پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال نهم، شماره ۴، بهار ۱۴۰۰
صص. ۷۴-۵۹

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 تائید 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 جریان‌واریزه‌ای 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، می تواند 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 ۰/۸۸ و خطای ۰/۲۷ ایجاد شده است. الویت بندی فاکتورهای ورودی توسط الگوریتم نشان دهنده اهمیت بیشتر فاکتورها شیب و ارتفاع و فاصله از جاده در پیش بینی نهایی می‌باشد. اعتبار سنجی ثانویه توسط معیار ROC و سطح زیر منحنی ۰/۹۳ است که نشان دهنده دقت برآوردی مدل ایجاد شده است. براساس پهنه بندی صورت گرفته نتایج بدست آمده نشان می‌دهد ۱۶، ۱۵، ۱۱، ۱۷و ۴۰ 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

* نویسنده مسئول: E-mail: f_ paknejad@yahoo.com

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. جریان های واریزه‌ای منجر به فجایعی می‌شوند که تهدیدی جدی برای جان و مال افراد و توسعه اقتصادی به شمار می‌رود. زمین‌لغزش فرایندهای طبیعی زمین شناسی هستند که ناهمواری‌های سطح زمین را متحول کرده، دوباره شکل می‌دهد(روستایی و همکاران،۱۳۹۸:۲۴). بنابراین حرکات توده‌ای و زمین لغزش‌ها از مهمترین مخاطرات طبیعی‌اند که دارای تلفات جانی و مالی جدی در سراسر جهان و بویژه در حوضه‌های کوهستانی می‌باشند(ویلانوا[1] 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، زمین شناسی، توپوگرافی، و همچنین برخی از عوامل انسانی مانند تغیر 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[2]،۲۰۰۷:۶). مقایسه ضریب اصطکاک نسبت به دیگر جنبش‌های توده‌ای، نشان دهنده حرکت‌پذیری قوی جریان واریزه‌ای است. این جریانات 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[3]،۲۰۰۷:۱۹۹). جریان‌هایی که از زمین‌های شیب‌دار جنگلی ناشی می‌شوند، ممکن است تا ۶۰٪ حجم آنرا واریزه‌های بزرگ دربرگیرند. پدیده‌های چون لغزش بر روی شیب تند درامتداد کانال پر شیب کوچک و ته نشست واریزه‌ها از این دسته-اند(جاکوب،هانگر،۲۰۰۵:۹). با شروع دهه‌های اخیر، پیشرفت های 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، پوشش‌گیاهی(لوئیز، ۲۰۱۰:۱۰۰). بررسی و ارزیابی خطر زمین لغزش، همکاری گوناگون رشته‌های علمی چون ژئومورفولوژی، زمین شناسی، 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 نقشه های کاربردی اراضی می‌توان مناطق تحت خطر شامل شهرها، روستاها، پل ها، کارخانه‌ها، و غیره را شناسایی کرد تا اقدامات لازم برای حفاظت از این سرمایه‌ها انجام پذیرد. سه رویکرد اصلی در ارزیابی خطر زمین لغزش بصورت کیفی، نیمه کمی و کمی وجود دارد روش‌های کمی بر پایه منطق ریاضی از همبستگی بین فاکتورهای موثر در وقوع زمین لغزش 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

