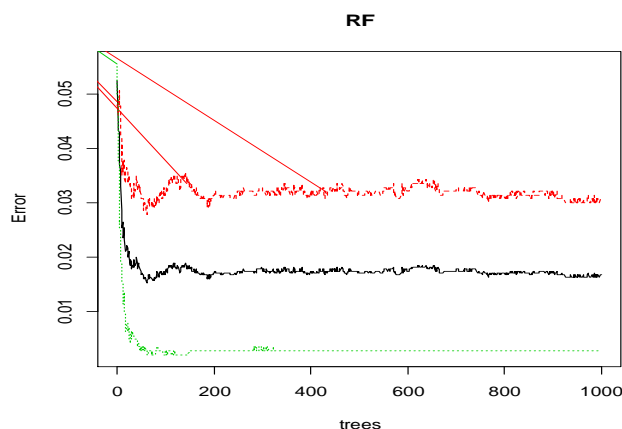
مدل جنگل تصادفی با استفاده از مقدار خطای OOB پیش‌بینی‌ها را انجام می‌دهد که در شکل ۶ نمودار میزان کلی خطای مربوط به این مدل ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، مقدار خطای OOB با

مهم‌ترین متغیرها معرفی شده‌اند، به گونه‌ای که با کاهش متغیرهای ارتفاع از سطح دریا و فاصله از آبراهه‌ها و میانگین دماهای کم و زیاد، احتمال این مخاطره افزایش می‌یابد.

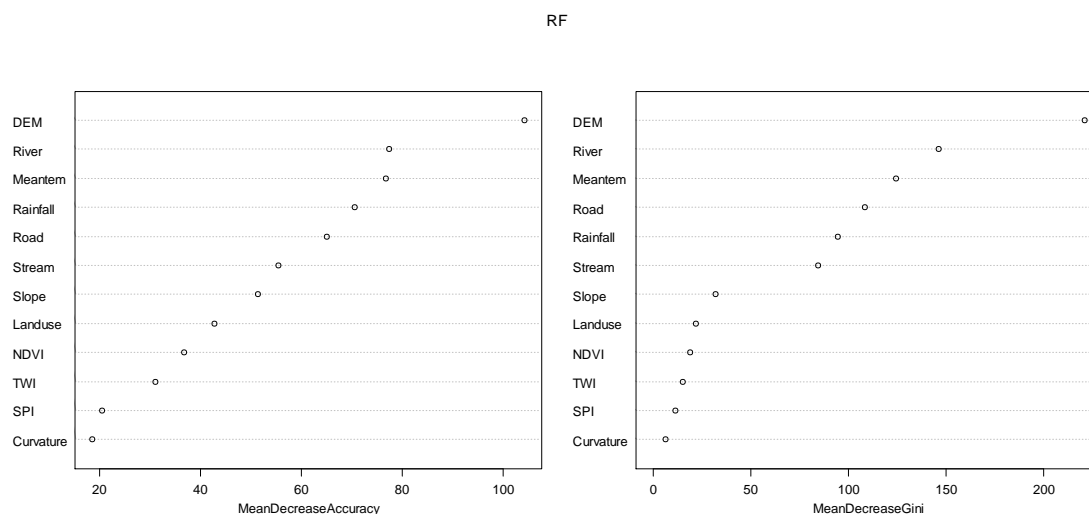
در پژوهش حاضر به منظور ارزیابی مدل‌های تهیه‌شده از ۳۰ درصد داده‌های سیل که در فرایند مدل‌سازی قرار نگرفته ارزش زیرمنحنی (AUC) برآورد شد. نتایج به‌دست‌آمده از این بخش مقدار AUC برای مدل‌های درخت رگرسیون تقویت‌شده و مدل جنگل تصادفی ۰/۹۹ و آنتروپی بیشینه ۰/۸۹ را نشان داد. شکل ۹ سطح ارزش زیرمنحنی به‌وجودآمده از ارزیابی هر یک از مدل‌ها را نشان می‌دهد.

جینی اولویت‌بندی متغیرهای تأثیرگذار روی مخاطره سیل را نشان می‌دهد. در این بخش متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، فاصله از آبراهه‌ها و میانگین دمای سالیانه بیشترین تأثیر و متغیرهای انحنای زمین، شاخص رطوبت توپوگرافی و قدرت جریان، کمترین تأثیر بر وقوع مخاطره سیل را داشتند (شکل ۷).

