

پیش‌بینی خردشدگی خاک در اثر چرای دام با استفاده از سامانه استنتاج فازی - عصبی (ANFIS)

- ❖ ژایلا قربانی*؛ کارشناس ارشد مرتعداری، دانش‌آموخته دانشگاه محقق اردبیلی.
- ❖ کیومرث سفیدی؛ دانشیار گروه جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.
- ❖ فرشاد کیوان بهجو؛ دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.
- ❖ مهدی معمری؛ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.
- ❖ علی اشرف سلطانی طولارود؛ استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

چکیده

متداول‌ترین راه جهت اندازه‌گیری میزان خردشدگی خاک، تعیین میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها (MWD) است. در این پژوهش، از سامانه استنتاج فازی - عصبی (انفیس) به منظور پیش‌بینی میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها در اثر شدت‌های مختلف چرای دام، فاصله از روستا و عمق نمونه‌برداری استفاده گردید. این مطالعه در سال ۱۳۹۴ در سه روستای معرف همجوار (آلوارس، آلداشین و اسب مرز) در حوزه آبخیز درویش‌چای استان اردبیل اجرا شد. پارامترهای مورد مطالعه شامل شدت‌های مختلف چرای دام در سه سطح (شدت چرای کم، متوسط و زیاد)، فاصله از روستا در سه سطح (۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ متری) و عمق نمونه‌برداری در دو سطح (۱۵- و ۳۰- سانتی‌متر) بود. داده‌های به‌دست آمده به نرم افزار متلب (MATLAB) برای ایجاد مدل‌های انفیس منتقل شد. برای ارزیابی مدل‌های انفیس از میانگین مربعات خطا (MSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده گردید. نتایج بهترین مدل انفیس با نتایج مدل رگرسیونی مقایسه گردید. نتایج نشان داد که شدت‌های مختلف چرای دام، فاصله از روستا و عمق نمونه‌برداری و ترکیبات مختلف آن‌ها اثر معنی‌داری بر خردشدگی خاک دارند. با افزایش شدت چرای دام، خردشدگی خاک بیشتر شد. با افزایش فاصله از روستا از ۲۰۰ به ۴۰۰ متر، خردشدگی خاک کاهش و با بیشتر شدن فاصله، خردشدگی افزایش یافت (که این امر می‌تواند به خاطر تردد بیشتر دام در فواصل نزدیک و به خاطر سنگلاخی بودن و یا ویژگی‌های فیزیکی خاک در فواصل دور باشد). خردشدگی خاک در تمامی حالات در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر بیشتر از عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر بود. به علاوه، مدل انفیس با دقت بالاتری ($R^2=0/96$) نسبت به مدل رگرسیونی ($R^2=0/76$)، خردشدگی خاک را پیش‌بینی نمود.

کلید واژگان: شدت چرای دام، خردشدگی خاک، میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها، هوش مصنوعی، ANFIS

۱. مقدمه

خاک، قشر طبیعی و پویایی از سطح زمین است که به عنوان مؤلفه مهم اکوسامانه‌های مرتعی با تأمین نیازهای غذایی و حمایت مکانیکی گیاهان، زمینه را برای رشد آن‌ها فراهم می‌سازد و جزء منابع طبیعی دیر تجدیدشونده است [۲]. چرای شدید دام از اصلی‌ترین دلایل تخریب خاک و پوشش گیاهی در اکوسامانه‌های مرتعی می‌باشد [۲۸]. خاک ثبات بیشتری نسبت به پوشش گیاهی داشته و معمولاً بعد از آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد، بنابراین می‌توان امیدوار بود در صورتی که در مراحل اولیه تخریب جلوی این روند گرفته شود، با سهولت بیشتری بتوان به احیاء پوشش گیاهی با صرف کمترین هزینه و زمان اقدام نمود [۲۰]. از طرفی بررسی و شناخت نوع و مقدار تأثیر چرای ترکیب و تولید پوشش گیاهی و خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، ما را در جهت مدیریت علمی و اصولی مراتع سوق خواهد داد [۱۴]. در نتیجه، تغییر پذیری خواص فیزیکی و شیمیایی خاک بر اثر شدت‌های مختلف چرای دام باید در مدیریت و حفظ خاک و پوشش گیاهی مراتع مورد توجه ویژه قرار گیرد. حالت فیزیکی خاک نقش مهمی در رویش بذر، رشد و توسعه ریشه گیاه و تولید محصول دارد [۳]. یک بستر بذر خوب عموماً به خاکی نسبت داده می‌شود که در اطراف بذر، نرم‌تر و تثبیت شده‌تر باشد [۱۳]. ایجاد ساختمان مناسب برای خاک به منظور رشد گیاه از اهمیت زیادی برخوردار است و یکی از مشخصه‌های اصلی ساختمان خاک، اندازه خاک‌دانه‌ها می‌باشد. شرایط حاکم بر اکوسامانه‌های مرتعی از قبیل تنوع گونه‌ای گراس‌ها، سن پایه‌های گیاهی و شدت چرای خاک‌دانه‌ها و بافت خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۷]. لذا افزایش دقت در تحلیل این پارامتر مورد توجه بسیاری از محققین بخش کشاورزی است. اصولاً ساختمان دانه‌دانه خاک که موجب نفوذ سریع آب و حفظ و نگهداری صحیح آن، افزایش گنجایش هوا و تسهیل

تهویه خاک و تقلیل مقاومت آن در مقابل ریشه‌دوانی شود، مدنظر محققین و زارعین است [۱۸]. مطالعه‌ای در خصوص اثر شدت چرای بر روی مشخصه‌های پوشش گیاهی همچون خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک صورت گرفته و نتایج حاکی از آن بوده که با افزایش شدت چرای مقدار رس، منیزیم، اسیدیت و میانگین قطر وزنی خاکدانه کاسته شده است ولی بر مقدار ماده آلی، هدایت الکتریکی، پتاسیم، فسفر، کلسیم، آهن، سیلت و شن افزوده شده است. بر اساس نتایج این تحقیق، چارچوب گرادیان چرای، مناسب ارزیابی تخریب مراتع مغان می‌باشد. همچنین به منظور مدیریت اصولی مراتع مغان چرای متوسط توصیه شده است [۹].