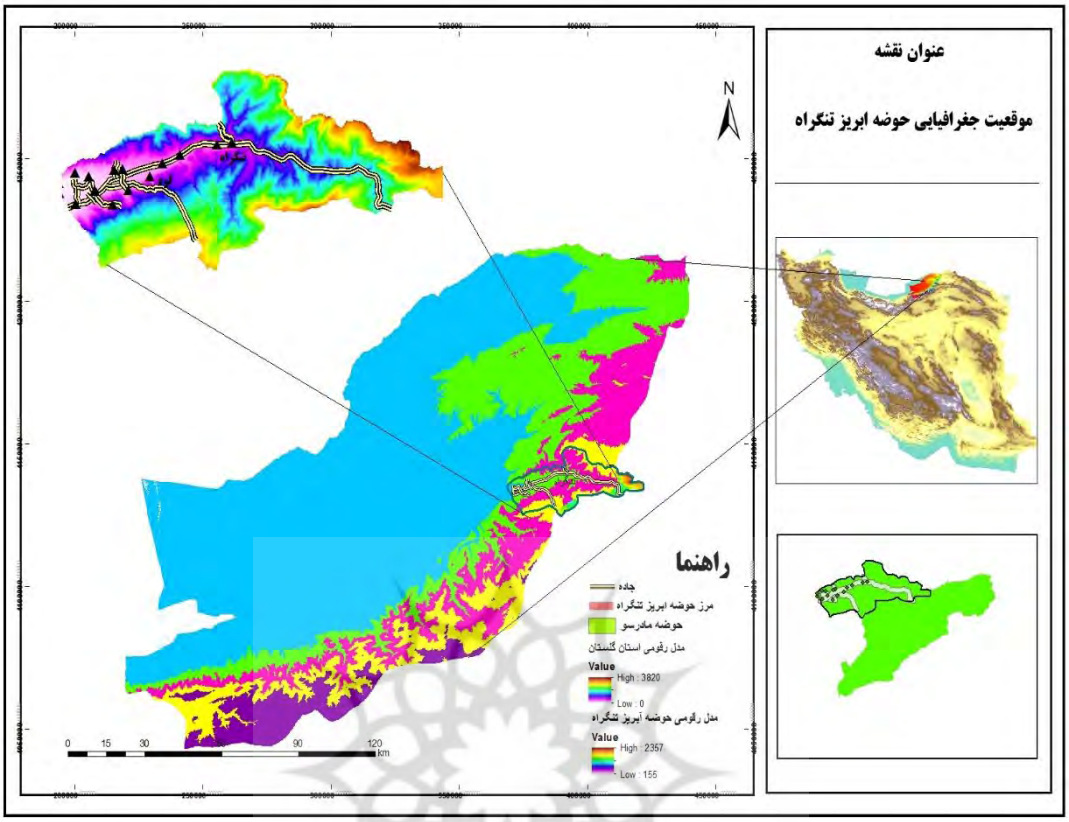
2 . Takahashi

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 احتماالات 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 می دهد و سطوح دامنه ای با شیب بالای ۳۰ درصد بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش در منطقه دارا می باشند. فیضی زاده و همکاران(۱۳۹۳) به مطالعه و ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده روشهای وزن میانگین و دمپستر شیفر 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 می باشند. مطالعاتی که در رابطه با حرکات توده ای در سطح جهان صورت گرفته بسیار گسترده می باشد 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 موثر 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 همکارن(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 درّه¬های پر شیب و عمیق گسلی وسعت محدوده های لغزش قدیمی و جدید، مستعد وقوع جریان واریزه ای است.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده حوضه آبریز تنگراه با مختصات ″۴۵′۲۷°۳۷ تا ″۱۰′۱۹°۳۷ عرض شمالی و″۴۰ ′۰۱°۵۶ تا ″۱۶′۳۷°۵۵ 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 کلاله محدود می‌شود. مساحت حوضه آبریز مورد نظر۶۳۳/۴۲ کیلومتر مربع و محیط آن ۱۶۰/۴۸ کیلومتر می‌باشد. ارتفاع متوسط حوضه ۱۰۶۳ متر می باشد. حوضه مورد نظر به لحاظ سیل‌خیزی مستعد وقوع جریان-واریزه‌ای است و بارش‌های این منطقه بیشتر متأثر از جریانات مرطوب خزری بوده و از پوشش‌گیاهی 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 ۳۴/۹۲ درصد از بارش سالیانه خود را در فصل زمستان دریافت داشته و بارش فصل بهار آن جمعاً ۲۵/۵۳ 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.



شکل۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه،نگارندگان۱۳۹۹

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 معمولا این نقاط آبراهه‌های اصلی و فرعی می باشند، 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 واریزه ای 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[1]دامنه‌ها می‌باشد. برای تهیه این لایه‌ها از داده‌های اولیه از جمله نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و نقشه گسل‌ها از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ انتشار یافته توسط سازمان زمین‌شناسی 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 آرشیو 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 پروژه ی جایکاه آماده گردیده است و حدود ۲۶۶ نقطه بدون لغزش با استفاده از نقشه شیب و تصاویر ماهواره ای 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 پهنه های مستعد به حرکات واریزه‌ای استفاده شده است. برای این کار پس از تهیه و اماده 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 معیار های مجذور میانگین مربعات خطای اندازه گیری تهیه و ضریب تعیین مشخص گردیده است، و بخش دوم مربوط به ارزیابی نقشه نهایی خطر پذیری زمین لغزش با استفاده از ۳۰ درصد داده های اعتبار سنجی که در ابتدای کار کنار گذاشته شده بود، انجام شده است. منحنی عملکرد نسبی راک[۲] یکی از مفید ترین و کارامد ترین روش‌ها در پیش بینی 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 پیش بینی 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 می باشد. شکل(۳) فرایند مدلسازی و پهنه بندی خطر حرکات واریزه‌ای را در این پژوهش نشان می‌دهد و شکلهای (۴) و (۵) نقشه عوامل موثر در پهنه بندی خطر حرکات واریزه‌ای و مدل سازی آنرا نشان می‌دهد.

