

پهنه‌بندی ناپایداری دامنه‌ها نسبت به حرکات واریزه‌ای با استفاده از روش الگوریتم جنگل تصادفی (مطالعه موردی: حوضه تنگراه- استان گلستان)

امیر کرم - دانشیار ژئومورفولوژی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران.
فریبا پاکنژاد* - دانشجوی دکتری، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران.
الهام بهرام آبادی - دانشجوی دکتری، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۱۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۹/۱۶

چکیده

لغزش‌ها و جریان‌های واریزه‌ای یکی از انواع ناپایداری دامنه‌ای هستند که هر ساله خسارت مالی و تلفات جانی فراوانی را برای زندگی انسان‌ها وارد می‌کنند. حوضه آبریز تنگراه واقع در استان گلستان، یکی از زیر حوضه‌های رودخانه دوغ، یکی از نواحی تحت خطر جریان‌های واریزه‌ای است. در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ طی یک بارش ناگهانی، منطقه مورد نظر سیلاب همراه با جریان واریزه‌ای جبران ناپذیری را تجربه کرده است. یکی از علل مهم در آوردهای سنگی جریان واریزه‌ای، توده‌های لغزشی اتفاق افتاده در حوضه مورد نظر می‌باشد. از این جهت شناسایی مناطقی که دارای آسیب پذیری بیشتری از حرکات واریزه‌ای هستند، می‌تواند در جهت برنامه‌ریزی برای مقابله با کاهش اثرات این حوادث موثر باشد. در پژوهش حاضر برای تجزیه و تحلیل دقیق‌تر اقدام به تهیه نقشه خطر زمین-لغزش با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی در این منطقه گردیده است. عوامل موثر در وقوع زمین-لغزش‌های موجود در منطقه تنگراه در رابطه با جریان واریزه‌ای، شامل پارامترهایی نظیر شیب، جهت شیب، ارتفاع، دامنه انحناء، لیتولوژی، مجموع بارش سالانه، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل و فاصله از راه‌های ارتباطی می‌باشد. با استفاده از نرم افزار **Mat LAB R2020a** ۷۰ درصد این داده‌ها بصورت تصادفی برای آموزش انتخاب شد و مابقی برای اعتبار سنجی استفاده گردیده است. ارزیابی نتایج بدست آمده از مدل الگوریتم جنگل تصادفی با استفاده از ضریب تعیین $0/88$ و خطای $0/27$ ایجاد شده است. الویت بندی فاکتورهای ورودی توسط الگوریتم نشان دهنده اهمیت بیشتر فاکتورها شیب و ارتفاع و فاصله از جاده در بیش بینی نهایی می‌باشد. اعتبار سنجی ثانویه توسط معیار **ROC** و سطح زیر منحنی $0/93$ است که نشان دهنده دقت برآوردی مدل ایجاد شده است. براساس پهنه بندی صورت گرفته نتایج بدست آمده نشان می‌دهد 16 ، 15 ، 11 ، 17 و 40 درصد از مساحت منطقه به ترتیب در کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: پهنه بندی، زمین لغزش، جریان واریزه، حوضه تنگراه، استان گلستان

مقدمه

هزاران سال است که بشر با حوادث گوناگون طبیعی چون سیل، زلزله، حرکات توده‌ای و تلفات مواجه است و هر روز که می‌گذرد، گامی برای شناخت و کنترل آنها بر می‌دارد، اما هنوز دانش بشری به مهار و کنترل کامل این پدیده‌ها دسترسی پیدا نکرده است. جریان واریزه‌ای یکی از مخاطرات ژئومورفولوژی متداول است که اغلب با زمین لغزش شروع شده و انرژی پتانسیل توده لغزنده می‌تواند به سرعت به انرژی جنبشی تبدیل شود. جریان‌های واریزه‌ای منجر به فجایعی می‌شوند که تهدیدی جدی برای جان و مال افراد و توسعه اقتصادی به شمار می‌رود. زمین‌لغزش‌های طبیعی زمین‌شناسی هستند که ناهمواری‌های سطح زمین را متحول کرده، دوباره شکل می‌دهد (روستایی و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۴). بنابراین حرکات توده‌ای و زمین‌لغزش‌ها از مهمترین مخاطرات طبیعی‌اند که دارای تلفات جانی و مالی جدی در سراسر جهان و بویژه در حوضه‌های کوهستانی می‌باشند (ویلانوا^۱ و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۸۳) جریان واریزه‌ای در واقع حرکت لغزش‌های قدیمی و جدید بوده و انرژی پتانسیل توده لغزنده می‌تواند به سرعت به انرژی جنبشی تبدیل شود. (لیانگ و همکاران، ۲۰۱۲: ۹۵). در مناطق شمالی کشور ما به علت شرایط خاص اقلیمی، زمین‌شناسی، توپوگرافی، و همچنین برخی از عوامل انسانی مانند تغییر کاربری زمین‌ها و احداث شبکه راه‌ها ارتباطی، درصد وقوع زمین‌لغزش‌ها نسبت سایر نقاط کشور زیاد بوده است (امیر احمدی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۸۳). در حوضه مورد نظر به دلیل پهنه‌های لغزشی متعدد وقوع یک بارش ناگهانی باعث ایجاد جریان‌های واریزه‌ای در آن می‌شود. جریان‌مواد یا جریان واریزه عبارت است از جریان رسوب و ترکیب آب، که به دلیل نیروی جاذبه تبدیل به جریان مداوم می‌شود، از این رو قابلیت حرکت‌پذیری از فضای خالی بزرگ اشباع شده توسط آب را داراست. (تاکاهاشی^۲، ۲۰۰۷: ۶). مقایسه ضریب اصطکاک نسبت به دیگر جنبش‌های توده‌ای، نشان دهنده حرکت‌پذیری قوی جریان واریزه‌ای است. این جریان‌ها یک مخاطره مخرب و متداول محسوب می‌شوند جریان‌های واریزه-ای عموماً به شکل جریان‌های گرانشی مخلوط خاک، سنگ، آب و یا هوا نیز تعریف می‌شوند (یان فان^۳، ۲۰۰۷: ۱۹۹). جریان‌هایی که از زمین‌های شیب‌دار جنگلی ناشی می‌شوند، ممکن است تا ۶۰٪ حجم آنها واریزه‌های بزرگ دربرگیرند. پدیده‌های چون لغزش بر روی شیب تند در امتداد کانال پر شیب کوچک و ته نشست واریزه‌ها از این دسته-اند (جاکوب، هانگر، ۲۰۰۵: ۹). با شروع دهه‌های اخیر، پیشرفت‌های مهمی در درک این فرایندها حاصل شد. با این وجود، تخصص انسان هنوز هم برای شناسایی خطر کافی نیست زیرا بسیاری از جنبه‌های این فرآیند هنوز درک نشده است (آنتونچی، ۲۰۰۴: ۲). از عوامل مورفومتریک وقوع جریان واریزه‌ای در وهله اول باید شیب حوضه را نام برد. عوامل مهم دیگر در ایجاد وقوع جریان واریزه‌ای عبارتند از متغیرهای مربوط به دسترس بودن رسوب در حوضه، ساختار زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، وجود لغزش، وجود یخچال‌های طبیعی، پوشش گیاهی (لوئیز، ۲۰۱۰: ۱۰۰). بررسی و ارزیابی خطر زمین‌لغزش، همکاری گوناگون رشته‌های علمی چون ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، سنجش از دور، دینامیک سیالات و ویژگی‌های اجتماعی را مورد تاکید قرار می‌دهد و همچنین لزوم درک فرایند فیزیکی حاکم بر لغزش و بالا بردن سطح آگاهی عمومی از خطرات لغزش و مدیریت صحیح برای کاهش خطر را گوشزد می‌کند (کرم، ۱۳۹۱: ۱۷۹). با تطبیق نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با نقشه‌های کاربردی اراضی می‌توان مناطق تحت خطر شامل شهرها، روستاها، پل‌ها، کارخانه‌ها، و غیره را شناسایی کرد تا اقدامات لازم برای حفاظت از این سرمایه‌ها انجام پذیرد. سه رویکرد اصلی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش بصورت کیفی، نیمه کمی و کمی وجود دارد روش‌های کمی بر پایه منطق ریاضی از همبستگی بین فاکتورهای موثر در وقوع زمین‌لغزش می‌باشند که شامل رگرسیون تحلیلی دو متغیره، چند متغیره و لجستیک یا منطق فازی و شبکه مصنوعی هستند (اونق و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۸۴). روشهای متعددی در زمینه پهنه بندی زمین لغزش وجود دارد، به طوری که تاریخچه

