

مقایسه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیونی در تخمین وزن خشک

و جذب فسفر گیاه ذرت

محمدرضا مقصودی^۱، عادل ریحانی تبار*^۲، نصرت اله نجفی^۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۵/۲۵

^۱ دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۲ دانشیاران گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: areyhani@tabrizu.ac.ir

چکیده

در این تحقیق مقایسه‌ای بین شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مدل‌های رگرسیونی خطی در تخمین وزن خشک و جذب فسفر گیاه ذرت از روی فسفر خاک استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف انجام یافت. برای این منظور ۲۵ نمونه مرکب خاک سطحی (۰-۳۰ cm) از نقاط مختلف استان آذربایجان شرقی جمع‌آوری و در آن خاک‌ها گیاه ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) در سه تکرار در گلخانه کشت شد. بعد از ۶۰ روز گیاهان برداشت و وزن خشک بخش هوایی و غلظت فسفر در آن اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که ضریب تبیین مدل رگرسیون خطی بین فسفر استخراج شده با روش‌های کالول و اولسن با وزن خشک بخش هوایی ذرت به ترتیب برابر ۰/۴۹ و ۰/۴۴ بودند. با توجه به نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی روش اولسن برای تخمین وزن خشک و روش آب مقطر برای تخمین غلظت فسفر بخش هوایی ذرت برتر از سایر روش‌ها بودند. در پیش‌بینی شاخص‌های مهم وزن خشک و فسفر جذب شده توسط گیاه ذرت بر مبنای غلظت فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف، ضرایب تبیین مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی بیشتر از مدل‌های رگرسیونی خطی حاصل گردید، لذا چنین نتیجه‌گیری شد که می‌توان از شبکه عصبی مصنوعی در مطالعات آزمون خاک برای فسفر بهره گرفت.

واژه‌های کلیدی: ذرت، رگرسیون خطی، فسفر جذب شده، شبکه عصبی مصنوعی

Comparison of Artificial Neural Network and Regression Models for Estimating Dry Weight and P Uptake of Corn

MR Maghsoodi¹, A Reyhanitabar^{2*}, N Najafi³

Received: 5 January 2014 Accepted: 16 August 2014

¹Former M.Sc. Student, Soil Sci Dept., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

^{2,3} Assoc. Prof. Soil Sci Dept., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

*Corresponding Author, E-mail: areyhani@tabrizu.ac.ir

Abstract

In this study, a comparison between the artificial neural network (ANN) and linear regression models for estimating the dry weight of corn and its P uptake, based on the extracted P from soil by different extractants was done. For this purpose, 25 surface soil composite samples (0-30 cm) were collected from different points of East Azerbaijan province, and then corn plants (single cross 704) were cultivated in these soils under the greenhouse condition with three replications. After 60 days, the plants were harvested and the shoot dry weight and its P concentration were measured. The results showed that the coefficient of determination (r^2) values between the extracted soil P, obtained by Colwel and Olsen's tests and corn shoot dry weight were 0.49 and 0.44, respectively. The results of ANN showed that the Olsen's test for estimating the corn shoot dry weight and distilled water for estimating the shoot P concentration were superior. For prediction of the important indices of the corn shoot dry weight and P uptake, based on P concentration measured using different extractions, higher values for coefficient of determination were obtained by applying some conventional methods of ANN with respect to those obtained by applying linear regression methods, so it was concluded that ANN could be used in soil P testing.

Keywords: Artificial neural network, Corn, Linear regression, Absorbed Phosphorus

مقدمه

استخراج شده به صورت شیمیایی عمدتاً به شکل غالب فسفر خاک (فسفات‌های کلسیم یا فسفات‌های آهن و آلومینیوم)، نوع گیاه و شرایط آزمایش بستگی دارد (دلگادو و تورنت ۲۰۰۱)، نتایج از دقت کافی برخوردار نیست، لذا اهمیت استفاده از روش‌های هوشمندی مانند شبکه عصبی مصنوعی مشخص می‌شود.

از سال ۱۹۵۴ به بعد استخراج فسفر به روش اولسن یکی از رایج‌ترین عصاره‌گیرهای فسفر خاک

از دیرباز محققان زیادی به دنبال تخمین شاخص‌های رشد گیاه قبل از کشت آن‌ها بوده‌اند تا بتوانند اقدامات لازم برای افزایش رشد را انجام دهند. برای ارزیابی فسفر قابل جذب خاک از عصاره‌گیرهای مختلفی استفاده شده است، ولی تاکنون یک عصاره‌گیر جهانی، برای این منظور یافت نشده است. از آنجایی که رابطه بین فسفر قابل جذب و فسفر

¹Extracted

بوده است. شعبانی و همکاران (۱۳۹۰) برای بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک و توپوگرافی بر عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل‌سازی به روش شبکه عصبی مصنوعی در اراضی دیم منطقه سیسب استان خراسان شمالی تحقیقی انجام دادند. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند ۹۲ درصد تغییرات در عملکرد کل و عملکرد دانه گندم را توضیح دهد. زارع ایبانه (۱۳۹۱) گزارش کردند که روش شبکه عصبی مصنوعی با تلفیق دو عامل طول و عرض جغرافیایی قادر به پیش‌بینی عملکرد گندم آبی و دیم پیش از برداشت با دقت مناسب است. اسمیت و همکاران (۱۹۹۵) مشاهده کردند که عملکرد پیش‌بینی شده گندم در مرحله طولیل شدن ساقه ۴۶٪ تغییرات عملکرد واقعی را توضیح داد در حالی که عملکرد پیش‌بینی شده در مرحله گرده‌افشانی ۵۶٪ این تغییرات را توضیح داد. به عبارت دیگر، با پیشرفت دوره رشد و وارد شدن تعداد بیشتری از عوامل مؤثر بر عملکرد در مدل، دقت مدل در پیش‌بینی عملکرد افزایش یافت. با این وجود تماری و همکاران (۱۹۹۶) نشان دادند که اگر ناپایداری داده‌ها بالا باشد (انحراف معیار آن‌ها بزرگ باشد)، شبکه عصبی مدل‌های رگرسیونی خطی بهتر نخواهد بود، اما زمانی که داده‌هایی با دقت بالا بکار برده شود شبکه عصبی کارآیی بالاتری را نشان می‌دهد. یانگ و همکاران (۱۹۹۸) در مطالعه‌ای مشابه، همبستگی معنی‌داری بین ارتفاع، شیب و راستای شیب با عملکرد گندم به دست آوردند. کراوچنکو و بالوک (۲۰۰۰) در ایلنوی آمریکا نشان دادند که ویژگی‌های توپوگرافی به تنهایی ۶ تا ۵۴ درصد از تغییرپذیری عملکرد ذرت و سویا را توجیه می‌کنند و هنگامی که با ویژگی‌های شیمیایی خاک ترکیب شوند این مقدار به ۱۰ تا ۷۸ درصد می‌رسد. برجسن و سکا (۲۰۰۵) برای تخمین پارامترهای معادله وانگختن از توابع نقطه‌ای و پارامتری به وسیله شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند. نتایج آنان نشان داد که با افزایش میزان رس در خاک‌ها میزان ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) افزایش یافت. امینی و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از میزان ماده آلی و رس اقدام به برآورد میزان ظرفیت تبادل کاتیونی خاک