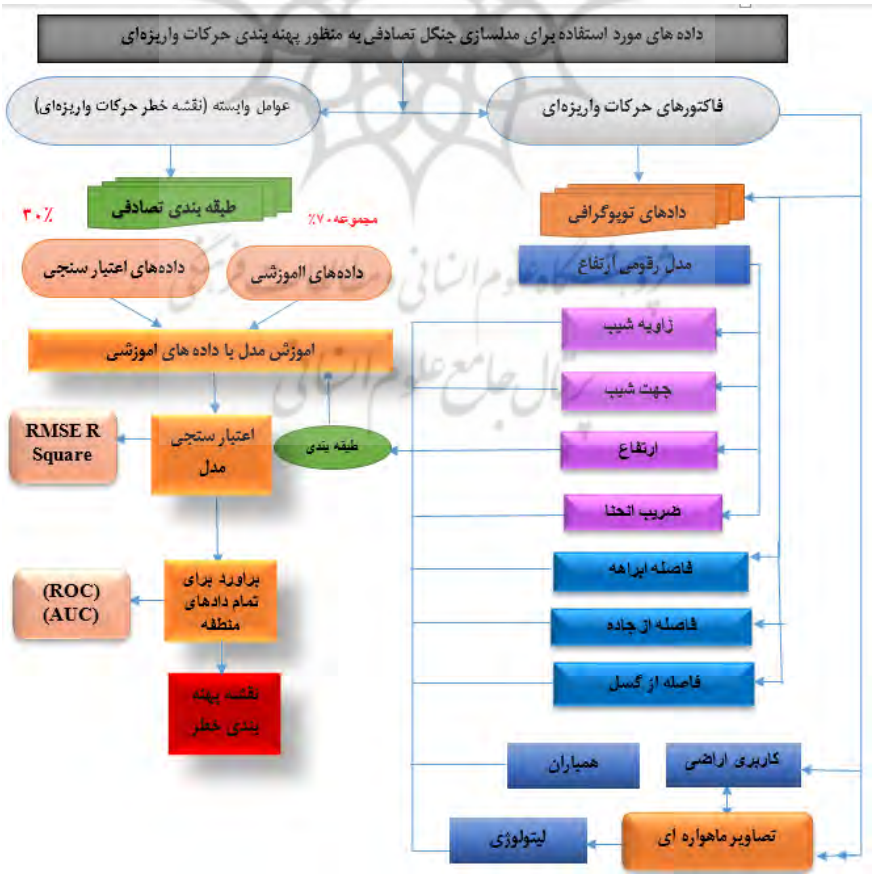
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱. farst

