



دوره ۳۵، شماره ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۳۵، تابستان ۱۴۰۱، صفحه‌های ۱۵-۲
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2021.354647.1415

مقاله‌ی پژوهشی



پژوهش‌های آبخیزداری

شناخت توزیع مکانی احتمال رخداد فرسایش خندقی با مدل پیشینه‌ی آنتروپی

تیمور تیموریان

دانشجوی دکترای گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

علی اکبر نظری سامانی

(نویسنده‌ی مسئول)* دانشیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

سادات فیض‌نیا

استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

خالد احمدآلی

استادیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

سیدمسعود سلیمان پور

دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: Aknazari@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۲۹ شهریور ۱۴۰۰

چکیده

فرسایش خندقی (آبکندی) یکی از مهم‌ترین نوع‌های فرسایش آبی است که به دلیل تأثیرهای درون منطقه‌ی و برون منطقه‌ی، نقش زیادی در ویرانی و نابودی توان تولید سرزمین دارد. تهیه‌ی نقشه‌ی مکانی احتمال رخداد فرسایش خندقی برای مدیریت مناسب‌تر کاربری زمین با هدف کاهش تخریب زمین در منطقه‌های آماده‌ی رخداد خندقی کارآیی زیادی دارد. پراکنش این فرسایش در ایران و گستردگی عامل‌ها و فرآیندهای مؤثر بر ایجاد آن، مانعی بزرگ در ایجادکردن مدلی فراگیر برای پیش‌بینی رخداد آن در مقیاس بزرگ است. هدف از این تحقیق تهیه‌کردن نقشه‌ی احتمال رخداد فرسایش خندقی با مدل یادگیری ماشینی پیشینه‌ی آنتروپی در استان فارس است. در این پژوهش از متغیرهای مرتبط با ویژگی‌های زمینی و به‌ویژه خاک بهره‌گیری شد. سطح زیر منحنی ویژگی عامل گیرنده بیش از ۹۰٪ به‌دست آمد، که نشان می‌دهد مدل به‌خوبی توانست فرسایش خندقی را با داده‌ها ارزیابی کند. برپایه‌ی یافته‌های آزمون جک‌نایف، متغیرهای احتمال روی داد افق R، عمق خاک، درصد قطعه‌های درشت‌دانه، پی‌اچ در محلول کلرید پتاسیم، و درصد ذره‌های لای بیش‌ترین تأثیر را در مدل‌سازی فرسایش خندقی داشت. نقشه‌ی توزیع مکانی احتمال رخداد خندقی، نقشه‌ی حساسیت زمین‌ها به فرسایش خندقی است. بر پایه‌ی یافته‌ها بیش‌ترین حساسیت به فرسایش خندقی در جنوب استان فارس است. نقشه‌ی تهیه‌شده در این تحقیق می‌تواند نقشه‌ی پایه برای آمایش سرزمین، مدیران و مهندسان شهرسازی، راه‌سازی، منابع طبیعی و کشاورزی باشد.

واژگان کلیدی: استان فارس، فرسایش خندقی، مدل پیشینه‌ی آنتروپی

مقدمه

دامنه‌های مقعر بیش‌ترین تأثیر در روی‌داد فرسایش خندقی در جنوب سیسیل داشت. در تحقیق گومز‌گوتایرز و همکاران (۲۰۰۹) سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی مهم‌ترین متغیرهایی بود که توزیع مکانی خندق‌ها را نشان می‌داد. سازندهای رسی و تبخیری، بافت خاک ریزدانه و دامنه‌های مقعر ارتباط معنی‌داری در روی‌داد فرسایش خندقی نشان داد (آگنسی و همکاران ۲۰۱۰). در تحقیق انصاری و همکاران (۲۰۲۰) رسوب‌های دانه‌ریز با بافت لایه و ساختمان سست و با نمک‌های زیاد باعث حساسیت منطقه به فرسایش خندقی و انحلال شد. در تحقیق کریم‌نژاد و همکاران (۲۰۱۹) از ترکیب عامل‌های خاک‌شناسی (ثبات توده، ماده‌ی آلی، جرم مخصوص ظاهری، درصد رس، درصد لای و درصد شن) و پستی‌بلندی (ارتفاع، طول شیب، جهت، شیب) برای تعیین حساسیت منطقه‌ها به فرسایش خندقی بهره گرفته، و شیب و درصد لای مهم‌ترین عامل‌ها دانسته شد.

گاین و همکاران (۲۰۱۹) با چهار مدل یادگیری ماشین شامل خط‌های وایازی افزودنی چندمتغیره^۱، تحلیل تفکیکی انعطاف‌پذیر^۲، جنگل تصادفی، و ماشین بردار پشتیبان نقشه‌های حساسیت به فرسایش خندقی را بدست آوردند. یافته‌های سطح زیر منحنی نشان داد که دقت پیش‌بینی مدل جنگل تصادفی بیش‌ترین است. علاوه بر این در تحقیقات رحمتی و همکاران (۲۰۱۷) و لی و همکاران (۲۰۲۰) عمل‌کرد مدل جنگل تصادفی در شناخت اندازه‌ی حساسیت به فرسایش خندقی در میان چندین روش پیش‌رفته‌ی داده‌کاوی بهترین بود. در تحقیق آذر و همکاران (۲۰۱۹) دقت مدل بیشینه‌ی آنتروپی بیش‌تر از مدل عامل قطعیت برای تهیه‌ی نقشه‌ی فرسایش خندقی بود. ذاکری‌نژاد (۲۰۲۰) با مدل بیشینه‌ی آنتروپی امکان فرسایش خندقی را صرفاً با شاخص‌های پستی‌بلندی به‌دست‌آمده از مدل رقمی ارتفاع SRTM و ASTER ارزیابی کرد، که به‌ترتیب سطح زیرمنحنی ۰/۷۲ و ۰/۶۷ بیان‌گر نقش بارز شاخص‌های پستی‌بلندی در تهیه‌ی نقشه‌ی امکان فرسایش خندقی بود.

نقشه‌های درست خاک ابزاری توانمند برای مدیریت‌کردن داشته‌های طبیعی، کشاورزی، مدل‌سازی آب‌شناسی، فرسایش خاک، و کمی‌کردن کارکردهای زیستی-فیزیکی به‌همراه ارزیابی خطرهای طبیعی است که بر کیفیت محیط‌زیست و زندگی بشر تأثیرگذار است (چن و همکاران ۲۰۱۱، نظری و همکاران ۲۰۲۰). به همین دلیل منبع داده‌یی که بتواند نقشه‌های خاک با کیفیت مناسب به پژوهشگران بدهد بسیار مهم است. برای تعیین نقش خاک در روی‌داد خطرهای طبیعی، بیش‌تر از نقشه‌های پایه‌ی خاک‌شناسی بهره گرفته‌می‌شود (رحمتی و همکاران

از میان نوع‌های گوناگون فرسایش آبی، فرسایش خندقی یکی از مهم‌ترین پدیده‌های مؤثر در نابودی خاک، تغییر منظر زمین و منابع آب و پس‌رفت زمین‌ها است، به گونه‌یی که تا حد زیادی در پیکر تراشی سطح زمین در دهه‌ی گذشته مشارکت داشته است (شایت و همکاران ۲۰۱۴). فرسایش خندقی از فرآیندهای مهم تخریب خاک است که در اقلیم‌های گوناگون سبب آسیب‌های بی‌شمار به خاک و تولید مقدار فراوان رسوب تا چندبرابر فرسایش پاشمانی و سطحی شده‌است. بنابراین، پژوهش بیش‌تر بر فرسایش خندقی، به‌ویژه بر آستانه‌ی عامل‌های مؤثر بر آن، و تهیه‌ی نقشه‌ی جاهایی که احتمال روی‌دادن آن زیاد است، منجر به یافتن راه‌کارهای مناسب برای مهار فرسایش خندقی می‌شود. سنجه‌های زیادی از جمله خاک، زمین‌شناسی، زمین‌ساخت، آب‌شناسی، کاربری، پوشش گیاهی و پستی‌بلندی در ایجاد فرسایش خندقی نقش دارد، و در پژوهش‌های گوناگون در سراسر جهان به آن اشاره شده است (ذاکری‌نژاد ۲۰۲۰). در حالی که پایداری خاک‌دانه و عامل‌های مؤثر بر تغییر آن در گسترش فرسایش خندقی بسیار مهم است. پایداری اندک خاک‌دانه‌ها منجر به تخریب آسان آن‌ها، تراکم خاک، ایجاد سله، کاهش سرعت نفوذ آب به خاک، افزایش روان‌آب و فرسایش خاک می‌شود. شکستن خاک‌دانه‌ها باعث به‌هم‌ریختگی منافذ خاک می‌شود که با کاهش مقدار نفوذ، مقدار روان‌آب و فرسایش را افزایش می‌دهد و منجر به تخریب خاک می‌شود. از مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها، افزایش مقدار کربن آلی خاک‌ها است (مهرگان ۲۰۱۷).