در گذشته، از مدل‌های ریاضی برای یافتن روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌های یک فرآیند استفاده می‌شد. اما امروزه اثبات شده است که در بسیاری از کاربردها، روش منطق فازی (Fuzzy Logic) به عنوان یکی از راه‌حل‌های تحقق اهداف هوش مصنوعی (Artificial Intelligence) نسبت به چارچوب‌های ریاضی کلاسیک برتری دارد. به عنوان مثال، در پژوهشی [۱۸]، یک مدل بر اساس رویکرد اصول مدل‌سازی فازی برای پیش‌بینی میزان شل‌شدگی خاک و راندمان کششی در خاک‌ورزی ایجاد شده و با مدل رگرسیون مقایسه گردید. نتایج نشان داد که میانگین خطای نسبی در مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده در مدل فازی بسیار کمتر از مدل رگرسیونی است. شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network)، دیگر روشی است که در کشف روابط غیرخطی میان داده‌های ورودی و استخراج مدل دینامیک غیرخطی حاکم بر داده، توانایی قابل ملاحظه‌ای دارد. در بسیاری از پژوهشات انجام شده، برتری مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل رگرسیونی کلاسیک گزارش شده است [۲۵]. در چند سال اخیر، سامانه قدرتمند استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی موسوم به انفیس (ANFIS) در علوم

می‌باشند [۵]. بنابراین هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی میزان خردشدگی خاک مراتع تحت تأثیر شدت‌های مختلف چرا، عمق نمونه‌برداری و فاصله از روستا همچنین توسعه مدل انفیس و ارزیابی قابلیت آن برای پیش‌بینی (با استفاده از سطوح شکل‌های خروجی در مدل‌های انفیس می‌توان خروجی مدل را برای یک ورودی خاص (غیر از ورودی‌های اندازه‌گیری شده) محاسبه کرد) میزان خردشدگی خاک مراتع تحت شدت‌های مختلف چرای دام و مقایسه آن با مدل رگرسیونی می‌باشد.

۲. روش شناسی

۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال غربی ایران در دامنه‌های جنوب شرقی سبلان واقع شده است. به‌منظور تعیین محدوده مورد مطالعه، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ نقشه مدل رقومی ارتفاع، طبقات ارتفاعی، شیب و جهات جغرافیایی با استفاده از نرم افزار ArcGIS10 تهیه شد. سپس روستاهای آوارس، آلداشین و اسب مرز در حوزه درویش‌چای با بازدید میدانی به علت تیپ گیاهی (که در سه روستا یکسان باشد)، توپوگرافی، شیب، ارتفاع، نوع خاک، دما و میزان بارندگی یکسان و شدت چرای متفاوت (به ترتیب، کم، متوسط و زیاد)، انتخاب شدند. حوزه مورد مطالعه بین " ۲۲' ۴۸" تا " ۲۲' ۰۸" ۴۸° طول شرقی و " ۰۷' ۰۶" ۳۸° تا " ۴۴' ۱۵" ۳۸° عرض شمالی واقع شده است. میانگین بارش سالانه در این روستاها حدود ۴۵۰ تا ۴۸۰ میلی‌متر می‌باشد و متوسط دمای ماهانه حدود ۶/۵ تا ۷/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بر اساس اقلیم دومارتن، این روستاها دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد بوده و در تقسیم‌بندی مناطق زیست اقلیمی ایران جزء منطقه نیمه‌استپی سرد می‌باشند. منطقه مورد مطالعه دارای پوشش گیاهی متنوع شامل بوته‌ای‌ها، پهن برگان علفی و گندمیان بود. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

مختلف به کار برده می‌شود. انفیس با بهره‌گیری از قدرت آموزش شبکه‌های عصبی و مزیت زبانی سامانه‌های فازی توانسته در تحلیل فرآیندهای بسیار پیچیده غیرخطی به نحو احسن عمل کند. اولین بار، [۱۲] توانست از قدرت زبانی سامانه‌های فازی و آموزش شبکه‌های عصبی استفاده نماید و سامانه‌ای تحت عنوان سامانه‌های فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی یا انفیس را ارائه نماید. مدل‌سازی انفیس در بسیاری از پژوهشات کشاورزی و معدودی از پژوهشات مرتبط با محیط زیست به کار برده شده است. به عنوان مثال، در مطالعاتی [۲، ۸، ۱۶، ۱۷، ۲۲، ۲۳ و ۲۷] از انفیس به ترتیب برای پیش‌بینی بارش سالانه، پیش‌بینی فرسایش خاک و میزان محصول برداشت شده، توصیف رشد ریشه گیاهان، پیش‌بینی عملکرد محصول گندم، و پیش‌بینی میزان خردشدگی خاک طی عملیات خاک‌ورزی استفاده گردید. به علاوه، پژوهشات متعددی به‌منظور پیش‌بینی عوامل مؤثر بر ویژگی‌های خاک توسط هوش مصنوعی انجام شده است. در پژوهشی [۲۳] فاکتورهای مربوط به ویژگی‌های خاک، اقلیم و هندسه زمین بر روی ذخیره کربن خاک در کاربری‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با قدرت برآورد بالایی، قادر به توضیح ۷۶ درصد از تغییرات کربن آلی خاک است. در مطالعه دیگری [۲۱] به بررسی کاربرد مقایسه‌های رگرسیون خطی چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی برای شبیه‌سازی اثرات عوامل توپوگرافی بر تغییرات کربن آلی خاک در مراتع کرمانشاه پرداخته شد. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی نسبت به روش رگرسیون خطی چندگانه دارای دقت و صحت بالاتری است. به علاوه عامل ارتفاع در تغییرات ذخایر کربن آلی خاک، بیشترین سهم را داشت.

