

بررسی امکان پیش‌بینی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از پارامترهای زودیافت خاک

ابوطالب هزارجریبی^{*۱} - فهیمه نصرتی کاریزک^۲ - کامل عبدالله نژاد^۳ - خلیل قربانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۷

چکیده

ظرفیت تبادل کاتیونی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های شیمیایی خاک است که توانایی خاک را برای نگهداری مواد غذایی و آب در خاک و همچنین مدیریت آلودگی خاک نشان می‌دهد. از طرفی به علت آن که اندازه‌گیری آن کاری دشوار و وقت‌گیر است، بنابراین تخمین آن از طریق خصوصیات زود یافت خاک مطلوب می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی است. به این منظور، در منطقه چهل‌دین در محدوده شهرستان گرگان نمونه‌برداری خاک از ۶۹ نقطه قرار گرفته بر روی یک شبکه صورت گرفت. سپس ویژگی‌های زودیافت خاک از قبیل درصد شن، سیلت و رس، جرم ویژه ظاهری، جرم ویژه حقیقی، مواد آلی، درصد آهک، pH، EC، تخلخل کل، میانگین هندسی اندازه ذرات و انحراف معیار هندسی آنها در آزمایشگاه اندازه‌گیری و نتایج اولیه به دست آمد. نتایج نشان داد که روش شبکه عصبی مصنوعی روش مناسبی در برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک است به طوری که می‌تواند ۸۲ درصد تغییرپذیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک پیش‌بینی نماید. بافت خاک موثرترین پارامتر بر روی CEC بود. آنالیز حساسیت داده‌ها با استفاده از مدل توسعه یافته با شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که پارامترهای درصد رس، سیلت و شن، میانگین هندسی اندازه ذرات، انحراف معیار هندسی اندازه ذرات، درصد ماده آلی و تخلخل کل به ترتیب مهمترین فاکتورهای موثر بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در منطقه می‌باشند. مدلی با پارامترهای ورودی درصد رس، سیلت و شن، میانگین هندسی و انحراف معیار هندسی اندازه ذرات به عنوان بهترین مدل پیش‌بینی کننده ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید.

واژه‌های کلیدی: ظرفیت تبادل کاتیونی، شبکه عصبی مصنوعی، پیش‌بینی، ویژگی‌های زودیافت خاک

مقدمه

است (۱۳) و به عنوان ورودی در مدل‌های خاک و زیست محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۱). این ویژگی شاخص خوبی برای تعیین کیفیت و بهره‌وری خاک^۵ بوده و مقدار آن بسته به میزان مواد آلی، مقدار و نوع رس و شرایط خاک متغیر است. رس‌ها و مواد آلی خاک به علت دارا بودن سطح ویژه زیاد و باردار بودن نقش مهمی در ظرفیت تبادل کاتیونی دارند و با افزایش مقدار رس و مواد آلی خاک مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی آن افزایش می‌یابد. pH خاک نیز در خاک‌های دارای بار وابسته به pH با تأثیر بر گروه‌های عامل، در مقدار CEC مؤثر می‌باشد. محدوده تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌ها از کمتر از یک سانتی مول بر کیلوگرم برای خاک‌های شنی با مواد آلی کم تا بیش از ۲۵ سانتی مول بر کیلوگرم برای خاک‌های رسی با مواد آلی زیاد متغیر می‌باشد (۱۸).

رابطه ظرفیت تبادل کاتیونی با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک: با افزایش درصد رس، مواد آلی و pH میزان بارهای منفی

ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) عبارت از حداکثر مقدار کاتیونی که وزن معینی از خاک، قادر است جذب سطحی یا نگهداری نماید. این ظرفیت را بر حسب سانتی مول بار بر یک کیلو گرم خاک خشک ($\text{cmol}^+/\text{kg soil}$) نشان می‌دهند. ظرفیت تبادل کاتیونی یکی از ویژگی‌های شیمیایی خاک است و در جذب و رهاسنجی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و برآورد پتانسیل خطر فلزات سنگین و برخی آلاینده‌های آلی کاتیونی نقش موثری دارد. همچنین، CEC اغلب یکی از مهم‌ترین خصوصیات خاک است که در پایگاه داده‌ها مورد نیاز