برای خاک‌های غیراسیدی بوده است (دلگادو و سکالنگ ۲۰۰۸). حسین‌پور و شریعتمداری (۱۳۸۵) گزارش کردند که روش کالول در هر سه چین گیاه یونجه با شاخص مقدار فسفر جذب شده توسط گیاه ضریب تبیین بالایی داشت. عطاردی و نادری خوراسگانی (۱۳۸۸) به این نتیجه رسیدند که برای اندازه‌گیری فسفر قابل جذب سورگوم، روش‌های اولسن و آب مقطر مناسب‌تر می‌باشند. حسین‌پور و صالحی (۱۳۸۸) گزارش کردند که فسفر استخراج شده توسط روش نوارهای کاغذی تنها در چین اول با مقدار فسفر جذب شده توسط گیاه یونجه r^2 بالایی نداشت ولی در بقیه چین‌ها r^2 بالایی داشت. پاو (۱۹۷۱) ضریب تبیین (r^2) بالایی بین فسفر استخراج شده توسط روش خویش و مقدار فسفر بخش هوایی گندم بهاره گزارش کرد. سون (۱۹۹۰) با کشت جو، عصاره‌گیر اولسن و کلونا را ارزیابی و گزارش کرد که به علت استخراج چند عنصر با هم و کاربرد آسان و ظرفیت بافتری بهتر روش کلونا، این روش قابل پیشنهاد است. بر اساس مطالعه شارپلی (۱۹۹۳) روش نوارهای کاغذی می‌تواند پایه نظری قوی‌تری از عصاره‌گیرهای شیمیایی در تخمین فسفر قابل استفاده گیاه داشته باشد. هومفاریز و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که ماده خشک چاودار دائمی همبستگی قوی با عصاره‌گیرهای مورگان، اولسن و $Ca^{+1} 0/01$ مولار داشت. کولهانک و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که از بین عصاره‌گیرهای آب مقطر، $CaCl_2 0/01$ مولار، اولسن و مهلیچ-۳، عصاره‌گیر آب مقطر بهترین r^2 را با مقدار فسفر جذب شده توسط جو داشت. مالینا و همکاران (۲۰۱۲) عصاره‌گیر سلطانپور را به دلیل استخراج چندین عنصر به طور هم‌زمان پیشنهاد کردند. اخیراً از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش‌بینی عملکرد گندم دیم و آبی استفاده شده و نتایج خوبی در برداشته است (زارع ایبانه ۱۳۹۱). نوروزی و همکاران (۱۳۸۷) گزارش کردند که شبکه عصبی مصنوعی قادر به پیش‌بینی مؤلفه‌های عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل رقومی پستی و بلندی زمین با دقت بالایی می‌باشد، به گونه‌ای که این روش قادر به توجیه ۴۱ تا ۷۲ درصد از برآورد مؤلفه‌های عملکرد با استفاده از شاخص‌های توپوگرافی

دو هفته به سه بوته تنک شد. رطوبت خاک در طول ۲ ماه رشد بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌روش وزنی نگهداری شد. به‌غیراز فسفر بقیه عناصر بر طبق توصیه‌های رایج کودی مصرف گردید. برای این منظور مقدار ۱۲۰ میلی‌گرم اوره بر کیلوگرم خاک، ۱۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) و ۵ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک از کی‌لایت آهن (سکوسترین ۱۳۸) در گلدان‌ها استفاده شد. به‌دلیل اینکه خاک‌ها کمبود پتاسیم نداشتند (به‌طور متوسط ۴۵۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک)، پتاسیم مصرف نگردید. پس از دو ماه، بخش هوایی و ریشه برداشت، خشکانیده و پودر شدند. هضم نمونه‌های گیاهی با استفاده از روش اکسایش تر (والینگ و همکاران ۱۹۸۹) و اندازه‌گیری غلظت فسفر در آن‌ها با روش زرد (اولسن و سومرز ۱۹۸۲) انجام شد. روش‌های عصاره‌گیری مورد مطالعه مطابق با جدول ۱ انجام گردید. اندازه‌گیری غلظت فسفر در عصاره‌ها به‌روش رنگ‌سنجی مولیبدات آبی که توسط مورفی و ریلی (۱۹۶۲) ارائه و توسط واتانابه و اولسن (۱۹۶۵) اصلاح شده است و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد.

مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون

شبکه عصبی مصنوعی تقلید بسیار ساده‌ای از مغز انسان بر اساس یک پیکربندی ریاضی می‌باشد که از چند لایه و در هر لایه از چند گره (نرون) تشکیل شده است. معمولی‌ترین نوع شبکه عصبی مصنوعی از مجموعه نرون‌های پایه به‌وجود آمده که تشکیل‌دهنده لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی هستند. داده‌های ورودی در خلال شبکه و در مسیری روبه‌جلو به‌صورت لایه به لایه منتشر می‌شوند. این نوع شبکه عصبی، پیش‌تغذیه کننده یا پرسپترون چند لایه^۱ (*MLP*) نام دارد (شکل ۱) (منهاج ۱۳۸۴). تعداد نرون‌های لایه ورودی برابر با تعداد عناصر بردار ورودی و تعداد نرون‌های لایه خروجی برابر با تعداد عناصر بردار خروجی می‌باشد.