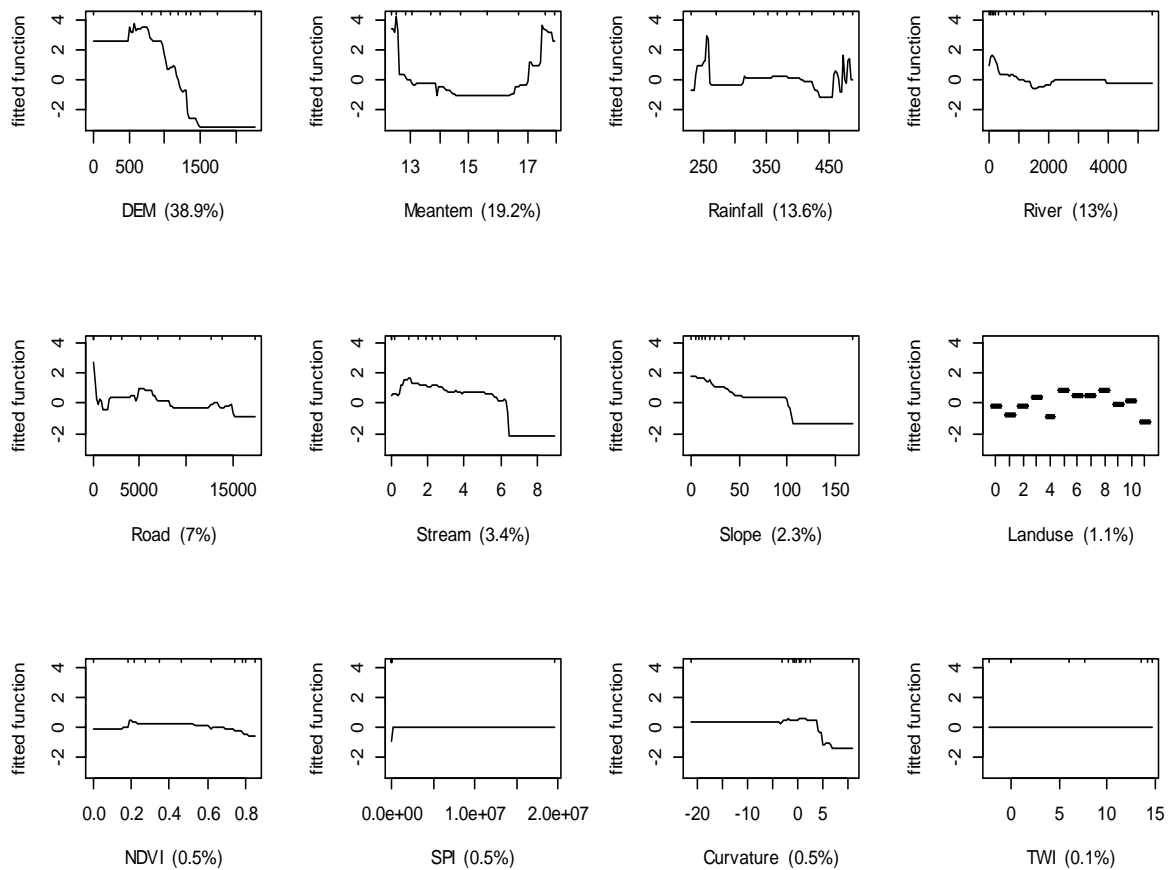
در نتایج به‌دست‌آمده از درخت رگرسیون تقویت‌شده (شکل ۸) درصد مشارکت و چگونگی تأثیرگذاری متغیرهای مختلف را در شکل‌گیری مناطق سیل‌گیر در منطقه مطالعه‌شده نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۸ پیداست، متغیر ارتفاع از سطح دریا، میانگین دما و فاصله از آبراهه‌ها به ترتیب با ۳۸/۹، ۱۹/۲ و ۱۳/۶ درصد، به‌عنوان



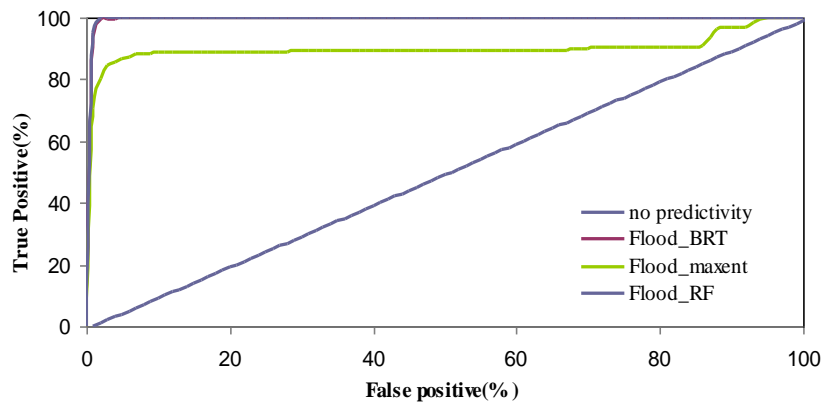
شکل ۶. مقدار خطای کلی مدل جنگل تصادفی مخاطره سیل، خط مشکی طبقه‌بندی اشتباه (OOB)؛ خط قرمز مکان‌های فاقد سیل و خط سبز مکان‌های سیل