۱ و ۴- استادیاران گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

*- نویسنده مسئول: Email: (hezab10@yahoo.com)

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- استادیار گروه آمار و ریاضی، دانشگاه گلستان

می‌کنند. معماریان فرد و بیگی هرچگانی (۱۴)، از توابع انتقالی برای پیش‌بینی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از خصوصیات اساسی خاک مانند توزیع اندازه ذرات، کربن آلی، درصد رطوبت اشباع و pH روی ۲۰۰ نمونه خاک از استان چهارمحال و بختیاری استفاده کردند. عملکرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیونی چند متغیره خطی با استفاده از دسته داده‌های آزمونی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی پس انتشار خطای توسعه داده شده با چهار ورودی کربن آلی، رطوبت اشباع، درصد رس و شن با هفت نرون در لایه پنهان توانست ظرفیت تبادل کاتیونی را بهتر از مدل‌های رگرسیونی و دیگر مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی کند.

هدف از این تحقیق بررسی امکان پیش‌بینی CEC با بعضی از خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک مانند درصد ذرات مختلف خاک (رس، سیلت و شن)، میانگین هندسی و انحراف معیار هندسی قطر ذرات، مقدار ماده آلی، تخلخل کل، درصد آهک، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک، pH و EC، آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی در مدل ارائه شده و تعیین مدل بهینه برای تعیین CEC با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی بود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق منطقه چهل‌دین با مساحت ۱۰،۰۰۰ هکتار، در محدوده یساقی تا بندرترکمن در طول شرقی ۵۹° ۱۴' تا ۱۱' ۵۴° و عرض شمالی ۲۰° ۴۹' تا ۳۶° ۵۳' ۳۴' انتخاب گردید. ابتدا نقشه تغییرات بافت خاک منطقه فوق که دارای تنوع بافتی نسبتاً مناسبی بود، از بخش تحقیقات کشاورزی خاک و آب استان گلستان تهیه گردید. بر روی نقشه ۶۹ نقطه با فواصل ۱×۲ کیلومتر به گونه‌ای انتخاب شدند که شامل تمامی بافت‌های خاک موجود در منطقه (لوم، رس سیلتی، لوم سیلتی، لوم رس سیلتی، لوم رسی و شن لومی) و به تعداد مناسب باشند و در عین حال کل مساحت منطقه را در بر گیرند، تا در نهایت امکان ترسیم نقشه تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی ذرات منطقه از روی مدل بهینه حاصل از شبکه عصبی مصنوعی فراهم گردد. با استفاده از سیستم مکان‌یاب جغرافیایی (GPS)، این نقاط روی زمین شناسایی و سپس به وسیله اوگر تا عمق ۳۵ سانتی‌متری نمونه‌برداری صورت گرفت. نمونه‌ها در مجاورت هوای آزاد خشک و به نرمی کوبیده شده و از الک (۱۰ mesh) ۲ mm عبور داده و به آزمایشگاه گروه خاک‌شناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شدند.

در این تحقیق بافت خاک (clay, silt, sand) به روش پیپت (۷)، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی به ترتیب با روش‌های کلوخه و پیکنومتر (۷) و ماده آلی (OM) به روش والکلی بلاک (۲۵) اندازه-

کلوئیدهای خاک افزایش و در نتیجه میزان ظرفیت تبادل کاتیونی خاک افزایش می‌یابد. از طرفی با افزایش درصد رس، درصد شن و سیلت کاهش می‌یابد، بنابراین از پارامترهای ثابت میانگین هندسی و انحراف معیار هندسی اندازه ذرات استفاده می‌شود.

اندازه‌گیری CEC ضروری، ولی مستلزم صرف وقت و هزینه می‌باشد. در مورد مشخصاتی که اندازه‌گیری مستقیم آن‌ها مشکل و پرهزینه می‌باشد، تجزیه اطلاعات موجود به نحوی که منجر به برآورد آن‌ها از داده‌های اندازه‌گیری شده و زودیافت موجود شود، راهی آسان و به صرفه خواهد بود. بنابراین با استفاده از روش‌های غیر مستقیم با صرفه جویی در زمان و هزینه و با دقت مناسب می‌توان CEC خاک را از سایر خصوصیات که به آسانی قابل اندازه‌گیری‌اند و در همه بانک‌های اطلاعاتی خاک موجود می‌باشند، برآورد نمود.