متداول‌ترین راه جهت نشان دادن وضعیت پایداری خاک‌دانه‌ها (خردشدگی خاک)، تعیین میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها (MWD) است. خاک‌دانه‌ها، کلید حفظ پایداری ساختمان خاک و عاملی مؤثر در کنترل فرسایش

$$MWD = \sum (W_i \times D_i) / W_t \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن:

MWD: میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها (mm)،
 W_i : وزن خاک باقیمانده بر روی الک مورد نظر (gr)،
 W_t : وزن کل خاک خرد شده در هر نمونه مورد آزمایش
 (gr) و D_i : قطر خاک دانه‌ها (اندازه روزه الک) (mm)

۳.۲. تجزیه و تحلیل‌های آماری

نتایج آزمایشگاهی به نرم‌افزار SPSS₁₆ انتقال یافت. نرم‌ال بودن داده‌ها با آزمون کلموگروف - اسمیرنوف بررسی شد. همچنین همگن بودن داده‌ها با استفاده از مقادیر واریانس داده‌ها تحت آزمون همگنی واریانس لون مورد بررسی قرار گرفت. از آنجا که داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کردند، آمار پارامتریک جهت آنالیز آماری استفاده شد. جهت مشخص شدن اثر کلی چرا بر تمامی پارامترهای سه منطقه با شدت‌های چرای متفاوت و عمق‌های مورد مطالعه (تغییرات کلی کیفیت خاک) از آنالیز تجزیه واریانس چند متغیره استفاده گردید. مقایسه میانگین پارامترهای تحت بررسی در مناطق سه‌گانه به همراه دو عمق مشخص خاک با استفاده از آزمون توکی صورت گرفت ($P < 0.01$). همچنین جهت مقایسه ویژگی‌های خاک در عمق‌های اول و دوم در هر منطقه از آزمون t جفتی استفاده شد.

۴.۲. آماده‌سازی داده‌ها به منظور مدل‌سازی

توسط ANFIS

تعداد کل داده‌های به دست آمده ۵۴ عدد بود که از این تعداد، ۴۵ داده برای مرحله آموزش (Training) انفیس برای ساخت مدل غیرخطی حاکم و ۹ داده برای مرحله آزمون (Testing) مدل انفیس مورد استفاده قرار گرفت. برای افزایش دقت و سرعت عملکرد مدل‌ها، داده‌های نرمال به دست آمده طبق رابطه زیر نرمال سازی مجدد شدند [۲۶]:

۲.۲. تعیین شاخص‌های اندازه‌گیری و

نمونه‌برداری از خاک

به منظور اندازه‌گیری خواص فیزیکی خاک، در هر روستا، ۶ نمونه خاک مرکب از عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری شامل سه نمونه خاک مرکب در هر عمق در طول ترانسکت ۶۰۰ متری تهیه شد (در ارتباط با اندازه ۶۰۰ متر اضافه می‌گردد با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه و شرایط رویشگاهی و در نظر گرفتن فاصله کانون بحرانی از روستا این متر از انتخاب شد). نمونه‌های دست نخورده جهت حفظ ساختمان و دانه‌بندی خاک با رعایت احتیاط لازم به آزمایشگاه گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه محقق اردبیلی منتقل شد. محل نمونه‌برداری از خاک در وسط پلات‌های یک مترمربعی که به صورت تصادفی - سیستماتیک در طول ترانسکت‌های ۶۰۰ متری قرار داده شدند (در ارتباط با اندازه ۶۰۰ متر با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه و شرایط رویشگاهی و در نظر گرفتن فاصله کانون بحرانی از روستا این انتخاب انجام شد. تعداد ترانسکت هم در این کار یکی بوده و فاصله بین آن‌ها معنی ندارد)، تعیین و اجرا شد.

نمونه‌های مرکب به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه، هواخشک و سپس کوبیده و پس از عبور دادن از الک ۲ میلی‌متری در داخل ظروف پلاستیکی مخصوص حاوی برچسب نمونه نگهداری گردید. پس از آن، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) به روش الک و تکانه (شیکر) [۷]، تعیین شد. الک‌های به کار گرفته شده در این پژوهش دارای اندازه مش (قطر حفره) ۱۰، ۴، ۲/۳۶، ۱/۴، ۱، ۰/۵ و ۰/۱۸ میلی‌متر بودند. خاک باقی‌مانده بر روی هر الک نیز به وسیله یک ترازو با دقت ۰/۱ گرم توزین شد.

برای اندازه‌گیری میزان خردشدگی خاک، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها طبق رابطه (۱) استخراج شد [۱].

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - P_i)^2 \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^N (P_i - P_z)(Q_i - Q_z)]^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - P_z)^2 \sum_{i=1}^N (Q_i - Q_z)^2} \quad (\text{رابطه ۴})$$

در روابط فوق، N تعداد نمونه، P_i مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل، Q_i مقادیر واقعی، P_z میانگین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل، Q_z میانگین مقادیر واقعی می‌باشد [۱۱].