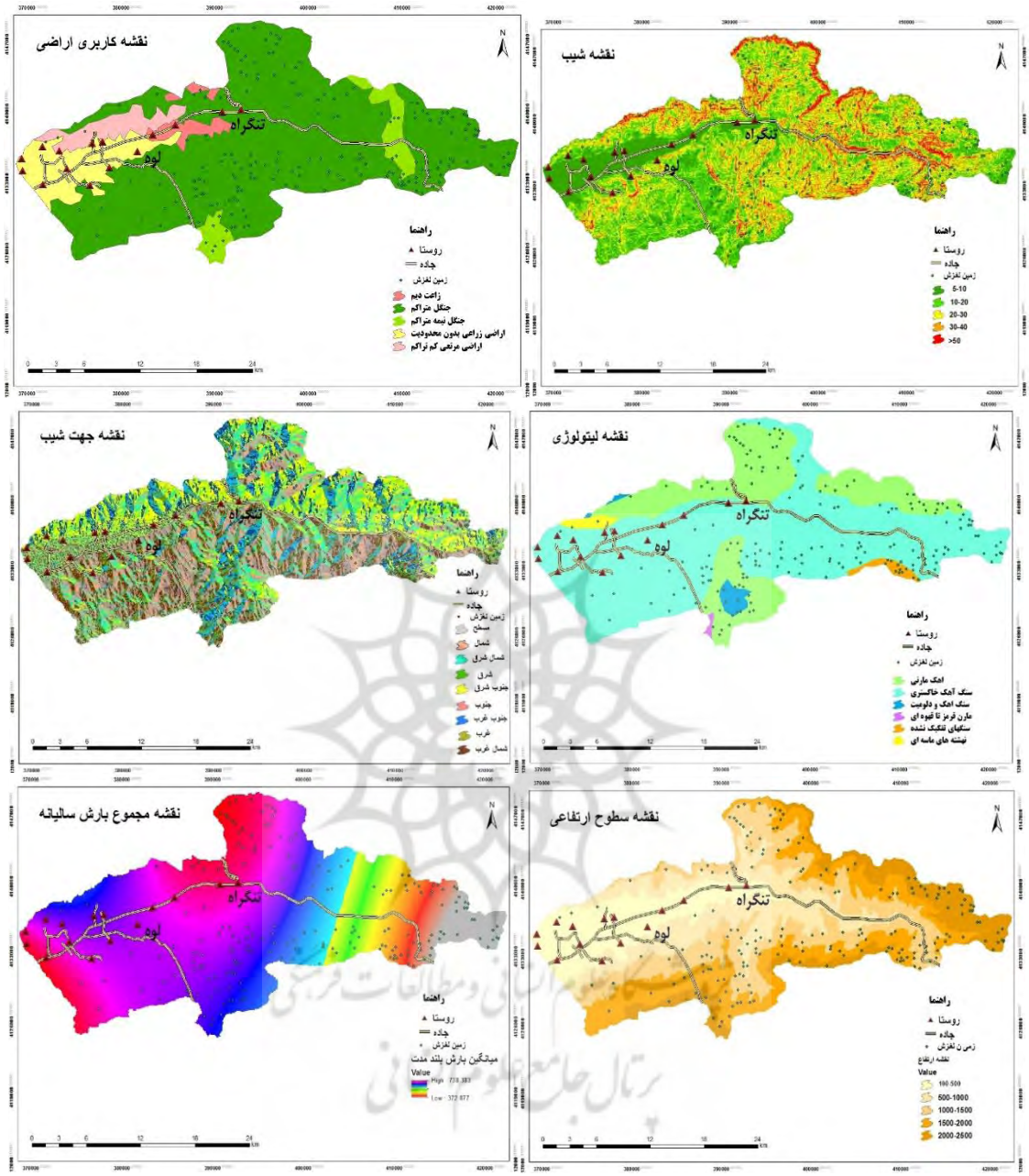
۲. ROC

۳. AUC

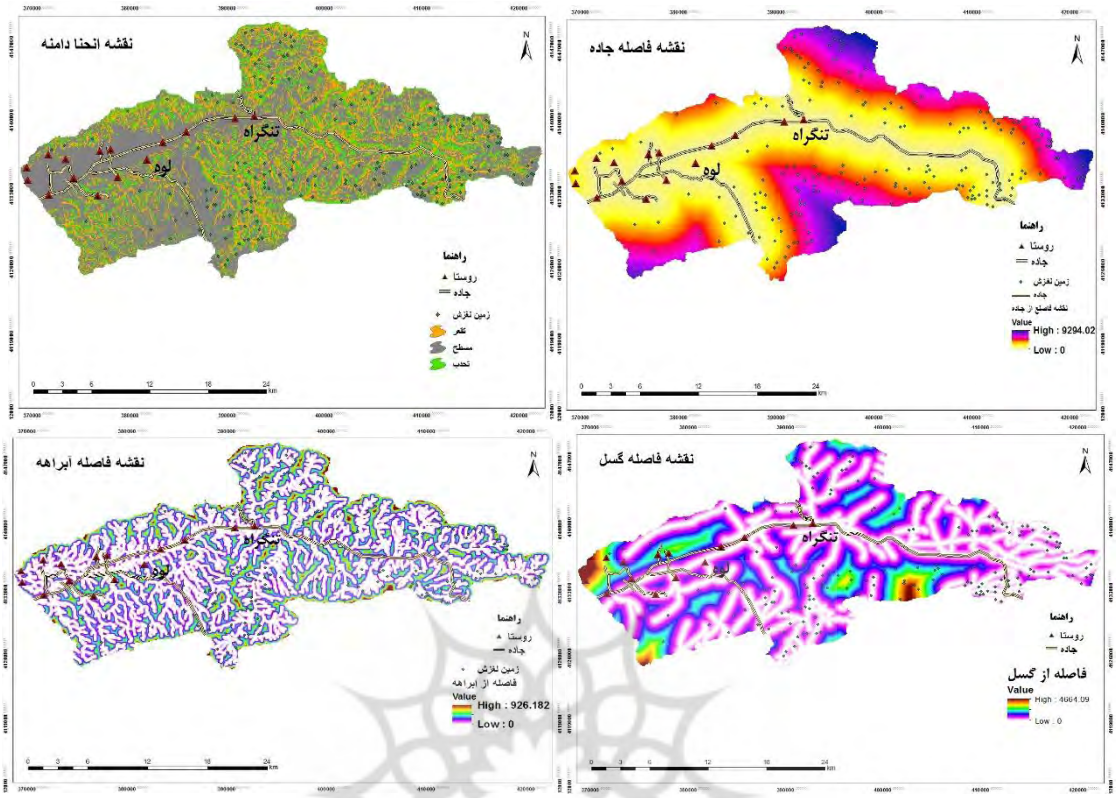
شکل۲: نمای از حرکات توده ای در منطقه مورد مطالعه،نگارندگان۱۳۹۹



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



شکل۴: نقشه‌های عوامل موثر در پهنه بندی خطر حرکات واریزه‌ای و مدل سازی



شکل۵: نقشه‌های عوامل موثر در پهنه بندی خطر حرکات واریزه‌ای و مدل سازی

ب: الگوریتم جنگل تصادفی (RF)