به‌وسیله شبکه عصبی مصنوعی و پنج مدل تجربی که بر پایه روش‌های رگرسیونی می‌باشند نمودند و نتایج آنان نشان داد که روش شبکه عصبی مصنوعی از برتری قابل قبولی نسبت به سایر روش‌ها برخوردار می‌باشد. هدف از این مطالعه ارزیابی عملکرد شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی رشد گیاه نرت با استفاده از فسفر استخراج‌شده توسط برخی عصاره‌گیرها و مقایسه مقادیر حاصل از این مدل با معادلات رگرسیونی حاصل از انتخاب بهترین عصاره‌گیرها و انتخاب عصاره‌گیری با بیشترین دقت در تخمین شاخص‌های رشد گیاه نرت بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و آزمایش‌های گلخانه‌ای

نمونه‌برداری از خاک‌های استان آذربایجان شرقی بر اساس ویژگی‌هایی مثل بافت خاک، pH، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی و فسفر قابل‌استفاده گیاه انجام و در نهایت با توجه به دامنه ویژگی‌های یادشده ۲۵ نمونه مرکب از مناطق مختلف استان از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برای این مطالعه انتخاب گردید. نمونه‌های خاک پس از هواخشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده‌شده و ویژگی‌هایی مثل بافت خاک به‌روش هیدرومتری ۴ زمانه (گی و بودر ۲۰۰۲)، pH در $CaCl_2$ ۰/۰۱ مولار با نسبت ۱:۲ خاک به محلول و در ۱:۱ آب به خاک (ریچاردز ۱۹۵۴)، کربن آلی خاک به‌روش اکسایش‌تر (نلسون و سومرز ۱۹۹۶)، کربنات کلسیم معادل (CCE) به‌روش خنثی‌سازی با اسید و تیتراژ کردن با سود (آلیسون و مودی ۱۹۶۵)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در نسبت ۱:۲ خاک به آب (رودز ۱۹۹۶) و کربنات کلسیم معادل فعال (ACCE) با اگزالات آمونیم (دورینیو ۱۹۴۲) تعیین شد. فسفر قابل‌استفاده گیاه در خاک نیز به‌روش اولسن (اولسن و همکاران ۱۹۵۴) اندازه‌گیری شد. سپس آزمایشی در ۲۵ نوع خاک با سه تکرار به‌صورت فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. در گلدان‌هایی که حاوی ۳ کیلوگرم خاک بودند، پنج بذر گیاه نرت (*Zea mays L.*) رقم سینگل کراس ۷۰۴ کاشته و پس از

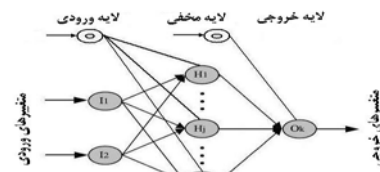
¹Multi-layer perceptron

هیپربولیک^۴ اشاره کرد و از این میان تابع سیگموئید مهندسی دارد. بنابراین در یک شبکه عصبی با n نرون ورودی، h نرون در لایه میانی و یک نرون خروجی، مقدار خروجی از شبکه عصبی به صورت زیر خواهد بود (منهاج ۱۳۸۴):

$$Y = S_2 \left(\sum_{j=1}^h w_j \times \left(S_1 \left(b_j + \sum_{i=1}^n w_{i,j} \cdot p_i \right) \right) \right) \quad [2]$$

برای مدل‌سازی شاخص‌های رشد گیاه ذرت بر اساس شبکه عصبی مصنوعی از نرم‌افزار *Matlab* استفاده شد. ابتدا ترکیب‌های متفاوتی از متغیرهای y_1, y_2, \dots, y_5 به عنوان خروجی هر مدل و x_1, x_2, \dots, x_{11} به عنوان ورودی مدل‌ها انتخاب گردید. برای یافتن بهترین مدل در مطالعه حاضر برای هر x و y از دو لایه پنهان و ۱ تا ۱۰ نرون روی هر لایه پنهان استفاده شد و بر اساس معیارهای جذر میانگین مربعات خطا (*RMSE*) و ضریب تبیین (r^2) مرحله آموزش و اعتبارسنجی بهترین آن‌ها ارائه شد. به علت استفاده گسترده از تابع انتقالی تانژانت سیگموئیدی از این تابع در مطالعه حاضر استفاده شد. نرخ یادگیری سازگاری^۵ بود، الگوریتم آموزش لونیترگ مارکوارت و تعداد تکرار در حالت بیشینه ۱۰۰۰ تکرار بود. در مرحله آموزش ۱۹ خاک و در مرحله اعتبارسنجی ۴ خاک مورد استفاده قرار گرفت. از آنجایی که در شاخص‌های رشد، بخش هوایی بیشتر مدنظر است (زیرا این بخش برداشت شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد)، سعی شد مواردی را که دارای r^2 بالایی هم در مرحله آموزش و هم اعتبارسنجی بین فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرها و غلظت و مقدار فسفر بخش هوایی و وزن خشک بخش هوایی وجود داشت انتخاب شود.

رگرسیون شاخه‌ای از علم آمار است که استفاده از آن به طور وسیعی در بیشتر زمینه‌های علمی گسترش یافته و تحلیل رگرسیونی نیز، روشی برای



شکل ۱ - نمای از شبکه پرسپترون چند لایه (MLP) (منهاج ۱۳۸۴).

تحلیل دقیق و واقعی برای پیدا کردن تعداد نرون‌های لایه میانی، در کل بسیار پیچیده است اما می‌توان گفت که تعداد نرون‌های لایه مخفی تابعی از تعداد عناصر برداری ورودی و همچنین بیشینه تعداد نواحی از فضای ورودی که به طور خطی از هم جدا پذیرند می‌باشد، از این رو تعداد نرون‌های لایه مخفی عموماً به طور تجربی به دست می‌آید. نحوه عملکرد هر یک از نرون‌ها در شکل ۲ مشخص شده است و بدین صورت است که p و a به ترتیب کمیت‌های ورودی و خروجی می‌باشند. کمیت w میزان تأثیر p روی a را تعیین می‌کند (وزن ارتباطی لایه‌ها). از سوی دیگر نیز مقدار ثابت ۱ در جمله b ضرب شده و با مقدار $w \times p$ جمع می‌گردد. حاصل این جمع ورودی خالص m برای تابع f خواهد بود. بدین ترتیب خروجی نرون توسط معادله زیر تعریف می‌گردد:

$$a = f \left(b_j + \sum_{i=1}^n p_i w_i \right) \quad [1]$$



شکل ۲ - راست: نمای از سلول عصبی (نرون)، چپ: نمای یک لایه از سیستم شبکه عصبی مصنوعی (منهاج ۱۳۸۴).

تابع غیرخطی f در واقع انتقال اعداد از لایه‌ای به لایه دیگر را بر عهده دارد، بنابراین باید به لحاظ ریاضی هموار باشد که از آن جمله می‌توان به توابع گوسی^۱، سکانت هیپربولیک^۲، سیگموئید^۳ و تانژانت

³Sigmoid

⁴Hyperbolic Tangent

⁵Learning Rate Adaptation

¹Gaussian

²Hyperbolic Secant

قابل توجهی برخوردار بودند که نشان‌دهنده گستره خوب صفات موردبررسی است. در جدول ۳ شاخص‌های رشد گیاه ذرت ارائه شده است. با توجه به این جدول وزن خشک بخش هوایی بین ۱/۱۰-۲/۲ و میانگین آن ۵/۷۱ گرم بر گلدان، غلظت فسفر بخش هوایی بین ۱/۱۵-۵/۹۸ با میانگین ۴/۰۶ میلی‌گرم بر گرم و مقدار فسفر بخش هوایی (کل فسفر جذب شده توسط بخش هوایی) بین ۳۳/۱۳-۹/۳۶ با میانگین ۲۲/۴۴ میلی‌گرم بر گلدان مقدار فسفر ریشه هم بین ۰/۸۱-۰/۱۳ با میانگین ۰/۴۷ میلی‌گرم بر گلدان می‌باشد. به‌طور میانگین در ۲۵ خاک مورد مطالعه کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار کمترین مقدار فسفر و روش کالول بیشترین آن را استخراج کرد (جدول ۴). روش سلطانیور نیز بعد از روش‌های کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و آب مقطر کمترین مقدار فسفر را در بر داشت.