۳. نتایج

۳.۱. نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری

۳.۱.۱. تجزیه واریانس پارامترهای تحت بررسی

نتایج مربوط تجزیه واریانس پارامترهای تحت بررسی مؤثر بر خرد شدگی خاک در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس پارامترهای مؤثر بر خردشدگی خاک

F	معنی‌داری	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییرات
**۹/۱۲	۰/۰۱	۰/۰۰۱۶	۲	۰/۰۰۳۲	شدت چرا
**۸/۸۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۱	عمق
*۳/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۲	۲	۰/۰۴	فاصله از روستا
**۱۲۴/۹	۰/۰۰	۰/۰۰۵	۲	۰/۰۱	شدت چرا × عمق
**۱/۲۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۴	۰/۰۰۸	شدت چرا × فاصله
**۵/۶۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۲	۰/۰۰۲	عمق × فاصله
**۶/۴۸	۰/۰۰	۰/۰۰۱۱	۴	۰/۰۰۴۴	شدت چرا × عمق × فاصله
			۰	۰/۰۰۰	خطا
			۱۷	۰/۰۵۸۷	کل

** - معنی‌داری در سطح یک درصد

* - معنی‌داری در سطح پنج درصد

$$X_{norm} = (X - X_{min}) / (X_{max} - X_{min}) \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن: X_{norm} مقادیر نرمال شده، X مقدار مشاهده شده، X_{min} و X_{max} به ترتیب مقادیر بیشینه و کمینه داده‌های مشاهده شده است. مدل انفیس با دو ورودی شدت چرا و عمق‌های مختلف و خروجی میانگین وزنی قطر خاک‌دا نه‌ها در نرم‌افزار MATLAB R2013a (Version 8.1.0.604) و در قسمت ANFIS edit ایجاد شد.

۱.۴.۲. ارزیابی عملکرد مدل‌های ANFIS

مدل‌های مختلفی توسط انفیس با تغییر تعداد ورودی‌های توابع عضویت ایجاد می‌گردد. به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها از پارامترهای میانگین مربعات خطا (MSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده و بهترین مدل تعیین شد.

۲.۱.۳. مقایسه میانگین

مقایسه میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها در شدت‌های چرای و عمق‌های تحت بررسی در جدول (۲) ارائه شده

همان‌گونه که از جدول فوق ملاحظه می‌گردد، پارامترهای شدت چرا، عمق و فاصله از روستا و ترکیبات مختلف آن‌ها اثر معنی‌داری بر میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها دارد ($P < 0.05$).

مختلف، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها دارای اختلاف معنی‌داری بود ($P < 0.05$).

است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که اثر شدت‌های مختلف چرا بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در دو عمق تحت بررسی معنی‌دار نبود. اما بین مناطق با شدت چرا

جدول ۲. مقایسه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در شدت‌های چرای و عمق‌های مختلف

معنی‌داری	آماره t	۱۵-۳۰ سانتی‌متر		۱۵-۰ سانتی‌متر		شاخص	شدت چرا
		انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین		
ns./۱۳۶	-۲/۴۲۹	۰/۰۶۲	۰/۵۵۷	۰/۰۶۸	۰/۵۲۹	میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD)	(الوارس) کم
ns./۱۱۹	-۲/۶۳۹	۰/۰۱۷	۰/۴۷۱	۰/۰۲۶	۰/۴۴۷		(آلداشین) متوسط
ns./۲۰۲	-۱/۸۷۴	۰/۰۱۷	۰/۴۲۸	۰/۰۰۱	۰/۴۱۱		(اسب مرز) زیاد

ns عدم معنی‌دار

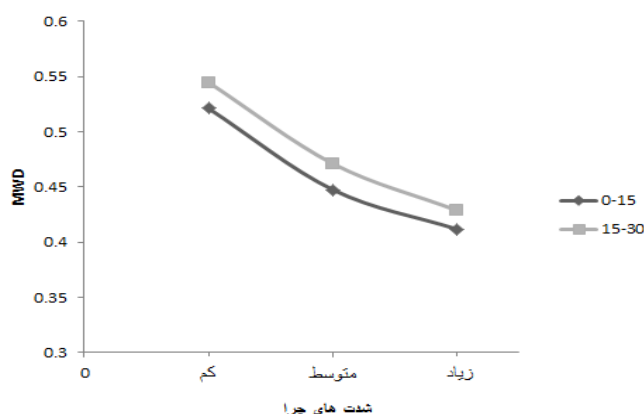
خاکدانه‌ها را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که هرچه شدت چرا افزایش می‌یابد، میزان MWD در هر دو عمق کاهش یافته است. این مطلب بیانگر این است که با افزایش شدت چرا در مراتع، خاک مراتع بیشتر خرد شده و MWD کاهش می‌یابد و فرسایش سطحی خاک بیشتر می‌شود. همچنین این شکل نشان می‌دهد که عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متر در شدت‌های مختلف چرا کمتر از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری خرد شده است و فشردگی نسبتاً خوب و MWD بالاتری دارد.

خردشدگی خاک در منطقه با شدت چرا زیاد، بیشتر و در منطقه با شدت چرا پایین، کمتر بود. خردشدگی در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری در منطقه با شدت چرا زیاد، بیشتر از عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری بود (جدول ۲).