توابع انتقالی خاک با تخمین CEC از داده‌های زودیافت خاک یکی از روش‌های جایگزین اندازه‌گیری مستقیم CEC است. فرض اصلی در بیشتر مدل‌های تخمینی CEC بیانگر وجود رابطه خطی بین پارامتر مورد نظر و مواد آلی و میزان رس خاک می‌باشد (۴ و ۱۴). کریمیان (۱۰) با استفاده از ۱۵۰ نمونه خاک استان فارس، معادلات رگرسیونی چند متغیره ایجاد و سهم رس و مواد آلی در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را محاسبه نمود. این پژوهش همچنین ظرفیت تبادل کاتیونی تعدادی از خاک‌ها را پس از اکسایش مواد آلی با آب اکسیژنه اندازه‌گیری کرد و سهم مواد آلی و رس را به طور مستقیم تعیین نمود. نوربخش و همکاران (۱۹)، امینی و همکاران (۲)، بل و وان کولن (۳)، یرما و همکاران (۲۹) و معماریان فرد و بیگی هرچگانی (۱۵) با درصد رس و ماده آلی مقدار CEC را برآورد کردند. همچنین با افزایش CEC خاک مقدار سطح ویژه ذرات ریز خاک نیز افزایش می‌یابد و در اکثر تحقیقات رابطه معنی داری با همبستگی بالا بین این دو پارامتر به دست آمده است (۶).

شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از روش‌های هوشمند پردازش داده‌ها هستند که اخیراً به وسیله پاجپسکی و همکاران (۲۰) و تاماری و همکاران (۲۳) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شبکه‌های پیش‌خور پس انتشار خطا مورد استفاده قرار گرفته در این تحقیقات قادر به تخمین توابع غیر خطی پیوسته با هر درجه از دقت می‌باشند (۱۶). اخیراً شبکه‌های عصبی مصنوعی به طور فراگیر و موفقیت آمیزی در پیش‌بینی بسیاری از خصوصیات دیریافت خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یکی از مزیت‌های استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به مدل‌های قدیمی این است که نیازمند تعیین یک تابع خاص برای بیان رابطه میان داده‌های ورودی و خروجی نیست. رابطه بین داده‌های ورودی و خروجی از طریق فرایند آموزش به دست می‌آید. تانگ و همکاران (۲۳) از شبکه‌های عصبی توابع پایه شعاعی برای پیش‌بینی CEC استفاده کردند و دریافتند که شبکه‌های عصبی CEC را با دقت بیشتر نسبت به مدل‌های رگرسیونی چند متغیره پیش‌بینی

مربعات خطا (RMSE) بین داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده استفاده شد. بیان ریاضی آماره RMSE به صورت رابطه ۵ می‌باشد.

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{\sum(a-t)^2}{N}\right)} \quad (5)$$

در رابطه بالا، a و t به ترتیب مقدار پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده پارامتر ظرفیت تبادل کاتیونی و N تعداد داده‌ها است.

مقدار RMSE نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌ها تا چه حد، اندازه‌گیری را بیشتر یا کمتر تخمین زده‌اند. در شرایطی که مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده با هم برابر باشند $RMSE = 0$ خواهد بود. ضریب تبیین نیز از برازش خط بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده به دست می‌آید.

شبکه عصبی مصنوعی برای همه مدل‌ها، با الگوریتم آموزشی لونیگ-مارکواردت به صورت یک لایه پنهان، تابع آستانه logsig برای لایه پنهان و tansig برای لایه خروجی انتخاب گردید. بعد از آنالیز حساسیت و مدل‌سازی با پارامترهای حساس در برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی ذرات خاک، به منظور تخمین سریع و دقیق ظرفیت تبادل کاتیونی ذرات خاک، بهترین مدل از نظر دقت و سرعت انتخاب می‌شود.