در ۲۵ خاک مورد مطالعه بیشترین ضریب تبیین بین روش پای و مقدار فسفر ریشه ذرت مشاهده شد ($r^2=0/27$). همچنین روش کاغذ صافی واتمن ۵۴۱ آغشته به اکسید آهن با مقدار فسفر بخش هوایی و ریشه رابطه‌ای منفی و معنی‌دار داشت (به ترتیب r^2 برابر ۰/۱۹ و ۰/۲۳). در نگاه اول به نظر می‌رسید که هیچ‌یک از عصاره‌گیرهای مورد مطالعه در این تحقیق، قادر به پیش‌بینی شاخص‌های گیاه ذرت نبودند اما با فرض پرت بودن داده‌های حاصل از دو خاک ۲ و ۵ و حذف آن‌ها (به علت مقدار فسفر بالا) و نگاه داشتن چهار خاک ۱۵، ۱۶، ۱۹ و ۲۵ برای اعتبار سنجی معادلات رگرسیونی، این r^2 ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت.

نتایج حاصل، بعد از اعمال این تغییر در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که بیشترین ضریب تبیین به ترتیب بین روش‌های Pi (واتمن ۵۴۱) با مقدار فسفر ریشه ($r^2=0/55$) و کالول و اولسن با وزن خشک بخش هوایی (r^2 به ترتیب برابر ۰/۴۹ و ۰/۴۴) بود.

هرچند دیگر عصاره‌گیرها نیز رابطه معنی‌داری با شاخص‌های گیاهی دارند، ولی این روابط هم به دلیل دقت کم نمی‌توانند پیش‌گویی مناسبی برای شاخص‌های

مدل‌سازی و تحلیل داده‌های عددی و یافتن ارتباط میان متغیرها است. رگرسیون خطی یکی از روش‌های تحلیل رگرسیونی به‌شمار آمده و رابطه مورد استفاده عمدتاً به صورت زیر است (ریچارد ۲۰۰۴):

$$y = a + bx_1 + cx_2 + \dots \quad [3]$$

که در این رابطه x_1 و x_2 به‌عنوان متغیرهای ورودی اعمال شده به مدل (متغیرهای مستقل)، y متغیر خروجی حاصل شده از مدل (متغیر وابسته) و a ، b و c ثابت‌های معادله می‌باشند (ریچارد ۲۰۰۴).

معیارهای ارزیابی

پس از تحلیل داده‌ها با انواع روش‌ها و مدل‌ها لازم است عملکرد آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور روش‌های متنوعی وجود دارد که عمده‌ترین این روش‌ها مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی مدل‌ها با استفاده از معیارهای ارزیابی می‌باشد. در این تحقیق جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE$)^۱ و ضریب تبیین (r^2) استفاده گردید (روابط ۴ و ۵). در این روابط x_i و y_i به ترتیب مقادیر مشاهداتی و محاسباتی در گام زمانی i ام، N تعداد داده‌ها می‌باشد. $RMSE$ هم‌واحد با داده‌ها است. SS_{res} مجموع مربعات باقیمانده و SS_{tot} مجموع مربعات کل است. مدلی بهترین نتیجه را خواهد داشت که برای این دو معیار به ترتیب مقادیری نزدیک به صفر و یک را به همراه داشته باشد (ریچارد ۲۰۰۴).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2} \quad [4]$$

$$r^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \quad [5]$$

نتایج و بحث

در جدول ۲ توصیف آماری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه ارائه شده است. در خاک‌های مورد مطالعه به جز خاک‌های ۸ و ۱۵ که به ترتیب ۳۵/۱۵ و ۵/۷۸ درصد گچ داشتند، گچ وجود نداشت. صفاتی مثل کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، رس و هدایت الکتریکی از ضریب تغییرات

^۱Root Mean Square Error

اعتبارسنجی نیز برای این عصاره‌گیرها پایین است. به‌طور کلی در این آزمایش معادلات رگرسیون خطی نتوانستند شاخص‌های رشد گیاه ذرت را به‌خوبی پیش‌بینی کنند. داده‌های استفاده‌شده برای آموزش شبکه عصبی نیز مربوط به این ۱۹ خاک می‌باشد و برای اعتبار سنجی مدل‌ها از داده‌های چهار خاک ۱۵، ۱۶، ۱۹ و ۲۵ استفاده شد.

رشد گیاه ذرت باشند. با توجه به جدول ۵ در این آزمایش روش‌های آب مقطر، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، سلطانپور و مورگان با هیچ‌یک از شاخص‌های گیاه ذرت r^2 بالایی نداشتند. به‌طور کلی نتایج نشان دادند که در تمام موارد روابط قوی نبودند ($r^2 < 0.7$). به‌رحال ۳ معادلات رگرسیونی که بیشترین r^2 ها را داشتند برای پیش‌بینی شاخص‌های رشد گیاه ذرت انتخاب شدند. همان‌طور که در جدول ۶ ملاحظه می‌شود r^2 های قسمت

جدول ۱- عصاره‌گیرهای مختلف فسفر مورد استفاده در این تحقیق و ویژگی‌های آن‌ها.