از عامل‌های مهم مؤثر در فرسایش خندقی، عامل‌های خاک‌شناسی مانند درصد رس لایه‌های سطحی و زیرین خاک (صوفی ۲۰۰۴)، درصد لای و شن ریز (یمانی و همکاران، ۲۰۱۳)، درصد خاک لخت (سلیمانی و همکاران ۲۰۱۷)، عمق خاک (ثروتی و همکاران ۲۰۰۸)، بافت خاک (صابرچناری ۲۰۱۷)، پورقاسمی و همکاران ۲۰۲۰)، نوع خاک (دوب و همکاران ۲۰۱۴)، عرب‌عامری و همکاران ۲۰۲۰ الف و ب)، و زیادبودن شوری و سدیم خاک (سلیمانی و همکاران ۲۰۱۷) است. قدوسی و داودی راد (۲۰۰۵) تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را در رخ‌داد فرسایش خندقی با سنجه‌های درصد اشباع، هدایت الکتریکی و پی‌اچ بررسی کردند، و خطر خندقی‌شدن را در خاک‌های لایه و رسی چندبرابر بیش‌تر از خاک‌های با بافت سبک بدست آوردند. در تحقیق کاناستی و همکاران (۲۰۰۸) زمین‌های کشاورزی با خاک رسی، بافت خاک ریز تا متوسط، و

1 - Multivariate Additive Regression Splines: MARS

2 - Flexible Discriminant Analysis: FDA

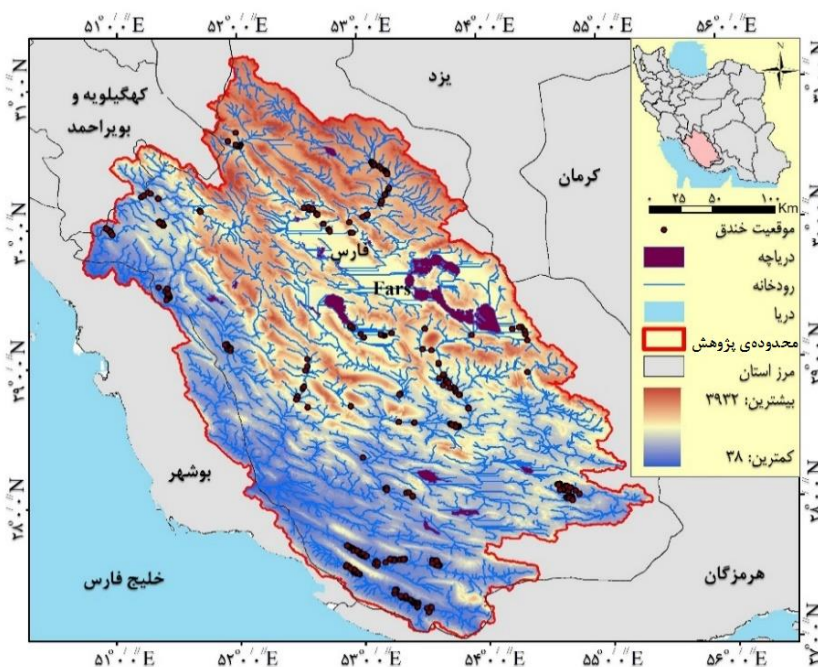
از استان‌های بوشهر و کهگیلویه و بویراحمد را نیز در خود دارد. ارتفاع منطقه از حدود ۴۰۰۰ m از تراز دریا در بخش شمالی و رو به کوه‌های کهگیلویه و بویراحمد تا ارتفاع تراز دریا در نزدیکی خلیج فارس است. این تغییر ارتفاع باعث شده است که اندازه‌ی بارندگی نیز بسیار متغیر باشد. مساحت منطقه حدود ۱۰۰۰۰۰ km²، در طول جغرافیایی ۴۳' ۵۰° تا ۲۰' ۵۵° شرقی و عرض جغرافیایی ۰۴' ۲۷° الی ۱۴' ۳۱° شمالی است (شکل ۱).

جاهای روی داد فرسایش خندقی در منطقه چندین سال با دستگاه سامانه‌ی موقعیت‌یاب جهانی ثبت کرده شد. به دلیل گستردگی زیاد منطقه از تصویرهای ماهواره‌ی گوگل ارث با وضوح زیاد کمک گرفته، و پس از شناسایی جاهای خندقی، درستی آن‌ها با بازدیدهای میدانی تایید شد. در مجموع در این منطقه ۴۶۱ خندق شاخص شناسایی شد (شکل ۱). جاهای خندقی به شیوه‌ی تصادفی به دو گروه تقسیم شد، به طوری که ۷۰٪ آن (۳۲۳ جا) برای واسنجی مدل و ۳۰٪ آن (۱۳۸ جا) برای اعتبارسنجی مدل انتخاب شد.

۲۰۱۹، عرب‌عامری و همکاران (۲۰۲۰ب). این پژوهش‌ها تنها به بیان نوع خاک می‌پردازد، و به ویژگی‌های گوناگون خاک مانند درصد رس، لای و ماسه، ماده‌ی آلی، پی‌اچ خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، جرم مخصوص، عمق تا سنگ بستر و مانند آن اشاره‌ی نمی‌شود. هدف از این مقاله بررسی توزیع احتمال فرسایش خندقی با مدل پیشینه‌ی آنتروپی در استان فارس با داده‌های گوناگون خاک‌شناسی برگرفته از جایگاه Soilgrids است؛ تا ضمن تهیه‌ی نقشه‌ی احتمال فرسایش خندقی، اندازه‌ی دقت داده‌های خاک‌شناسی این جایگاه برای بهره‌گیری در مدل سازی خطرهای طبیعی ارزیابی شود. از آن‌جا که اندازه‌گیری‌های میدانی هزینه‌بر است، داده‌های رستری این جایگاه می‌تواند کمک زیادی به پژوهشگران برای مدل‌سازی خطرهای طبیعی کند.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی بررسی‌شده بخش بزرگی از استان فارس است که به دلیل تطابق نداشتن مرز سیاسی و پستی‌بلندی کشور، بخشی



شکل ۱- موقعیت منطقه و جاهای خندقی آن.

الگوریتم‌های پیشرفته‌ی یادگیری ماشین، نوع خاک و ویژگی‌های پایه‌ی خاک برای کل کره‌ی زمین در ژرفاهای گوناگون (۰-۵، ۵-۱۵، ۳۰-۶۰، ۶۰-۱۰۰، ۱۰۰-۲۰۰ cm) با وضوح مکانی ۲۵۰ m پیش‌بینی و ترسیم می‌شود (دوسا

متغیرهای مؤثر در فرسایش خندقی (متغیرهای مستقل) ۱۲ عامل مرتبط با خاک است که برای این منطقه و برای عمق ۵-۲۰ سانتیمتری از سطح خاک تهیه شد (Soil Grids, ۲۰۲۰). در شیوه‌ی Soil Grids

شاخص پی‌اچ اندازه‌گیری شده در محلول آب و پتاسیم کلرید، احتمال روی داد افق R، عمق خاک، جرم مخصوص ظاهری، و ظرفیت تبادل کاتیونی است (جدول ۱).

و همکاران ۲۰۱۸؛ دوسا و همکاران ۲۰۲۰). این ۱۲ ویژگی خاک شامل درصد وزنی ذره‌های رس، لای و ماسه، درصد حجمی ذره‌های درشت‌دانه، داشته‌ها و درصد کربن آلی خاک،

جدول ۱- عامل‌های مستقل خاک‌شناسی بررسی شده.