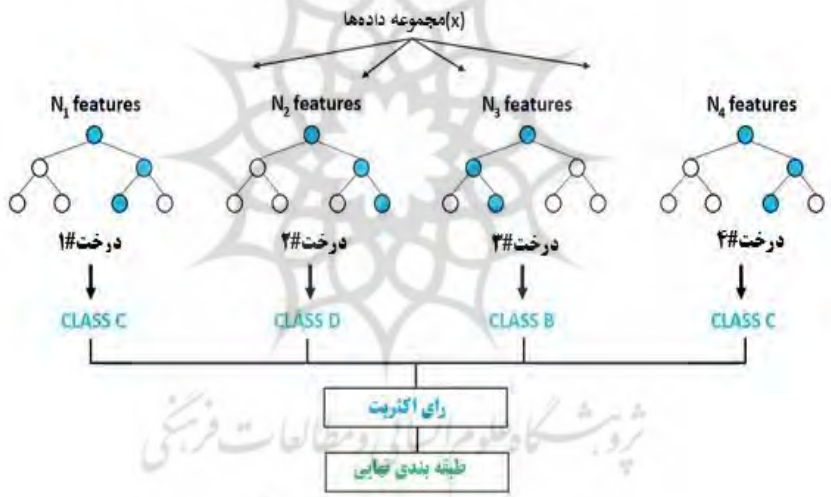
این الگوریتم در واقع یک الحاقی از مدل درخت رگرسیون و طبقه بندی است که اولین بار توسط برمن در سال ۲۰۰۱ ایجاد و توسعه داده شده است. جنگل تصادفی یک نوع مدرن از درخت پایه است که شامل انبوهی از درخت های کلاس بندی و رگرسیون می باشد(ابراهیم خانی و همکاران سال ۱۳۹۰). برای مشخص کردن اینکه هر متغیر چه نقشی در 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 ا ست (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 داده های 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 بهینه 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، $D = (x_1.y_1).(x_2.y_2). \dots .(x_n.y_n)$ 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 نمونه ها را در مجموعه

داده D_b قرار می دهد. از آنجا که نمونه گیری با جایگزینی صورت می‌گیرد یک نمونه ممکن است چندیدن 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 کاملا به صورت تصادفی انتخاب می‌کند (مثلا m تا،m از قبل به مسئله داده شده است و معمولا با جذر تعداد متغیرها برابر است) و از میان آن‌ها بهترین متغیر را انتخاب می‌کند. در مسئله رگرسیون مدل نهائی، میانگین تمامی‌درخت‌هایعنی:

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

از جمله مزایای این الگوریتم می‌توان به مواردی اشاره نمود که از مهمترین آن ها جلوگیری از بیش برازش[۱] مدل می باشد. استفاده از میانگین کاهشی دقت در مقایسه با شاخص اهمیت جینی در تعین 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 پهنه های مستعد به حرکات واریزه‌ای استفاده شده است. برای این کار پس از تهیه و اماده سازی ۱۰ فاکتور مستقل و داده‌های مربوط به حرکات توده‌ای، از کد نویسی الگوریتم جنگل تصادفی در محیط Mat LAB R2020a استفاده شده است.



شکل۶: 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 واریزه ای در جدول(۱) آورده شده است. نتایج نشان داد بیشترین وزن با رتبه معیار ۲٫۶۵ مربوط به شیب می باشد که در رده اول قرار می‌گیرد، با توجه به به کوهستانی بودن و پر شیب بودن دامنه‌ها این امر هر ساله باعث ایجاد حرکات واریزای در محدوده مطالعاتی می‌شود. طی بازدیدهای میدانی که از منطقه صورت گرفته است این حرکات بیشتر در شیب های 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[۲])، اهمیت بسیار زیادی دارد. برای تعیین تعداد مناسب در خت‌ها، با استفاده از معیار میانگین مربعات خطا(MSE)، ابتدا چند مقدار اولیه برای تعداد

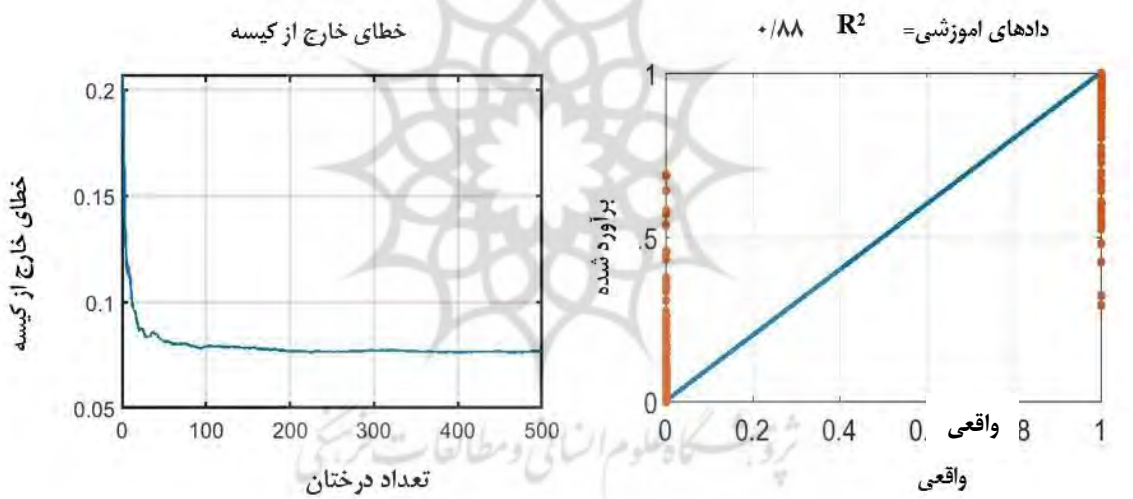
۱. overfitting

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 ۰/۸۸ و مجذور میانگین مربعات خطا ۰/۲۷ 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