روش عصاره‌گیری	غلظت و ترکیب شیمیایی	pH	نسبت خاک به عصاره‌گیر	مدت تکان دادن (min)	مرجع
آب مقطر*	آب مقطر	-	۱:۱۰	۵	اولسن و سومرز (۱۹۸۲)
محلول رقیق نمک*	0.01M CaCl ₂	-	۱:۱۰	۵	اولسن و سومرز (۱۹۸۲)
پاو*	آب دیونیزه	-	۱:۶۰	۶۰**	پاو (۱۹۷۱)
اولسن	0.5M NaHCO ₃	۸/۵	۱:۲۰	۳۰	اولسن و همکاران (۱۹۵۴)
کالول	0.5M NaHCO ₃	۸/۵	۱:۱۰۰	۹۶۰	کالول (۱۹۶۳)
سلطان‌پور و شواب	1M NH ₄ HCO ₃ + 0.005M DTPA	۷/۶	۱:۲	۱۵	سلطان‌پور و شواب (۱۹۷۷)
مورگان	0.5M CH ₃ COOH + 0.7M NaC ₂ H ₃ O ₂	۴/۸	۱:۵	۱۵	مورگان (۱۹۴۱)
کلونا ^۲ *	0.25M CH ₃ COOH + 0.015M NH ₄ F + 0.25M NH ₄ C ₂ H ₃ O ₂	-	۱:۱۰	۱۵	کاین و همکاران (۱۹۹۴)
نوارهای کاغذی*	انواع کاغذهای صافی پوشیده شده با اکسید آهن	-	۱:۴۰:۱***	۹۶۰	چاردون و همکاران (۱۹۹۶)

pH این عصاره‌گیرها تنظیم نمی‌شود. ** قبل از ۶۰ دقیقه تکان دادن، مقدار خاک برداشته شده به مدت ۲۲ ساعت با آب دیونیزه خیسانده شد. *** یک گرم خاک + ۴۰ میلی‌لیتر محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار + یک نوار آغشته به اکسید آهن با اضلاع ۱۰cm×۲cm.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های عمومی خاک‌های مورد استفاده در این آزمایش.

ویژگی‌ها	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
کربنات کلسیم معادل (%)	۷/۰۰	۳۵/۰۰	۲۱/۵	۹/۱۵	۴۳
کربنات کلسیم معادل فعال (%)	۰/۴۷	۱۰/۷۸	۵/۱۰	۲/۷۹	۵۵
pH*	۷/۸۰	۸/۵۰	۸/۱۰	۰/۱۹	۲
pH**	۷/۶۰	۸/۴۰	۸/۱۰	۰/۲۳	۳
pH***	۷/۳۰	۸/۲۰	۷/۷۰	۰/۲۳	۳
کربن آلی (%)	۰/۱۶	۱/۹۳	۱/۰۴	۰/۵۵	۵۳
شن (%)	۱۵/۵۷	۶۷/۷۸	۰/۹۴	۱۸/۴۸	۴۷
سیلت (%)	۱۵/۵۹	۴۳/۲۴	۲۹/۹۳	۸/۰۴	۲۷
رس (%)	۱۲/۳۹	۵۷/۲۷	۱/۱۱	۱۲/۵۵	۴۰
هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	۰/۱۳	۴/۱۶	۰/۶۹	۱/۰۱	۱۴۶
فسفر استخراج‌شده به روش اولسن (mg kg ⁻¹)	۱/۷۶	۷۴/۴۸	۱۱/۸۸	۱۴/۸۲	۱۲۵

* در نسبت ۱:۱ آب مقطر به خاک، ** در نسبت ۱:۲ آب مقطر به خاک، *** در نسبت ۱:۲ کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار به خاک.

جدول ۳- شاخص‌های گیاه نرت کاشته شده در این آزمایش.

انحراف معیار	میانگین	بیشینه	کمینه	شاخص‌های رشد گیاه نرت	Yهای تعریف شده در ANN
۰/۴۰	۱/۰۲	۱/۸۵	۰/۳۲	وزن خشک ریشه (gpot^{-1})	Y_1
۱/۹۳	۵/۷۱	۱۰/۱۰	۲/۱۵	وزن خشک بخش هوایی (gpot^{-1})	Y_2
۰/۱۲	۰/۴۶	۰/۶۶	۰/۱۹	غلظت فسفر ریشه (mgg^{-1})	Y_3
۰/۷۹	۴/۰۷	۵/۱۵	۱/۹۸	غلظت فسفر بخش هوایی (mgg^{-1})	Y_4
۰/۱۹	۰/۴۷	۰/۷۴	۰/۱۴	مقدار فسفر ریشه (mgpot^{-1})	Y_5
۶/۷۵	۲۲/۶۲	۳۲/۹۲	۹/۷۶	مقدار فسفر بخش هوایی (mgpot^{-1})	Y_6

اعتبارسنجی R^2 بالایی نسبت به دیگر شاخص‌ها داشت. فسفر استخراج شده توسط روش کالول (X_5) و شاخص Y_3 در مرحله آموزش و در مرحله اعتبارسنجی، شاخص‌های Y_2 و Y_4 دارای R^2 بالایی نسبت به دیگر شاخص‌ها داشت. فسفر استخراج شده توسط روش سلطانپور (X_6) و شاخص‌های Y_1 ، Y_2 ، Y_3 و Y_4 در مرحله آموزش و در مرحله اعتبارسنجی R^2 بالایی نسبت به دیگر شاخص‌ها داشت. فسفر استخراج شده توسط روش کلونا ۲ (X_7) و شاخص Y_4 در مرحله آموزش و در مرحله اعتبارسنجی R^2 بالایی نسبت به دیگر شاخص‌ها داشت. فسفر استخراج شده توسط روش مورگان (X_8) و شاخص‌های Y_1 و Y_3 در مرحله آموزش و در مرحله اعتبارسنجی R^2 بالایی نسبت به دیگر شاخص‌ها داشت.

نتایج حاصل از تجزیه داده‌ها در جدول ۷ آورده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود فسفر استخراج شده توسط آب مقطر (X_1) و شاخص‌های Y_1 ، Y_3 و Y_4 در مرحله آموزش دارای بیشترین ضریب تبیین (R^2) هستند که دارای $RMSE$ کمی هستند و R^2 آن‌ها در مرحله اعتبارسنجی نیز بالاست. فسفر استخراج شده توسط کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار (X_2) و شاخص Y_3 در مرحله آموزش و در مرحله اعتبارسنجی R^2 بالایی نسبت به دیگر شاخص‌ها داشت. فسفر استخراج شده توسط روش پای (X_3) و شاخص‌های رشد گیاه در مرحله اعتبارسنجی R^2 بالایی نداشت، بنابراین از مقایسه با دیگر عصاره‌گیرها حذف شد. فسفر استخراج شده توسط روش اولسن (X_4) و شاخص Y_1 و Y_2 در مرحله آموزش و در مرحله

جدول ۴- فسفر استخراج شده (mg kg^{-1}) توسط روش‌های مختلف عصاره‌گیری فسفر.