شکل ۷. میانگین کاهشی دقت و میانگین کاهش جینی متغیرهای مؤثر بر مدل جنگل تصادفی در مخاطره سیل



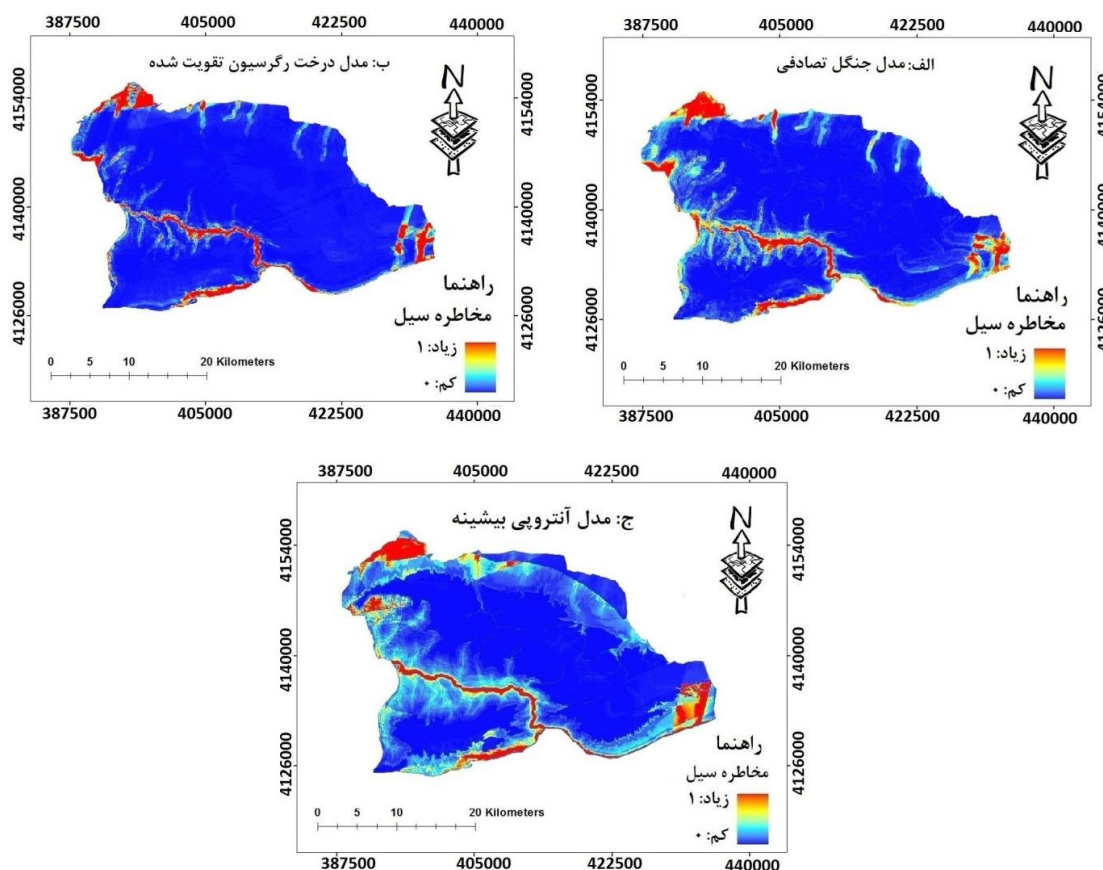
شکل ۸. میزان اهمیت و چگونگی تأثیرگذاری متغیرها روی سیل با استفاده از درخت رگرسیون تقویت‌شده



شکل ۹. نمودار سطح ارزش زیرمنحنی مدل‌های مخاطره سیل

رودخانه مادرسو و جاده ترانزیتی و منطقه جنوبی در حاشیه روستای دشت و منطقه زاو و قوشه‌چشمه در شمال و شمال شرقی پارک، به‌عنوان مناطق ناامن از لحاظ سیل‌گیری در نظر گرفته می‌شود.

درنهایت، نقشه مخاطره سیل به‌دست‌آمده از آن‌روپی بیشینه، مدل جنگل تصادفی و درخت رگرسیون تقویت‌شده منطقه مطالعه‌شده در شکل ۱۰ نشان داده شده است. طبق شکل ۱۰، تقریباً مناطق غربی، حاشیه



شکل ۱۰. نقشه‌های پتانسیل مخاطره سیل الف (جنگل تصادفی، ب) درخت رگرسیون تقویت شده، ج) آنتروپی بیشینه