واحد	شرح	کد متغیر
%	احتمال روی داد افق R	BDRLOG
m	عمق خاک	BDTICM
Kg/m ³	جرم مخصوص ظاهری	BLDFIE
cmolc/kg	ظرفیت تبادل کاتیونی خاک	CECSOL
%	درصد وزنی ذره‌های رس (کم‌تر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر)	CLYPPT
%	درصد حجمی قطعه‌های درشت‌دانه (بیش‌تر از ۲ میلی‌متر)	CRFVOL
Ton/ha	موجودی کربن آلی خاک	OCSTHA
%	مقدار کربن آلی خاک	ORCDRC
pH	پی‌اچ (در محلول آب)	PHIHOX
pH	پی‌اچ (در محلول پتاسیم کلرید)	PHIKCL
%	درصد وزنی ذره‌های لای (۰/۰۰۲ تا ۰/۰۰۵ میلی‌متر)	SLTPPT
%	درصد وزنی ذره‌های ماسه (۰/۰۰۵ تا ۲ میلی‌متر)	SNDPPT

سطح زیر منحنی محاسبه می‌شود تا اندازه‌ی تأثیر هر عامل در پیش‌بینی ناحیه‌های مستعد خطر ارزیابی شود. اگر اندازه‌ی سطح زیر منحنی نهایی عاملی به شدت کاهش یابد به معنی آن است که نقش زیادی در روی داد پدیده دارد (فیض‌نیا و همکاران ۲۰۱۸).

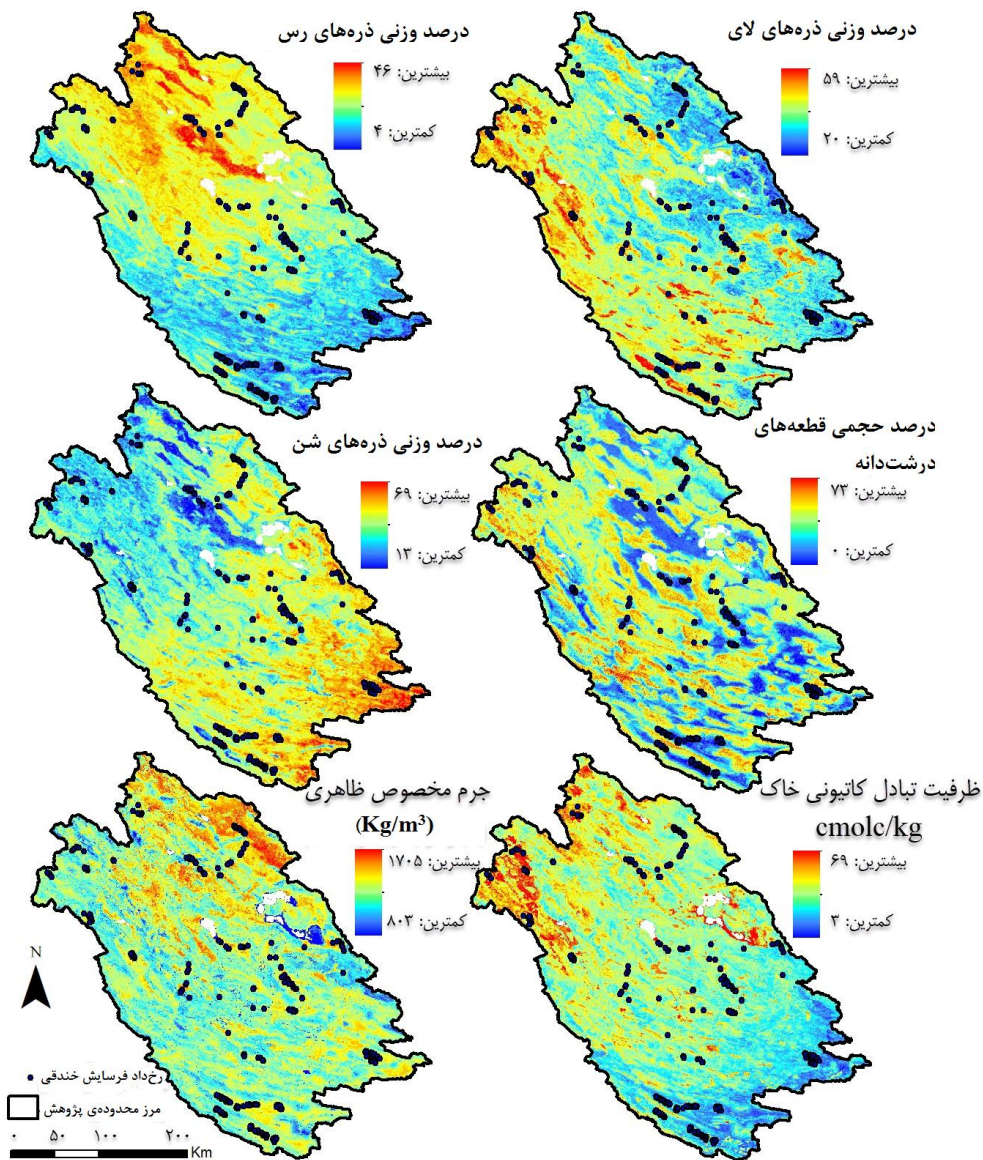
علاوه بر این، بر پایه‌ی منحنی‌های پاسخ می‌توان آستانه‌های اثرگذاری عامل‌های گوناگون محیطی را برای روی داد خطر شناسایی کرد. این نمودارها برای متغیرهای کمی به شکل منحنی و برای متغیرهای کیفی به شکل نمودار ستونی، اندازه‌ی مشارکت مقدارهای گوناگون عامل را مشخص می‌کند. در این پژوهش همه‌ی متغیرها به شکل کمی بیان شده است و نمودارها به شکل منحنی است. محدوده‌ی بی‌اثر از عامل‌ها که بیش‌ترین پاسخ به فرسایش خندقی را ایجاد کرده است (نقطه‌ی اوج منحنی‌ها) حساس‌ترین محدوده به فرسایش خندقی گرفته می‌شود. برای اجرای این مدل از نرم‌افزار MaxEnt در محیط جاوا بهره‌گرفته شد. داده‌های روی داد خندق در این منطقه (متغیر وابسته‌ی نقطه‌ی بی‌اثر دو گروه واسنجی (۷۰٪) و اعتبارسنجی (۳۰٪) و عامل‌های خاک‌شناسی (متغیرهای مستقل) با قالب ASCII وارد نرم‌افزار کرده شد. از آن‌جا که MaxEnt مدل یادگیری ماشینی است، با یادگیری از روی متغیرها و جاهای خندقی مرحله‌ی واسنجی اجرا شد، و از روی آن نقشه‌ی حساسیت به فرسایش خندقی، منحنی پاسخ، و آزمون جک‌نایف تهیه شد. مهم‌ترین مرحله‌ی مدل‌سازی اعتبارسنجی نقشه‌ی خطر است،

مدل پیشینه‌ی آنتروپی (فیلیپس و همکاران ۲۰۰۶) یکی از رایج‌ترین مدل‌های پیش‌بینی‌کننده در زمینه‌های گوناگون علوم طبیعی و محیط زیست است، که نخست برای شناخت الگوی توزیع مکانی گونه‌های جانوری درست شد، و سپس در زمینه‌های گوناگون محیطی به کار گرفته شد (فیض‌نیا و همکاران ۲۰۱۸). هدف از مدل پیشینه‌ی آنتروپی پیدا کردن توزیع احتمال رخداد پدیده بر موقعیت مجموعه‌ی X در منطقه است. یکی از مزیت‌های اصلی این الگوریتم نیاز نداشتن به جاهای بی روی داد در مدل‌سازی است (فلکسیمو و همکاران ۲۰۱۳)؛ بنابراین برعکس بسیاری از مدل‌ها، در مدل پیشینه‌ی آنتروپی فقط جاهای روی داد پدیده متغیر وابسته گرفته می‌شود. مدل پیشینه‌ی آنتروپی می‌تواند اثر تغییر متغیرهای مستقل را بر روی دادن و گسترش پدیده‌های زمین‌شناسی نشان دهد، و توان انجام دادن تحلیل حساسیت را در قالب آزمون جک‌نایف دارد (بوس و براونی ۲۰۰۴). در این آزمون با روش حذفی، در هر مرحله یکی از متغیرهای مستقل حذف، و مدل‌سازی پدیده بی آن متغیر انجام می‌شود. سپس اندازه‌ی افت دقت نقشه‌ی نهایی به‌ازای حذف آن متغیر محاسبه می‌شود. بدین ترتیب سهم هر متغیر مستقل در روی داد آن پدیده در منطقه مشخص می‌شود، که از روی آن می‌توان مؤثرترین متغیرها را تعیین کرد (رحمتی و همکاران ۲۰۱۹). در این روش پس از ایجاد کردن مدل با دخالت دادن همه‌ی عامل‌ها، مدل‌سازی به تعداد عامل‌ها تکرار، هر بار یکی از عامل‌ها از روند مدل‌سازی حذف، و مقدار