1. Villanueva

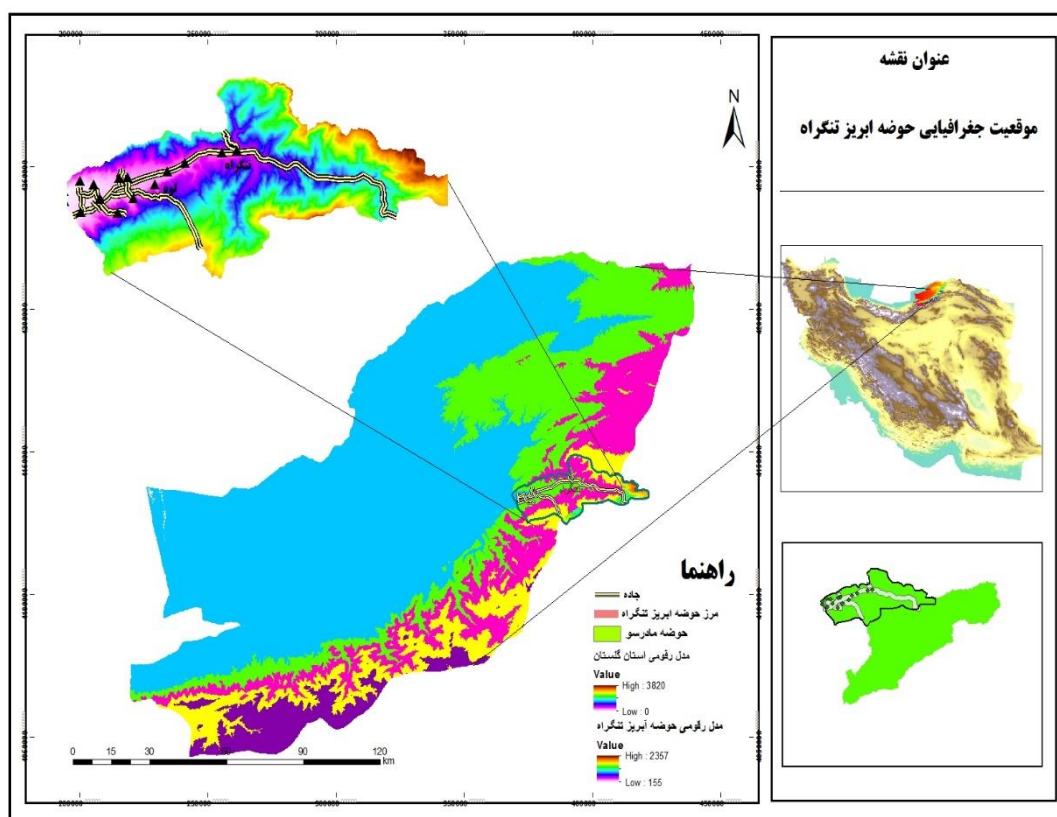
2. Takahashi

3. Yun fan

استفاده از پهنه بندی به سال ۱۹۷۰ می‌رسد. از جمله مطالعات انجام گرفته در رابطه با زمین لغزش در ایران می‌توان به مطالعات محققان زیر اشاره کرد: کرم و همکاران (۱۳۹۰) به پهنه بندی استعداد اراضی نسبت به وقوع زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون خطی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی در محور هراز تا رودهن پرداختند و نتایج نشان داد که روش سلسله مراتبی برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در آن منطقه مناسب‌تر است. پور قاسمی و همکاران (۱۳۹۰) به مطالعه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تئوری بیزین در بخشی از استان گلستان پرداختند، در تحقیق ایشان نقشه عوامل مؤثر در لغزش در محیط GIS تهیه شد و با کمک تئوری احتمالات بیزین ارتباط هر یک از عوامل و نقاط لغزشی موجود تعیین و وزن طبقه‌های هر عامل مشخص شد. ارزیابی با کمک منحنی ROC و ۳۰٪ نقاط لغزشی صورت گرفت. نتایج نشان داد که مدل با رویکرد دوم مدلسازی دارای دقت بالایی است. کرم و همکاران (۱۳۹۲) به پهنه بندی زمین لغزش با استفاده از مدل تاپسیس و فازی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل گامای ۰/۹ مناسبترین پهنه بندی را از حرکات ریزشی ارائه می‌دهد و سطوح دامنه ای با شیب بالای ۳۰ درصد بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش در منطقه دارا می‌باشند. فیضی زاده و همکاران (۱۳۹۳) به مطالعه و ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده روشهای وزن میانگین و دمپستر شيفر در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه پرداختند. روستایی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه پتانسیل وقوع زمین لغزش در حوضه آبریز ممیمه به روش ANP به این نتیجه رسیدند که فرایند تحلیل شبکه با نقشه پراکنش زمین لغزش تناسب زیادی دارد و معیار بارندگی و لیتولوژی و طبقات ارتفاعی نقش مهمی در زمین لغزش دارند. نیری و همکاران (۱۳۹۶) به پهنه بندی زمین لغزش با استفاده از مدل تحلیل شبکه در شهرستان بیجار پرداختند که نتیجه آن مشخص کرد که متغیرهای ای فاصله از گسل و ارتفاع بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش دارا می‌باشند. مطالعاتی که در رابطه با حرکات توده ای در سطح جهان صورت گرفته بسیار گسترده می‌باشد که در اینجا به مواردی از آن اشاره شده است: کانوگ و همکاران (۲۰۰۶) با بکارگیری روش مبنی بر وزن دهی دانش کارشناسی، فازی و شبکه عصبی مصنوعی، عوامل مؤثر زمین لغزش را وزن دهی کرده و دریافتند اگر از مقادیر کلاس‌ها در شبکه عصبی استفاده شود این شبکه بهترین نتایج را به بار خواهد داد. از دیگر پژوهشگران می‌توان به متو و همکاران (۲۰۰۷)، بیسواجد (۲۰۱۰)، وان جی لینگو (۲۰۱۱)، ریکرمن (۲۰۱۳)، تاکاهاشی (۲۰۱۳)، میلچوری و تریگواسون (۲۰۱۵)، چن و همکاران (۲۰۱۶) و وانگ و همکاران (۲۰۱۸) اشاره کرد. در حوضه آبریز تنگراه دو منطقه لغزشی وجود دارد یکی مربوط به لغزش‌های قدیمی بوده که بوسیله پوشش انبوه جنگلی پوشیده شده‌اند و دیگری لغزش‌های فعال که در مناطق پرشیب منطقه قراردارند. در این حوضه بدلیل شیب زیاد حوضه و دره‌های پر شیب و عمیق گسلی وسعت محدوده‌های لغزش قدیمی و جدید، مستعد وقوع جریان واریزه ای است.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده حوضه آبریز تنگراه با مختصات $37^{\circ}27'45''$ تا $37^{\circ}19'10''$ عرض شمالی و $56^{\circ}01'40''$ تا $55^{\circ}37'16''$ طول شرقی در شرق استان گلستان قرار گرفته است. حوضه مورد مطالعه از نظر موقعیت نسبی از شمال به رشته کوه‌های هزار مسجد-کپه داغ، از جنوب به رشته کوه‌های البرز- بینالود و از شرق به محدوده‌ی پارک جنگلی تنگراه و از غرب به اراضی شرق شهرستان کلالة محدود می‌شود. مساحت حوضه آبریز مورد نظر $633/42$ کیلومتر مربع و محیط آن $160/48$ کیلومتر می‌باشد. ارتفاع متوسط حوضه 1063 متر می‌باشد. حوضه مورد نظر به لحاظ سیل‌خیزی مستعد وقوع جریان- واریزه‌ای است و بارش‌های این منطقه بیشتر متأثر از جریان‌ات مرطوب خزری بوده و از پوشش گیاهی بسیار متراکمی برخوردار است. از نظر ویژگی‌های اقلیمی دارای دو بیشینه بارش بهاری و زمستانی بوده و مجموع بارش فصل زمستان آن بیش‌تر از فصل بهار است. ایستگاه تنگراه جمعاً حدود $34/92$ درصد از بارش سالیانه خود را در فصل زمستان دریافت داشته و بارش فصل بهار آن جمعاً $25/53$ درصد کل بارش سالیانه را دارا می‌باشد. حوضه تنگراه از سنگ‌های آهکی دولومیتی سازند مزدوران، مارن‌های سبز سازند چمن‌بید، گنگلومرای واحد مارنی و نهشته‌های کواترنری تشکیل شده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه، نگارندگان ۱۳۹۹