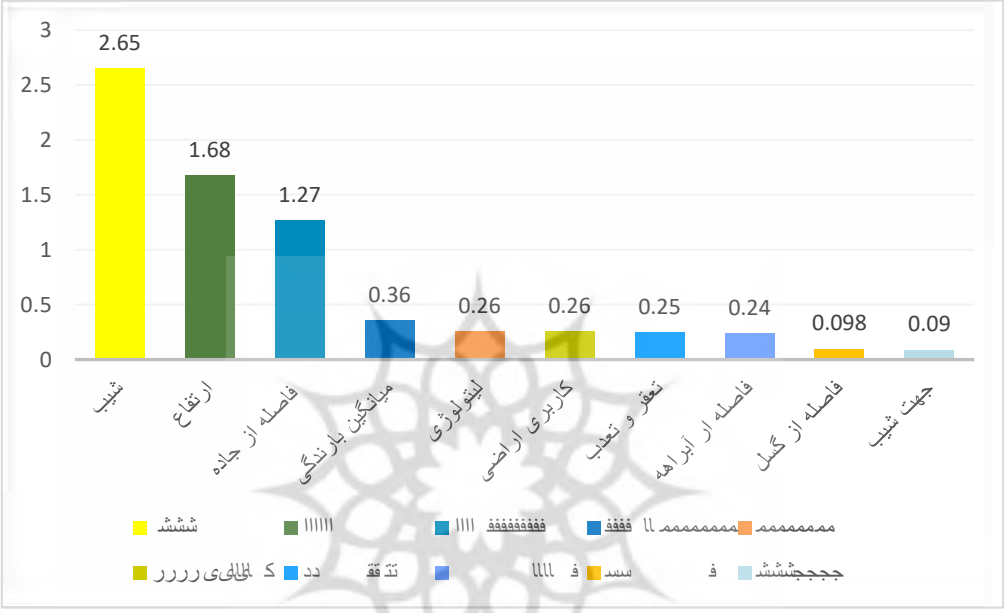
متغیر	شیب	ارتفاع	فاصله از جاده	میانگین بارندگی	لیتولوژی	کاربری اراضی	تعقر و تعدب	فاصله از ابراهه	فاصله از گسل	جهت شیب
رتبه معیار	۲/۶۵	۱/۶۸	۱/۲۷	۰/۳۸	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۰۹۸	۰/۰۹۰
رتبه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰



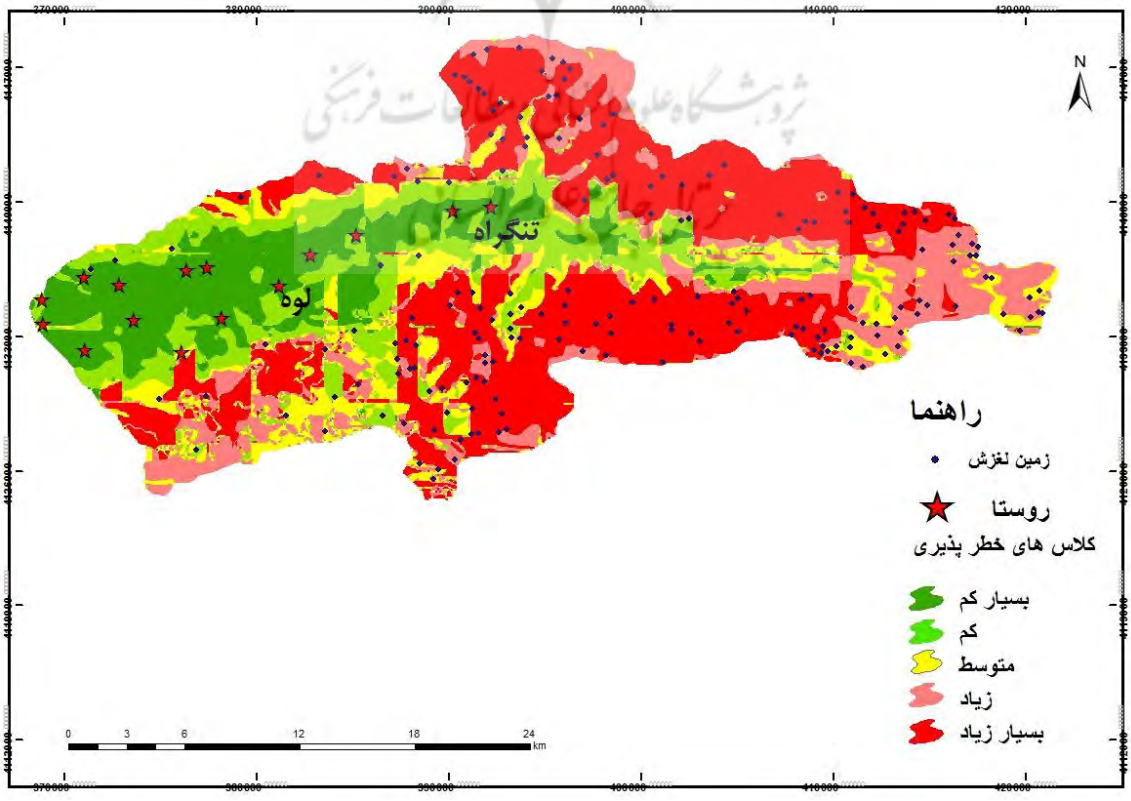
شکل۷: ضریب تعیین رگرسیون(راست) و نمودار کاهش خطایی آموزش در ازای درختان(چپ)