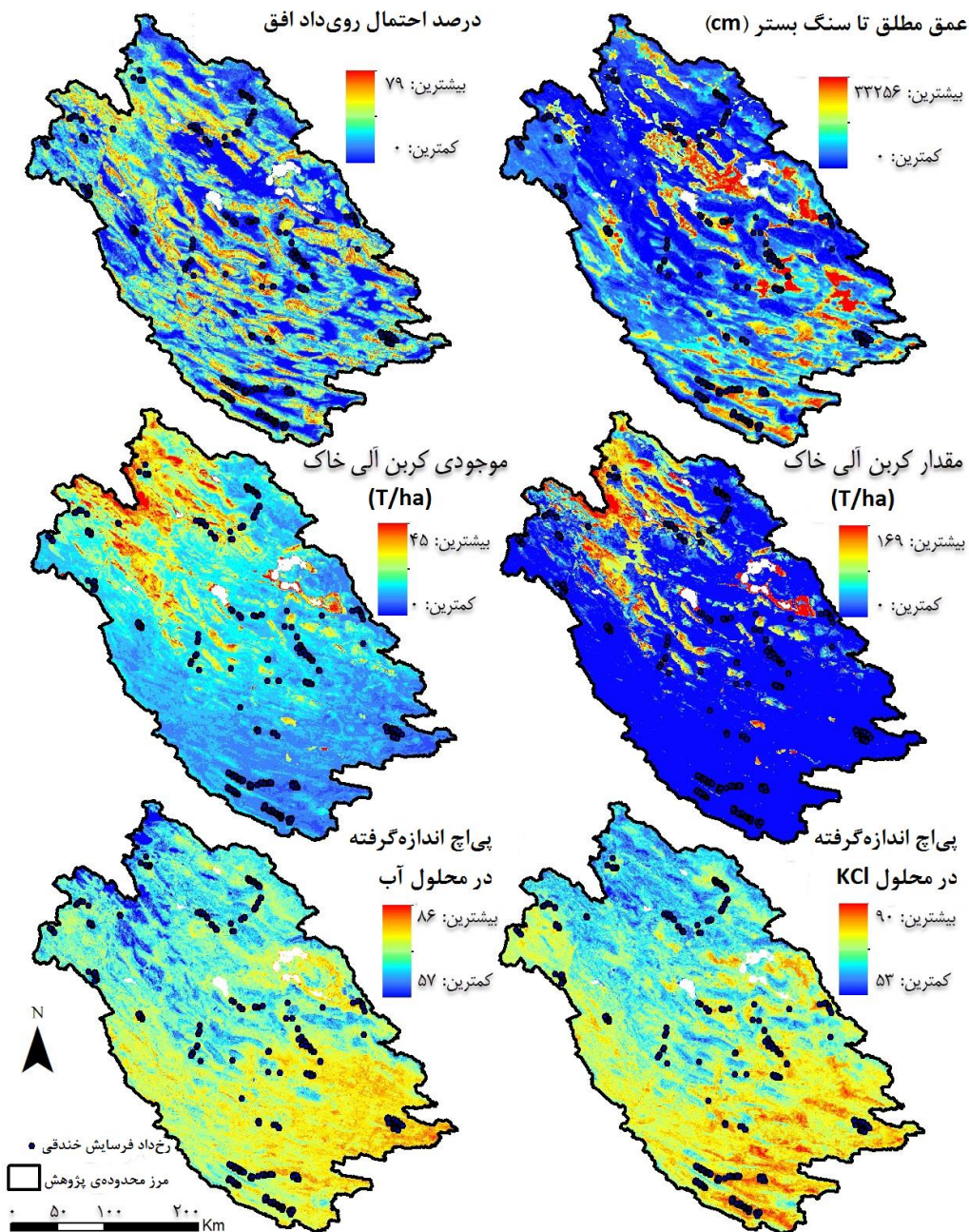
زیرا بی آگاهی از اندازه‌ی دقت پیش‌بینی، بهره‌گیری از یافته‌های مدل معقول نیست. در این مرحله، یافته‌های مدل‌سازی بر پایه‌ی روی‌داد خندقی‌های گروه واسنجی و اعتبارسنجی جداگانه در قالب روش منحنی ویژگی عامل گیرنده^۳ (ROC) ارزیابی می‌شود که در آن مساحت زیر منحنی معیار کمی برای بیان اعتبارسنجی و اندازه‌ی دقت مدل است، به طوری که هرگاه مقدار مساحت زیر منحنی بیش از ۷۰٪ باشد، دقت مدل پذیرفتنی است (یسپلیسیر ۲۰۰۵).

نتایج و بحث
در مجموع ۱۲ عامل مرتبط با خاک شامل احتمال روی‌داد

افق (BDRLOG) R، عمق خاک (BDTICM)، جرم مخصوص ظاهری (BLDFIE)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CECSOL)، درصد وزنی ذره‌های رس (CLYPPT)، درصد حجمی قطعه‌های درشت‌دانه (CRFVOL)، داشته‌های کربن آلی خاک (OCSTHA)، درصد کربن آلی خاک (ORCDRC)، پی‌اچ اندازه‌گیری شده در محلول آب (PHIHOX)، پی‌اچ اندازه‌گیری شده در محلول کلرید پتاسیم (PHIKCL)، درصد وزنی ذره‌های ماسه (SNDPPT) و درصد وزنی ذره‌های لای (SLTPPT) برای این منطقه تهیه (Soil Grids, ۲۰۲۰) و در نرم‌افزار ArcMap رسم شد (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه‌ی عامل‌های مرتبط با خاک.