۳.۱.۳. اثر شدت چرا و عمق نمونه‌برداری بر

تغییرات MWD

شکل (۱) اثر شدت چرا بر تغییرات میانگین وزنی قطر



شکل ۱. اثر شدت‌های مختلف چرا و عمق بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

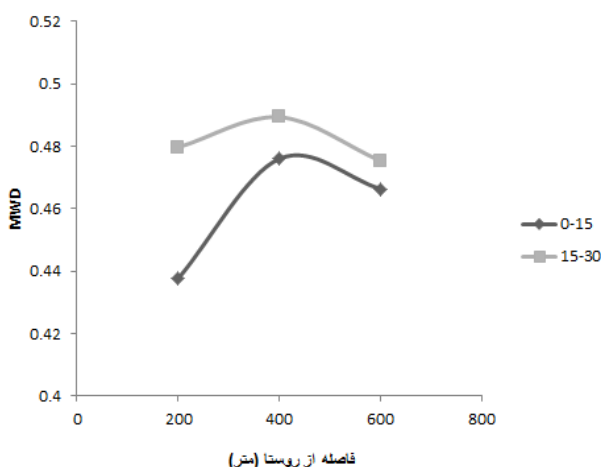
شکل (۲) اثر فاصله از روستا بر تغییرات میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که میزان MWD در هر دو عمق با افزایش فاصله از روستا از

۳.۱.۴. اثر فاصله از روستا و عمق نمونه‌برداری

بر تغییرات MWD

سانتی‌متر در فواصل مختلف از روستا از عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری کمتر فشرده شده است و MWD بالاتری را دارد. مطلب آخر را می‌توان بدین صورت توجیه نمود که فشار ناشی از وزن دام‌ها به اندازه‌ای زیاد نیست که خاک تحت الارضی را نیز فشرده کند و بیشترین فشار وزن دام‌ها بر خاک سطحی وارد می‌گردد.

۲۰۰ به ۴۰۰ متر افزایش و سپس کاهش یافته است. این مطلب بیانگر این است که اهالی این مناطق برای چرای دام‌ها یا از مناطق بسیار نزدیک یا از مناطق دورتر استفاده می‌کنند و مناطقی که بعد مسافت متوسطی دارند (۴۰۰ متری)، کمتر مورد بهره‌برداری گله‌داران این مناطق هستند. همچنین این شکل نشان می‌دهد که عمق ۱۵-۳۰



شکل ۲. اثر فاصله از روستا و عمق بر میزان میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

نشان دهنده عمق (Depth) و d بیانگر فاصله از روستا می‌باشد.

۶.۱.۳. صحت‌سنجی مدل رگرسیونی

ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با استفاده از مدل رگرسیونی در شکل (۳) ارائه شده است. ضریب تبیین (R^2) این مدل برابر ۰/۷۸ است.

۵.۱.۳. مدل رگرسیونی

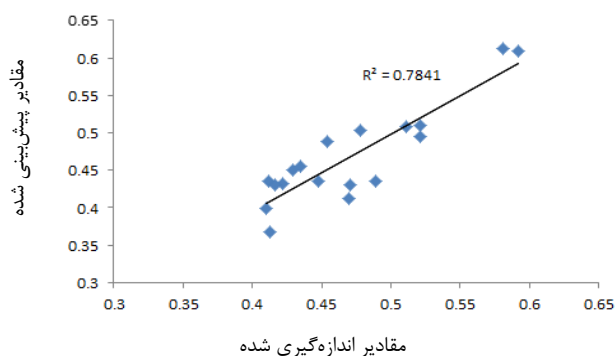
مدل رگرسیونی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها که توسط نرم‌افزار SPSS به دست آمد بدین صورت می‌باشد:

(رابطه ۵)

$$y = 0.0542 - 0.056 GI + 0.001 D + 0.00002868 d$$

که در آن:

GI نشان دهنده شدت چرا (Grazing Intensity)، D



شکل ۳. ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل رگرسیونی

۲,۳. مدل‌سازی توسط انفیس

در این پژوهش، میزان خردشدگی خاک مرتع تحت تأثیر چرای دام برای اولین بار (باتوجه به منابع موجود و در دسترس) با استفاده از مدل انفیس، پیش‌بینی شد.

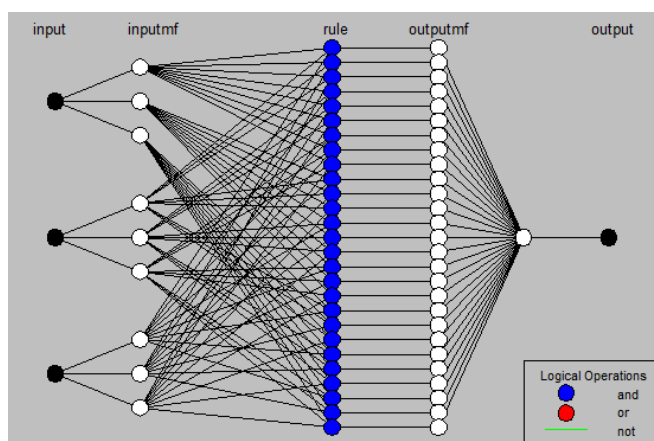
مهم‌ترین گام در مدل‌سازی انفیس توسط نرم‌افزار متلب، تعریف درست توابع عضویت فازی و مقادیر مربوطه است. مدل‌های مختلف به‌دست آمده در انفیس که توسط تغییر تعداد ورودی‌های توابع عضویت ایجاد گردید، در جدول (۳) نشان داده شده‌اند.