بحث و نتیجه‌گیری

همان‌طور که از نتایج به‌دست آمده از درصد مشارکت، اهمیت جایگزینی و آزمون جک‌نایف آنتروپی بیشینه و همچنین نمودارهای حاصل از درخت رگرسیون تقویت شده و میانگین کاهشی دقت و کاهش جینی مدل جنگل تصادفی در اولویت‌بندی متغیرهای مهم برمی‌آید، متغیر ارتفاع از سطح دریا با درصد مشارکت $35/7$ و اهمیت جایگزینی $65/3$ و $38/9$ درصد تأثیرگذاری در مدل درخت رگرسیون تقویت شده، بیشترین اهمیت در شکل‌گیری مناطق سیل‌گیری را دارد، به‌طوری که با کاهش ارتفاع، احتمال آسیب سیل و ایجاد مناطق سیل‌گیر افزایش می‌یابد. همچنین، در یافته‌های مطالعه خسروی و همکاران (۱۳۹۵) نیز به اهمیت این متغیر در وقوع مخاطره سیل و افزایش احتمال وقوع در مناطق پایین دست و با ارتفاع کم اشاره شده است [۲۰]. همچنین، کنعانی سعادت و همکاران (۲۰۱۹) این متغیر را در وقوع مخاطره سیل بسیار بااهمیت نشان دادند و مطرح کردند که متغیر یادشده بر سایر

متغیرها هم بیشترین تأثیر را می‌گذارد [۳۸]. در این خصوص می‌توان گفت که رواناب‌های ایجادشده بر اثر بارش‌ها در مناطق بالادست در پایین‌ترین نقطه حوضه جمع‌آوری می‌شوند، بنابراین این مناطق بیشترین حساسیت را نسبت به وقوع رخداد سیل و ایجاد سیلاب دارند.

میانگین دمای سالیانه از جمله متغیرهایی است که در شناسایی مناطق سیل‌گیر اهمیت زیادی دارد و در آزمون جک‌نایف آنتروپی بیشینه، مدل جنگل تصادفی و درخت رگرسیون تقویت شده در اولویت بعدی قرار گرفته است. به‌طوری که نتایج به‌دست آمده از این نمودارها نیز ارتباط سهمی این متغیر را با مخاطره سیل نشان می‌دهد. به بیان دیگر، در مناطقی که میانگین دمای سالیانه خیلی کم و یا زیاد است، احتمال سیل‌گیری نیز افزایش می‌یابد. تأثیر این متغیر را می‌توان به دو شکل استنباط کرد؛ در درجه نخست از آنجا که پارک ملی گلستان حد نهایی جنگل‌های هیرکانی است و در محدوده آن شکل‌های متفاوتی از اقلیم و پوشش گیاهی را می‌توان مشاهده کرد و مناطق شمالی پارک با توجه

با وجود تأثیرگذاری این جاده معروف به شاهراه آسیایی روی ۴۷ درصد از مساحت آتش‌سوزی‌های پارک [۳۹] تغییرات ساختاری منطقه [۴۰] و مشارکت ۱۹/۵ درصدی در سیل‌های منطقه با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از بخش آنتروپی بیشینه، تأثیر ۷ درصدی در مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده، دارای میانگین کاهش دقت بیش از ۶۰ درصد و میانگین کاهش جینی بیش از ۱۲۰ درصد در مدل جنگل تصادفی ضرورت انتقال آن به خارج از پارک بیش از پیش احساس می‌شود.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌ها، سایر متغیرها اهمیت کمتری در ایجاد مناطق سیل‌گیری در منطقه مطالعه‌شده دارند. درضمن، با توجه به نمودارهای به‌دست‌آمده از چگونگی تأثیرگذاری متغیرها در مدل آنتروپی بیشینه در مورد متغیر پوشش زمین می‌توان گفت که کمترین مناطق سیل‌گیر در محدوده کاربری پوشش جنگلی انبوه و بیشترین سیل‌گیری در مراتع اتفاق افتاده است. نمودار انحنای زمین نیز بیانگر افزایش احتمال سیل‌گیری در محدوده مناطق صاف (مقدار صفر) است، به‌طوری که هر چه به سمت مقعر و یا محدب (منفی و مثبت) شکل زمین پیش می‌رود، از احتمال خطر سیل‌گیری کم می‌شود. نمودار مربوط به تراکم آبراهه نیز نشان‌دهنده رابطه عکس تراکم آبراهه با وقوع سیل‌گیری در منطقه است. می‌توان این‌گونه گفت که افزایش تراکم آبراهه‌ها موجب فراهم کردن مسیرهای خروجی رواناب‌ها می‌شود و در صورت افزایش این مسیرها، احتمال وقوع سیل‌گیری کاهش می‌یابد. متغیر شاخص قدرت جریان نیز رابطه معکوسی با سیل‌گیری دارد، به‌گونه‌ای که با افزایش این مقدار، احتمال مخاطره سیل‌گیری کاهش می‌یابد. از آنجا که شاخص یادشده نشان‌دهنده قدرت فرساینده‌گی جریان آب است، بنابراین در مناطق سیل‌گیر با توجه به شیب و ارتفاع کم، مقدار این شاخص کاهش پیدا می‌کند.