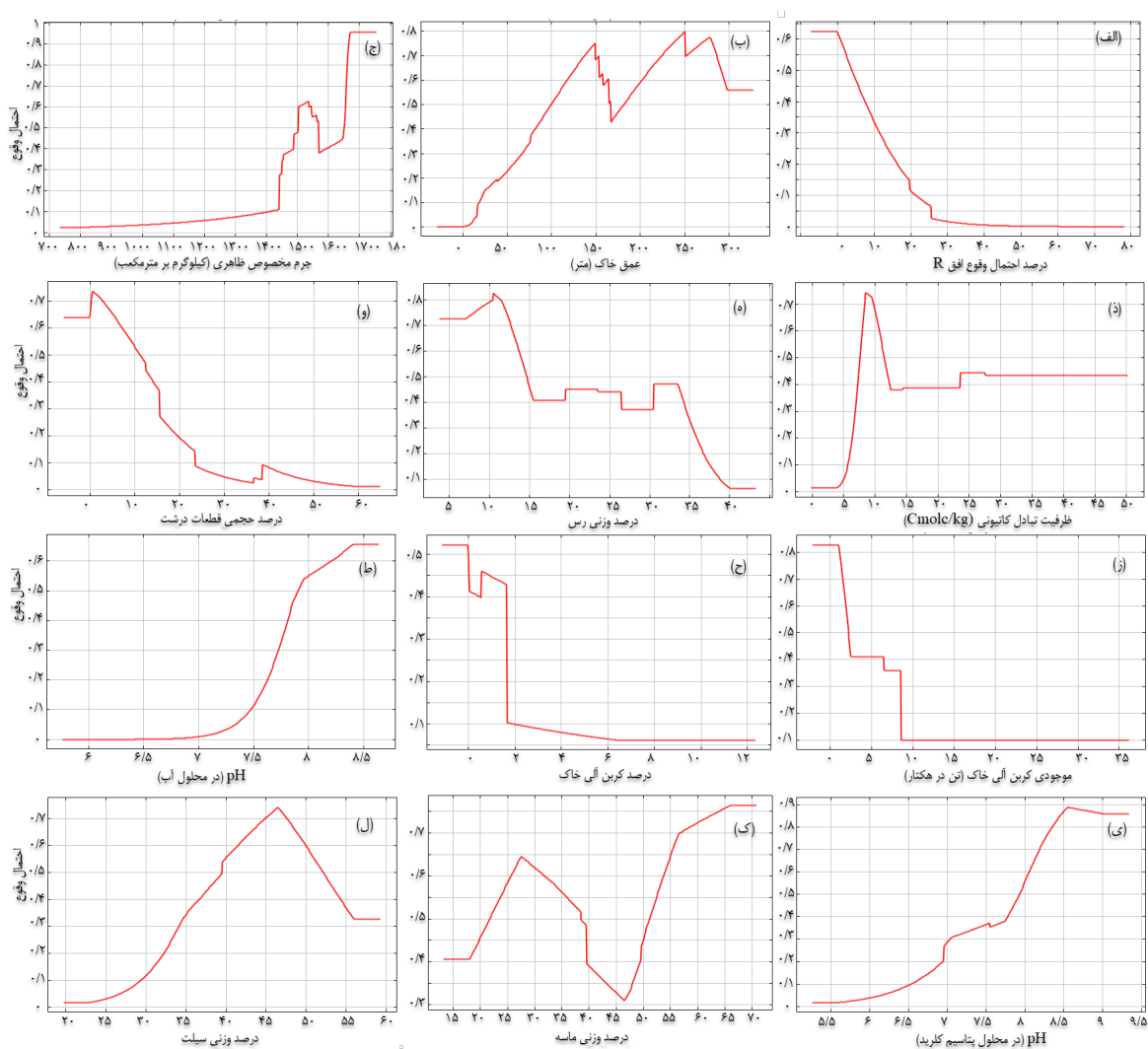


شکل ۲ (ادامه) - نقشه‌ی عامل‌های مرتبط با خاک.

خاک‌شناسی تهیه شود، و متغیرهایی که بیش‌ترین اثر در فرآیند مدل‌سازی فرسایش خندقی داشت انتخاب شود. شکل ۳ منحنی‌های پاسخ متغیرها را نشان می‌دهد، که از روی آن آستانه‌های اثرگذاری هر متغیر در روی داد فرسایش خندقی شناسایی می‌شود.

از آن‌جاکه بعضی از این عامل‌ها نقش بیش‌تری در مدل‌سازی فرسایش خندقی دارد، برای شناختن مهم‌ترین متغیرهای مرتبط با خاک از مدل پیشینه‌ی آنتروپی بهره‌گرفته شد، تا علاوه بر درصد مشارکت و اهمیت هر متغیر در فرآیند مدل‌سازی، نقشه‌ی حساسیت به فرسایش خندقی با عامل‌های

شناخت توزیع مکانی احتمال رخداد فرسایش خندقی با مدل..

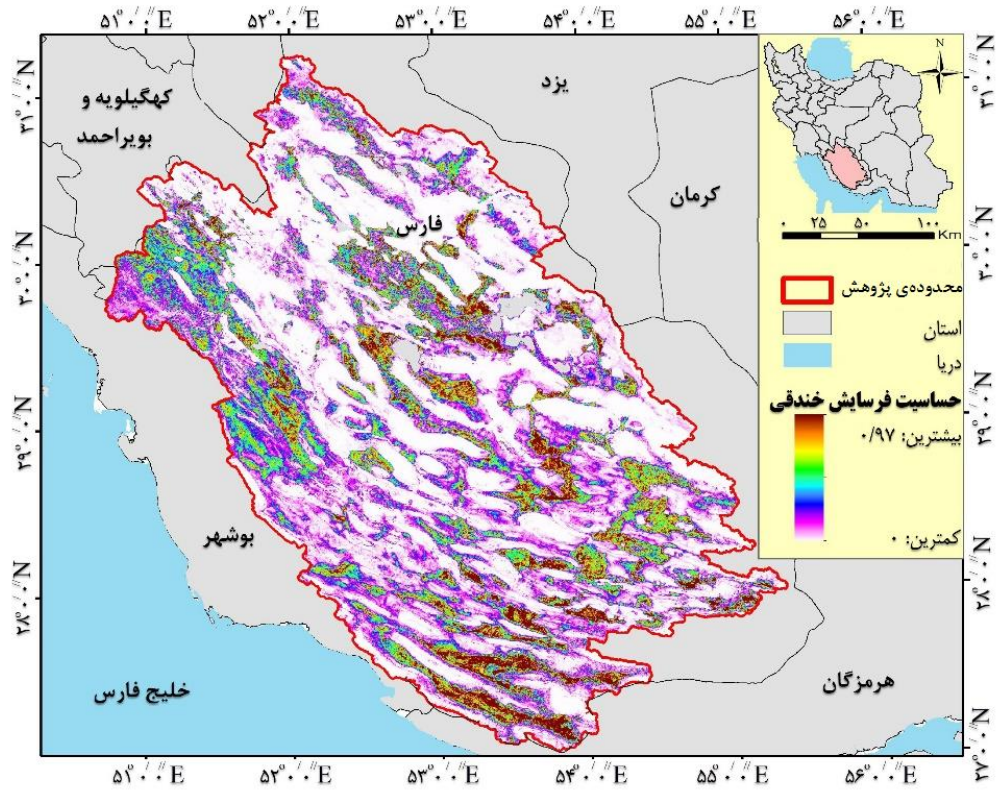


شکل ۳- منحنی‌های پاسخ عامل‌های گوناگون خاک‌شناسی (الف: احتمال روی داد افق R، ب: عمق خاک، ج: جرم مخصوص ظاهری، د: ظرفیت تبادل کاتیونی، ه: درصد وزنی ذره‌های رس، و: درصد حجمی قطعه‌های درشت‌دانه، ز: موجودی کربن آلی، ح: درصد کربن آلی، ط: پی‌اچ در محلول آب، ی: پی‌اچ در محلول پتاسیم کلرید، ک: درصد وزنی ذره‌های ماسه، ل: درصد وزنی ذره‌های لای).

می‌شود.

شکل ۴ نقشه‌ی توزیع احتمال روی داد فرسایش خندقی را با مدل MaxEnt در این منطقه با داده‌های خاک‌شناسی نشان می‌دهد. احتمال روی داد فرسایش خندقی در این شکل ۰-۱ طبقه‌بندی شده است؛ هرچه اندازه‌ی عدد به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی این است که حساسیت به فرسایش خندقی بیش‌تر است. بیش‌تر منطقه از نظر احتمال روی داد فرسایش خندقی در محدوده‌ی نزدیک به ۰ است، و بیش‌ترین حساسیت به فرسایش خندقی در جنوب استان مشاهده شد (شکل ۴).

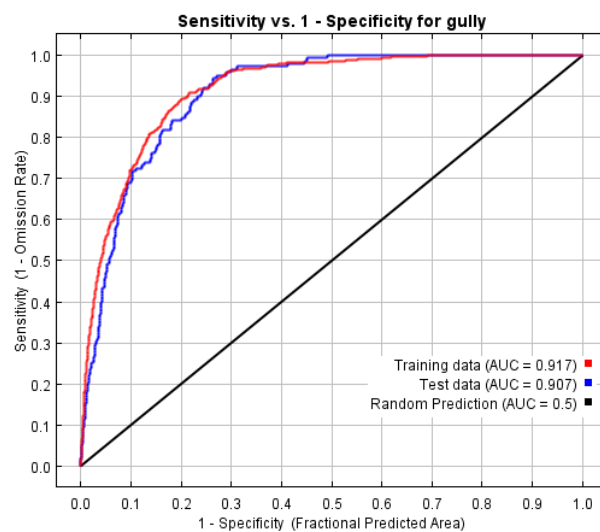
یافته‌های منحنی‌های پاسخ نشان می‌دهد که بعضی عامل‌ها مانند پی‌اچ رابطه‌ی مستقیم با احتمال روی داد فرسایش خندقی دارند، و با افزایش آن در خاک احتمال روی داد فرسایش خندقی افزایش می‌یابد. در حالی که بعضی عامل‌ها مانند کربن آلی رابطه‌ی معکوس با احتمال روی داد فرسایش خندقی دارد، و با افزایش آن احتمال روی داد فرسایش خندقی کاهش می‌یابد. عامل‌هایی هم هست که رابطه‌ی آن با احتمال روی داد فرسایش خندقی در محدوده‌ی از اندازه مستقیم، و در محدوده‌ی معکوس است، مانند درصد وزنی ذره‌های لای که افزایش آن تا محدوده‌ی باعث افزایش روی داد فرسایش خندقی، و بعد از آن باعث کاهش



شکل ۴- احتمال روی داد فرسایش خندقی در منطقه‌ی بررسی شده با مدل MaxEnt.