مواد و روش‌ها

الف: داده‌های پژوهش

دامنه‌های مستعد به زمین لغزش هر ساله حجم زیادی از توده‌های سنگی را به نقاط کم شیب حمل می‌کنند که معمولاً این نقاط آبراهه‌های اصلی و فرعی می‌باشند، شکل (۲) بعد از هر بارش با توجه به دبی جریان مقدار زیادی از رسوبات و توده‌های سنگی در آبراهه‌ها جابجا می‌شود. مهمترین عامل برای ایجاد جریان‌ات واریزه‌ای شیب و بارش ناگهانی با دبی جریان بسیار زیاد است در سالهای ۱۳۸۰ تا ۸۴ در منطقه مورد مطالعه جریان‌ات واریزه‌ای خسارات زیادی را بر جاده ارتباطی مشهد-گرگان و نقاط روستایی وارد آورده است. تحقیق مورد نظر برای تهیه نقشه حساسیت به حرکات واریزه‌ای و لغزش‌ها آماده گردیده است که در آن از ۱۰ فاکتور موثر در ناپایداری دامنه‌ای استفاده شده است. این فاکتورها عبارت است از: شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از گسل، مجموع بارندگی سالانه، کاربری زمین، زمین شناسی، و انحناء دامنه‌ها می‌باشد. برای تهیه این لایه‌ها از داده‌های اولیه از جمله نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و برای تهیه نقشه‌های زمین شناسی و نقشه گسل‌ها از نقشه‌های زمین شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ انتشار یافته توسط سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور استفاده شده است. از مدل رقومی ارتفاعی با تفکیک زمینی ۳۰ متر برای تهیه فاکتورهایی چون ارتفاع، شیب، جهت شیب، و انحناء دامنه‌ها استفاده شده است. رقومی سازی نقشه‌های پایه و توابع با استفاده از نرم افزار ARC GIS 10.5 انجام گرفته است و از فاصله اقلیدوسی برای تهیه و آماده سازی فاکتورهای لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه استفاده شده است. برای تهیه نقشه مجموع بارندگی سالانه از ایستگاه‌های

¹ Curvature

² Random forest

هیدرومتری تنگراه و گالیکش و تمر و گنبد کابوس استفاده گردیده است، به این شکل که در نرم افزار ARC GIS 10.5 با استفاده از توابع ریاضی درون یابی شده است. فاکتور کاربری اراضی با اقتباس از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ (۲۰۱۴) و آرشو گوگل ارث و همچنین از لایه اطلاعاتی کاربری اراضی استان گلستان که از اداره کل منابع طبیعی استان تهیه گردیده، استفاده شده است. نقاط لغزشی با تعداد ۱۹۶ نقطه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی و تطبیق آن با پروژه‌ی جایگاه آماده گردیده است و حدود ۲۶۶ نقطه بدون لغزش با استفاده از نقشه شیب و تصاویر ماهواره‌ای IRS با قدرت تفکیک ۵/۵ متر که قسمت اعظم منطقه‌ی مورد مطالعه را پوشش داده آماده شده و در نهایت از ۷۰ درصد این نقاط برای آموزش مدل و ۳۰ درصد باقیمانده آن برای اعتبار سنجی مورد استفاده قرار گرفته است.

از الگوریتم جنگل تصادفی رندم فارست^۱ برای شناسایی پهنه‌های مستعد به حرکات واریزه‌ای استفاده شده است. برای این کار پس از تهیه و آماده سازی ۱۰ فاکتور مستقل و داده‌های مربوط به حرکات واریزه‌ای، از کد نویسی الگوریتم جنگل تصادفی در محیط Mat LAB R2020a استفاده شده است. در این رابطه ابتدا مدل بهینه با میزان خطا و عملکرد مناسب و قابل قبولی طراحی شده و پس از برآورد برای تمامی محدوده انجام گرفته است. با توجه به شکل (۳) در روند مدل‌سازی جنگل تصادفی، پس از ساخت و آموزش مدل از دو مرحله ارزیابی استفاده شده است. بخش اول مربوط به مرحله ساخت که با معیارهای مجذور میانگین مربعات خطای اندازه‌گیری تهیه و ضریب تعیین مشخص گردیده است، و بخش دوم مربوط به ارزیابی نقشه نهایی خطر پذیری زمین لغزش با استفاده از ۳۰ درصد داده‌های اعتبار سنجی که در ابتدای کار کنار گذاشته شده بود، انجام شده است. منحنی عملکرد نسبی راک^۲ یکی از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در پیش‌بینی و تعیین دقت مدل‌سازی می‌باشد و در حقیقت یک نمایش گرافیکی از تضمین درست وقوع و عدم وقوع زمین لغزش‌ها محسوب می‌شود. سطح زیر منحنی^۳ بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده و عدم وقوع رخداد آن است. چنانچه مدلی نتواند وقوع پدیده‌ای را بهتر از دیدگاه احتمالی و یا تصادفی تخمین زند مقدار زیر نمودار آن ۰/۵ خواهد بود، و بنابراین کمترین دقت را دارد. در حالی که سطح نمودر برابر با ۱ باشد، مدل تهیه شده بیشترین دقت را داراست. مقدار عددی AUC از ۰/۵ تا ۱ متغیر است و هر چه این میزان به یک نزدیکتر باشد، دقت مدل نیز بیشتر می‌باشد. شکل (۳) فرایند مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر حرکات واریزه‌ای را در این پژوهش نشان می‌دهد و شکل‌های (۴) و (۵) نقشه عوامل موثر در پهنه‌بندی خطر حرکات واریزه‌ای و مدل‌سازی آنرا نشان می‌دهد.

^۱. farst

^۲. ROC

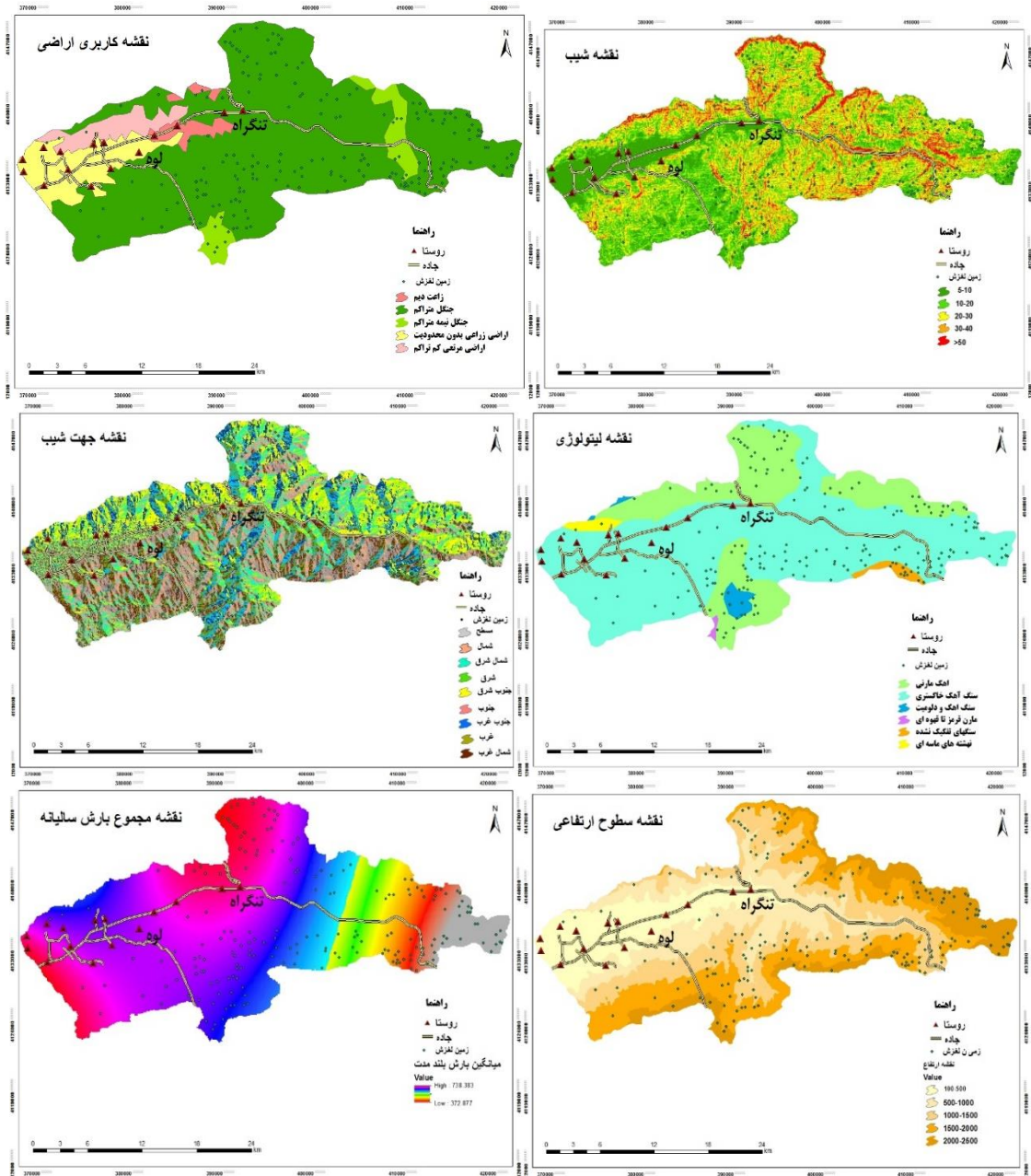
^۳. AUC



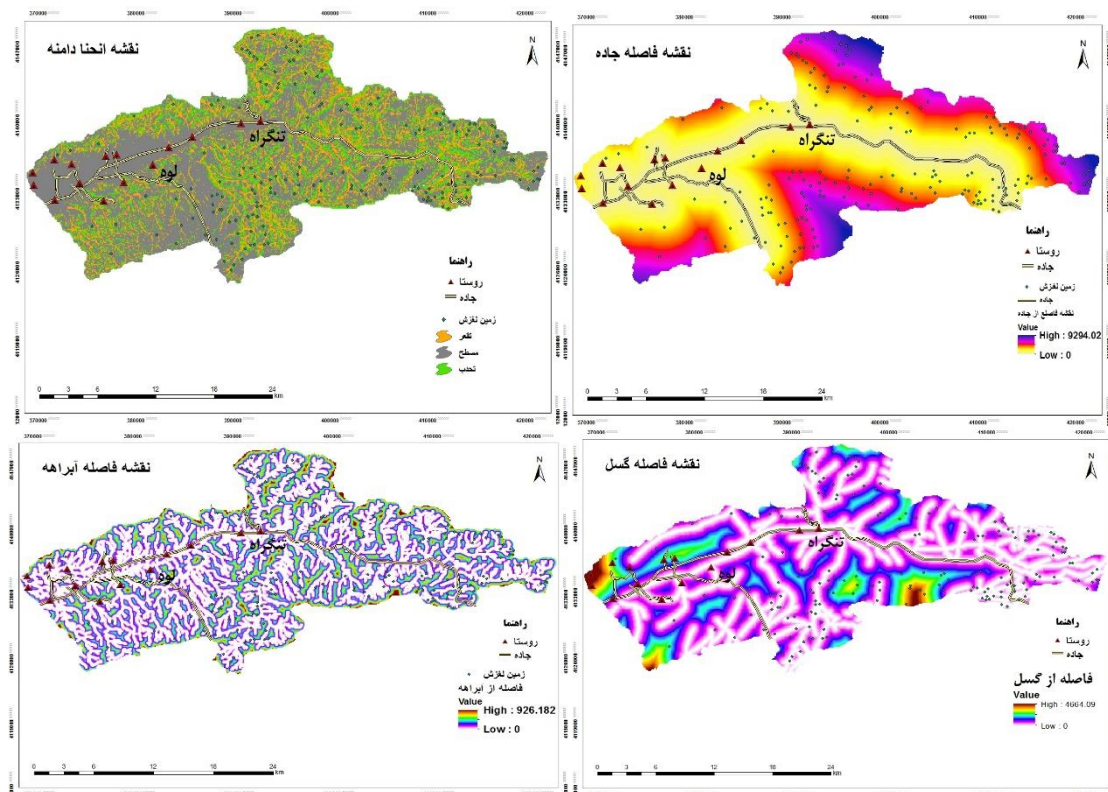
شکل ۲: نمای از حرکات توده ای در منطقه مورد مطالعه، نگارندگان ۱۳۹۹



شکل ۳: نمودار فرایند پژوهش، مدلسازی و پهنه بندی خطر حرکات واریزه ای در حوضه تنگراه



شکل ۴: نقشه‌های عوامل موثر در پهنه بندی خطر حرکات واریزه‌ای و مدل سازی



شکل ۵: نقشه‌های عوامل موثر در پهنه بندی خطر حرکات واریزه‌ای و مدل سازی

ب: الگوریتم جنگل تصادفی (RF)

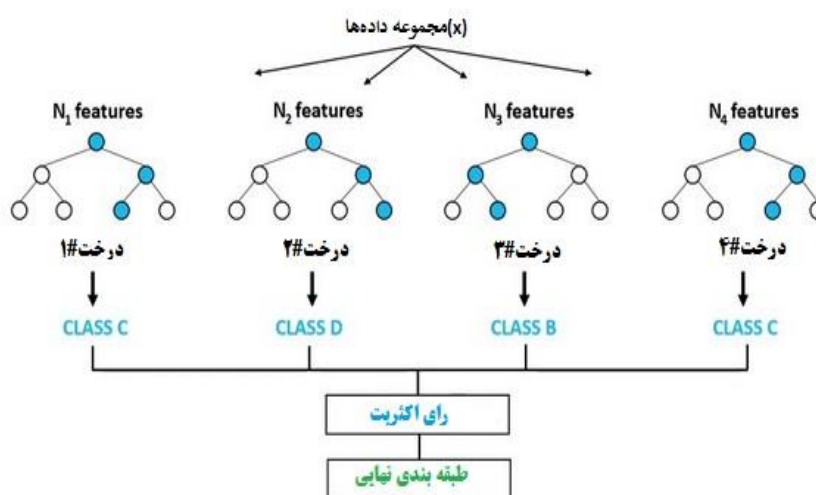
این الگوریتم در واقع یک الحاقی از مدل درخت رگرسیون و طبقه بندی است که اولین بار توسط برمن در سال ۲۰۰۱ ایجاد و توسعه داده شده است. جنگل تصادفی یک نوع مدرن از درخت پایه است که شامل انبوهی از درخت‌های کلاس بندی و رگرسیون می باشد (ابراهیم خانی و همکاران سال ۱۳۹۰). برای مشخص کردن اینکه هر متغیر چه نقشی در پیش بینی پاسخ دارد است. جنگل تصادفی شامل سه پارامتر تعریف شده توسط کاربر شامل: (۱) تعداد متغیرهای مورد استفاده در ساخت هر درخت که قدرت هر درخت مستقل را بیان میکند، (۲) تعداد درختان در جنگل تصادفی و (۳) حداقل تعداد گره‌های انتهایی است (پترس و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۰۵۰). قدرت پیش‌بینی جنگل تصادفی با افزایش قدرت درختان مستقل و کاهش همبستگی بین آنها افزایش می‌یابد (لیب و همکاران، ۲۰۱۲: ۷۲). الگوریتم جنگل تصادفی از تمام داده‌های موجود برای رویاندن درخت استفاده نکرده و از ۶۶ درصد داده‌ها استفاده می‌کند که به آن نمونه Bootstrap گفته می‌شود این الگوریتم برای تکمیل ایده‌های جنگل تصادفی و افزایش تنوع و پراکندگی در آن طراحی شده است. ۳۳ درصد از داده‌های باقیمانده نیز برای ارزیابی درخت برازش شده استفاده می‌شود. این فرآیند چندین بار تکرار شده و میانگین تمام مقادیر پیش‌بینی شده به عنوان پیش‌بینی نهایی الگوریتم استفاده می‌شود (سیمپسون و همکاران، ۲۰۱۲: ۶۳۰). تعداد درختان پهنه به گونه‌ای انتخاب می‌شود که اولاً کم‌ترین خطای آموزش در مدل‌سازی به دست آید و ثانیاً تعداد درختان نباید آن قدر زیاد شود که تجزیه و تحلیل متغیرها نیازمند زمان و محاسبات کامپیوتری زیادی باشد. یکی از پارامترهای اصلی در جریان مدل جنگل تصادفی، پیش‌بینی کننده K (متغیر مستقل) در هر گره جهت پیش‌بینی وابسته (پاسخ) است.

مجموعه داده‌ها با D نمایش داده می‌شود، $D = (x_1, y_1) \cdot (x_2, y_2) \cdot \dots \cdot (x_n, y_n)$ و B درخت تصادفی با ایجاد B داده جدید از D ایجاد می‌شود. N نمونه را با جایگزینی از داده D انتخاب می‌کند و این نمونه‌ها را در مجموعه

داده D_b قرار می‌دهد. از آنجا که نمونه‌گیری با جایگزینی صورت می‌گیرد یک نمونه ممکن است چندین بار انتخاب شود. یک درخت تصادفی به اسم T_b با D_b به روش پایین بدست بیاید: هر دفعه برای پیدا کردن بهترین متغیر ابتدا یک تعداد مشخص از متغیرها را کاملاً به صورت تصادفی انتخاب می‌کند (مثلاً m تا، m از قبل به مسئله داده شده است و معمولاً با جذر تعداد متغیرها برابر است) و از میان آن‌ها بهترین متغیر را انتخاب می‌کند. در مسئله رگرسیون مدل نهائی، میانگین تمامی درخت‌های یعنی:

$$f(x) = \frac{1}{b} \sum_{B=1}^B T_B(x) \text{ (ویکی پدیا).}$$

از جمله مزایای این الگوریتم می‌توان به مواردی اشاره نمود که از مهمترین آن‌ها جلوگیری از بیش‌برازش^۱ مدل می‌باشد. استفاده از میانگین کاهشی دقت در مقایسه با شاخص اهمیت جینی در تعیین اولویت عوامل موثر، بهتر و پایدارتر است، به ویژه در شرایطی که بین فاکتورهای محیطی ارتباط وجود دارد (نیکودیموس و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۱۷). از الگوریتم جنگل تصادفی رندم فارست برای شناسایی پهنه‌های مستعد به حرکات واریزه‌ای استفاده شده است. برای این کار پس از تهیه و آماده‌سازی ۱۰ فاکتور مستقل و داده‌های مربوط به حرکات توده‌ای، از کد نویسی الگوریتم جنگل تصادفی در محیط Mat LAB R2020a استفاده شده است.



شکل ۶: نمودار مراحل انتخاب درخت‌ها در مدل الگوریتم جنگل تصادفی

یافته‌های پژوهش

نتایج بدست آمده از مدل جنگل تصادفی بصورت وزن و اهمیت متغیرها در وقوع حرکات واریزه‌ای در جدول (۱) آورده شده است. نتایج نشان داد بیشترین وزن با رتبه معیار ۲٫۶۵ مربوط به شیب می‌باشد که در رده اول قرار می‌گیرد، با توجه به به کوهستانی بودن و پر شیب بودن دامنه‌ها این امر هر ساله باعث ایجاد حرکات واریزه‌ای در محدوده مطالعاتی می‌شود. طی بازدیدهای میدانی که از منطقه صورت گرفته است این حرکات بیشتر در شیب‌های ۳۰ درجه به بالا رخ داده که با مدل انجام شده همخوانی دارد. دومین عامل در ایجاد این حرکات، متغیر ارتفاع با وزن ۱٫۶۸ می‌باشد. در اجرای مدل جنگل تصادفی، تعیین درخت‌ها برای آموزش و اعتبار سنجی و خطای، خارج از کیسه (OOB^2)، اهمیت بسیار زیادی دارد. برای تعیین تعداد مناسب درخت‌ها، با استفاده از معیار میانگین مربعات خطا (MSE)، ابتدا چند مقدار اولیه برای تعداد

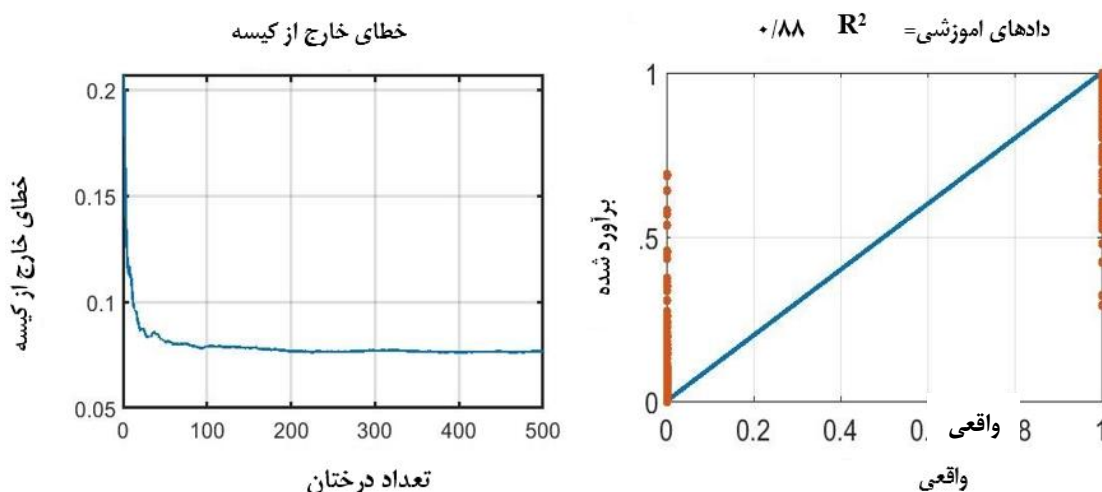
^۱. overfitting

^۲. Out of bag error

درخت‌های تعیین و سپس مدل اجرا گردید. با بررسی میزان میانگین خطا و معیار ضریب تعیین برای آموزش، مدل بهینه با کمترین میزان خطا طراحی شد. مدل بدست آمده با مقدار ضریب تعیین $0/88$ و مجذور میانگین مربعات خطا $0/27$ برای مرحله آموزش بدست آمد. نتایج آموزش مدل در شکل (۷) آورده شده است.

جدول ۱: وزن‌های متغیرهای مورد استفاده بر مبنای مدل جنگل تصادفی

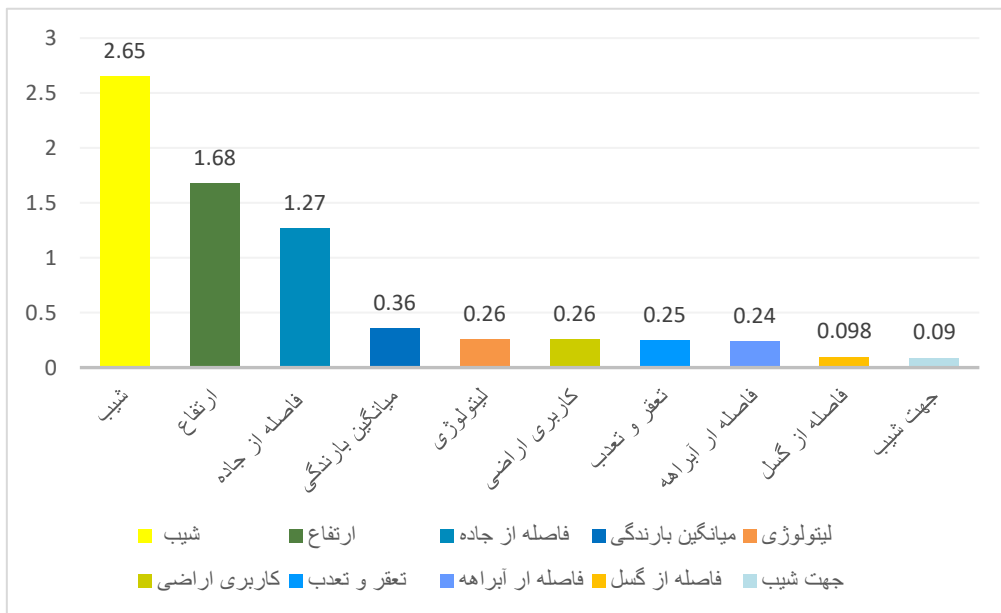
جهت شیب	فاصله از گسل	فاصله از ابراهه	تعقر و تعدب	کاربری اراضی	لیتولوژی	میانگین بارندگی	فاصله از جاده	ارتفاع	شیب	متغیر
$0/090$	$0/098$	$0/25$	$0/25$	$0/26$	$0/26$	$0/38$	$1/27$	$1/68$	$2/65$	رتبه معیار
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	رتبه



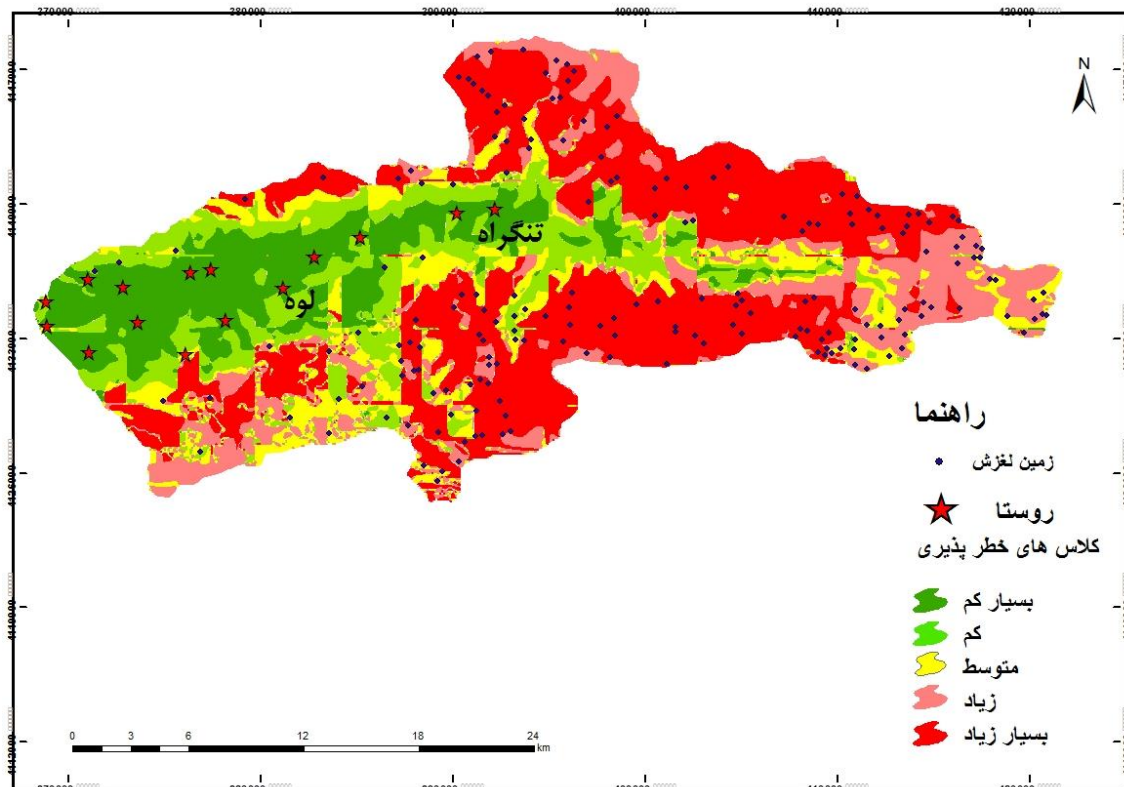
شکل ۷: ضریب تعیین رگرسیون (راست) و نمودار کاهش خطایی آموزش در ازای درختان (چپ)

شیب و به عبارتی اختلاف ارتفاع عامل فعال سازی نیروی ثقل و جابجایی در سطح دامنه هاست. و لذا در اینجا به عنوان اصلی‌ترین متغیر موثر برآورد شده است. پس از شیب عامل ارتفاع و فاصله از جاده در رده بندی بعدی اهمیت قرار می‌گیرند. تحریک حواشی جاده و بریدگی پای دامنه و خرد شدگی سنگها و گسیختگی دامنه از عوامل مهم ناپایداری دامنه‌ها محسوب می‌شوند. نهایتاً پس از آموزش مدل و اعتبار ستجی مدل، اعداد خطر پذیری زمین لغزش برای تمامی منطقه در بازه عددی ۰ الی ۱ بدست آمد و سپس نتایج مدل به محیط ARC GIS منتقل و نقشه نهایی بدست آمده در ۵ کلاس آسیب پذیری با فواصل $0/2$ تقسیم بندی شد. همچنین نتایج وزن رده‌های مربوط به هر طبقه در شکل (۹) ارائه شده است. با توجه به نقشه خطر پذیری جریان‌ات واریزه‌ای بیش از ۴۰ درصد منطقه در کلاس بسیار زیاد بطوریکه ۱۷ درصد از منطقه مورد مطالعه در کلاس خطر زیاد و ۱۱ درصد از منطقه در کلاس متوسط و ۱۵ درصد در کلاس کم و ۱۶ درصد در کلاس خیلی کم قرار دارند. شکل (۱۰) به منظور دستیابی به مدل منطقی و مناسب برای حوضه آبریز تنگراه از منحنی ROC استفاده شده است. شکل (۱۱) منحنی ROC از کاملترین روش‌ها را در ارائه خصوصیت تعیین، شناسایی احتمالی و پیش بینی سیستم‌ها می‌باشد که میزان دقت مدل را بصورت کمی برارد می‌کند. در این ارزیابی به روش منحنی راک هر چه سطح

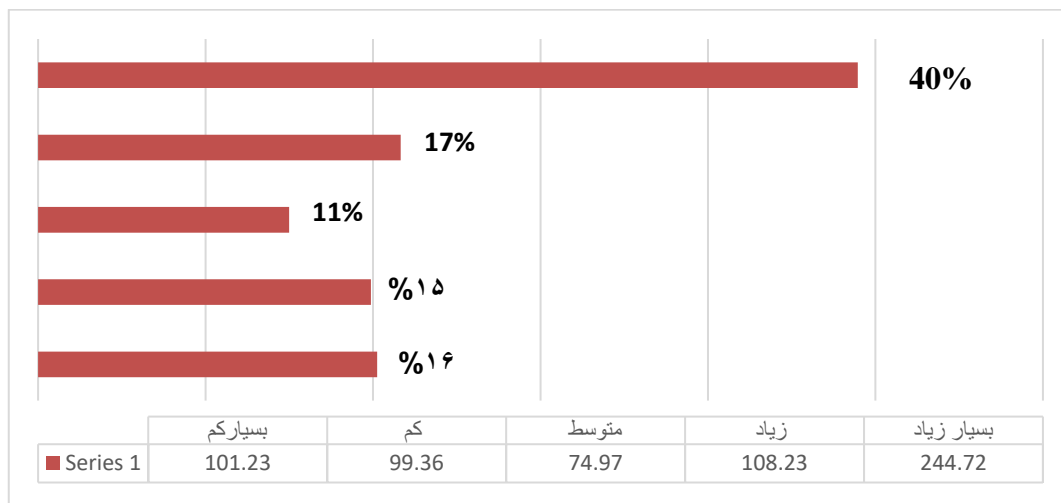
منحنی راک بیشتر باشد دقت مدل بیشتر است که میزان آن بین ۰/۵ تا ۱ در تغییر است. بطور کلی تقسیم بندی ۰/۹-۱ عالی، ۰/۸-۰/۹ خیلی خوب، ۰/۸-۰/۷ خوب، ۰/۷-۰/۶ متوسط، ۰/۶ تا ۰/۵ ضعیف را برای آن ارائه کرده‌اند. برای رسم منحنی ROC در الگوریتم جنگل تصادفی، قبل از کلاس بندی نقشه وزن نهایی، نقاط لغزشی را که برای ارزیابی در نظر گرفته روی نقشه قرار داده و وزنی که در هر نقطه بدست آمده را (منظور کدهای ۱ و ۰) به نرم افزار Mat LAB R2020a انتقال داده و با استفاده از کد دستوری سطح زیر منحنی دقت مدل را بدست آمده است. براساس نتایج منحنی راک، مقدار سطح منحنی منطقه مورد نظر با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی ۰/۹۳ برآورد گردیده است. شکل (۱۱)



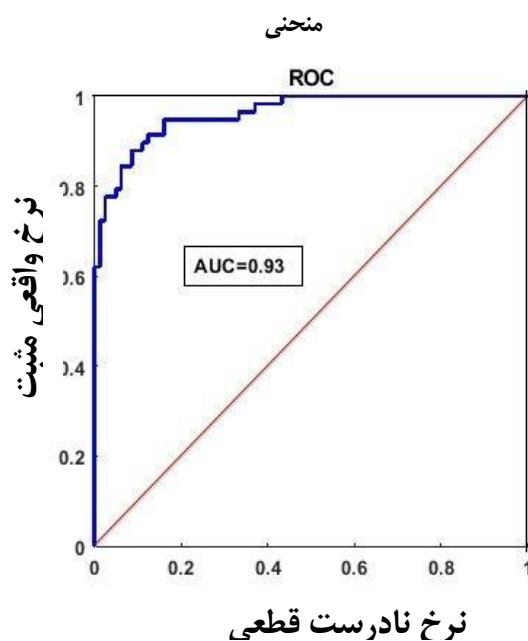
شکل ۸: نمودار وزن‌های عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی در حوضه آبریز تنگراه



شکل ۹: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی در حوضه آبریز تنگراه



شکل ۱۰: مساحت کلاس‌های نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از الگوریتم جنگلی



شکل ۱۱: نمودار منحنی عملکردی راک و مقدار عددی سطح زیر نمودار

بحث و نتیجه گیری

بررسی‌های انجام شده نشان داد عواملی چون شیب و ارتفاع و فاصله از جاده نقش بسیار موثری در ایجاد زمین لغزش‌ها و حرکات واریزه‌ای در منطقه دارند و عواملی چون فاصله از آبراهه و فاصله از گسل و جهت شیب به ترتیب کمترین تاثیر را داشته‌اند. عامل شیب اولین فاکتور تاثیر گذار بر ناپایداری دامنه‌ها در منطقه است، اکثر جریان‌های واریزه‌ای از نواحی منبع گسسته یا توزیع شده‌ای سرچشمه می‌گیرند که در آن شیب‌هایی تندتر از ۳۰ درجه بوسیله خرده سنگها و یا خاکهایی با چسبندگی پایین پوشیده شده است. مشهودترین عاملی که بر ناپایداری دامنه در منطقه مورد نظر اثر می‌گذارد، وجود

دامنه‌هایی با شیب بیشتر از ۲۵ تا ۳۰ درجه است زیرا زمینهای هموارتر پتانسیل کمی برای ایجاد جریانهای واریزه‌ای دارند. عامل بعدی فاکتور ارتفاع است چون در ارتفاعات بالا هوازدگی سنگ‌ها بیشتر اتفاق می‌افتد و پدیده ذوب و انجماد غالب است به همین دلیل نقش ارتفاع در وقوع حرکات واریزه‌ای بسیار حائز اهمیت است. در رابطه با فاصله از جاده که به عنوان سومین عامل موثر در وقوع زمین لغزش‌ها در منطقه محسوب می‌شود می‌توان اظهار داشت که با وجود ۱۵ روستای دارای سکنه در حوضه آبریز تنگراه، که جاده‌های خاکی و آسفالتی برای دسترسی به روستاها احداث شده است همین امر باعث برش دامنه‌ها شده، و این جاده‌ها حساسیت طبیعی دامنه‌ها را بر هم زده، و موجب بوجود آمدن بریدگی‌های عمودی در دامنه می‌شود. این موضوع باعث افزایش پتانسیل زمین لغزش در اطراف جاده می‌گردد. به همین دلیل در بسیاری از مطالعات فاصله از جاده فاکتور تاثیر گذار در زمین لغزش مورد استفاده قرار می‌گیرد، از طرفی عدم انتخاب مناسب مکان ساخت جاده، عدم شیب دهی مناسب و در نهایت عدم بکارگیری یا قرار دادن زهکش‌های مناسب در جاده که منجر به اختلال در عبور رواناب حاصل از بارش در سطح جاده می‌شود را می‌توان از عوامل موثر در وجود زمین لغزش در اطراف جاده دانست. مجموع بارندگی سالانه به عنوان چهارمین عامل موثر است، بارش عامل اصلی شروع حرکات واریزه‌ای و لغزشها است و اثر نفوذ بارش در شیب می‌تواند باعث تغییر مکش خاک و فشار مثبت منافذ شود. بارش همچنین عامل اصلی به حرکت در آوردن واریزه‌های دامنه‌ای است که خسارات جبران ناپذیری را بر مناطق پایین دست حوضه بر جای می‌گذارد. در رابطه با کاربری اراضی عوامل انسانی باعث تغییر کاربری و تبدیل جنگل به مراتع و مناطق مسکونی شده که این تغییر خود از عوامل اصلی در تشدید زمین لغزش در منطقه است. عامل شکل انحنا دامنه از فاکتورهای دیگر است که سهم کمتری را در مدل به حساسیت زمین لغزش نشان داده، دامنه‌های معقر استحکام کمتری نسبت به دامنه‌های محدب دارند بنابراین در دامنه‌های مقعر زمین لغزش بیشتری رخ خواهد داد. فاصله از آبراهه عامل بعدی می‌باشد که در یک بستر آبراهه شیبدار ممکن است هیچ جریان آبی در زمان‌های عادی وجود نداشته باشد و با ریزش سنگ‌ها و زمین لغزشها، رسوبات به علت عرضه از دیواره‌های جانبی به تدریج انباشته می‌شوند. از آنجا که یک آبراهه مسیر عبور آب غلیظ است، در هنگام بارش شدید، بستر آبراهه بوسیله جریان آب عظیمی شسته می‌شود که گاهی یک زمین لغزش کوچک بوسیله اثرات افزایش محتوای آب و آبگونه‌ها در حین حرکت در شیب رخ می‌دهد، همچنین در مناطقی که قدرت رودخانه بیشتر است تاثیر آن بر وقوع زمین لغزش بیشتر است زیرا آبراهه باعث کاهش مقاومت دامنه و فرسایش کناره جریان رودخانه می‌شود با این حال فاصله از آبراهه در حوضه تنگراه تاثیر کمتری در ایجاد زمین لغزش دارد اما بستر مناسبی برای انتقال جریانات واریزه‌ای در هنگام رخداد‌های ناگهانی می‌باشد. عامل فاصله از گسل نیز از فاکتورهای تاثیر گذار بر زمین لغزش در منطقه می‌باشد. سطوح لغزشی می‌تواند در طول گسل‌های قدیمی در سنگ بستر چین خورده توسعه پیدا کند، منطقه مورد نظر دارای گسل‌های اصلی و فرعی متعددی است اما با توجه به درجه بندی فاکتورهای قبلی میزان تاثیر آن در منطقه کمتر می‌باشد. عامل آخر جهت شیب است که روی پروسه‌های هیدرولوژی از طریق تبخیر و تعرق اثر می‌گذارد و جهت شیب در تعداد و پیشرفت سیکل‌های انجماد و ذوب و دوره‌های تر و خشک در مناطق مرتفع‌تر بر روی توده‌ها خشک اثر دارد ولی میزان اهمیت آن در منطقه در درجه آخر قرار گرفته است. با توجه به قرارگیری نقاط روستایی در پهنه‌های دارای خطر متوسط و کم، باز هم این امر روستاها را از لحاظ صدمات ناپایداری دامنه‌ها مصون نگه نمی‌دارد زیرا ۱۵ روستا در کنار خروجی آبراهه‌های اصلی زیر حوضه‌های منطقه مورد نظر قرار دارد که محل تجمع آورده‌های واریزه‌ای در هنگام بارش‌های ناگهانی می‌باشد. شکل (۹) با این حال جهت امنیت روستاها از این ناپایداری‌ها؛ لازم است تمهیدات لازم در اکثر روستاها اجرا شود تا از خسارات پیش آمده در امان باشند. تحقیق حاضر با هدف شناسایی پهنه‌های مستعد زمین لغزش و تاثیر آن بر منشأ جریانات واریزه‌ای در حوضه آبریز تنگراه صورت گرفته است. غالب این لغزش‌ها و واریزه‌ها بر روی زندگی مردم و اقتصاد منطقه تاثیرات منفی گذاشته به طوری که اکثر زمین لغزش‌ها در کنار جاده‌ها، مناطق شکست شیب صورت گرفته و آورده‌های واریزه‌ای توسط رخداد‌های ناگهانی بر مناطق مسکونی تاثیر عمده‌ای گذاشته است و در