روش استخراج فسفر	کمینه	بیشینه	میانگین
کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار	۰/۱۲	۳/۵۳	۰/۴۸
آب مقطر	۰/۱۰	۱۳/۲۳	۱/۶۵
سلطانپور	۰/۷۵	۳۹/۰۹	۴/۵۱
Pi (واتمن ۴۱)	۱/۲۷	۳۰/۷۰	۵/۲۴
Pi (سچلیچر و سچول ۵۸۹ ^۳)	۰/۴۳	۳۶/۷۴	۶/۴۴
Pi (واتمن ۴۰۹)	۲/۵۱	۳۲/۱۴	۶/۵۹
Pi (واتمن ۴۲)	۲/۹۴	۲۷/۴۷	۷/۶۹
پاو	۱/۹۰	۱۷/۶۸	۸/۰۵
Pi (پاکستانی ۴۲)	۳/۴۱	۲۹/۶۷	۹/۰۵
اولسن	۱/۷۶	۷۴/۴۸	۱۱/۸۸
مورگان	۱/۶۲	۱۲۷/۶۸	۱۹/۶۸
کلونا ۲	۶/۳۹	۱۰۲/۱۶	۲۰/۲۶
Pi (واتمن ۵۴۱)	۶/۳۹	۵۶/۰۲	۲۱/۸۰
کالول	۶/۷۶	۱۲۰/۸۱	۲۷/۶۱

Pi: روش کاغذ صافی‌های آغشته به اکسید آهن.

جدول ۵- ضریب تبیین (r^2) فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف و شاخص‌های گیاهی در ۱۹ خاک مورد مطالعه (حذف خاک‌های ۲، ۵، ۱۵، ۱۶، ۱۹ و ۲۵).

ورودی‌های ANN (x_i)	روش‌های عصاره‌گیری	شاخص‌های رشد			
		وزن خشک ریشه	وزن خشک بخش هوایی	غلظت فسفر ریشه	غلظت فسفر بخش هوایی
x_1	آب مقطر	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۴
x_2	کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولا	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۵
x_3	پاو	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۳۵	۰/۴
x_4	اولسن	۰/۰۴	۰/۴۴	۰/۰۱	۰/۰
x_5	کالول	۰/۰۵	۰/۴۹	۰/۰۲	۰/۰۳
x_6	سلطانپور	۰/۰	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۰۳
x_7	کلونا ۲	۰/۰۲	۰/۴۱	۰/۰۳	۰/۰۳
x_8	مورگان	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۲
x_9	Pi (واتمن ۴۲)	۰/۰۳	۰/۲۸	۰/۰۰	۰/۰۱
x_{10}	Pi (واتمن ۵۴۱)	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۳۲	۰/۳۷
x_{11}	Pi (سچلیچر و سچول ۵۸۹)	۰/۰۲	۰/۲۹	۰/۰۰	۰/۰۵

Pi: روش کاغذ صافی‌های آغشته به اکسید آهن.

جدول ۶- پیش‌بینی شاخص‌های رشد گیاه با استفاده از معادلات رگرسیونی.

بهترین مدل	اعتبارسنجی		آموزش		خروجی	ورودی
	RMSE	r^2	RMSE*	r^2		
$y = ۰/۰۲x + ۰/۸$	۰/۳۰	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۵۵	y_5	x_{10}
$y = ۰/۰۹x + ۴/۰۵$	۱/۹۸	۰/۵۱	۱/۰۶	۰/۴۹	y_2	x_5
$y = ۰/۲۵x + ۲/۷۹$	۱/۹۷	۰/۴۵	۱/۱۲	۰/۴۴	y_2	x_4

RMSE* هم‌واحد با داده‌ها است.

استخراج شده توسط عصاره‌گیرها را با شاخص‌های رشد گیاه ذرت نسبت به رگرسیون خطی افزایش داد (البته در مواردی که به عنوان اعتبارسنجی بکار رفته- اند)؛ به طوری که در معادلات رگرسیونی عصاره‌گیر آب مقطر قادر به پیش‌بینی هیچ‌یک از شاخص‌های گیاه ذرت نبود ولی با آموزش ANN تقریباً تمام شاخص‌های رشد مورد مطالعه را پیش‌بینی کرد. نتایج نشان داد که روش اولسن بهترین عصاره‌گیری است که با استفاده از فسفر استخراج شده توسط آن می‌توان با ANN با ۸ لایه نرون در لایه اول و ۶ نرون در لایه دوم (۶ و ۸) net) وزن خشک بخش هوایی را پیش‌بینی کرد و روش سلطانپور بهترین عصاره‌گیری است که با استفاده از فسفر استخراج شده توسط آن می‌توان با ANN با ۶ نرون در لایه اول و ۶ نرون در لایه دوم غلظت فسفر بخش هوایی را پیش‌بینی کرد.

فسفر استخراج شده توسط روش Pi (واتمن ۴۲) (x_9) و شاخص‌های رشد گیاه در مرحله اعتبارسنجی r^2 بالایی نداشت بنابراین از مقایسه با دیگر عصاره‌گیرها حذف شد. فسفر استخراج شده توسط روش Pi (واتمن ۵۴۱) (x_{10}) و شاخص‌های y_1, y_3, y_4 و y_5 در مرحله آموزش و در مرحله اعتبارسنجی r^2 بالایی نسبت به دیگر شاخص‌ها داشت. فسفر استخراج شده توسط روش Pi (x_{11}) و شاخص‌های رشد گیاه در مرحله آموزش و یا اعتبارسنجی r^2 بالایی نداشت. بنابراین از مقایسه با دیگر عصاره‌گیرها حذف شد. شاید یکی از دلایل r^2 های پایین در بعضی موارد تعداد کم داده‌ها برای آموزش باشد زیرا هرچه تعداد داده‌های ورودی برای آموزش بیشتر باشد نرم‌افزار دیگر را بهتر پیش‌بینی می‌کند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با آموزش ANN می‌توان دقت (r) و قدرت (r^2) رابطه بین فسفر

جدول ۷-ضریب تبیین (r^2) مدل‌های برتر برای روابط بین انواع شاخص‌های گیاهی و فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف در ۱۹ خاک مورد مطالعه.