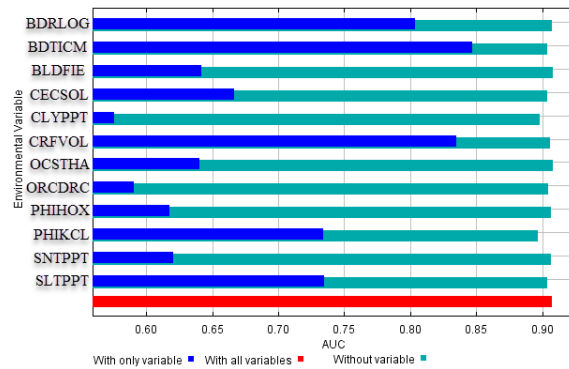
حذفی، در هر مرحله یکی از متغیرهای مستقل حذف شد، و مدل‌سازی آن پدیده بی آن متغیر انجام شد، و یک‌بار مدل‌سازی تنها با همان متغیر انجام شد، که از روی آن می‌توان مؤثرترین متغیرها را تعیین کرد.

سطح زیر منحنی برای داده‌های مرحله‌ی واسنجی ۰/۹۱۷ و برای داده‌های مرحله‌ی اعتبارسنجی ۰/۹۰۷ به‌دست آمد (شکل ۵) که نشان می‌دهد مدل به‌خوبی توانست فرسایش خندقی را در این منطقه با داده‌های بررسی شده ارزیابی کند. شکل ۶ یافته‌های آزمون جک‌نایف را نشان می‌دهد. در این آزمون یک‌بار با روش



شکل ۵- منحنی ویژگی عامل گیرنده برای مدل MaxEnt.

شناخت توزیع مکانی احتمال رخداد فرسایش خندقی با مدل..



شکل ۶- آزمون جک‌نایف برای متغیرهای بررسی شده.

آن‌ها بیش از ۷۰٪ می‌شود، و می‌توان دانست که تأثیر این متغیرها بر مدل‌سازی فرسایش خندقی منطقه بیش‌ترین است. این عامل‌ها در ۵ رده طبقه‌بندی، و تعداد و درصد روی‌داد فرسایش خندقی در هر رده اندازه‌گیری شد. نسبت فراوانی از روی نسبت میان درصد رخداد هر رده به درصد مساحت آن بررسی شد (جدول ۲).

یافته‌های آزمون جک‌نایف نشان می‌دهد که اگر متغیرهای احتمال روی‌داد افق (BDRLOG) R، عمق خاک (BDTICM)، درصد حجمی قطعه‌های درشت‌دانه (CRFVOL)، پی‌اچ (PHIKCL) و درصد وزنی ذره‌های لای (SLTPPT) به تنهایی وارد مدل‌سازی شود سطح زیر منحنی

جدول ۲- نسبت فراوانی مهم‌ترین عامل‌های مؤثر خاک‌شناسی.

عامل	دسته	مساحت		نسبت فراوانی
		درصد پیکسل	تعداد پیکسل	
درصد وزنی ذره‌های لای	۲۰-۳۳	۳۰/۴۵۳۴۵۰	۲۷/۰۹	۷/۱۲
	۳۳-۳۸	۲۸۱۳۶۷۳۰	۲۵/۶۵	۱۹/۵۰
	۳۸-۴۱	۱۹۳۳۲۹۹۰	۱۷/۲۵	۱۶/۴۱
	۴۱-۴۸	۲۰۴۱۶۸۲۸	۱۸/۲۲	۲۸/۷۹
	۴۸-۵۹	۱۳۲۰۷۴۰۴	۱۱/۷۹	۲۸/۱۷
درصد حجمی قطعه‌های درشت‌دانه	۰-۱۳	۲۴۶۹۷۳۰۰	۲۲/۰۴	۷۷/۰۹
	۱۳-۲۱	۲۴۲۶۱۴۷۵	۲۱/۶۵	۱۳/۶۲
	۲۱-۲۷	۲۴۵۲۱۴۱۸	۲۱/۸۹	۴/۳۳
	۲۷-۳۲	۲۰۶۵۲۴۸۷	۱۸/۴۳	۰/۹۳
	۳۲-۷۳	۱۷۹۰۴۷۲۲	۱۵/۹۸	۴/۰۲
درصد احتمال روی‌داد افق R	۰-۴	۲۳۰۲۵۵۶۰	۲۰/۵۵	۶۶/۸۷
	۴-۱۳	۲۳۰۱۲۳۱۰	۲۰/۵۴	۲۳/۸۴
	۱۳-۲۳	۲۲۹۳۸۳۵۸	۲۰/۴۷	۷/۴۳
	۲۳-۳۷	۲۲۵۳۳۳۱۹	۱۹/۸۶	۱/۸۶
عمق خاک (mm)	۳۷-۷۹	۲۰۸۰۷۹۵۵	۱۸/۵۷	۰/۰۰
	۰-۴/۸۲	۲۲۴۲۴۴۲۸	۲۰/۰۲	۰/۳۱
	۴/۸۲-۱۸/۰۶	۲۲۴۱۴۵۰۰	۲۰/۰۱	۳/۱۰
	۱۸/۰۶-۳۳	۲۲۴۰۸۹۷۵	۲۰/۰۰	۶/۸۱
	۳۳-۷۶/۹۲	۲۲۳۹۶۸۰۰	۱۹/۹۹	۱۳/۹۳
پی‌اچ (در محلول پتاسیم کلرید)	۷۶/۹۲-۳۳۲/۵۶	۲۲۳۹۲۶۹۹	۱۹/۹۸	۷۵/۸۵
	۵/۳-۶/۸	۲۲۴۵۶۳۷۵	۲۰/۰۴	۴/۰۲
	۶/۸-۷/۲	۲۸۱۶۲۳۷۵	۲۵/۱۴	۱۶/۱۰
	۷/۲-۷/۵	۲۳۵۸۱۱۳۱	۲۱/۰۵	۲۰/۴۳
	۷/۵-۷/۸	۲۲۵۷۶۴۲۵	۲۰/۱۵	۱۳/۹۳
	۷/۸-۹/۰	۱۵۲۵۴۱۹۶	۱۳/۶۲	۴۵/۵۱

نتیجه‌گیری

نقشه‌ی حساسیت به فرسایش خندقی استان فارس با ۱۲ عامل گوناگون خاک‌شناسی تهیه شد تا با بررسی دقت داده‌های موجود (Soil Grids 2020)، مهم‌ترین عامل‌های مؤثر در روی‌داد فرسایش خندقی در این منطقه را مشخص کنیم. دقت بیش از ۹۰٪ سطح زیر منحنی در مرحله‌ی آموزش و اعتبارسنجی نشان می‌دهد که داده‌های این جایگاه به‌خوبی توانسته است نقشه‌ی حساسیت فرسایش خندقی را در منطقه برآورد کند. این دقت برای منطقه‌ی با مساحت زیاد به‌دست آمده است، و درستی داده‌های این جایگاه برای منطقه‌های با مساحت کم نیازمند بررسی بیشتر است. یافته‌های بدست آمده نشان داد که با این‌که کل استان فارس در آسیب فرسایش خندقی است، ولی حساسیت بخش‌های جنوبی آن بیش‌تر است.

یافته‌های آزمون جک‌نايف نشان می‌دهد که تأثیر متغیرهای احتمال روی‌داد افق R، عمق خاک، درصد حجمی قطعه‌های درشت‌دانه، پی‌اچ در محلول KCl، و درصد وزنی ذره‌های لای بر مدل‌سازی فرسایش خندقی در منطقه بیش‌ترین است. احتمال روی‌داد افق R رابطه‌ی واژگون با روی‌داد فرسایش خندقی دارد، که نشان‌دهنده‌ی این است که در منطقه‌هایی که احتمال روی‌داد افق R نیست، یا خیلی کم است، فرسایش خندقی بسیار بیش‌تر از منطقه‌های دیگر است. از آن‌جاکه فرسایش خندقی نوعی فرسایش عمقی است، بودن افق R در ژرفا باعث جلوگیری از روی‌داد فرسایش خندقی می‌شود. با افزایش احتمال روی‌داد افق R، احتمال رخداد فرسایش خندقی به‌شبه‌ی نمایی کاهش می‌یابد و در منطقه‌های با بیش از ۵۰٪ احتمال روی‌داد به ۰ می‌رسد.