نتایج به‌دست‌آمده از مقدار خطای OOB مدل جنگل تصادفی، پیش‌بینی مناسب این مدل را در مقابل داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد؛ به‌طوری که داده‌های خط سبز مربوط به مکان‌هایی سیل‌گیر دارای کمترین خطا نسبت به داده‌های فاقد سیل و طبقه‌بندی اشتباه با خطوط قرمز و مشکی است. در واقع، این مدل با استفاده از میانگین‌گیری و شمارش نتایج طبقه‌بندی‌کننده‌های پایه

به هم‌جوار بودن با بیابان‌های ترکمن‌صحرا، میانگین دمای زیادی نسبت به دیگر مناطق دارد، بنابراین بارش‌ها در این مناطق به صورت رگباری و در زمان کم صورت می‌گیرد که احتمال سیل‌گیری را افزایش می‌دهد. از طرف دیگر نیز می‌توان این‌گونه تشریح کرد که دماهای زیاد و کم سبب تغییر در نوع پوشش گیاهی و کاربری منطقه شده است و از آنجا که این پوشش‌ها روی میزان جذب رواناب‌ها تأثیر می‌گذارد، می‌تواند عاملی بر این موضوع باشد. متغیر میانگین بارندگی سالیانه نیز با توجه به آزمون جک‌نایف در ایجاد مخاطره سیل اهمیت دارد، به‌طوری که نتایج به‌دست‌آمده از درخت رگرسیون تقویت‌شده درصد تأثیر متغیر یادشده را بر این مخاطره ۱۳/۶ درصد نشان می‌دهد. این در حالی است که نمودارهای به‌دست‌آمده از این مدل‌ها رابطه معکوس میانگین بارندگی سالیانه را با مخاطره سیل نشان می‌دهند که در این خصوص می‌توان گفت که در مناطق کم‌باران احتمالاً بارش‌های رگباری زیاد است و در نتیجه خطر سیل در این مناطق افزایش یافته است. مورد دیگر اینکه در مناطق دارای میانگین بارندگی کمتر پوشش گیاهی ضعیف‌تر و سرعت تشکیل رواناب بیشتر خواهد بود که بر شکل‌گیری مناطق سیل‌گیر تأثیر می‌گذارد.

مدل‌ها به‌صورت مشترک فاصله از جاده ترانزیتی و آبراهه‌ها را جزء متغیرهای مهم در شکل‌گیری مناطق سیل‌گیر نشان می‌دهند. در واقع، از آنجا که جاده ترانزیتی از عمیق‌ترین بخش پارک و هم‌جوار با رودخانه اصلی مادرسو می‌گذرد و بخش اعظم آبراهه‌ها نیز در نهایت به این رودخانه وصل می‌شوند، بنابراین حضور این دو متغیر در اولویت زیاد قرار می‌گیرد. به بیان دیگر، می‌توان گفت که رودخانه مادرسو با توجه به قرارگیری در عمیق‌ترین قسمت پارک و محل جمع‌آوری تمامی رواناب‌های ایجادشده به هنگام سیل، سبب افزایش خطر سیل‌گیری در اطراف خود می‌شود. جاده ترانزیتی نیز از یک طرف از منطقه‌ای در پارک عبور می‌کند که خطر سیل در این مناطق زیاد است و در صورت بارش باران و سیل‌گیری، امکان آسیب به مسافران و رهگذران فراوان است. از طرف دیگر، با توجه به قرار گرفتن جاده در محدوده مناطق سیل‌گیر و ایجاد پل‌ها و سازه‌ها در این محدوده می‌تواند به‌عنوان یک مانع عمل کرده و مسیر پخش سیلاب را مسدود کند و خسارت‌های ناشی از سیل را افزایش دهد.

این منظور استفاده می‌شود می‌توان به ایجاد کانال‌های انحرافی، پخش سیلاب، ایجاد بندهای آبخیزداری و همچنین لایروبی و قطع درختان مزاحم و خطرناک در مسیرهای مستعد سیل اشاره کرد. یکی دیگر از مزیت‌های مدل‌های استفاده‌شده، تعیین میزان اهمیت هر یک از متغیرهای به‌کاررفته در مدل‌سازی مخاطره سیل است که با مشخص شدن چگونگی تأثیرگذاری این متغیرها، می‌توان به منظور کنترل مخاطره سیل برنامه‌ریزی کرد.

نتیجه‌گیری کلی

سیل از فراوان‌ترین و پرهزینه‌ترین مخاطرات طبیعی است که سالانه آسیب‌های جدی به پارک ملی گلستان، که از مهم‌ترین ذخیره‌گاه‌های زیست‌کره کشور است، وارد می‌کند. بنابراین، تهیه نقشه‌های پتانسیل سیل می‌تواند ابزاری ضروری برای کاهش سیلاب و آبخیزداری یکپارچه در این منطقه به شمار آید. در مطالعه حاضر برای تعیین نوعی روش دقیق در شناسایی مناطق مستعد سیل چندین مدل تکنیک‌های یادگیری ماشین بررسی شده و با استفاده از ROC دقت مدل‌ها ارزیابی شد. مدل‌های جنگل تصادفی و درخت رگرسیون تقویت‌شده عملکرد بهتری نسبت به مدل آنتروپی بیشینه نشان دادند و با توجه به نقشه‌های نهایی این مدل‌ها حدود ۴۵۰۰ هکتار از مساحت پارک جزء مناطق مستعد سیل شناخته شد که به این منظور عوامل ارتفاع از سطح دریا، فاصله از آبراهه‌ها، جاده ترانزیتی و میانگین دمای سالیانه، بیشترین تأثیرگذاری را داشتند. نتایج مطالعه حاضر ثابت کرد که تکنیک‌های یادگیری ماشین مدل‌های مناسبی در شناسایی مناطق مستعد سیل هستند. بنابراین، نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه حاضر می‌تواند به منظور کاهش سیلاب مورد استفاده برنامه‌ریزان و مدیران مخاطرات محیطی قرار گیرد.

منابع

- [1]. Samela, C., Albano, R., Sole, A., & Manfreda, S. A GIS tool for cost-effective delineation of flood-prone areas. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2018; 70: 43–52.
- [2]. Garrote, J., Alvarenga, F.M., Díez-Herrero, A. Quantification of flash flood economic risk using ultra-detailed stage–damage functions and 2-D hydraulic models. *J. Hydrol.* 2017; 541 (Part A, October), 611–625.

ساده و متنوع، طبقه‌بندی را انجام می‌دهد که آموزش صحیح‌تر داده‌های دارای نویز را به دنبال دارد [۴۱].

در مطالعه حاضر نقشه‌های احتمال سیل‌گیری در پارک ملی گلستان با استفاده تکنیک‌های یادگیری ماشین به‌دست آمد؛ به طوری که تمامی این نقشه‌ها محدوده رودخانه مادرسو و جاده ترانزیتی درون پارک، منطقه میرزابایلو در شرق پارک، قوشه‌چشمه در شمال شرقی، زاو و کویلر در شمال پارک و در نهایت محدوده روستای دشت در جنوب پارک را در مجموع به مساحت ۴۵۰۰ هکتار که ۵ درصد از مساحت پارک را شامل می‌شود، در محدوده احتمال خطر زیاد (۰/۷۵–۱) نشان می‌دهد. درخور یادآوری اینکه در زمان بارندگی از این مناطق باید فاصله گرفت و همچنین باید از ساخت سازه‌ها در این مناطق جلوگیری شود. برای مثال، می‌توان به منطقه چشمه‌زاو که مورد استفاده عموم مردم به‌خصوص در روزهای تعطیل و آخر هفته‌ها قرار می‌گیرد، اشاره کرد که برنامه توسعه این منطقه برای گردشگری و طبیعت‌گردی در حال برنامه‌ریزی است. بنابراین، مسئولان و مدیران باید سیل‌گیر بودن این منطقه را نیز مد نظر قرار دهند.

منحنی تشخیص عملکرد نسبی نوعی روش رایج برای ارزیابی دقت مدل‌هاست؛ به طوری که در روش یادشده تجزیه و تحلیل محدوده ارزشی زیرمنحنی (AUC) از مقدار ۰/۵ تا ۱ برای ارزیابی مدل استفاده می‌شود [۴۲]. در صورتی که مقدار AUC ۰/۹–۱ باشد، پیش‌بینی عالی؛ ۰/۸–۰/۹، بسیار خوب؛ ۰/۷–۰/۸، خوب؛ ۰/۶–۰/۷، متوسط و کمتر از ۰/۶، ضعیف است [۴۳]. نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی صحت مدل‌ها، عملکرد بهتر مدل‌های جنگل تصادفی و درخت رگرسیون تقویت‌شده را نسبت به مدل آنتروپی بیشینه نشان می‌دهد؛ به طوری که آنتروپی بیشینه با مقدار AUC بیش از ۰/۸ و بیش از ۰/۹ در مدل جنگل تصادفی و درخت رگرسیون تقویت‌شده دقت مناسب این مدل‌ها را به منظور مدل‌سازی مخاطره سیل نشان می‌دهد. منحنی تشخیص عملکرد نسبی نیز به خوبی مساحت زیرمنحنی ارزیابی مدل‌ها و دقت عالی و مناسب آنها را نشان می‌دهد. با توجه به دقت زیاد مدل‌ها، برنامه‌ریزان و مدیران می‌توانند از نقشه‌های به‌دست‌آمده برای مدیریت بحران سیل و کاهش آسیب‌های منطقه اقدام کنند. از جمله برنامه‌هایی که از نقشه‌های یادشده به

- [3]. Guhathakurta, P., Sreejith, O.P., Menon, P.A. Impact of climate change on extreme rainfall event sand flood risk in India. *J. Earth Syst. Sci.* 2011; 120: 359-373.
- [4]. Toda, L. L., Yokingco, J. C. E., Paringit, E. C., & Lasco, R. D. A LiDAR-based flood modelling approach for mapping rice cultivation areas in Apalit, Pampanga. *Applied Geography*, 2017; 80: 34-47.
- [5]. Vasu, N. N., Lee, S. R., Pradhan, A. M. S., Kim, Y. T., Kang, S. H., & Lee, D. H. A new approach to temporal modelling for landslide hazard assessment using an extreme rainfall induced-landslide index. *Engineering Geology*. 2016; 215: 36-49.
- [6]. Alfieri L, Salamon P, Bianchi A, Neal J, Bates P, Feyen L. Advances in pan-European flood hazard mapping. *Hydrological processes*. 2014; 28(13):4067-77.
- [7]. Mosavi A, Ozturk P, Chau KW. Flood prediction using machine learning models: Literature review. *Water*. 2018;10(11):1536.
- [8]. Mosavi, SM., Negahban, S., Rakhasni Moghadam, H., Hossinzadeh, SM. Assessment and zoning Flood risk by using Fuzzy logic TOPSIS in GIS (Case study: Baghmalek urban catchment), *Environmental Hazards*. 2017; 5(10): 79-98. In persian.
- [9]. Abedini, M., Fathi Jokadan, R. Flood Risk Zoning in Karaganrouds Catchment Basin Using ArcGIS, *Hydrogeomorphology*. 2017; 7: 1-17. In persian.
- [10]. Rahmati, O., & Pourghasemi, H. R. Identification of Critical Flood Prone Areas in Data-Scarce and Ungauged Regions: A Comparison of Three Data Mining Models. *Water Resources Management*. 2017; 31(5): 1473-1487.
- [11]. Darabi H, Choubin B, Rahmati O, Haghghi AT, Pradhan B, Kløve B. Urban flood risk mapping using the GARP and QUEST models: A comparative study of machine learning techniques. *Journal of hydrology*. 2019; 569:142-54.
- [12]. Tehrany MS, Jones S, Shabani F. Identifying the essential flood conditioning factors for flood prone area mapping using machine learning techniques. *Catena*. 2019; 1(175):174-92.
- [13]. Khorozyan, I., Soofi, M., Ghoddousi, A., Hamidi, A. K., & Waltert, M. The relationship between climate, diseases of domestic animals and human-carnivore conflicts. *Basic and Applied Ecology*. 2015; 16(8), 703-713.
- [14]. Djamali, M., de Beaulieu, J. L., Campagne, P., Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., Leroy, S. A. G., & Akhane, H. Modern pollen rain-vegetation relationships along a forest-steppe transect in the Golestan National Park, NE Iran. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2009; 153(3): 272-281.
- [15]. Khoshzaker, H., Varaste Moradi, H., Salman Mahini, a. The Impact of Snags and Logs on the Bird Community in the Non-breeding Season in Golestan National Park, *Environment Since*. 2017; 14(2): 69-78. In persian.
- [16]. Moradi, H.R., Hosseini, SM. Investigating Effective Environmental Factors on Golestan Flood, Conference on Natural Resources and Sustainable Development in Southern Caspian Sea, Islamic Azad University, Noor. 2007. In persian.
- [17]. Davis, J., & Blesius, L. A hybrid physical and maximum-entropy landslide susceptibility model. *Entropy*. 2015; 17(6), 4271-4292.
- [18]. Majnonian, H., Zahzad, B., Farhang Dareshuri, B., Gashtasb Migui, H. Personal information of Golestan National Park Biosphere Reserve, 2nd ed, Environmental Organization Publications. 2008; 129 p. In persian.
- [19]. Chen, L., van Westen, C. J., Hussin, H., Ciurean, R. L., Turkington, T., Chavarro-Rincon, D., & Shrestha, D. P. Integrating expert opinion with modelling for quantitative multi-hazard risk assessment in the Eastern Italian Alps. *Geomorphology*. 2016; 273: 150-167.
- [20]. Khosrvai, Kh., Marufiniya, A., Nohani, A., Chapi, K. Evaluation of Logistic Regression Efficiency in Mapping Flood Susceptibility, Range and Watershed Management. 2017; 69 (4): 863-876. In persian.
- [21]. Siahkamari, S., Zeinivand, H. Flood prone areas mapping by using statistical index and weights of evidence models (Case study: Madar Soo watershed, Golestan), *RS and GIS for natural resources*, 2017; 7(4): 116-133. In Persian.
- [22]. Tehrany MS, Pradhan B, Jebur MN. Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. *Jornal of Hydrology*. 2013, 504:69-79.
- [23]. Moore, I.D., and Grayson, R.B. Landson. Digital terrain Modeling: A review of hydrological, Geomorphological and Biological application. *Hydrology Process*. 1991; 5: 3-30.

- [24]. Sullivan-Wiley, K. A., & Gianotti, A. G. S. Risk Perception in a Multi-Hazard Environment. *World Development*, article in press. 2017; 1-15.
- [25]. Dai FC, Lee CF, Li JX, Xu ZW. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology*. 2001; 40(3):381-91.
- [26]. Forman, S. L., & Pierson, J. Formation of linear and parabolic dunes on the eastern Snake River Plain, Idaho in the nineteenth century. *Geomorphology*. 2003; 56(1-2): 189-200.
- [27]. Chuvieco, E., Cocero, D., Riano, D., Martin, P., Martinez-Vega, J., de la Riva, J., & Perez, F. Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating. *Remote Sensing of Environment*. 2004; 92(3): 322-331.
- [28]. Kornejady, A., Ownegh, M., & Bahremand, A. Landslide susceptibility assessment using maximum entropy model with two different data sampling methods. *Catena*. 2017; 152: 144-162.
- [29]. Convertino, M.; Troccoli, A.; Catani, F. Detecting fingerprints of landslide drivers: A MaxEnt model. *J. Geophys. Res. Earth Surf*. 2013; 118: 1367–1386.
- [30]. Rezaei, S., Ndaery, S., Karami, P. Spring and summer habitat suitability modeling of wild boar (*Sus scrofa*) in Jassb wildlife refuge of Arak using Maximum Entropy (MaxEnt) method, *Journal of Animal Environment*, 2017., 9 (2): 25-36. In persian.
- [31]. Baldwin R. Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*. 2009;11(4):854-66.
- [32]. Elith J, Leathwick JR, Hastie T. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*. 2008; 77(4):802-13.
- [33]. Westreich D, Lessler J, Funk MJ. Propensity score estimation: neural networks, support vector machines, decision trees (CART), and meta-classifiers as alternatives to logistic regression. *Journal of clinical epidemiology*. 2010; 63(8):826-33.
- [34]. Guo L, Chehata N, Mallet C, Boukir S. Relevance of airborne lidar and multispectral image data for urban scene classification using Random Forests. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2011; 66(1):56-66.
- [35]. Breiman, L. Random forests. *Machine Learning*. 2001; 45 (1): 5-32.
- [36]. Le Bris A, Chehata N, Briottet X, Paparoditis N. A random forest class memberships based wrapper band selection criterion: Application to hyperspectral. In 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). 2015; 1112-1115.
- [37]. Rossiter, D. G., & Loza, A. Analyzing land cover change with logistic regression in R. University of Twente, Faculty of Geo-Information Science & Earth Observation (ITC), Enschede (NL). 2012; 71 pp.
- [38]. Kanani-Sadat, Y., Arabsheibani, R., Karimipour, F., & Nasserli, M. A new approach to flood susceptibility assessment in data-scarce and ungauged regions based on GIS-based hybrid multi criteria decision-making method. *Journal of Hydrology*. 2019; 572, 17-31.
- [39]. Faramarzi, H., Hosseini, S.M., Pourghasemi, M.R., Farnaghi, M. Evaluation of the Asian Highway Role on Golestan National Park Fire in GIS Environment. *Wood and forest science and technology*, 2019; 25(3): 33-48. In Persian.
- [40]. Zebardast, L., Yavri, A.H., Salehi, A., Makhdam, M. Use network Effective metric in forest cover disruption analysis in road around of Golestan National Park, *Ecology journal*, thirty-seventh year, 2011; 58: 15-20. In Persian.
- [41]. Nouruzi, H., Nadiri, A., Moghadam, A., GharahKhani, M. Prediction of Transmissivity of Malikan Plain Aquifer Using Random Forest Method, *Water and Soil Science*. 2017; 27(2):61-75. In Persian.
- [42]. Nandi, A., and A. Shakoor. "A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses." *Engineering Geology* 110, no. 1-2 (2010): 11-20.
- [43]. Pourghasemi, H. R., & Kerle, N. Random forests and evidential belief function-based landslide susceptibility assessment in Western Mazandaran Province, Iran. *Environmental earth sciences*, 75(3), 185.
- [44]. the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology*. 2016; 43 (3), 381– 391.