اعتبار سنجی		آموزش		بهترین حالت شبکه	خروجی	ورودی
RMSE	r^2	RMSE*	r^2			
۰/۲۴	۰/۹۶	۰/۱۴	۰/۸۲	net (۹و۴) ^o	y ₁	x ₁
۰/۱۱	۰/۸۳	۰/۰۵	۰/۸۳	net (۶و۸)	y ₃	x ₁
۰/۶۱	۰/۸۰	۰/۲۶	۰/۸۸	net (۷و۵)	y ₄	x ₁
۶/۴۲	۰/۹۶	۵/۰۱	۰/۴۶	net (۵و۶)	y ₆	x ₁
۰/۱۰	۰/۷۹	۰/۰۵	۰/۸۵	net (۸و۹)	y ₃	x ₂
۰/۲۹	۰/۶۹	۰/۰۶	۰/۹۱	net (۸و۱۰)	y ₅	x ₃
۷/۳۶	۰/۷۲	۳/۳۵	۰/۷۱	net (۷و۸)	y ₆	x ₃
۱/۹۸	۰/۸۲	۰/۰۶	۰/۹۷	net (۹و۷)	y ₁	x ₄
۱/۸۲	۰/۹۱	۰/۴۵	۰/۹۱	net (۸و۶)	y ₂	x ₄
۰/۳۹	۰/۷۹	۰/۰۷	۰/۶۹	net (۶و۹)	y ₃	x ₄
۰/۱۷	۰/۷۹	۰/۱۲	۰/۶۶	net (۹و۴)	y ₅	x ₄
۱۷/۳۹	۰/۸۶	۳/۱۲	۰/۷۴	net (۹و۱۰)	y ₆	x ₄
۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۱۹	۰/۶۲	net (۱۰و۶)	y ₁	x ₅
۲/۲۱	۰/۸۶	۰/۹۵	۰/۶۰	net (۶و۲)	y ₂	x ₅
۰/۱۹	۰/۷۰	۰/۰۲	۰/۹۸	net (۱۰و۷)	y ₃	x ₅
۰/۳۰	۰/۸۹	۰/۴۸	۰/۶۳	net (۹و۷)	y ₄	x ₅
۰/۲۹	۰/۷۷	۰/۱۲	۰/۶۱	net (۱۰و۵)	y ₅	x ₅
۰/۴۰	۰/۹۴	۰/۰۹	۰/۹۱	net (۱۰و۸)	y ₁	x ₆
۱/۵۸	۰/۸۷	۰/۴۸	۰/۸۹	net (۸)	y ₂	x ₆
۰/۲۹	۰/۸۳	۰/۰۴	۰/۹۲	net (۱۰و۷)	y ₃	x ₆
۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۲۶	۰/۸۹	net (۶و۶)	y ₄	x ₆
۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۱۳	۰/۸۳	net (۱۰و۹)	y ₁	x ₇
۵/۷۱	۰/۸۹	۰/۸۱	۰/۷۳	net (۷و۸)	y ₂	x ₇
۰/۲۹	۰/۷۹	۰/۰۴	۰/۹۰	net (۹و۸)	y ₃	x ₇
۱/۱۲	۰/۸۲	۰/۲۷	۰/۸۷	net (۹و۵)	y ₄	x ₇
۰/۳۹	۰/۸۳	۰/۱۰	۰/۷۴	net (۵و۶)	y ₅	x ₇
۰/۴۳	۰/۹۹	۰/۱۴	۰/۸۱	net (۱۰و۵)	y ₁	x ₈
۰/۱۴	۰/۸۶	۰/۰۵	۰/۸۷	net (۵و۱۰)	y ₃	x ₈
۰/۶۲	۰/۷۰	۰/۲۲	۰/۹۲	net (۱۰و۷)	y ₄	x ₉
۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۱۶	۰/۳۵	net (۵و۱۰)	y ₅	x ₉
۰/۵۳	۰/۹۹	۰/۱۲	۰/۸۵	net (۷و۱۰)	y ₁	x ₁₀
۰/۱۶	۰/۹۳	۰/۰۲	۰/۹۸	net (۵و۸)	y ₃	x ₁₀
۱/۱۴	۰/۹۰	۰/۳۴	۰/۸۱	net (۴و۹)	y ₄	x ₁₀
۰/۱۶	۰/۸۹	۰/۰۶	۰/۹۲	net (۱۰و۲)	y ₅	x ₁₀
۲۳/۸۶	۰/۶۵	۰/۰۶	۱/۰۰	net (۸و۹)	y ₆	x ₁₀
۱/۴۱	۰/۷۰	۰/۳۹	۰/۹۳	net (۵و۸)	y ₂	x ₁₁
۰/۶۷	۰/۸۵	۰/۴۵	۰/۶۷	net (۹و۸)	y ₄	x ₁₁
۰/۲۷	۰/۷۰	۰/۰۷	۰/۸۹	net (۷و۱۰)	y ₅	x ₁₁

^oبهترین حالت شبکه که در آن عدد اول داخل پارانتز تعداد نرون‌های لایه پنهان اول و عدد دوم داخل پارانتز تعداد نرون‌های لایه پنهان دوم را نشان می‌دهد. تعداد اعداد داخل پارانتز تعداد لایه‌های پنهان را نشان می‌دهد. در جدول حاضر تمام نتایج آورده نشده است. RMSE هم‌واحد با داده‌ها است.

استخراج شده توسط روش اولسن و وزن خشک هوایی در هر دو مرحله آموزش و اعتبار سنجی برابر ۰/۹۱ بود. به علاوه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می توان در کاهش هزینه‌ها و وقت برای اندازه‌گیری فسفر قابل استفاده گیاه ذرت کمک شایانی کرد زیرا می‌توان با استفاده از این نرم‌افزار و روش آب مقطر غلظت فسفر بخش هوایی گیاه ذرت را به خوبی پیش‌بینی کرد (۲^۳) در مرحله آموزش و اعتبارسنجی به ترتیب برابر ۰/۸۸ و ۰/۸۰).

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول بوده که بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز به دلیل تأمین هزینه‌های لازم تشکر می‌شود. همچنین از آقای دکتر محمدعلی قربانی دانشیار محترم گروه مهندسی علوم آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز به دلیل مساعدت علمی تشکر می‌گردد.

باید توجه داشت که این عصاره‌گیر می‌تواند چند عنصر را با هم اندازه‌گیری نماید، بنابراین شاید هزینه‌های این روش کمتر باشد. با توجه به ارزان و آسان بودن روش آب مقطر می‌توان از فسفر استخراج شده توسط این روش و با ANN با ۷ نرون در لایه اول و ۵ نرون در لایه دوم غلظت فسفر بخش هوایی را پیش‌بینی کرد.