عمق خاک رابطه‌ی مستقیمی با روی‌داد فرسایش خندقی دارد، و هرچه مقدار عمق خاک بیش‌تر باشد شرایط ایجاد خندق در منطقه بیش‌تر می‌شود. با توجه به یافته‌های نسبت فراوانی، احتمال رخداد فرسایش خندقی در خاک‌های با کم‌تر از $m \ 4/82$ بسیار ناچیز است. با افزایش عمق خاک احتمال رخداد فرسایش خندقی زیاد می‌شود، به‌طوری‌که اگرچه ۲۰٪ منطقه خاک‌هایی با ژرفای بیش از $m \ 76/92$ دارد، بیش از ۷۵٪ خندق‌ها در آن دیده شد، که با یافته‌های جعفری‌گزرین و کاویان (۲۰۰۹) مطابقت دارد.

درصد حجمی ذره‌های درشت‌دانه رابطه‌ی معکوس با روی‌داد فرسایش خندقی دارد، که نشان می‌دهد وجود ذره‌های درشت‌دانه در خاک مانع شسته‌شدن و فرسوده شدن خاک و ایجاد شدن خندق می‌شود. حساسیت خاک‌هایی که کم‌تر از ۱۵٪ حجم آن‌ها ذره‌های درشت‌دانه است به فرسایش خندقی بسیار زیاد است، ولی خاک‌هایی که بیش از ۲۵٪ حجم آن‌ها ذره‌های درشت‌دانه است حساسیت بسیار کمی به فرسایش

خندقی دارد، که با یافته‌های قدوسی و داوری‌راد (۲۰۱۲) و اصغری سراسکانرود (۲۰۱۷) که درشت‌دانه شدن ذره‌ها را باعث کاهش یافتن تراکم خندق‌ها و کاهش یافتن احتمال فرسایش خندقی می‌دانند هم‌آهنگی دارد. یافته‌های نسبت فراوانی نشان‌دهنده‌ی این است که حساسیت به فرسایش رده‌ی درصد ذره‌های درشت کم‌تر از ۱۳٪، بسیار بیش‌تر از چهار رده‌ی دیگر است.

افزایش پی‌اچ اندازه‌گیری شده در محلول KCl نیز باعث افزایش فرسایش خندقی شد. در پژوهش‌های زیادی رابطه‌ی مثبت معنادار بین پی‌اچ خاک با ویژگی‌های گوناگون خندق مانند رسوب‌زایی خندق (یوسفوند و همکاران ۲۰۱۰)، پیش‌روی طولی خندق (سلیمانپور و همکاران ۲۰۱۳)، طول و عرض خندق (حسین‌زاده و همکاران ۲۰۱۶) گزارش شده است، که با یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد. حساسیت خاک‌های قلیایی با پی‌اچ بیش از $6/9$ به فرسایش بسیار زیاد بود، در حالی که حساسیت به فرسایش خاک‌های اسیدی با پی‌اچ کم‌تر از $9/6$ کاهش یافت، که با یافته‌های عابدینی (۲۰۰۹) که حد آستانه‌ی پی‌اچ برای فرسایش خندقی را $5/9$ دانست هم‌آهنگی دارد. یافته‌های نسبت فراوانی نشان می‌دهد که رده‌ی پی‌اچ بیش‌تر از $7/8$ حساسیت بسیار زیاد، و کم‌تر از $6/8$ حساسیت بسیار کمی به فرسایش خندقی دارد.

با افزایش اندازه‌ی ذره‌های لای در خاک ابتدا اندازه‌ی فرسایش خندقی افزایش و سپس کاهش یافت، به‌گونه‌ی که بیش‌ترین حساسیت به فرسایش خندقی در خاک‌هایی بود که ۴۰٪-۶۰٪ لای داشت. یافته‌های این تحقیق با افشاری (۲۰۱۶) که نشان داد هم‌بستگی با روی‌داد فرسایش خندقی با بودن شن و لای مثبت معنی‌دار، و بودن رس واژگون معنی‌دار است هم‌آهنگی دارد. علاوه بر این در پژوهش‌های کریم‌نژاد و همکاران (۲۰۱۹) که از عامل‌های گوناگون خاک‌شناسی و پستی‌بلندی برای تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت به فرسایش خندقی بهره گرفتند، مهم‌ترین عامل خاک‌شناسی درصد ذره‌های لای در خاک بود، که با یافته‌های پژوهش ما هم‌آهنگی دارد. مهرگان و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که بیش‌ترین خندق‌ها در خاک‌های با ۳۰٪ لای مشاهده می‌شود، در حالی که در این تحقیق بیش‌ترین حساسیت در ۴۰٪-۵۰٪ لای بود. یافته‌های نسبت فراوانی نشان داد که با افزایش یافتن لای در خاک، حساسیت به فرسایش خندقی افزایش می‌یابد، و بیش‌ترین حساسیت در رده‌ی ۴۳-۵۹ بود.

به‌طور کلی عامل‌های خاک‌شناسی اثر زیادی بر دیگر عامل‌ها مانند پوشش گیاهی، کاربری زمین، زمین‌شناسی، و شیب زمین دارد. سطح زیر منحنی بیش از ۹۰٪ نشان‌دهنده‌ی این است که داده‌های در دست به‌خوبی توانست امکان روی‌داد فرسایش

که حساسیت آن‌ها به فرسایش خندقی زیاد است دوری کنند.

سپاس‌گزاری

این اثر برگرفته از بخشی از نتایج رساله‌ی دکتری تخصصی با عنوان "ارزیابی کارایی مدل‌سازی داده‌مبنا به‌منظور پیش‌بینی مکانی رخداد فرسایش خندقی تحت شرایط محیطی مختلف" می‌باشد. به این منظور، نویسندگان این مقاله، بر خود فرض می‌دانند از حمایت و همکاری‌های دانشکده‌ی منابع طبیعی دانشگاه تهران و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، نهایت تشکر و سپاس خود را اعلام دارند.

خندقی را در منطقه ارزیابی کند. با این حال، بهره‌گیری از داده‌های خاک‌شناسی (۲۰۲۰) soil Grids به همراه عامل‌های گوناگون سنگ‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی، و اقلیمی ممکن است نقش مؤثرتری در پیش‌بینی فرسایش خندقی منطقه داشته باشد، و باعث افزایش دقت یافته‌های مدل‌سازی شود (ذاکری‌نژاد ۲۰۲۰). تشخیص جاهای مستعد به روی‌داد فرسایش خندقی، اولین گام در مدیریت‌کردن حفاظت خاک و مهار فرسایش خندقی است، و اجرای طرح‌های اجرایی آبخیزداری در منطقه‌های مستعد فرسایش خندقی در منطقه بسیار مهم است. نقشه‌ی توزیع احتمال رخداد فرسایش خندقی به مهندسان راه‌سازی، شهرسازی و مانند آن‌ها کمک می‌کند که پیش از برداشتن هر گام، از منطقه‌هایی

فهرست منابع

- Abedini M. 2009. Quantitative study of hydro geomorphological issues of Likuan Chay Catchment with emphasis on soil erosion and sedimentation (southeast of Ardabil Province). *Geography and Development*, 7 (15):71–88. (In Persian).
- Afshari H. 2016. Investigation of topographic threshold for gully erosion in cold semi-arid climate of Zanjan Province. Thesis of Master Science. Faculty of Natural Resources and Earth Sciences. University of Kashan, 109 p. (In Persian).
- Ansari MR, Soleimani F, Ahmadi AR. 2020. Evaluation zonation of sensitive areas to gully erosion using fuzzy logic (Case study: Ghaleh Gorg Watershed- Shushtar). *Journal of Water and Soil*, 34 (5): 1033–1045. (In Persian).
- Arabameri A, Chen W, Loche M, Zhao X, Li Y, Lombardo L, Bui DT. 2020. Comparison of machine learning models for gully erosion susceptibility mapping. *Geoscience Frontiers*, 11(5): 1609–1620.
- Arabameri A, Asadi Nalivan O, Saha S, Roy J, Pradhan B, Tiefenbacher JP, Thi Ngo PT. 2020. Novel ensemble approaches of machine learning techniques in modeling the gully erosion susceptibility. *Remote Sensing*, 12(11): 1–30.
- Asgari Saraskanroud S. 2017. Analysis off effective factors in the formation and spread of gully erosion. *Geographical Space*. 17 (58): 285–301. (In Persian).
- Azareh A, Rahmati O, Rafiei-Sardooi E, Sankey JB, Lee S, Shahabi H, Ahmad BB. 2019. Modelling gully-erosion susceptibility in a semi-arid region, Iran: Investigation of applicability of certainty factor and maximum entropy models. *Science of the Total Environment*, 655: 684–696.
- Boos DD, Brownie C. 2004. Comparing variances and other measures of dispersion. *Statistical Science*, 19(4): 571-578.
- Chen T, Niu RQ, Li PX, Zhang LP, Du B. 2011. Regional soil erosion risk mapping using RUSLE, GIS, and remote sensing: A case study in Miyun Watershed, North China. *Environmental Earth Sciences*, 63(3): 533–541.
- De Sousa LM, Heuvelink GBM, Batjes NH, Kempen B. 2018. Soil Grids: Using big data solutions and machine learning algorithms for global soil mapping. In *Scientific Symposium FAIR Data Sciences for Green Life Sciences*, pp. 1-1.