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. نهایتا 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 ۰/۲ تقسیم بندی شد. همچنین نتایج وزن رده‌های مربوط به هر طبقه در شکل(۹) ارائه شده است. با توجه به نقشه خطر پذیزی جریانات واریزه‌ای بیش از ۴۰ درصد منطقه در کلاس بسیار زیاد بطوریکه ۱۷درصد از منطقه مورد مطالعه درکلاس خطر زیاد و ۱۱درصد از منطقه در کلاس متوسط و ۱۵ 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 ازکاملترین روش‌ها را در ارائه خصوصیت تعین، 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

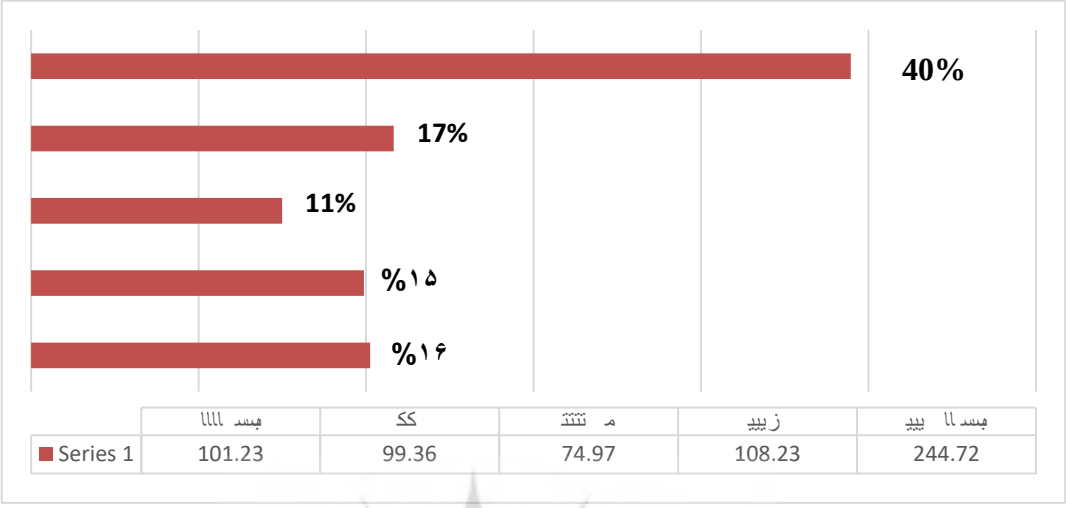
منحنی راک بیشتر باشد دقت مدل بیشتر است که میزان آن بین ۰/۵ تا ۱ در تغییر است. بطور کلی تقسیم بندی ۰/۹ –۱ عالی، ۰/۹–۰/۸ خیلی خوب، ۰/۸ – ۰/۷ خوب، ۰/۷ – ۰/۶ متوسط، و ۰/۶ تا ۰/۵ ضعیف را برای آن ارئه کرده‌اند. برای رسم منحنی ROC در الگوریتم جنگل تصادفی، قبل از کلاس بندی نقشه وزن نهایی، نقاط لغزشی را که برای 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 امده است. براساس نتایج منحنی راک، مقدار سطح منحنی منطقه مورد نظر با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی ۰/۹۳ برآورد گردیده است. شکل(۱۱)



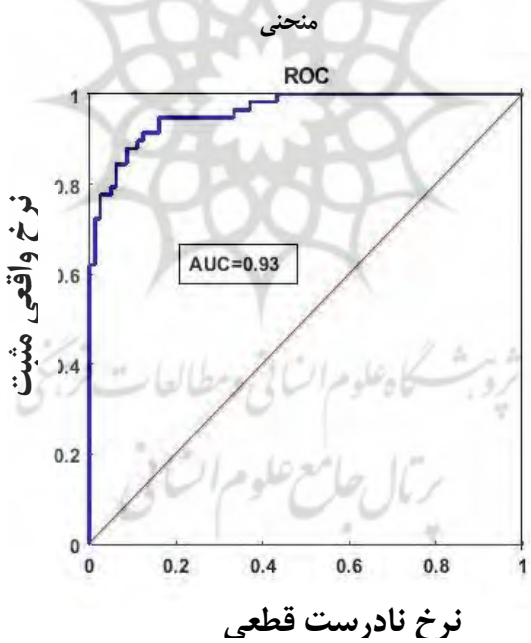
شکل۸: نمودار وزن‌های عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی در حوضه آبریز تنگراه