نتیجه‌گیری کلی

در شرایط این مطالعه شبکه عصبی مصنوعی توانست پیش‌بینی بسیار بهتری نسبت به مدل‌های رگرسیونی از شاخص‌های رشد گیاه ذرت توسط داده‌های حاصل از عصاره‌گیرهای فسفر داشته باشد؛ به طوری که در رگرسیون خطی بیشترین r^2 بین فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرها و وزن خشک بخش هوایی مربوط به روش کالول در هر دو مرحله آموزش و اعتبارسنجی بود (۲^۳) به ترتیب ۰/۴۹ و ۰/۵۱) درحالی که در شبکه عصبی مصنوعی r^2 بین فسفر

منابع مورد استفاده

- حسین پور ع و شریعتمداری ح ، ۱۳۸۵. ارزیابی چند عصاره‌گیر جهت تعیین فسفر قابل استفاده در گیاه یونجه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۰، شماره ۴، صفحه‌های ۱۰۷ تا ۱۱۸.
- حسین پور ع و صالحی م، ۱۳۸۸. تعیین فسفر قابل استفاده با روش نوارهای کاغذی پوشیده شده با اکسید آهن و مقایسه آن با روش‌های شیمیایی. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، جلد ۲، شماره ۴۰، صفحه‌های ۱۰۵ تا ۱۱۰.
- زارع ایبانه ح، ۱۳۹۱. ارزیابی روش‌های ANN و زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی عملکرد گندم دیم و آبی (مطالعه موردی: خراسان رضوی). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، جلد ۴۴، شماره ۴، صفحه‌های ۲۳ تا ۴۲.
- شعبانی ا، حق نیا غ، کریمی عر و احمدی م، ۱۳۹۰. پیش‌بینی عملکرد گندم دیم به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی در منطقه سیسب استان خراسان شمالی. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ۱۲ الی ۱۴ شهریور، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
- عطاردی ب و نادری خوراسگانی م، ۱۳۸۸. تعیین عصاره‌گیر مناسب و حد بحرانی فسفر برای سورگوم (*Sorghumbicolor L. Var. Speedfeed*) در خاک‌های آهکی منطقه بیرجند. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۳، شماره ۵۰، صفحه‌های ۱۳۳ تا ۱۴۶.
- منهاج م، ۱۳۸۴. مبانی شبکه‌های عصبی (هوش محاسباتی)، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- نوروزی م، ایوبی ش، جلالیان ا و خادمی ح، ۱۳۸۷. ارزیابی کارایی شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی مؤلفه‌های عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل رقومی پستی‌وبلندی زمین. دومین کنگره مشترک سیستم‌های فازی و سیستم‌های هوشمند. ۷ الی ۹ آبان، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
- Allison LE and Moodie CD, 1965. Carbonates, Pp. 1379-1396. In: BlackCA (ed). Method of Soil Analysis. Part3. Chemical methods. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Amini M, Abbaspour KC, Khademi H, Fathianpour N, Afyuni M and Schulin R, 2005. Neural network models to

- predict cation exchange capacity in arid regions of Iran. *European Journal of Soil Science* 53: 748-757.
- Borgesen CD and Schaap M, 2005. Point and parameter pedotransfer functions for water retention predictions for Danish soils. *Geoderma* 127: 154-167.
- Chardon WJ, Menon RG and Chien SH, 1996. Iron Oxide impregnated filter paper (Pi test): A review of its development and methodological research. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46: 42-51.
- Colwell JD, 1963. The estimation of the phosphorus fertilizer requirements of wheat in southern New South Wales by soil analysis. *Australian journal of experimental agriculture and animal. Husbandry* 3: 190-198.
- Delgado A and Torrent J, 2001. A comparison of soil extraction procedures for estimating the phosphorus release potential of agricultural soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32: 87-105.
- Delgado A and Scalenghe R, 2008. Aspects of phosphorus transfer in Europe. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 171: 552-575.
- Drouinean G, 1942. Dosage rapide du calcaireactif du sol: nouvellesdonneessur la separation et la nature des fractions calcaires. *Agronomy* 12: 441-450.
- Gee GW and Bauder JW, 2002. Particle size analysis, Pp. 201-214. In: Jacob HD and Clarke ToppG (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods.* Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Humphreys J, Tunney H and Duggan P, 2001. Comparison of extractable soil phosphorus with dry matter production and phosphorus uptake by perennial ryegrass in a pot experiment. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 40: 45-54.
- Kravchenko AN and Bullock DG, 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *European Journal of Agronomy* 92: 75-83.
- Kulhanek M, Balik J, Cerny J, Nedved V and Kotkova B, 2007. The influence of different intensities of phosphorus fertilizing on available phosphorus contents in soils and uptake by plants. *Plant Soil Environment* 53: 382-387.
- Molinaa M, Ortegaa R and Escudey M, 2012. Evaluation of the AB-DTPA multiextractant in Chilean soils of different origin with special regard to available phosphorus. *Archives of Agronomy and Soil Science* 58: 789-803.
- Morgan MF, 1941. *Chemical Soil Diagnosis by the Universal Soil Testing System*; Bull, Storrs, CT, 450 p.
- Murphy J and Riley JP, 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27: 31-36.
- Nelson DW and Sommers LE, 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter, Pp. 961-1010. In: Sparks DL (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS and Dean LA, 1954. *Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate.* USDA, Cire. 939, United States Government Printing Office, Washington DC.
- Olsen SR and Sommers LE, 1982. Phosphorus, Pp. 403-430, In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds). *Methods of Soil Analysis, 2nd ed. Part 2. Agronomy No. 9.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Paauw FVD, 1971. An effective water extraction method for the determination of plant-available phosphorus. *Plant and Soil* 34: 467-481.
- Qian P, Schoenau JJ and Karamanos RE, 1994. Simultaneous extraction of available phosphorus and potassium with a new soil test: a modification of the Kelowna extraction. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 25: 627-635.
- Richards LA, 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*, p. 84. USDA Handbook. number, 60, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- Richard A, 2004. *Regression Analysis: A Constructive Critique.* Sage Publications. Thousand Oaks, CA.
- Rhoades JD, 1996. Salinity, Electrical conductivity and total dissolved solids, Pp. 417-435. In: Sparks DL (ed). *Methods of Soil Analysis. part3. Chemical Methods.* Soil Science Society of America, Madison WI.
- Sharpley AN, 1993. Assessing phosphorus bioavailability in agricultural soils and runoff. *Fertilizer Research* 36: 259-272.
- Smith RCG, Adams J, Stephens DJ and Hick PT, 1995. Forecasting wheat yield in a Mediterranean-type environment from the NOAA satellite. *Australian Journal of Agricultural Research* 46: 113-125.
- Soltanpour PN and Schwab AP, 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro and micro nutrients in alkaline soils. *Communications in Soil Science Plant Analysis* 8: 195-207.
- Soon YK, 1990. Comparison of parameters of soil phosphate availability for the northwestern Canadian prairie. *Canadian Journal of Soil Science* 70: 227-237.
- Tamari S, Wosten JHM and Ruz-suarez JC, 1996. Testing an artificial neural network for predicting soil hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal* 60: 1732-1741.
- Waling I, VanVark W, Houba VJG and Vanderlee JJ, 1989. *Soil and Plant Analysis, a series of syllabi.* Part 7. *Plant Analysis Procedures.* Wageningen Agriculture University The Netherland.
- Watanabe FS and Olsen SR, 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Science Society of America. Proc* 29: 677-678.
- Yang C, Peterson CL, Shropshire GJ and Otawa T, 1998. Spatial variability of fieldtopography and wheat yield in the Palouse region of the Pacific Northwest. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 41: 17-27.