- De Sousa LM, Poggio L, Dawes G, Kempen B, Van Den Bosch R. 2020. Computational infrastructure of Soil Grids 2.0. In International Symposium on Environmental Software Systems, Springer, Cham. pp. 24–31.
- Dube F, Nhapi I, Murwira A, Gumindoga W, Goldin J, Mashauri DA. 2014. Potential of weight of evidence modelling for gully erosion hazard assessment in Mbire District–Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 67-69: 145–152.
- Hoseinzadeh MM, Esmacili R, Jouri MH, Pourkalhor S. 2017. Morphometric analysis of gullies relation to physical and chemical properties of soil in Kojoor area of Nowshahr (Mazanderan Province). *Rang and Watershed*, 69 (1):27–38. (In Persian).
- Feiznia S, Teimurian T, Rahmati O. 2018. Modeling of natural hazards (concepts and application of data-mining techniques). *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 278 p. (In Persian).
- Gayen A, Pourghasemi HR, Saha S, Keesstra S, Bai S. 2019. Gully erosion susceptibility assessment and management of hazard-prone areas in India using different machine learning algorithms. *Science of the Total Environment*, 668: 124–138.
- Ghodosi J, Davari M. 2005. The effect of physical and chemical properties of soil on the occurrence of gully erosion and morphology of gullies. *Conference on Erosion and Sedimentation*. Tehran, 7 p. (In Persian).
- Gomez Gutierrez A, Schnabel S, Felicísimo AM. 2009. Modelling the occurrence of gullies in rangelands of southwest Spain. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 34(14): 1894–1902.
- Jafari gorzin B, Kavayan A. 2009. Evaluation of gully erosion in Sorkhabad Watershed of Mazanderan using RS and GIS. *Watershed Management Science & Engineering*, 3 (7): 55–58. (In Persian).
- Lei X, Chen W, Avand M, Janizadeh S, Kariminejad N, Shahabi H, Mosavi A. 2020. GIS-based machine learning algorithms for gully erosion susceptibility mapping in a semi-arid region of Iran. *Remote Sensing*, 12(15). 2478: 1–25.
- Kariminejad N, Hosseinalizadeh M, Pourghasemi HR, Bernatek-Jakiel A, Campetella G, Ownegh M. 2019. Evaluation of factors affecting gully headcut location using summary statistics and the maximum entropy model: Golestan Province, NE Iran. *Science of the Total Environment*, 677: 281–298.
- Mehregan N. 2017. Studying of soils, clay mineralogy diversity, and physicochemical characteristics of some badland with gully erosion. Thesis of Master Science. Ramin Agricultural and Natural Resources University of Khuzestan, 167 p. (In Persian).
- Nazari S, Roostamnia M, Ayoubi SH, Rahmani A, Mousavi SR. 2020. The efficiency of different feature selection methods in digital mapping of subgroup and soil family classes with data mining algorithms. *Water and Soil*, 34 (4): 973–987. (In Persian).
- Pourghasemi HR, Sadhasivam N, Kariminejad N, Collins AL. 2020. Gully erosion spatial modelling: Role of machine learning algorithms in selection of the best controlling factors and modelling process. *Geoscience Frontiers*, 11(6): 2207–2219.
- Rahmati O, Tahmasebipour N, Haghizadeh A, Pourghasemi HR, Feizizadeh B. 2017. Evaluation of different machine learning models for predicting and mapping the susceptibility of gully erosion. *Geomorphology*, 298: 118–137.
- Rahmati O, Tahmasebipour N, Haghizadeh A, Pourghasemi H, Feizizadeh, B. 2019. Assessing the effectiveness of the maximum

- entropy model to gully erosion susceptibility prediction in the Kashkan-Poldokhtar Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 10 (4): 727–738.
- Saber Chenari K. 2017. Gully erosion potential hazard zoning using (Dempster-Shafer, Regression, Frequency Ratio and Risk Factor) statistical methods in the Gharnaveh Watershed, Golestan Province. Ph.D. Dissertation. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 176 p. (In Persian).
- Servati MR, Ghodousi J, Dadkhah M. 2008. Factors effecting initiation and advancement of gully erosion in losses. *Pajouhesh-va-Sazandegi in Natural Resources*, 21 (1): 20–33. (In Persian).
- Shit PK, Bhunia GS, Maiti R. 2014. Morphology and development of selected Badlands in South Bengal (India). *Indian Journal of Geography and Environment*, 13: 161–171.
- Soil Grids. 2020. www.soilgrids.org
- Soleimanpour SM, Soufi M, Ahmadi H. 2010. Investigation of the effect of surface soil properties on the longitudinal expansion of gullies in different climates of Fars Province. *Watershed Management Science & Eengineering*, 7 (22):75–78. (In Persian).
- Soleimani F, Soufi M, Arsham A. 2017. Determination of effective factors in gullies development in Modares Watershed of Shushtar. *Journal of Water and Soil*, 31 (5): 1432–1446. (In Persian).
- Soufi M. 2004. Investigation of morphoclimatic characteristics of ditches in Fars Province. Final Report of the Research Project. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 130 p. (In Persian).
- Yamani M, Zamanzadeh SM, Ahmadi M. 2013. Influence of physical and chemical properties of soil on formation and development of gully erosion (Case study: Kahoor Plain in Fars Province). *Quantitative Geomorphological Research*, 2(2): 135–156. (In Persian).
- Yousefvand S. 2010. Determining effective factors on gully development (Case study: Sifabad Basin of Aleshtar, Lorestan Province). Thesis of Master Science. Faculty of Natural Resources. University of Agriculture and Natural Resources of Sari, 148 p. (In Persian).
- Zakerinejad R. 2020. Evaluation of DEMs to the modeling of the potential of gully erosion using Maxent model (Case study: Semirom Catchment in the south of Isfahan Province, Iran). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 11 (3):106–122.



Watershed Management Research

VOL. 35, No.2, Ser. No: 135, Summer 2022, pp. 2-15

DOI: 10.22092/WMRJ.2021.354647.1415

Research Paper



Determining the Spatial Distribution of Gully Erosion Probability Using the MaxEnt Model

Teimur Teimurian

Ph.D. Candidate, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

Ali Akbar Nazari Samani

(Corresponding Author)* Associate Professor, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

Sadat Feiznia

Professor, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

Khaled Ahmadaali

Assistant Professor, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

Seyed Masoud Soleimanpour

Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Corresponding Author Email: Aknazari@ut.ac.ir

Received: 20 May 2021

Accepted: 20 September 2021

Abstract

Gully erosion is one of the most important types of water erosion, which has a great role in the destruction of land production capacity due to intra-regional and extra-regional effects. Preparing a spatial map of the possibility of gully erosion for better management of land use with the aim of reducing land degradation in areas prone to gully occurrence is very efficient. The distribution of this erosion in Iran and the extent of factors and processes affecting its creation have been a major obstacle in creating a comprehensive model for predicting its occurrence on a large scale. The purpose of this study is to prepare a map of the probability of gully erosion using the machine learning model of maximum entropy in Fars province. In this research, it has been tried to use variables related to terrestrial characteristics, especially soil. According to the results, the area under the ROC curve is above 90%, which shows that the model has been able to evaluate the gully erosion in the study area using the studied data. According to the results of the Jaknaev test, the variables of R horizon probability, soil depth, percentage of coarse grains, pH, and silt particles have the greatest impact on modeling moat erosion in the study area. The spatial distribution map of the occurrence of the gully is a map of land susceptibility to gully erosion. Based on the findings, the highest sensitivity to gully erosion is related to the south of Fars province. The map prepared in this research can be used as a basic map for land management, managers and engineers of urban planning, road construction, natural resources, and agriculture.

Keywords: Fars Province, gully erosion, maximum entropy