این مطالعه از روش نوین جنگل تصادفی که یکی از انواع پیش بینی کننده‌های درخت است، استفاده شده است. نتایج نشان دهنده دقت بالای این روش در تعیین ارتباط بین متغیرهای محیطی است. پس از تهیه نقشه نهایی توسط مدل ایجاد شده برای اعتبار سنجی نتایج از معیار منحنی عملکردی مدل ROC و مقدار زیر منحنی AUC استفاده گردید، مقدار سطح زیر منحنی ۰/۹۳ است که نشان دهنده دقت و توانایی بالای مدل در پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز تنگراه است. بطور کلی می‌توان بیان داشت که الگوریتم جنگل تصادفی با انعطاف پذیری بالا برای تحلیل وقایع طبیعی، قادر است ابهامات ایجاد شده از ذهن انسان، محیط و عدم قطعیتی که همواره در قضاوت انسانی وجود دارد را مدل سازی و تحلیل کند. نتایج حاصل از تحقیق حاضر می‌تواند در برنامه ریزی‌های اتی مورد توجه قرار گیرد، تا رفتار طبیعی زمین منجر به تلفات و خسارات جانی و مالی نشود. با توجه به دقت بالای مدل الگوریتم جنگل تصادفی در پهنه بندی ناپایداری دامنه‌ها می‌توان پیشنهادات قطعی در رابطه با مکانهای خطر مشخص شده، داد. در منطقه مورد نظر به علت شیب زیاد دامنه‌ها روش‌های بیولوژیکی برای تثبیت و پایدار سازی دامنه‌ها مناسب نمی‌باشد و باید از روش‌های مکانیکی و سازه‌ای استفاده نمود. از جمله راهکارهای پیشنهادی ایجاد شبکه‌ها و دیواره‌های توری_فلزی، فنس سیمی در دامنه‌های مشرف به جاده و آبراهه‌های اصلی و فرعی می‌باشد این کار باعث حفاظت دامنه و همچنین مانع از انباشته شدن حجم عظیمی از توده‌های سنگی در آبراهه‌ها که منشا آورده‌های جریانات واریزه‌ای در منطقه است خواهد شد. کاهش سطوح شیب دار در این مناطق می‌تواند حجم واریزه‌های لغزشی را به حداقل رساند. همچنین جلوگیری از احداث غیر اصولی جاده‌های اصلی و فرعی در نواحی دارای خطر زمین لغزش بالا می‌تواند به پایدار ماندن دامنه‌ها در بازه زمانی طولانی تر کمک کند. نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر با نتایج پژوهشگرانی همچون پور قاسمی و همکاران (۲۰۱۵) در استان مازنداران و محمدی و همکاران (۱۳۹۶)، در بخشی از استان گلستان و طالبی و همکاران (۱۳۹۵)، در حوضه آبخیز سردارآباد، استان گلستان مطابقت دارد. پژوهشگران نام برده، مدل الگوریتم تصادفی را روش مناسبی جهت پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش پیشنهاد کرده‌اند.

منابع

- ابراهیم خانی، س، افضل، م، شکوهی، ع، (۱۳۹۰)، پیش بینی و بررسی عوامل تصادفات جاده‌ای با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی، فصلنامه دانش انتظامی زنجان، شماره ۱، سال اول، صص ۱۱۱-۱۲۷
- آقا نباتی، ع، (چاپ دوم ۱۳۸۵)، زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور: تهران.
- امیر احمدی، ا، و همکاران، (۱۳۸۹)، پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مطالعه موردی حوضه آبخیز چلاو امل، فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال هشتم، شماره ۲۷، صفحه ۱۸۳.
- اونق، م، و همکاران، (۱۳۹۱)، مقایسه کارایی ۴ مدل کمی و نیمه کمی پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز چهل چای، استان گلستان، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد نوزدهم، شماره اول، صفحه ۱۸۴.
- بنیاد مسکن انقلاب اسلامی (۱۳۸۵) گزارش سیل مخرب گلستان و عملکرد بنیاد. دفتر باسازی و نوسازی مناطق محروم بنیاد مسکن استان گلستان.
- حسین زاده، ر، و بیدخوری، ع، (چاپ دوم ۱۳۸۹)، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی GIS (مبانی و آموزش نرم‌افزار ArcGIS)، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- درویش زاده، ع، (چاپ دوم ۱۳۸۵)، زمین شناسی ایران، موسسه انتشارات امیر کبیر: تهران.
- روستایی، ش، معزز، س، رحیم پور، ت، وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز نهندچای با استفاده از مدل ANP و تکنیک GIS، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۲، پاییز ۹۸، صص ۲۳، ۳۷.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۲۰۰۳، تصاویر ماهواره‌ای IRS از منطقه مورد مطالعه.

- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه‌های زمین شناسی دوزین، با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.
- علیزاده، امین، (چاپ سی‌ام ۱۳۸۹)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی.
- علائی طالقانی، م، و همکاران، (۱۳۹۰)، پهنه بندی حساسیت دامنه‌ها به ناپایداری (لغزش) در حوضه آبخیز جوانرود با استفاده از مدل آماری دو مغیره تراکم سطح، جغرافیا و توسعه شماره ۲۲، صفحات ۷۲-۵۷.
- محمودی، ف، (چاپ اول ۱۳۸۶)، ژئومورفولوژی دینامیک، انتشارات دانشگاه پیام‌نور: تهران.
- کرم، ا، تورانی، م، پهنه بندی استعداد اراضی نسبت به وقوع لغزش با استفاده از روش رگرسیون خطی و فرایند تحلیل سلسه مراتبی مطالعه موردی: محور هراز تا رود هن تا رینه، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال سیزدهم، شماره ۲۸، بهار ۹۲، صص ۱۹۰-۱۷۷
- کرم، ا، قلی زاده، آ، کاربرد مدل تاپسیس و فازی در پهنه بندی خطر حرکات ریزشی مطالعه موردی: شهرستان ماکو، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۳، زمستان ۹۲، صص ۹۴-۷۵
- مرادی و همکاران (۱۳۸۹). تحلیل خطر زمین لغزش در استان گلستان با استفاده از تئوری دمپستر - شیفر، پژوهش‌های دانش از زمین ۳۷(۱): ۱۴-۱
- *Jieling, W., Fan zhuang, D., Jiang, D., (2012), Assessment of Debris Flow Hazards using a Baysian network, Geomorphology 171-172, 94-100*
- *Jakob, M., Hungr, O., Debris- flow Hazards and Related Pherpemena*
- *JICA CTI Engineering International Co. Ltd., (2006), The study on flood and Debris flow in the coastal area focusing on the flood- hit Rregion In Golestan Province.*
- *Dai, F.C. and C.F. Lee. 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. Geomorphology, 42: 213-228*
- *Lieb, M., B. Glaser and B. Huwe. 2012. Uncertainty in the spatial prediction of soil texture: comparison of regression tree and Random Forest models. Geoderma, 170: 70-79*
- *Takahashi, T., (2007), Debris-flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures, Proceedigs and Mohograghs in Engineering Wather and Earth sciences*
- *Trigila, A., F. Catani, N. Casagli, G. Crosta, C. Esposito, P. Frattini, C. Iadanza, D. Lagomarsino, S. Lari, G. ScarasciaMugnozza, S. Segoni, D. Spizzichino and V. Tofani. 2012. The landslide susceptibility map of Italy at 1:1 Million scale. Geophysical Research Abstracts, 14, EGU2012-7655, 2012.*
- *Dowling, C. A., Santi, P. M., (2014), Debris Flow and their toll on Human life: a Global Analysis of Debris-Flow fatalities from 1950 to 2011, hat Hazards 71: 203-227.*
- *Datto, f., chiarle, m., (2014), 3D Video Simulation of a Debris Flow, Hydrological Protection (CNR IRPI).*
- *Liue, x., (1995), Size a Debris flow Debostition Model Experiment Approach, Environ Geol 70:70-80*
- *Villanueva, v. r., herrero, a. d., (2010), dendrogeomorhic analysis of flash floods in a small ungauged mountain catchment (central spain), geomorphology 118: 383-392.*
- *Yuan, CH., (2005), Rapainfall Duration and Debris flow Inttiated Stadies for Real-time Monitoring, Environ Geol 47:715-724.*
- *Yungling, j., Deyang, m., (2011), Risk Assessment of debris flow in Songne Stream, Taiwan. Engineering Geology 123:100-12*
- *Yun fan, t., (2007), A Debris -flow Simulation Model for the Evaluation of Protection Structures, Journal of Mountain Science Vol4 no3: 193-202.*

- Pourghasami, H., Kerle, N. Random forests and evidential belief function-based landslide susceptibility assessment in Western Mazandaran Province, Iran February 2016 *Environmental Earth Sciences* 75(3)
- Peters, J., N. Verhoest, R. Samson, P. Boeckx and B. De Baets. 2008. Wetland vegetation distribution modelling for the identification of constraining environmental variables. *Landscape Ecology*, 23: 1049- 1065.
- Simpson, G.L. and H.J.B. Birks. 2012. *Tracking environmental change using lake sediments*, Springer Publication, 5: 673 pp.
- Stumpf, A. Object-oriented mapping of landslides using Random Forests, *Remote Sensing of Environment*, Volume 115, Issue 10, 17 October 2011, Pages 2564-2577
- Nicodemus, K.K. (2011). Letter to the Editor: On the stability and ranking of predictors from random forest variable importance measures. *Briefings in Bioinformatics*, 12: 369-373