شکل۹: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی در حوضه آبریز تنگراه



شکل۱۰: مساحت کلاس های نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از الگوریتم جنگلی



شکل۱۱: 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 زمین‌لغزش‌ها 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 ویا 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 آسفالته 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 بریدیگی‌های 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 بکار گیری یا قرار دادن زهکش‌های مناسب در جاده که منجر به اخلال 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 کاریری اراضی عوامل انسانی باعث تغییر کاربری و تبدیل جنگل به مراتع و مناطق مسکونی شده که این تغییر خود از عومل اصلی در تشدید زمین لغزش در منطقه است. عامل شکل انحنا دامنه از فاکتور های دیگر است که سهم کمتری را در مدل به حساسیت زمین لغزش نشان داده، دامنه‌های معقر استحکام کمتری نسبت به دامنه های محدب دارند بنابراین در دامنه‌های مقعر زمین لغزش بیشتری رخ خواد داد. فاصله از آبراهه عامل بعدی می‌باشد که در یک بستر آبراهه شیبدار ممکن است هیچ جریان آبی در زمان های 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، درهنگام بارش شدید، بستر آبراهه بوسیله جریان آب عظیمی شسته می شود که گاهی یک زمین لغزش کوچک بوسیله اثرات افزایش محتوای آب و آبگونه ها 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 می شود 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 رخداد های 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 توده ها خشک اثر دارد ولی میزان اهمیت آن در منطقه در درجه آخر قرار گرفته است. با توجه به قرارگیری نقاط روستایی در پهنه های دارای خطر متوسط و کم، باز هم این امر روستاها را از لحاظ صدمات ناپایداری دامنه ها مصون نگه نمی‌دارد زیرا ۱۵روستا در کنار خروجی آبراهه های اصلی زیر حوضه های منطقه مورد نظر قرار دارد که محل تجمع آوردهای واریزه‌ای در هنگام بارش های ناگهانی می باشد. شکل(۹) با این حال جهت امنیت روستاها از این ناپایداری ها؛ لازم است تمهیدات لازم در اکثر روستا ها اجرا شود تا از خسارات پیش امده در امان باشند. تحقیق حاضر با هدف شناسایی پهنه های مستعد زمین لغزش و تاثیر آن بر منشا 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 آوردهای 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 کنندهای درخت است، استفاده شده است. نتایج نشان دهنده دقت بالای این روش در تعیین ارتباط بین متغیر های 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 می تواند 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 ثبیت 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 تودهای سنگی در آبراهه‌ها که منشا آوردهای 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، افضلی، م، شکوهی،ع، (۱۳۹۰)، پیش بینی و بررسی عوامل تصادفات جاده‌ای با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی، فصلنامه دانش انتظامی زنجان، شماه۱، سال اول، صص۱۱۱-۱۲۷
- آقا نباتی، ع، (چاپ دوم ۱۳۸۵)، زمین شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی 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 آمل، فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال هشتم، شماره۲۷، 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.
- حسین‌زاده، ر، و بیدخوری، ع، (چاپ دوم ۱۳۸۹)، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی *GIS* (مبانی و آموزش نرم‌افزار *ArcGIS*)، انتشارات جهاددانشگاهی 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، شماره۲، پاییز۹۸، صص۳۷،۲۳
- 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، شماره۲۸، بهار ۹۲، صص ۱۹۰-۱۷۷
- کرم، ا، قلی زاده، آ، کاربرد مدل تاپسیس و فازی در پهنه بندی خطر جرکات ریزشی مطالعه موردی: شهرستان ماکو، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۳، زمستان ۹۲،صص۹۴-۷۵
- مرادی و همکاران(۱۳۸۹). تحلیل خطر زمین لغزش در استان گلستان با استفاده از تئوری دمپستر – شیفر، پژوهش های دانش از زمین۳۷(۱):۱۴-۱

- *Jieling, W., Fan zhuang, D., Jiang, D., (2012), Assessment of Debris Flow Hazards using a Baysian network, Geomorghology171-172,94-100*
- *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 Hazards71: 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 Geol70:70-80*
- *Villanueva, v .r., herrero, a .d., (2010), dendrogeomorghic analysis of flash floods in a small ungauged mountain catchment (central spain), geomorghology118: 383-392.*
- *Yuan, CH., (2005), Rapainfall Duration and Debris flow Inttiated Stadies for Real-time Monitoring, Environ Geol47:715-724.*
- *Yungling, j., Deyang, m., (2011), Risk Assessment of debris flow in Songne Stream, Taiwan.Engineering Geology123:100-12*
- *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 2016Environmental 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*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی