



انجمن تخصصی مهندسی آب و خاک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و هفتم، شماره ششم، ۱۳۹۹

۸۵-۱۰۲

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2021.17971.3357

مقاله کامل علمی - پژوهشی

مدل‌سازی عوامل مؤثر بر فرسایش بین‌شیاری در اراضی جنگلی و مرتعی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

*آرزو شریفی^۱، حسین شیرانی^۲، علی‌اصغر بسالت‌پور^۳ و عیسی اسفندیارپور بروجنی^۴

^۱ دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان،

^۲ استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، ^۳ دکتری علوم خاک و استادیار مؤسسه Inter3، برلین، آلمان،

^۴ دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: فرسایش بین‌شیاری از جمله مهم‌ترین شکل‌های فرسایش است که عوامل مختلفی مانند خاک، روان‌آب و بارندگی بر روند و مقدار آن نقش دارند. در ایران در زمینه عوامل مؤثر بر فرسایش بین‌شیاری به وسیله شبکه عصبی مصنوعی مطالعات کمی صورت گرفته و در جبرفت بررسی انجام نشده است؛ بنابراین هدف از انجام این مطالعه، تشخیص عوامل مؤثر بر فرسایش بین‌شیاری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در چهار منطقه مختلف اطراف جبرفت در استان کرمان بود.

مواد و روش‌ها: برای انجام این پژوهش از دو مرتع و دو جنگل، تعداد ۱۰۰ نمونه خاک سطحی (عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر) در قالب یک الگوی نمونه‌برداری تصادفی برداشت شد. تعدادی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک تعیین شدند. مقدار فرسایش بین‌شیاری توسط باران‌ساز مدل کامفورست اندازه‌گیری شد. مدل‌سازی با استفاده از شبکه پرسپترون چند لایه پیش‌خور با روش پس‌انتشار خطا و قاعده آموزشی لوبنرگ مارکوارت و به‌وسیله ۱۱ ویژگی خاک در دو سناریو صورت گرفت. به‌منظور تعیین اهمیت متغیرهای ورودی، آنالیز حساسیت به روش هیل انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در مناطق مورد مطالعه ویژگی‌های رس، سیلت، شن (۲-۰/۰۵ میلی‌متر)، انحراف معیار هندسی و میانگین هندسی قطر ذرات، بیش‌ترین نقش را در فرسایش بین‌شیاری داشته و عوامل سیمانی‌کننده مانند ماده آلی و کربنات کلسیم معادل از اهمیت کم‌تری در این ارتباط برخوردار هستند. بررسی‌ها نشان داد که جنگل حفاظت‌شده (فرق شده) با وجود داشتن شن زیاد و سیلت، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل کم، کم‌ترین مقدار فرسایش را داشت (۲/۶۳ تن بر هکتار). مقدار R^2 در داده‌های آزمون سناریوی یک (متغیرهای ورودی شامل pH، EC، چگالی ظاهری، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل، ماده آلی جزئی، درصد شن، درصد سیلت و درصد رس) ۰/۸۱ به‌دست آمد. هم‌چنین این مقدار در سناریوی دوم (با متغیرهای ورودی pH، EC، چگالی ظاهری، ماده آلی، کربنات

* مسئول مکاتبه: arezoo_sha62@yahoo.com

کلسیم معادل، ماده آلی جزئی، میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف معیار هندسی ذرات خاک) برابر ۰/۷۲ بود. به‌علاوه، مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برای داده‌های آزمون سناریوهای یک و دو، به‌ترتیب ۰/۷۷ و ۱/۱۴ به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: هر چند هر دو سناریو، دقت تقریباً یکسانی در مدل‌سازی فرسایش بین‌شیاری داشتند؛ ولی با توجه به مقدار R^2 و RMSE، سناریوی اول از دقت بالاتری نسبت به سناریوی دوم برخوردار بود. به‌طورکلی نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی قادر است که با استفاده از متغیرهای ورودی مناسب میزان فرسایش بین‌شیاری را با دقت بالایی برآورد کرده و بنابراین در تخمین فرسایش بین‌شیاری مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، باران‌ساز، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، فرسایش خاک، مدل‌سازی

مقدمه

اندازه‌گیری شدت فرسایش خاک در شرایط بارندگی طبیعی، هزینه‌بر و وقت‌گیر است. از این‌رو، استفاده از روش‌های آزمایشی قابل‌کنترل مانند شبیه‌سازی باران و رواناب در مزرعه یا در محیط آزمایشگاه به‌عنوان روش‌هایی مناسب برای پیش‌بینی فرسایش خاک گسترش یافته‌اند (۲۶). کاویان و همکاران (۲۰۱۶) در جنگل‌های شمال ایران با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران مقدار هدررفت خاک را تحت عوامل شن‌ریزی جاده و رد چرخ ماشین‌آلات سنگین چوب‌کشی اندازه گرفتند. نتایج نشان داد که شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک و تخریب خاک در جاده‌های شن‌ریزی شده کم‌تر از جاده‌های بدون شن‌ریزی و در قسمت میانی جاده کم‌تر از بخش رد چرخ بود (۱۹).

پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی روابط فرسایش بین‌شیاری و خصوصیات خاک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و شناسایی شرایط مهم و مؤثر بر این نوع فرسایش در کاربری‌های مرتع دست‌خورده فراش، مرتع دست‌نخورده مرغزار، جنگل حفاظت شده (قرق شده) انار شیطان و جنگل مصنوعی تل‌سیاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

معرفی مناطق مورد مطالعه: منطقه جیرفت در اقلیم خشک و نیمه‌خشک واقع شده که به خاطر داشتن سرزمین حاصلخیز به یکی از مهم‌ترین قطب‌های

فرسایش خاک، یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی جهان است (۲۳). فرسایش بین‌شیاری، یکی از انواع فرسایش است که در آن ذرات خاک جدا شده به‌وسیله قطرات باران می‌توانند توسط جریان‌های کم‌عمق منتقل شوند (۴۰). یکی از مهم‌ترین عوامل در مقدار هدررفت خاک توسط فرسایش بین‌شیاری توزیع اندازه ذرات خاک است که نقش بسیار مهمی در مقدار فرسایش دارد (۲).

امروزه روش‌های زیادی برای ارزیابی و مدل‌سازی فرسایش خاک وجود دارند. از جمله این روش‌ها مدل شبکه عصبی مصنوعی^۱ است (۱۲). مطالعات فراوانی وجود دارند که در آن‌ها از شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور تخمین میزان فرسایش استفاده شده است. زما و همکاران (۲۰۲۰) در یکی از مناطق نیمه‌خشک مدیترانه‌ای (۴۳)، اصلان و همکاران (۲۰۱۹) در ترکیه (۴)، غلامی و همکاران (۲۰۱۸) در یکی از حوزه‌های آبخیز شمال (۱۲) و گل‌محمدی و همکاران (۲۰۱۷) در منطقه دهگلان کردستان (۱۳) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، شدت فرسایش را اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی قادر است شدت فرسایش را در سطح قابل‌قبولی پیش‌بینی کند.

1- Artificial neural network

در فاصله ۸۵ کیلومتری شمال شهرستان جیرفت، مرتع مرغزار با مساحتی برابر با ۵۸۰۲/۵۵ هکتار قرار دارد. اقلیم منطقه سرد و خشک و میانگین بارندگی سالانه آن، ۳۴۶/۴۴ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه این منطقه، ۱۹/۵ درجه سلسیوس است. تیپ گیاهی در دامنه‌ها و تپه‌ماهورهای مرتع مرغزار از نوع گونه‌های درمنه، گون و استپیا (پال اسبی و گیس پیرزن) است. در مقابل، گونه غالب در ارتفاعات این منطقه، بیش‌تر درمنه و گون است (۲۹).

جنگل حفاظت‌شده انار شیطان در ۲۵ کیلومتری شرق شهر جیرفت واقع شده و حدود ۴۰ هکتار وسعت دارد. در واقع انار شیطان، گونه درختی بسیار مهمی است که از لحاظ زیست‌محیطی، بیابان‌زدایی، دارویی و حفاظت از خاک در برابر فرسایش دارای اهمیت است. براساس روش آمبرژه اقلیم منطقه مزبور گرم و نیمه‌معتدل با میانگین بارش سالیانه ۱۸۰ میلی‌متر و دمای سالانه آن بین ۵ تا ۵۰ درجه سلسیوس است (۱).

منطقه تل‌سیاه در پنج کیلومتری شرق جیرفت و با مساحت حدود ۲۵۳۹ هکتار قرار گرفته است. میانگین بارندگی آن با توجه به آمار ایستگاه هواشناسی جیرفت که نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه است، ۱۷۳/۵ میلی‌متر در سال می‌باشد و دمای سالانه آن، بین ۴- تا ۴۹ درجه سلسیوس متغیر است. از سال ۱۳۹۴ سازمان منابع طبیعی استان کرمان اقدام به کشت سه گونه آکاسیا، کنار و کهور ایرانی در این منطقه کرده و آن را به یک جنگل مصنوعی تبدیل نموده است (۲۷).

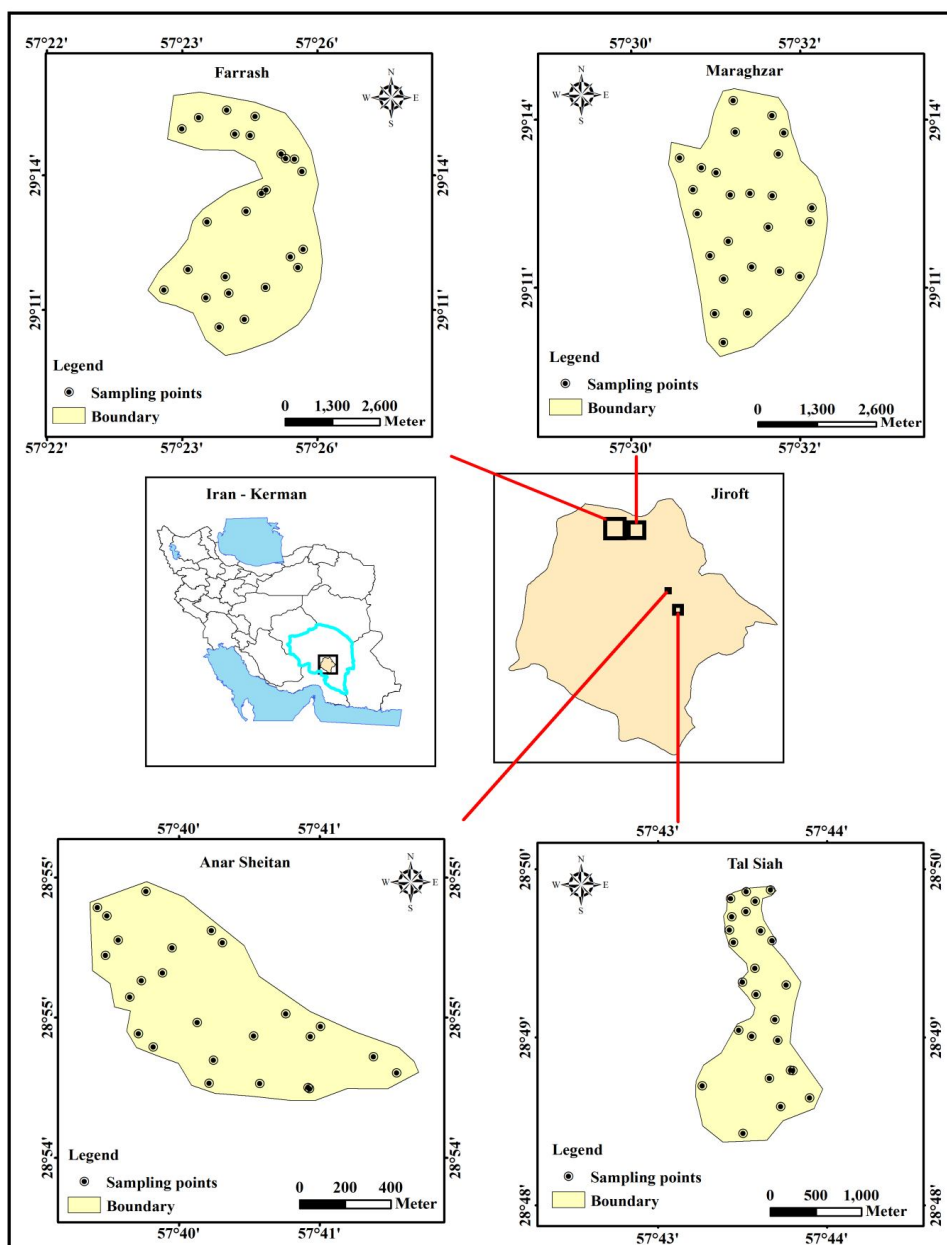
نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها: ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵,۰۰۰ و نقشه‌های کاربری و اجزای واحدهای اراضی (شکل ۲ و جدول ۱)، نقشه واحدهای کاری ایجاد شد. برای هرکدام از مناطق مورد مطالعه، یک الگوی نمونه‌برداری تصادفی با ۲۵ نقطه مشاهداتی در هر منطقه (در مجموع، ۱۰۰ موقعیت نمونه‌برداری) در نظر گرفته شد. سپس با

کشاورزی ایران تبدیل شده است. علاوه بر این، مراتع و جنگل‌های این شهرستان، بخش بزرگی از منابع طبیعی استان کرمان را به خود اختصاص داده است. از آنجاکه بیش‌تر بارندگی‌های این منطقه به‌صورت باران‌های شدید و سیل‌آسا در فصل زمستان و به مقدار کم‌تر در فصل پاییز و بهار رخ می‌دهد، انواع فرسایش در منطقه دیده می‌شود. هم‌چنین، به دلیل چرای بی‌رویه دام، استفاده عشایر از درختان و درختچه‌ها برای گرمایش و پخت‌وپز و خشک‌سالی‌های ایجادشده در سال‌های اخیر، پوشش گیاهی آن کاهش قابل‌ملاحظه‌ای داشته است. کم شدن پوشش گیاهی در این منطقه باعث ایجاد و یا تشدید انواع فرسایش شده است. برای انجام این پژوهش از مرتع دست‌خورده فراش (طول جغرافیایی " ۰° ۲۷' ۵۷ تا " ۱۵' ۳۴' ۵۷° شرقی و عرض جغرافیایی " ۰° ۱۰' ۲۹ تا " ۳۵' ۱۶' ۲۹° شمالی)، مرتع دست‌نخورده مرغزار (طول جغرافیایی " ۰° ۲۷' ۲۸' ۵۷ تا " ۰۶' ۳۴' ۵۷° شرقی و عرض جغرافیایی " ۰۲' ۱۱' ۲۹ تا " ۳۹' ۱۴' ۲۹° شمالی)، جنگل حفاظت‌شده (قرق شده) انار شیطان (طول جغرافیایی " ۰۵' ۴۰' ۵۷ تا " ۵۴' ۴۰' ۵۷° شرقی و عرض جغرافیایی " ۲۹' ۵۴' ۲۸ تا " ۵۸' ۵۴' ۲۸° شمالی) و جنگل مصنوعی تل‌سیاه (طول جغرافیایی " ۰° ۳۴' ۵۷ تا " ۰° ۴۴' ۵۷° شرقی و عرض جغرافیایی " ۰° ۲۷' ۵۲ تا " ۰° ۴۶' ۲۸° شمالی) در اطراف شهرستان جیرفت نمونه‌برداری خاک صورت گرفت (شکل ۱).

مرتع فراش با مساحت ۱۰۹۳۵ هکتار در فاصله ۸۰ کیلومتری شمال شهرستان جیرفت واقع شده است. میانگین بارندگی سالیانه آن، ۳۹۲/۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه آن، ۱۵/۴ درجه سلسیوس است. اقلیم منطقه براساس روش آمبرژه نیمه‌خشک سرد است. وجود هرزآب‌های فراوان، وقوع فرسایش آبی در سطح مرتع را در پی داشته است، ضمن این‌که بهره‌برداری بیش‌ازحد افراد سودجو، باعث تخریب مرتع شده است (۲۸).

بیلچه و از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری برداشته شدند. برای تعیین چگالی ظاهری خاک نمونه‌های دست‌نخورده با استفاده از سیلندرهایی به قطر و ارتفاع پنج سانتی‌متر جمع‌آوری گردید. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و نمونه‌های دست‌خورده هوا خشک شده و برای انجام آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی آماده شدند.

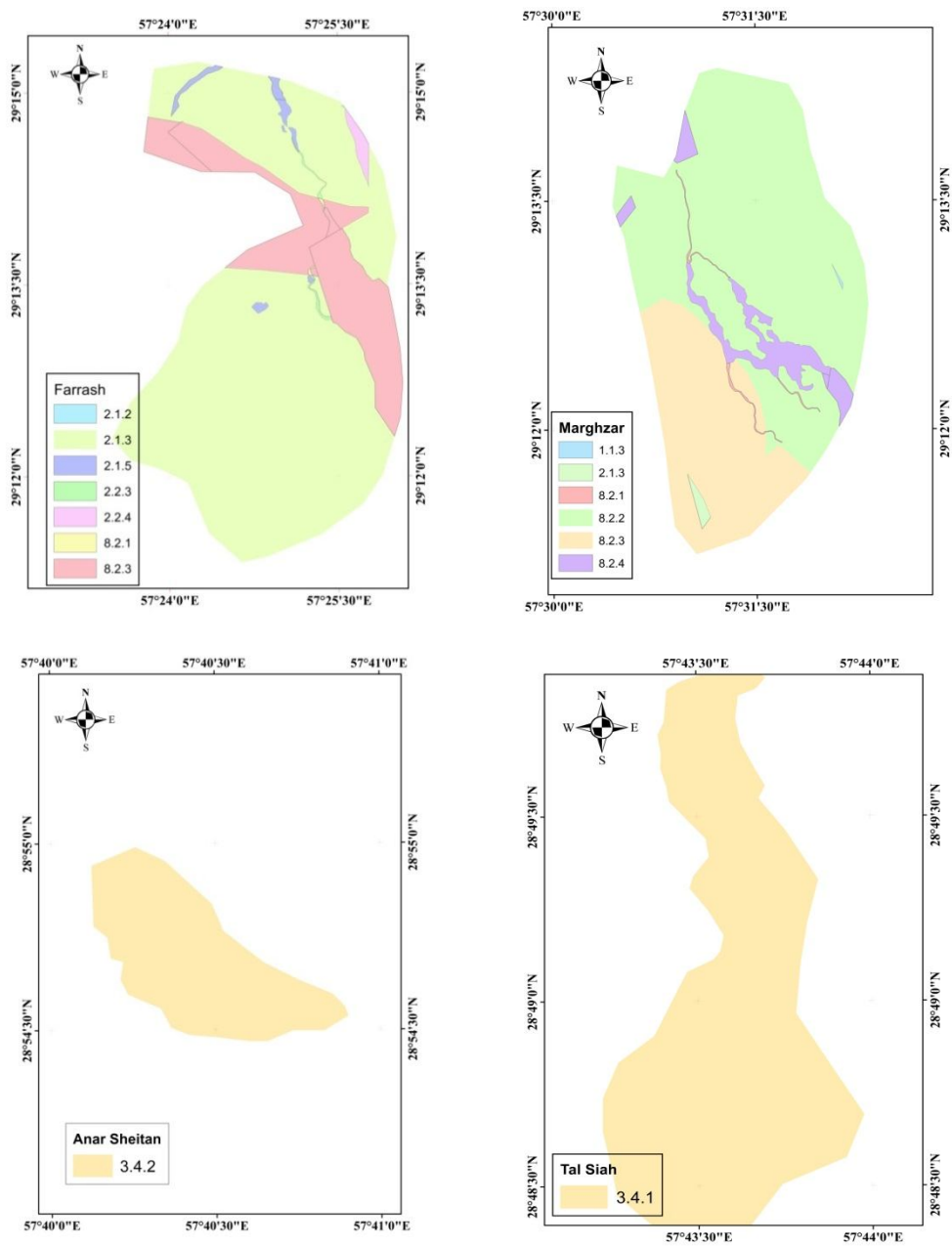
استفاده از سامانه مکان‌یاب جهانی^۱، موقعیت هر کدام از این نقاط در صحرا مکان‌یابی شد (شکل ۱). پس از کنار زدن بقایای آلی روی سطح خاک، از مجاورت نقاطی که در آن‌ها شبیه‌سازی باران انجام شده بود (به قسمت اندازه‌گیری فرسایش بین‌شیاری مراجعه شود)، نمونه‌برداری انجام گرفت. نمونه‌های دست‌خورده با



شکل ۱- موقعیت مناطق چهارگانه مورد مطالعه به همراه نقاط نمونه‌برداری.

Figure 1. Location of the four study areas along with the sampling points.

1- Global positioning system (GPS)



شکل ۲- نقشه اجزای واحدهای اراضی مناطق چهارگانه مورد مطالعه.

Figure 2. Land components maps in four study areas.

جدول ۱- توضیحات اجزای واحدهای اراضی.

Table 1. Description of land unit components.

توضیحات اجزای واحدهای اراضی Description of land components	کد اجزای اراضی Land components
واریزه‌های بادبزنی شکل سنگریزه‌دار با پوشش مرتعی متوسط و عمق خاک خیلی کم تا کم Gravelly colluvial fans with medium rangeland cover and low and very low soil depth	8.2.1
واریزه‌های بادبزنی شکل سنگریزه‌دار با پوشش مرتعی خوب و عمق خاک کم تا متوسط Gravelly colluvial fans with good rangeland cover and low and medium soil depth	8.2.2
واریزه‌های بادبزنی شکل سنگریزه‌دار با پوشش مرتعی خوب و عمق خاک متوسط Gravelly colluvial fans with good rangeland cover and medium soil depth	8.2.3
واریزه‌های بادبزنی شکل سنگریزه‌دار، اراضی کشاورزی و عمق خاک متوسط Gravelly colluvial fans, agricultural lands and medium soil depth	8.2.4
کوهستان با دامنه منظم و پوشش مرتعی، خاک کم عمق Mountains with regular piedmont and rangeland cover, shallow soil depth	1.1.3
فلات‌ها و تراس‌های فوقانی سنگریزه‌دار با پوشش مرتعی ضعیف و عمق خاک کم تا متوسط Plateaux and colluvial upper terrace with weak rangeland cover and low to medium soil depth	3.4.1
فلات‌ها و تراس‌های فوقانی سنگریزه‌دار با پوشش مرتعی ضعیف و عمق خاک متوسط Plateaux and colluvial upper terrace with weak rangeland cover and medium soil depth	3.4.2
تپه ماهور با دامنه منظم و پوشش مرتعی خوب، عمق خاک کم Dissected hills with regular piedmont and good rangeland cover, shallow soil depth	2.1.2
تپه ماهور با دامنه منظم و پوشش مرتعی خوب، عمق خاک کم تا متوسط Dissected hills with regular piedmont and good rangeland cover, medium to low soil depth	2.1.3
تپه ماهور با دامنه منظم و اراضی کشاورزی، عمق خاک خوب Dissected hills with regular piedmont and agricultural lands, shallow soil depth	2.1.5
تپه ماهور با دامنه نامنظم و پوشش مرتعی خوب، عمق خاک خیلی کم تا کم Dissected hills with irregular piedmont and good rangeland cover, very low to low soil depth	2.2.3

اندازه‌گیری شدند. هم‌چنین، چگالی ظاهری با روش استوانه (۶) و در نمونه‌های دست‌نخورده اندازه‌گیری گردید. به‌علاوه، انحراف معیار هندسی ذرات^۳ (σ_g) و میانگین هندسی قطر ذرات^۴ (dg) خاک با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۴ محاسبه شدند (۳۶):

اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک: پس از عبور نمونه‌های هواخشک‌شده از الک دو میلی‌متر، بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۰)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (۳۹)، واکنش خاک (pH) در گل اشباع (۲۴)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (۲۵)، کربنات کلسیم معادل به روش خشتی‌سازی با اسید کلریدریک (۳۸) و ماده آلی ذره‌ای^۱ توسط روش حذف حرارتی^۲ (۷ و ۹)

3- Geometric Standard Deviation

4- Geometric mean Diameter

1- Particulate organic matter (POM)

2- Loss on Ignition (LOI)

$$dg = \exp a \quad (1)$$

$$a = 0.01 \sum_{i=1}^n f_i \ln M_i \quad (2)$$

$$\sigma g = \exp b \quad (3)$$

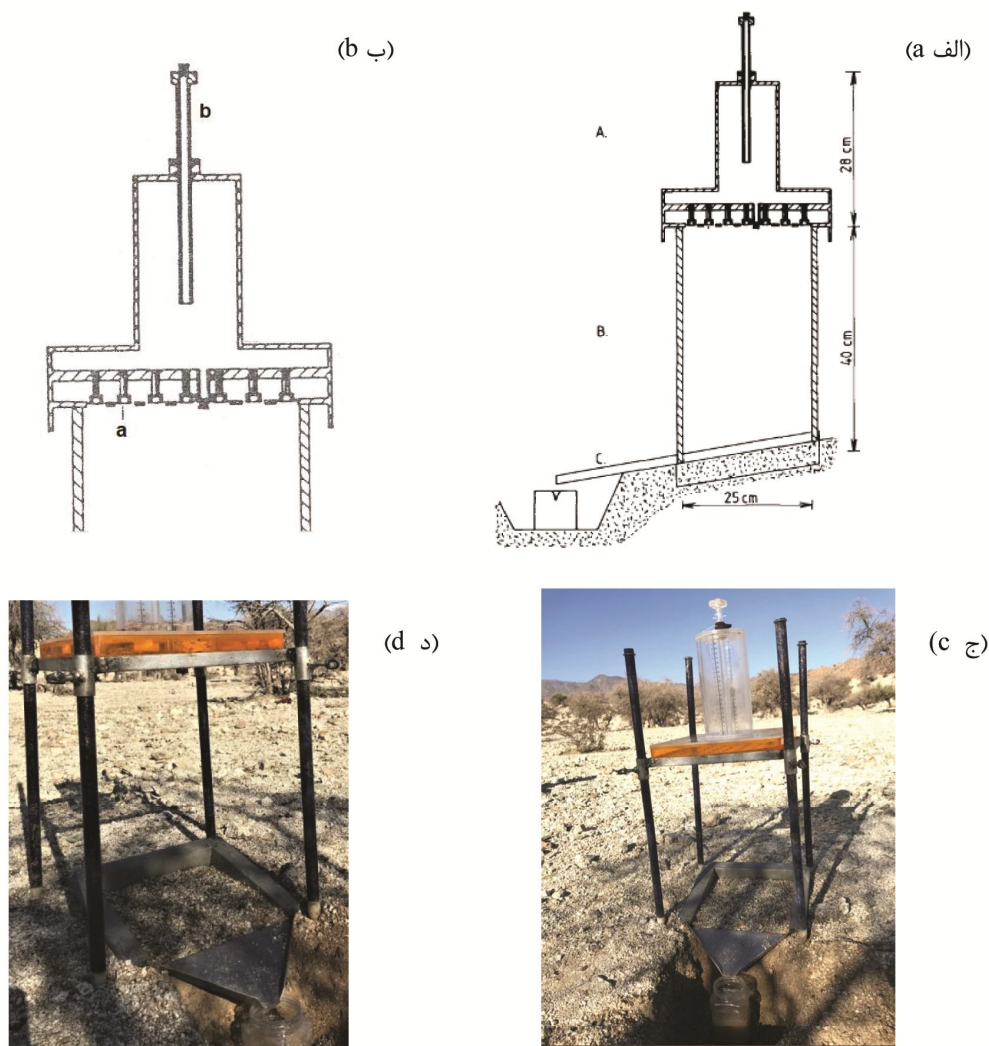
$$b^2 = 0.01 \sum_{i=1}^n f_i \ln^2 M_i - a^2 \quad (4)$$

دستگاه شبیه‌ساز باران مزبور بر روی هر کدام از نقاط نمونه‌برداری در صحرا قرار داده شد. از آنجا که شدت‌های بالای بارش بهتر می‌توانند پاسخ خاک به فرسایش و تولید رواناب را نشان دهند (۱۹)، بنابراین با بررسی آمار دریافتی از اداره هواشناسی جیرفت (برای سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۵۲) و براساس بیش‌ترین شدت بارش‌های رخ داده در منطقه در طولانی‌مدت، بارانی با شدت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت شبیه‌سازی گردید. با توجه به منابع و توصیه به استفاده از آب مقطر به جای آب معمولی، برای جلوگیری از تأثیر املاح آب بر جداسازی ذرات خاک از آب مقطر استفاده گردید (۱۷). سپس غلظت رسوب در هر نمونه رواناب اندازه‌گیری شد (۵).

که در آن‌ها، f_i درصد فراوانی نسبی هر یک از اجزای خاک (شن، سیلت و رس) و M_i میانگین عددی قطر هر جزء است. مقادیر M_i براساس طبقه‌بندی وزارت کشاورزی آمریکا (USDA) برای سه ذره شن، سیلت و رس، به ترتیب، ۱/۰۲۵، ۰/۰۲۶ و ۰/۰۰۱ میلی‌متر در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری فرسایش بین‌شیاری: در این مطالعه برای تعیین حساسیت خاک به فرسایش بین‌شیاری از دستگاه شبیه‌ساز باران مدل کامفورست^۱ که بر مبنای نمونه استاندارد موجود در دانشگاه واخنینگن^۲ طراحی شده است، استفاده شد (شکل ۳ و جدول ۲). این باران‌ساز در اندازه پلات ۰/۰۶۲۵ مترمربع ساخته شده و از آن برای تعیین فرسایش‌پذیری سطحی خاک، میزان نفوذ آب و همچنین پژوهش‌های حفاظت خاک در صحرا به‌عنوان یک روش استاندارد استفاده می‌شود (۱۸). باران‌ساز مورد استفاده از سه قسمت آب‌پاش با تنظیم‌کننده فشار برای تولید بارش استاندارد، پایه آب‌پاش و قاب فلزی که پوشش گیاهی و خاک مورد آزمایش داخل آن قرار می‌گیرد، تشکیل شده است. به‌منظور اندازه‌گیری میزان فرسایش بین‌شیاری،

1- Kamphorst
2- Wageningen



شکل ۳- دستگاه شبیه‌ساز باران مدل کامفورست (شکل الف و ب برگرفته از مقاله کامفورست ۱۹۸۷) الف) اجزای آن، A: آب‌پاش، B: پایه آب‌پاش و C: قاب فلزی ضدزنگ، ب) طرح قسمت آب‌پاش شبیه‌ساز باران، a: نازل‌های باران و b: لوله تهویه، ج) دستگاه شبیه‌ساز باران در عرصه و د) وضعیت سطح در زمان شبیه‌سازی.

Figure 3. Kamphorst rainfall simulator (figures a, b taken from the Kamphorst's paper (1987)) a) its components, A: sprinkler, B: support for sprinkler, C: stainless steel frame, b) design of sprinkler part of rainfall simulator, a: rain capillaries, b: aeration tube, c) rainfall simulator in the field, and d) surface condition in simulating time.

جدول ۲- تعدادی از خصوصیات باران‌ساز مدل کامفورست.

Table 2. Some of Kamphorst rainfall simulator properties.

حجم مخزن آبپاش Capacity of sprinkler reservoir	سطح پلات آزمایشی Surface area of test plot	تعداد لوله‌های موئینه Number of capillary tubes	میانگین ارتفاع ریزش قطرات باران Average fall height of drops	باران‌ساز Rainfall simulator
2300 mL	0.0625 m ²	49	400 mm	

چندلایه پیش‌خور^۱، فرایند مدل‌سازی انجام گرفت. بهترین توپولوژی شبکه عصبی پرسپترون پس از انجام آزمون و خطا به صورت جدول ۳ به دست آمد. در این مدل به طور تصادفی ۷۰ درصد داده‌ها به عنوان داده آموزشی، ۱۵ درصد برای اعتبارسنجی و ۱۵ درصد به عنوان داده آزمون در نظر گرفته شد.

شاخص‌های ارزیابی مدل: ارزیابی میزان کارایی مدل، با استفاده از ضریب تبیین^۲، میانگین خطا^۳ (ME)، جذر میانگین مربعات خطا^۴ و جذر میانگین مربعات خطای نسبی^۵ به صورت زیر انجام شد (۳۵):

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - m)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - m)^2} \quad (5)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (6)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$RMSE\% = \frac{RMSE}{m} \times 100 \quad (8)$$

نشان‌دهنده درست بودن تخمین و مقادیر بیش‌تر از ۷۱ به این معنی است که پیش‌بینی انجام شده دارای عدم قطعیت زیادی است (۱۴). از آنجاکه شاخص اخیر بعد ندارد، بنابراین می‌توان به وسیله آن درستی ویژگی‌های مختلف با تغییرپذیری متفاوت را مقایسه نمود (۳۱).

مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی: به منظور مدل‌سازی فرسایش بین‌شیاری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی از ۱۱ ویژگی خاک در دو سناریو استفاده شد. ورودی‌های سناریوی اول شامل pH، EC، چگالی ظاهری، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل، ماده آلی جزئی، درصد شن، درصد سیلت و درصد رس بودند. در سناریوی دوم به جای اجزای بافت خاک (درصد شن، سیلت و رس)، از میانگین هندسی قطر ذرات (dg) و انحراف معیار هندسی ذرات خاک (σg) استفاده شد. با استفاده از شبکه پرسپترون

که در آن، P_i مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل، O_i مقدار واقعی متغیر هدف و m میانگین مقادیر واقعی است.

به طور کلی، هرچه مقدار R^2 به یک نزدیک‌تر باشد، دقت مدل مورد استفاده بیش‌تر خواهد بود. بهترین مقدار ME صفر است و اگر مقدار آن مثبت باشد، مدل حالت بیش‌برآورد و اگر منفی باشد، حالت کم‌برآورد دارد. هم‌چنین، هرچه قدر RMSE کوچک‌تر و به صفر نزدیک باشد، دقت مدل‌سازی بیش‌تر است. در مورد RMSE% نیز مقادیر کم‌تر از ۴۰

- 1- Feed-forward multilayer perceptron network
- 2- The coefficient of determination, (R-square)
- 3- Mean error (ME)
- 4- Root mean square error (RMSE)
- 5- Percent root mean square error (RMSE%)

جدول ۳- توپولوژی شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده.

Table 3. Artificial neural network topology.

Epochs No.	الگوریتم آموزشی Training algorithm	لایه پنهان Hidden layer	تعداد نرون‌ها در لایه پنهان Neurons no. in the hidden layer	تابع انتقالی در لایه پنهان Transfer function in the hidden layer	تابع انتقالی در لایه خروجی Transfer function in the output layer
500	لونیبرگ-مارکوآرت Levenberg-Marquardt	1	10	سیگموئید تانزانانت Tansigmoid	تابع خطی Linear function

پنج درصد صورت گرفت. به منظور انجام آنالیزهای آماری از طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار با ۲۵ تکرار استفاده شد. همچنین، مدل شبکه عصبی مصنوعی در برنامه متلب (نسخه ۲۰۱۵) اجرا شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های آماری خصوصیات خاک: کم‌ترین و بیش‌ترین ضرایب تغییرات به ترتیب مربوط به pH و میانگین هندسی قطر ذرات بود (جدول ۴). اعداد نشان می‌دهند که غالب خاک‌های بررسی شده آهکی هستند؛ از این جهت که pH بیش‌تر از ۷/۵ دارند. همچنین بافت خاک اغلب مناطق لوم شنی بود، هرچند که در مرتع دست‌خورده بافت لومی و در جنگل حفاظت‌شده بافت شن و شن لومی نیز مشاهده شد (۳۲).

آنالیز حساسیت: آنالیز حساسیت، روشی برای تشخیص اهمیت اثر متغیرهای ورودی مستقل بر متغیر هدف یا وابسته است. به منظور آنالیز حساسیت نتایج مدل، در این پژوهش از روش هیل (۱۵) استفاده شد. بر اساس این روش، یکی از متغیرهای ورودی به مقدار ده درصد تغییر داده می‌شود و سپس اثر این تغییر بر متغیر هدف بررسی می‌گردد. هرچه تغییرات متغیر هدف در اثر تغییر متغیر ورودی بیش‌تر باشد، آن متغیر ورودی حساسیت بیش‌تری داشته و از اهمیت بیش‌تری در مدل‌سازی برخوردار است (۳۴).

تجزیه و تحلیل‌های آماری: توصیف آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۵) بررسی شد. مقایسه میانگین خصوصیات خاک با آزمون LSD در نرم‌افزار SPSS و در سطح

جدول ۴- توصیف آماری ویژگی‌های خاک.

Table 4. Statistical description of soil properties.

ضریب تغییرات CV	انحراف معیار SD	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	واحد Unit	متغیر Variable
0.02	0.166	8.19	8.40	7.80	-	pH
0.30	0.127	4.2	7.6	2.1	dS m ⁻¹	شوری (EC)
0.50	0.158	0.32	0.76	0.14	%	ماده آلی (OM)
0.07	0.111	1.52	1.72	1.30	g cm ⁻³	چگالی ظاهری (BD)
0.27	3.734	13.88	20.9	6.88	%	رس (Clay)
0.35	8.610	24.22	38.0	4.0	%	سیلت (Silt)
0.19	11.700	61.86	89.1	41.1	%	شن (Sand)
0.52	5.210	10.10	19.7	0.75	%	کربنات کلسیم معادل (CCE)
0.43	0.034	0.08	0.17	0.02	%	ماده آلی ذره‌ای (POM)
0.64	0.012	0.18	0.55	0.04	mm	میانگین هندسی قطر ذرات (dg)
0.20	2.380	12.20	15.87	6.44	-	انحراف معیار هندسی ذرات (σg)

را برای تخمین فرسایش بین ۰/۷۰ تا ۰/۹۰ به دست آوردند، مطابقت دارد (۲۱). از نظر مقدار RMSE نیز چون که مقدار داده‌های آزمون سناریوی اول به صفر نزدیک‌تر است، دقت آن بیشتر است. همچنین در این پژوهش، مقادیر مثبت ME نشان‌دهنده حالت بیش‌برآورد و مقدار منفی آن، بیانگر حالت کم‌برآورد در مدل‌سازی هستند. پژوهشگران دیگری نیز کارایی مناسب شبکه‌های عصبی مصنوعی را در برآورد فرسایش بین‌شیاری نشان دادند (۸ و ۳۷). نتایج اعتبارسنجی نشان می‌دهد که مدل به حد کافی معتبر بوده و پدیده بیش‌برآورد صورت نگرفته است.

مدل‌سازی: جدول ۵ کارایی سناریوهای ۱ و ۲ را در پیش‌بینی فرسایش بین‌شیاری از طریق شاخص‌های ارزیابی نشان می‌دهد. در واقع این شاخص‌ها مانند RMSE% نشان می‌دهند که این نوع فرسایش بیش‌ترین تأثیرپذیری را از کدامیک از سناریوها و عوامل آن‌ها دارد. از آن‌جاکه هرچه مقدار R^2 به یک نزدیک‌تر باشد، اعتبار مدل بیش‌تر است؛ با توجه به مقدار R^2 داده‌های آزمون و آموزش سناریوی اول (به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۸۸)، این سناریو از دقت بالاتری نسبت به سناریوی دوم برخوردار است. این نتایج با نتایج لیزنار و نیرینگ (۲۰۰۳) که مقدار ضریب تبیین

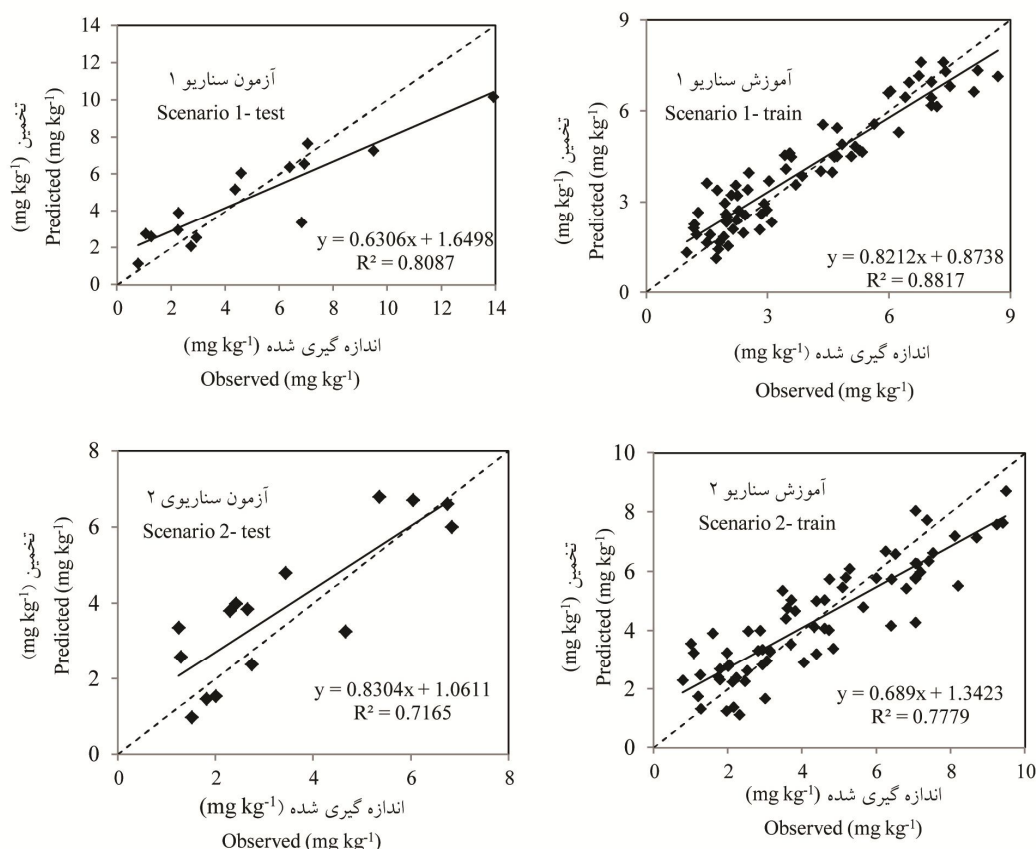
جدول ۵- مقایسه دقت مدل‌سازی در سناریوهای شماره ۱ و ۲ به وسیله شبکه عصبی مصنوعی.

Table 5. Comparison of modeling accuracy in scenarios 1 and 2 by artificial neural network.

مدل Model	ضریب تبیین R^2	میانگین خطا ME	میانگین مربعات خطا RMSE	میانگین مربعات خطای نسبی RMSE%
داده‌های آزمون سناریوی اول ANN test1	0.81	-0.177	0.77	19.8
داده‌های آموزش سناریوی اول ANN train1	0.88	0.141	1.69	34.9
داده‌های آزمون سناریوی دوم ANN test2	0.72	0.024	1.14	26.0
داده‌های آموزش سناریوی دوم ANN train2	0.78	-0.486	1.16	34.3
اعتبارسنجی آزمون سناریوی اول ANN test1 validation	0.78	-0.172	0.70	19.4
اعتبارسنجی آزمون سناریوی دوم ANN test2 validation	0.75	0.029	1.18	26.4

هستند. نتایج هم‌چنین نشان داد که مدل‌سازی در هر دو سناریو، دقت نسبتاً یکسانی داشت؛ هرچند مقدار R^2 در سناریوی اول، کمی بیش‌تر و مقدار خطا نیز اندکی کم‌تر بود.

شکل ۴ ارتباط بین مقادیر فرسایش بین‌شیاری اندازه‌گیری شده و تخمین زده‌شده را نشان می‌دهد. به‌طورکلی، نتایج بیان می‌کنند که مقادیر تخمین زده‌شده، بسیار نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده



شکل ۴- رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده‌شده در سناریوهای مختلف.

Figure 4. Relationship between observed and predicted values in different scenarios.

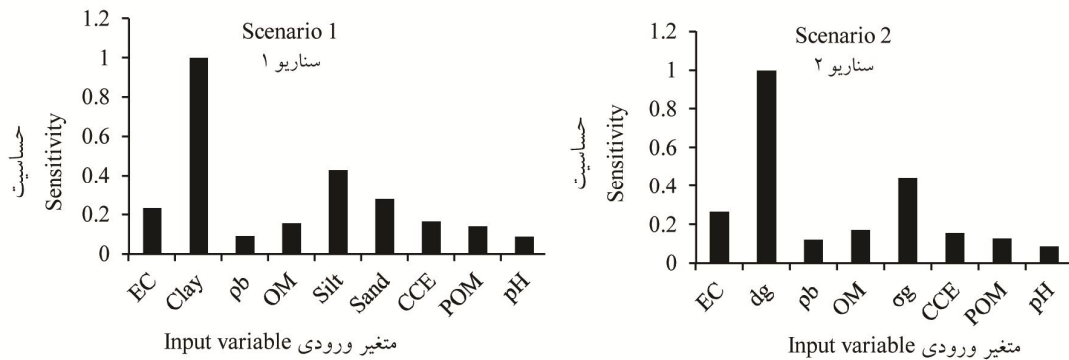
فرسایش بین‌شیاری ایجاد کنند. علاوه بر این، در هر دو سناریو، متغیرهای pH و چگالی ظاهری، کم‌ترین اثر را بر فرسایش بین‌شیاری داشتند؛ زیرا این دو متغیر تغییرپذیری چندانی در منطقه نداشتند (جدول ۴). به‌طورکلی، هرچه تغییرپذیری متغیرهای ورودی برای مدل‌سازی در یک منطقه بیشتر باشد و متغیر هدف را تحت‌تأثیر قرار دهد، اهمیت بیشتری در مدل‌سازی پیدا می‌کند (۳۴).

با توجه به نتایج هر دو سناریو می‌توان دریافت که فرسایش بین‌شیاری عمدتاً تابع توزیع اندازه ذرات خاک است و عوامل سیمانی‌کننده ذرات مانند مقدار ماده آلی، ماده آلی ذره‌ای، درصد کربنات کلسیم معادل و شوری خاک در درجه دوم اهمیت قرار دارند (شکل ۵). له‌بیزونایس (۱۹۹۶) نتیجه گرفت که اثر کربنات

تحلیل حساسیت متغیرهای ورودی مدل: نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد در سناریوی یک، بیش‌ترین تأثیر مربوط به متغیر رس بوده و بعدازآن درصد سیلت بیش‌ترین تأثیر را بر متغیر هدف (فرسایش بین‌شیاری) داشت (شکل ۵). از طرف دیگر در سناریوی دوم نیز مشاهده شد که میانگین هندسی قطر و انحراف معیار هندسی ذرات، دارای بالاترین تأثیر بر خروجی مدل (فرسایش بین‌شیاری) بودند. این دو متغیر که براساس محاسبات اجزای بافت به‌دست می‌آیند، دارای مفهومی گسترده‌تر از اجزای بافت خاک هستند. به این معنی که اجزای بافت خاک فقط درصد نسبی شن، سیلت و رس را نشان می‌دهند. درحالی‌که dg و σg قادرند تغییرات توزیع اندازه ذرات را نشان داده و درنتیجه ارتباط قوی‌تری با

ذرات سیلت باشند. از آنجا که مقدار ماده آلی و ماده آلی ذره‌ای در مناطق مورد مطالعه کم است (۳۲)، تأثیر آن‌ها بر ساختمان خاک و در نتیجه فرسایش بین‌شیاری کم بود.

کلسیم بر پایداری خاکدانه احتمالاً بستگی به توزیع اندازه ذرات کربنات کلسیم و میزان رس دارد (۲۰). حالت مناسب، آن است که رس کافی وجود داشته باشد و ذرات کربنات کلسیم، کوچک‌تر از اندازه



شکل ۵- آنالیز حساسیت متغیرهای ورودی در دو سناریوی مختلف.

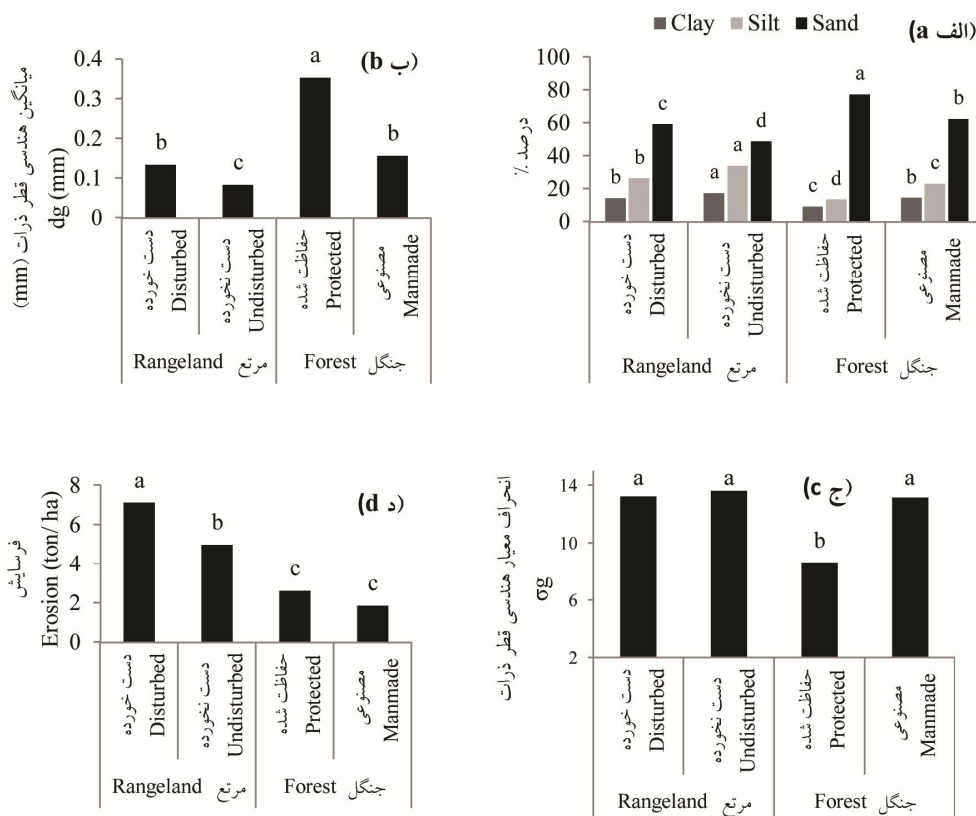
Figure 5. Sensitivity analysis of input variables in two different scenarios.

هندسی و انحراف معیار هندسی قطر ذرات در سناریوی دوم، بیشترین اثر را بر مقدار فرسایش بین‌شیاری داشتند. نتایج نشان داد که جنگل حفاظت‌شده با دارا بودن کم‌ترین مقدار رس و سیلت و بیش‌ترین مقدار شن، مقدار فرسایش بین‌شیاری کمی (۲/۶۳ تن بر هکتار) را نسبت به مراتع داشت (شکل ۶ الف). علاوه بر این، نتایج نشان داد که در این منطقه ذرات دارای بزرگ‌ترین میانگین هندسی قطر و کم‌ترین انحراف معیار هندسی هستند (شکل ۶ ب و ج). از طرف دیگر، مقدار فرسایش بین‌شیاری در مراتع دست‌خورده و دست‌نخورده بیش‌تر از کاربری‌های جنگل بود (شکل ۶ د). بیش‌ترین مقدار سیلت، کم‌ترین درصد شن و کوچک‌ترین میانگین هندسی قطر ذرات در کاربری‌های مراتع مشاهده شد. هم‌چنین انحراف معیار هندسی قطر ذرات هم در این دو کاربری زیاد بود؛ بنابراین می‌توان بیان داشت که درشتی و ریزی ذرات خاک، یکی از مهم‌ترین عوامل در رخداد فرسایش بین‌شیاری است. در همین زمینه

مقدار فرسایش خاک در مناطق مختلف و نقش خصوصیات خاک در آن: نتایج مطالعه شریفی و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد (۳۲) هرچند مرتع دست‌نخورده مقدار ماده آلی، ماده آلی ذره‌ای، کربنات کلسیم معادل و حتی درصد رس بیش‌تری نسبت به سایر مناطق داشت، اما مقدار فرسایش آن، بیش‌تر از کاربری‌های جنگل است و مقدار فرسایش در جنگل حفاظت‌شده و جنگل مصنوعی از سایر کاربری‌ها کم‌تر است (شکل ۶). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شاید وضعیت بهتر و تراکم بیش‌تر پوشش گیاهی و پایداری ساختمانی بیش‌تر این مرتع بتواند در بین دو مرتع مورد مطالعه تعیین‌کننده باشد، اما در مجموع و بین همه کاربری‌ها باید دنبال عوامل مؤثر دیگری بود. به همین منظور و برای تعیین عوامل مؤثر بر فرسایش بین‌شیاری، مدل‌سازی از طریق تعریف دو سناریو صورت گرفت و آنالیز حساسیت انجام شد. نمودارهای آنالیز حساسیت (شکل ۵) نشان داد که توزیع اندازه ذرات در سناریوی اول و میانگین

۳۳، ۱۶ و ۴۱). ذرات سیلت نه آنقدر درشت هستند که انتقال آن‌ها کم باشد و نه آنقدر چسبنده‌اند که جدا شدن آن‌ها مشکل باشد، بنابراین فرسایش‌پذیری خاک را افزایش می‌دهند. از طرف دیگر، کم بودن انحراف معیار هندسی و بزرگ بودن میانگین هندسی قطر ذرات در کاربری جنگل حفاظت‌شده نشان می‌دهد که اغلب ذرات این منطقه، قطری برابر ۰/۳۵ میلی‌متر و در اندازه شن داشته و از درجه بکنواختی بیشتری برخوردار هستند. نظر به این‌که ذرات شن هم برای انتقال درشت هستند و هم سبب افزایش نفوذپذیری خاک شده و آبدوی را کاهش می‌دهند، بنابراین در کاربری جنگل حفاظت‌شده، مقدار فرسایش کم بود.

مطالعات زیادی وجود دارند که به اهمیت توزیع اندازه ذرات در فرسایش پرداخته‌اند (۳ و ۴۱). هرچند که زنگی‌آبادی و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که درصد رس خاک که از عوامل اصلی تعیین ساختمان خاک به شمار می‌رود (۴۲)، تأثیر زیادی بر کاهش مقدار فرسایش خاک داشت؛ اما به نظر می‌رسد که در این پژوهش، اثر شن در کاهش و سیلت در افزایش فرسایش، بیش‌تر از رس است. پژوهشگران مختلف مانند غضنفرپور و همکاران (۲۰۱۱)، شی و همکاران (۲۰۱۲) و حسینی و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که شن خیلی ریز، سیلت و به‌طور کلی ذرات کوچک‌تر از ۵۴ میکرون، فرسایش‌پذیرترین ذرات خاک بوده و در فرایند فرسایش بین‌شیراری منتقل می‌شوند (۱۱).



شکل ۶- الف) درصد رس، شن، سیلت، ب) میانگین هندسی قطر ذرات، ج) انحراف معیار هندسی ذرات و د) فرسایش در کاربری‌ها.

Figure 6. a) clay, sand, silt percentage, b) geometric mean diameter (dg), c) geometric standard deviation of particles (σ_g) and d) erosion in land use types.

طبیعی و محیط‌زیست فاکتورهای مهم و مؤثر بر فرسایش را شناسایی و از طریق کنترل این عوامل در جهت جلوگیری و کاهش فرسایش اقدام می‌نماید. از آنجاکه طبق نتایج این پژوهش اجزای بافت خاک بیش‌ترین تأثیر را بر فرسایش داشتند و از آنجاکه بافت خاک از جمله خصوصیات است که به راحتی قابل تغییر نیست، بنابراین اجرای اقدامات مدیریتی مانند حفظ، نگهداری و تقویت پوشش گیاهی و کنترل ورود دام به مراتع و جنگل‌ها مؤثر خواهد بود.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از نتایج رساله انجام‌شده در دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌های این مقاله از رساله دکتری این جانب آرزو شریفی استخراج گردیده که انجام آن از سال ۱۳۹۵ شروع شده و تا سال ۱۳۹۸ ادامه یافته است. مکان انجام این پژوهش نیز چهار منطقه اطراف شهرستان جیرفت در استان کرمان بود.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه عوامل مؤثر بر فرسایش بین‌شیاری با استفاده از دو سناریوی مدل شبکه عصبی مصنوعی با متغیرهای ورودی مختلف شناسایی شدند. توزیع اندازه ذرات، بیش‌ترین اثر را بر مدل‌سازی و متغیر هدف داشت؛ به طوری که سیلت و شن خیلی ریز، حساس به فرسایش بوده و باعث افزایش فرسایش بین‌شیاری می‌شوند. در مقابل، شن درشت به دلیل سنگینی و رس به دلیل چسبندگی بین ذرات فرسایش بین‌شیاری را کاهش می‌دهند. از میان ویژگی‌های بررسی‌شده در این مطالعه، کربنات کلسیم معادل، ماده آلی و شوری در درجه دوم اهمیت تأثیر بر فرسایش بین‌شیاری قرار داشتند. در مطالعات متعدد، از جمله پژوهش‌های سرکار و میسرا (۲۰۱۸)، لیو و همکاران (۲۰۱۵)، له‌بیزونایس (۱۹۹۶) ثابت شده است که خاک با ساختمان پایدار، کم‌ترین حساسیت را نسبت به فرسایش دارد؛ بنابراین عواملی مانند ماده آلی و کربنات کلسیم معادل از عوامل سیمانی‌کننده بوده و پایداری ساختمان خاک را افزایش می‌دهند (۳۰، ۲۲ و ۲۰). علاوه بر این، افزایش EC نیز باعث کاهش ضخامت لایه دوگانه شده و تشکیل ساختمان خاک را بهبود می‌بخشد. در مجموع نتایج به دست‌آمده از این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی پرسپترون چندلایه قادر است عواملی که بیش‌ترین تأثیر را بر فرسایش بین‌شیاری در منطقه داشتند با دقت بالایی ($R^2 > 0.7$) مشخص کند. با تشخیص این عوامل کارشناسان منابع

منابع

- Amiri, I., Sodaiezade, H., Mosleh Arani, A., Taie Semiromi, J., and Hakimzade, M.A. 2019. Autecology of *Tecomella undulata* (Roxb.) Seem in southern Iran. *J. Forest Pop. Res.* 26: 4. 506-519. (In Persian)
- Armstrong, A., and Quinton, J.N., Heng B.C.P., and Chandler, J.H. 2011. Variability of interrill erosion at low slopes. *Earth Surface Processes and Landforms.* 36: 1. 97-106.
- Asadi, H., Moussavi, A., Ghadiri, H., and Rose, C.W. 2011. Flow-driven soil erosion processes and the size selectivity of sediment. *J. Hydrol.* 406: 1. 73-81.

4. Aslan, Z., Erdemir, G., Feoli, E., Giorgi, F., and Okcu, D. 2019. Effects of Climate Change on Soil Erosion Risk Assessed by Clustering and Artificial Neural Network. *Pure and applied geophysics*. 176: 937-949.
5. Becvar, M. 2006. Sediment load and suspended sediment concentration prediction. *Soil and water research*. 1: 23-31.
6. Blake, G.R., and Hartge, K.H. 1986. Bulk density. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. Agron. Monogr. 9, 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, WI, Pp: 364-367.
7. Calero, N., Barron, V., and Torrent, J. 2008. Water dispersible clay in calcareous soils of southwestern Spain. *Catena*. 74: 22-30.
8. Dhamge, N.R., Atmapoojya, S.L., and Kadu, M.S. 2012. Genetic algorithm driven ANN model for runoff estimation. *Procedia Technology*. 6: 501-508.
9. Fallahzade, J., and Hajabbasi, M.A. 2012. Land use effects on carbohydrate fractions total and particulate organic matter of forest soils in central Zagros Mountains. *J. Appl. Sci*. 12: 4. 387-392.
10. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1996. Particle-size analyses In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analyses. Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, 2nd ed. Agron. Monogr, vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, Pp: 383-411.
11. Ghazanfarpour, N., Moradi, H.R., and Feiznia, S. 2011. Interrill sediment yield and erodibility in parts of Esfahan Segzi-Kuhpayeh rangelands using rainfall simulator. *J. Water Soil Cons*. 17: 4. 199-205. (In Persian)
12. Gholami, V., Booiij, M.J., Nikzad Tehrani, E., and Hadian M.A. 2018. Spatial soil erosion estimation using an artificial neural network (ANN) and field plot data. *Catena*. 163: 210-218.
13. Golmohamadi, F., Nabiollahi, K., Taghizadeh-Mehrjardi, R., and Davari, M. 2017. Digital mapping of soil erodibility (Case study: Dehgolan, Kurdistan province). *J. Water Soil Cons*. 24: 6. 87-103. (In Persian)
14. Hengl, T., Huvelink, G.B.M., and Stein, A. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma*. 120: 1-2. 75-93.
15. Hill, M.C. 2000. Methods and guidelines for effective model calibration. *Building partnerships*, Pp: 1-10.
16. Hosseini, S.M., Mosaedi, A., Naseri, K., and Golkarian, A. 2012. Modeling the effect of Hill slope on features of rill erosion based on incomplete Gamma function in Ahmad-Abad, Mashhad. *J. Water Soil*. 26: 5. 1215-1225. (In Persian)
17. Jordan, A., and Martinez-Zavala, L. 2008. Soil loss and runoff rates on unpaved forest roads in southern Spain after simulated rainfall. *Forest ecology and management*. 255: 913-919.
18. Kamphorst, A. 1987. A small rainfall simulator for the determination of soil erodibility, Netherlands. *J. Agric. Sci*. 35: 407-415.
19. Kavian, A., Safari, A., and Parsakhoo, A. 2016. Comparison of soil loss from experimental plots established in different parts of a forest road. *J. Water Soil Cons*. 23: 3. 25-45.
20. Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European J. Soil Sci*. 47: 4. 425-437.
21. Licznar, P., and Nearing, M.A. 2003. Artificial neural networks of soil erosion and runoff prediction at the plot scale. *Catena*. 51: 2. 89-114.
22. Liu, D., She, D., Yu, S., Shao, G., and Chen, D. 2015. Rainfall intensity and slope gradient effects on sediment losses and splash from a saline-sodic soil under coastal reclamation. *Catena*. 128: 54-62.
23. Liu, G., Xu, W.N., Zhang, Q., and Xia, Zh. 2012. Interrill and Rill Erosion on Hillslope. *Applied Mechanics and Materials*. 170-173: 1344-1347.
24. McLean, E.Q. 1982. Soil pH and lime requirement. In: Page, A.L. Miller, R.H. Keeney, D.R (Eds). *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties*, 2nd Ed Agronomy. 9: 199-224.

25. Roades, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. Method of soil analysis, Part 3: Chemical Methods. Madison. Wisconsin, USA, Pp: 417-436.
26. Robichaud, P.R., Wagenbrenner, J.W., and Brown, R.E. 2010. Rill erosion in natural and disturbed forests: 1. Measurements, Water resources research. 46 W10506: 1-14.
27. Roodab Paydar Consulting Engineers. 2011. Detailed studies of forest resources management plan in Tal Siah area, ministry of Agriculture, Pp: 1-50. (In Persian)
28. Sabznegar Afaq Co. 1999. Farrash rangeland design, ministry of Agriculture. (In Persian)
29. Saman Sabz Ariyan Consulting Engineers. 2008. Marghzar rangeland design, ministry of Agriculture, Pp: 1-60. (In Persian)
30. Sarkar, T., and Mishra, M. 2018. Soil erosion susceptibility mapping with the application of logistic regression and artificial neural network. J. Geovisual. Spat. Anal. 2: 8. <https://doi.org/10.1007/s41651-018-0015-9>.
31. Shahini Shamsabadi, M., Esfandiarpour-Borujeni, I., Mosleh, Z., Shirani, H., and Salehi, M.H. 2019. Error and uncertainty analysis in preparation of thematic maps using artificial neural network and environmental data (A case study: digital soil map of shahrekord plain). J. Geograph. Environ. Plan. 73: 23-36.
32. Sharifi, A., Shirani, H., Besalatpour, A.A., and Esfandiarpour-Borujeni, I. 2020. Effect of forest and pasture land uses on interrill erosion and some of soil physical properties in southern Iran. J. Water Soil. 34: 2. 455-469.
33. Shi, Z.H., Fang, N.F., Wu, F.Z., Wang, L., Yue, B.J., and Wu, G.L. 2012. Soil erosion processes and sediment sorting associated with transport mechanisms on steep slopes. J. Hydrol. 454-455: 123-130.
34. Shirani, H. 2017. Artificial neural networks with an application in agricultural and natural resource science. Vali-E-Asr University of Rafsanjan Press, 320p. (In Persian)
35. Shirani, H., Hosseinifard, S.J., and Hashemipour, H. 2018. Factors affecting cadmium absorbed by pistachio kernel in calcareous soils, southeast of Iran. Science of the total environment. 616-617: 881-888.
36. Shirazi, M.A., and Boersma, L. 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture. Soil Sci. Soc. Amer. J. 48: 142-147.
37. Singh, R.D., Lohani, A.K., and Kumar, R. 2012. Hydrological time series modeling: a comparison between adaptive neuro-fuzzy, neural network and autoregressive techniques. J. Hydrol. 442-443: 23-35.
38. Sparks, D.L. Ed. 1996. Methods of Soil Analysis, Part3. Chemical Methods. SSSA Book Series, vol. 5. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, USA. 1390p.
39. Walkly, A., and Black, I.A. 1934. An examination of digestion methods for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic and titration. Soil Sci. Soc. Amer. J. 37: 29-38.
40. Wang, C., Wang, B., Wang, Y., Wang, Y., and Zhang, W. 2020. Improved interrill erosion prediction by considering the impact of the near-surface hydraulic gradient. Soil and Tillage Research. 203: 104687.
41. Wang, L., and Shi, Z.H. 2015. Size selectivity of eroded sediment associated with soil texture on steep slopes. Soil Sci. Soc. Amer. J. 79: 3. 917-929.
42. Zangiabadi, M., Rangavar, A., Rafahi, H.Gh., Shorafa, M., and Bihamta, M. 2010. Investigation of the most important factors affecting on soil erosion in Kalat semi-arid rangelands. J. Water Soil. 24: 4. 737-744.
43. Zema, D.A., Lucas-Borja, M.E., Fotia, L., Rosaci, D., Sarne, G.M.L., and Zimbone, S.M. 2020. Predicting the hydrological response of a forest after wildfire and soil treatments using an Artificial Neural Network. Computers and Electronics in Agriculture. 170: 105280.



Modelling of the factors affecting interrill erosion in pasture and forest landuses using artificial neural networks

*A. Sharifi¹, H. Shirani², A.A. Besalatpour³ and I. Esfandiarpour-Boroujeni⁴

¹Ph.D. Student of Soil Physics and Conservation, Dept. of Soil Science and Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, ²Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, ³Ph.D. of Soil Science and Assistant Prof., Inter3 Institute for Resource Management, Berlin, Germany, ⁴Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan

Received: 04.30.2020; Accepted: 11.17.2020

Abstract

Background and Objectives: Interrill erosion is one of the most important types of erosion, in which various factors such as soil, runoff, and rainfall influence its process and rate. Few studies have been conducted using artificial neural networks (ANNs) to determine the factors affecting interrill erosion in Iran. Furthermore, no research has been carried out in Jiroft on this matter. Therefore, this study was conducted to evaluate the factors influencing interrill erosion using ANNs in four different regions around Jiroft in Kerman province.

Materials and Methods: For this research, 100 soil samples were collected from two pastures and two forest land uses at depths of 0-10 cm using a random sampling method. Some physical and chemical properties were determined. The amount of interrill erosion was measured using Kamphorst rainfall simulator. Modelling was performed using feedforward multi-layer perceptrons (MLP) with the error backpropagation and Levenberg-Marquardt training algorithm along with 11 soil characteristics in two scenarios. Hill sensitivity analysis was used to investigate the significance of the input variables.

Results: The results revealed that in the study areas, clay, silt, sand (0.05-2 mm), geometric standard deviation (σ_g), and geometric mean diameter (dg) of particles play a crucial role in interrill erosion while cementing agents such as organic matter (OM) and calcium carbonate equivalent (CCE) were less important. According to the results, the protected forest with high contents of sand as well as low amounts of silt, organic matter and calcium carbonate equivalent showed the lowest erosion rate (2.63 tons/ha). The R^2 values for the test datasets in the scenario 1 (with input variables including soil acidity (pH), electrical conductivity (EC), bulk density (BD), organic matter, calcium carbonate equivalent, particulate organic matter (POM), sand, silt, and clay) were 0.81. Whereas the R^2 values in the scenario 2 (with input variables such as pH, EC, BD, OM, CCE, POM, the dg and σ_g) were 0.72. In addition, root-mean-square error (RMSE) for the testing dataset in scenarios 1 and 2 were 0.77 and 1.14, respectively.

Conclusion: Both scenarios had almost the same accuracy in interrill erosion modeling. However, according to the values of R^2 and RMSE of the data in scenario 1, this scenario showed better accuracy than scenario 2. In general, the results showed that the ANNs can estimate the amount of interrill erosion using appropriate input variables with high accuracy, and therefore it might be considered as a useful technique to estimate interrill erosion.

Keywords: Modelling, Multi-layer perceptrons neural network, Rainfall simulator, Sensitivity analysis, Soil Erosion

* Corresponding Author; Email: arezoo_sha62@yahoo.com