جدول ۳. مدل‌های به‌دست آمده توسط انفیس

مدل‌ها	نوع تابع عضویت		تعداد تابع عضویت		ضریب تبیین (R^2)
	ورودی	خروجی	ورودی	تکرار	
مدل ۱	dsigmf	خطی	۳۳۳	۳۰	۰/۹۳
مدل ۲	Gbellmf	خطی	۳۳۳	۳۰	۰/۹۴
مدل ۳	Trimf	خطی	۳۳۳	۳۰	۰/۹۸
مدل ۴	Pimf	خطی	۴۴۴	۳۰	۰/۹۶
مدل ۵	Tramf	خطی	۳۳۳	۳۰	۰/۹۵
مدل ۶	Gaussmf	خطی	۹۲۴	۳۰	۰/۹۶

تبیین را دارد. شکل (۴) ساختار مدل سوم که بهترین مدل است را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که از جدول فوق ملاحظه می‌گردد، مدل سوم، کمترین میانگین مربعات خطا و بالاترین ضریب



شکل ۴. ساختار مدل انفیس

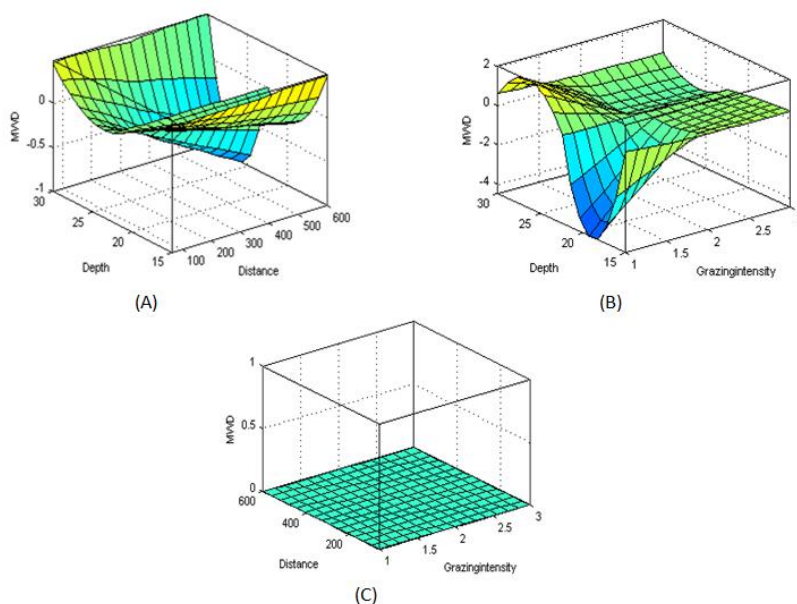
۱,۲,۳. نتایج خروجی نمودارهای سه بعدی

نتایج خروجی مدل فازی انفیس به صورت نمودارهای سه بعدی برحسب پارامترهای ورودی و خروجی می‌باشد که بیانگر تأثیر پارامترهای ورودی (شدت‌های چرای، عمق

نمونه‌برداری از خاک و فاصله از روستا) بر خروجی مدل خرد شدگی خاک (MWD) است. در شکل (۵) قسمت B که بیانگر اثر شدت چرای و عمق بر میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها است، در شدت چرای کم و عمق ۲۷/۵ سانتی‌متر بیشترین مقدار میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها و

ماکزیمم می‌باشد. همان‌گونه که در قسمت (C) ملاحظه می‌گردد، این مدل نتوانسته در مورد ارتباط شدت چرا و فاصله از روستا و MWD نمودار سه بعدی ارائه نماید و نمودار حاصله به صورت دو بعدی (صفحه‌ای) می‌باشد.

کمترین خردشدگی ملاحظه می‌گردد. در قسمت A که بیانگر اثر فاصله از روستا و عمق بر میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها است، در فواصل دورتر (۶۰۰ متری) چه در عمق ۱۵ و چه در عمق ۳۰ سانتی‌متری، میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها بیشتر می‌باشد که در عمق ۳۰ سانتی‌متری

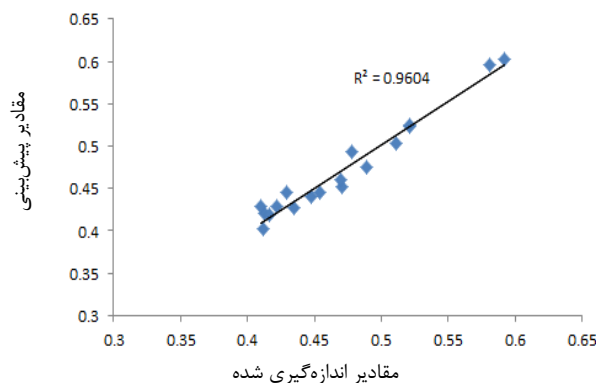


شکل ۵. میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها (MWD) در مقابل: (A) فاصله از روستا (Distance) و عمق (Depth)، (B) شدت چرا (Grazing intensity) و عمق (Depth)، (C) شدت چرا (Grazing intensity) و فاصله از روستا (Distance)، (شدهای چرای کم، متوسط و زیاد به ترتیب با اعداد ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند)

ضریب تبیین (R^2) مدل انجیس برابر ۰/۹۶ به دست آمد که حاکی از توانایی مدل انجیس در ایجاد ارتباط بین ورودی و خروجی و نزدیکی آن نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده است.

۲،۲،۳. صحت‌سنجی مدل انجیس

ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها با استفاده از مدل انجیس در شرایط کاری مختلف در شکل (۶) ارائه شده است.



شکل ۶. ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل انفیس

۴. بحث و نتیجه‌گیری

میزان خردشدگی خاک جزء پارامترهای تأثیرگذار بر پایداری خاک مراتع است، لذا پیش‌بینی و افزایش دقت در تحلیل این پارامتر می‌تواند در حفظ و نگهداری ساختمان خاک به میزان قابل توجهی مدنظر باشد. افزایش شدت چرا باعث کاهش میزان میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) شده و در نتیجه افزایش خردشدگی خاک را به دنبال دارد که این امر ناشی از وجود ماده آلی و سطوح پوشش متفاوت بوده که موارد یاد شده از برخورد مستقیم قطرات باران به خاکدانه‌ها جلوگیری می‌نماید، در نتیجه ثبات خاکدانه‌ها در منطقه با شدت چرای کم و یا متوسط بیشتر خواهد بود. بنابراین، بهره‌برداری بیش از ظرفیت مراتع، به فرسایش شدید و از بین رفتن ساختمان خاک آن مراتع خواهد انجامید. کاهش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در منطقه با شدت چرای زیاد می‌تواند به دلیل کم بودن رطوبت و کاهش درصد ماده آلی در این منطقه باشد که نتایج پژوهش [۹] با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

در پژوهشی [۱۰] به رابطه میان گندمیان و پهن برگان علفی و کربن موجود در خاکدانه‌های درشت پرداخته شد و منتج شد که با افزایش گراس‌ها و بقولات، کربن موجود در خاکدانه‌های درشت نیز افزایش می‌یابد و با تحت تأثیر قرار گرفتن گندمیان و پهن برگان در اثر شدت چرا، کربن موجود در خاک آن‌ها و در نتیجه ساختار خاکدانه‌ها دچار تحلیل می‌شود. با کاهش قطر میانگین خاکدانه‌ها تولید مجدد بقولات و گراس‌ها نیز کم می‌شود. نقش خصوصیات فیزیکی به‌ویژه توزیع اندازه ذرات بر نفوذپذیری خاک بیشتر از ویژگی‌های شیمیایی است بنابراین شاخص MWD به عنوان مهم‌ترین ویژگی فیزیکی خاک است که می‌تواند سایر ویژگی‌های خاک را تحت الشعاع قرار دهد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در منطقه با شدت چرای زیاد، خردشدگی خاک بیشتر است. همچنین با

افزایش فاصله از روستا از ۲۰۰ به ۴۰۰ متر، خردشدگی خاک کاهش و با بیشتر شدن فاصله، خردشدگی افزایش می‌یابد. به علاوه خردشدگی خاک در تمامی حالات در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر بیشتر از عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر است. بهترین مدل پیشنهادی انفیس برای پیش‌بینی میزان خردشدگی خاک مراتع نشان داد که این مدل توانایی پیش‌بینی خردشدگی خاک طی چرای دام‌ها را با دقت بالاتری ($R^2=0.96$) نسبت به مدل رگرسیون دقت بالاتری ($R^2=0.76$) دارد. این امر حاکی از توانایی مدل انفیس در ایجاد ارتباط بین ورودی و خروجی و نزدیکی آن نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده است. مدل‌های انفیس نسبت به مدل‌های رگرسیون دارای دقت بالاتری بوده و با استفاده از سطوح شکل‌های خروجی در انفیس می‌توان خروجی مدل را برای یک ورودی خاص محاسبه نمود. نتایج پژوهشی [۴] که به ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی تطبیقی فازی (انفیس) و رگرسیون در پیش‌بینی کربن آلی ذره‌ای در مراتع خرابه‌سنجی ارومیه پرداخت، گویای آن است که مدل انفیس، بالاترین ضریب همبستگی و کمترین خطا را داشته و بهترین مدل می‌باشد و با نتایج پژوهش فوق هم‌راستا می‌باشد.

نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهشی [۱۶] که از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌های مرتعی استفاده نموده و نتیجه گرفته شد که این روش و روش انفیس به عنوان روش پیشنهادی آن‌ها در پیش‌بینی پارامتر موردنظر دارای قابلیت بالایی می‌باشد، هم‌خوانی دارد. همچنین محققین در پژوهشی دیگر [۲۷] در خصوص پیش‌بینی میزان خردشدگی خاک با استفاده از انفیس به این نتیجه دست یافتند که مدل انفیس با کمترین ضریب خطا، بالاترین کارایی را دارد که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

عملکرد بهتر مدل انفیس در مقایسه با روش‌های آماری رگرسیونی را می‌توان در قابلیت تخمین و پیش

ساختمان خاک و باعث بهم‌خوردگی در ویژگی‌های فیزیکی آن گردید و برای مدیریت اکوسامانه‌های مرتعی در این مناطق نیاز به اقدامات عملی در جهت کنترل شدت چرای می‌باشد. با افزایش چرای شاخص MWD (میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها) کمتر شده است که باعث خردشدگی بیش‌ازحد خاک می‌گردد که فرسایش و از بین رفتن خاک را به دنبال دارد لذا اعمال مدیریت چرای می‌تواند سبب بهبود کیفیت و کمیت پوشش گیاهی و در نهایت بهبود ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک گردد. موفقیت و یا شکست برنامه‌های کشاورزی و مهندسی اغلب وابسته به ویژگی‌های خاک به کار گرفته شده است.

بینی آن برای تقریب غیرخطی با حجم کم داده‌ها جستجو نمود. این در حالی است که عملکرد و دقت روش‌های رگرسیونی به شدت از حجم کم نمونه‌ها تبعیت می‌کند و حجم کم نمونه‌ها می‌تواند عامل محدودیت مدل‌های آماری گردد [۴].

سامانه‌های استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی (انفیس)، نه تنها در پیش‌بینی میزان خردشدگی خاک مرتع حین چرای دام عملکرد بهتری دارد، بلکه می‌توان از آن به عنوان ابزاری هوشمند در جهت پیش‌بینی پارامترهای مختلف در علوم مرتع استفاده نمود. افزایش شدت چرای دام در مناطق معرف منجر به تخریب

References

- [1] Adam, K.M. and Erbach, D.C. (1992). Secondary tillage tool effect on soil aggregation. *Transactions of the ASAE*, 35(6), 1771-1776.
- [2] Akbarzadeh, A., Mehrjardi, R.T., Rouhipour, H., Gorji, M. and Rahimi, H.G. (2009). Estimating of soil erosion covered with rolled erosion control systems using rainfall simulator (neuro-fuzzy and artificial neural network approaches). *Journal of Applied Science Research*, 5(5), 505-514. (In Persian)
- [3] Aluko, O.B. and Koolen, A.J. (2000). The essential mechanics of capillary crumbling of structured soil. *Soil and Tillage Research*, 55, 117-126.
- [4] Bahrami, B., Dianati Tilaki, G.A., Beigi, S.K., Janizadeh, S. and Moetamedi, J. (2013). Evaluation of Artificial Neural Network (ANN), Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) and Regression Models in Prediction of Particulate Organic Matter-Carbon (POM-C) in the Rangelands Kharabe Sanji of Urmia. *Operational Researches about Soil*, 1(1), 94-106.
- [5] Cambardella, C.A. and Elliott, E.T. (1992). Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *American Journal of Soil Science*, 56, 777-783.
- [6] Canqui, H.B., Lal, R. and Lemus, R. (2005). Soil aggregate properties and organic carbon for switch grass and traditional agricultural systems in the Southeastern United States. *Journal of Soil Science*, 12, 998-1012.
- [7] Chen, H., Hou, R., Gong, Y., Li, H., Fan, M. and Kuzyakov, Y. (2009). Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research*, 106, 85-94.
- [8] Fallah-Ghalhari, Gh., Vahidian, A., Mousavi, M. and Habibi, M. (2007). Application of ANFIS and MFIS in prediction of annual rainfall. The 1st Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems, Ferdowsi University of Mashhad, Iran 29-31 Aug 2007. (In Persian)
- [9] Ghaffari, S., Ghorbani, A., Arjmand, K., Teimorzade, A., Hashemi Majd, K., Jafari, S. and Dabiri, R. (2017). The effect of grazing on the plant cover specification and soil physico-chemical properties (case study: Saman ranges at Kolash village, Ardabil province). *Plant Ecology Conservation*, 5(10), 175-196.
- [10] Handayani, I.P., Coyne, M.S. and Tokosh, R.S. (2010). Soil organic matter fractions and aggregate distribution in response to tall fescue stands. *International Journal of Soil Science*, 5, 1-10.
- [11] Jacovides, C.P. (1997). Reply to comment on Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration models. *Agriculture and Water Management*, 3, 95-97.

- [12] Jang, J.S.R. (1993). ANFIS: Adaptive Network Based Fuzzy Inference System, IEEE transactions on Systems. Man Cyber, 23(3), 665-683.
- [13] Kepner, R.A., Bainer, R. and Barger, E.L. (1982). Principle of Farm Machinery, (3rd Edn). CBS Publisher, New Delhi, Pp: 321-335.
- [14] Khajeh Aldin, S.J. and Basiri, M. (1994). Introduction of the 1st seminar on range and rangeland management in Iran, Isfahan University of Technology, p489.
- [15] Khalasi Ahvazi, L. and Zare Chahouki, M.A. (2016). Predicting the habitat distribution of *Seidlitzia rosmarinus* in east rangelands of Semnan using ANN model. Iranian Journal of Range and Desert Research, 23(2), 275-287. (In Persian)
- [16] Khoshnevisan, B., Rafiee, Sh., Omid, M. and Mousazadeh, H. (2014). Development of an intelligent system based on ANFIS for predicting wheat grain yield on the basis of energy inputs. Journal of Information Processing in Agriculture, 5(1), 14-22. (In Persian)
- [17] Krueger, E., Prior, S.A., Kurtener, D., Rogers, H.H. and Runion, G.B. (2011). Characterizing root distribution with adaptive neuro-fuzzy analysis. International Agrophysics, 25, 93-96.
- [18] Mansori Rad, D. (2007). Tractors and farm machinery. Boali Univ. Press, 414p. (In Persian)
- [19] Marakoglu, T. and Carman, K. (2010). Fuzzy knowledge-based model for prediction of soil loosening and draft efficiency in tillage. Journal of Terramechanics, 47, 173-178.
- [20] Moghaddam, M. (1998). Range and range management. Tehran Univ. Press, 470p. (In Persian)
- [21] Moghimi, S., Parvizi, Y., Mahdian, M.H. and Masihabadi, M.H. (2015). Comparison of applying multi-linear regression analysis and artificial neural network methods for simulating topographic factors effect on soil organic carbon. Journal of Watershed Engineering and Management, 6(4), 312-322. (In Persian)
- [22] Naderloo, L., Alimardani, R., Omid, M., Sarmadian, F., Javadikia, P., Yaser Torabi, M. and Alimardani, F. (2012). Application of ANFIS to predict crop yield based on different energy inputs. Measurement, 45, 1406-1413.
- [23] Parvizi, Y. (2010). Mapping of spatial variability of soil organic carbon and predicting the influences of physical and management factors by use of multivariate analysis and artificial neural networks. Ph.D. Thesis. 338 pages (in Persian).
- [24] Qaddoum, K., Hines, E. and Illiescu, D. (2011). Adaptive Neuro-Fuzzy Modeling For Crop Yield Prediction. Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research, 31, 32-39.
- [25] Rahimi-Ajdadi, F. and Abbaspour-Gilandeh, Y. (2011). Artificial neural network and stepwise multiple range regression methods for prediction of tractor fuel consumption. Measurement, 44(10), 2104-2111.
- [26] Sajikumar, N. and Thandaveswara, B.S. (1999). A nonlinear rainfall-runoff model using artificial neural networks. Journal of Hydrology, 21(6), 32-55.
- [27] Sedghi, R. and Abbaspour-Gilandeh, Y. (2014). Prediction of soil fragmentation at tillage operation using ANFIS. Journal of agricultural machinery, 4(2), 387-398. (In Persian)
- [28] Warren, A., Batterbury, S. and Osbahr, H. (2001). Soil erosion in the West African Sahel: A review and an application of a local political ecology approach in South West Niger, Glob. Environ.