نتایج و بحث

برای هر گونه مطالعه یا محاسبه آماری لازم است که داده‌های آزمایشی و مزرعه‌ای که به صورت توده‌ای از اعداد خام هستند به شکل خاصی منظم گردند. همان‌گونه که در جدول ۱ دیده می‌شود، در بین متغیرهای شیمیایی، pH دارای کمترین ضریب تغییرات (۳ درصد) می‌باشد. در عین حال ضریب تغییرات EC در بین متغیرهای شیمیایی از همه بالاتر و برابر ۱۳/۹ درصد است. در بین پارامترهای فیزیکی خاک که در جدول ۲ نشان داده است، جرم مخصوص حقیقی کمترین (۳/۶ درصد) و میانگین هندسی قطر ذرات (۱/۷۵ درصد) بیشترین ضریب تغییرات را دارا می‌باشند. مقادیر نرمال چولگی بین ۱- و ۱+ قرار دارد. چولگی ارائه شده در جداول ۱ و ۲ موید این مطلب است که تمامی متغیرها به جز پارامترهای میانگین هندسی قطر ذرات و سوری از توزیع نرمال برخوردارند. پارامترهای مذکور دارای توزیع لوگ نرمال بودند.

در مدل‌سازی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با ۱۲ ورودی برای ۶۹ مجموعه داده، بهترین آرایش لایه پنهان با الگوریتم آموزشی لونیگ-مارکواردت به صورت یک لایه پنهان، ۲۸ نرون، تابع آستانه Logsig برای لایه پنهان و Tansig برای لایه خروجی انتخاب گردید.

گیری گردید. کربنات کلسیم خاک با استفاده از اسید کلریدریک نیم نرمال برای خنثی‌سازی کربنات کلسیم در آن (۲۰)، اسیدیته خاک (pH) با استفاده از دستگاه pH متر (۲۰)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع نمونه‌ها با استفاده از دستگاه هدایت سنج الکتریکی (EC متر)، ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از روش چاپمن (۲۰) اندازه‌گیری شد. همچنین تخلخل کل (f) از رابطه ۱ به دست می‌آید (۱). میانگین هندسی (d_g) و انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک (σ_g) طبق روابط ۲ و ۳ بر اساس روش ارائه شده توسط شیرازی و بورسما (۱۹۸۴) تعیین گردید (۱).

$$f = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}\right) \quad (1)$$

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

$$b = \left(0.01 \sum_{i=1}^n f_i \ln^2 m_i\right) - a^2 \quad \sigma_g = \exp b \quad (3)$$

در نهایت روابط بین ظرفیت تبادل کاتیونی و پارامترهای زودیافت خاک با تجزیه شبکه عصبی مصنوعی مشخص شد. قبل از آموزش شبکه عصبی، داده‌های ورودی به آن بایستی استاندارد شوند. برای استاندارد کردن داده‌ها از رابطه ۴ استفاده شده است:

$$X_n = 0.5 + 0.5 \left(\frac{X - X_{\text{mean}}}{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}\right) \quad (4)$$

که در آن X_n معرف داده نرمال شده، X معرف داده‌های مشاهده‌ای، X_{max} ، X_{min} و X_{mean} به ترتیب معرف داده‌های مشاهده‌ای میانگین، حداکثر و حداقل می‌باشند. سپس پارامترهای زودیافت خاک به عنوان پارامترهای ورودی و ظرفیت تبادل کاتیونی به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شد. ۶۰ درصد داده‌ها (۴۱ نمونه) جهت آموزش مدل، ۲۰ درصد داده‌ها (۱۴ نمونه) جهت انجام فرایند اعتبارسنجی مدل و ۲۰ درصد (۱۴ نمونه) به عنوان داده‌های آزمون مدل انتخاب گردید. به منظور آموزش شبکه عصبی، نرم‌افزار Matlab 7.9 شبکه MLP مورد استفاده قرار گرفت. همچنین جهت دستیابی به فاکتورهای موثر بر ظرفیت تبادل کاتیونی از تجزیه حساسیت استفاده شد. فرایند آنالیز حساسیت اطلاعات ارزشمندی درباره میزان حساسیت مدل به متغیرهای ورودی در اختیار کاربر قرار می‌دهد. با شناسایی میزان تاثیر متغیرهای ورودی بر دقت پیش‌بینی مدل، می‌توان متغیرهای کم اثر را از شبکه حذف و مدل ساده‌تری را بسط و توسعه داد. در این تحقیق برای انجام آنالیز حساسیت مدل از ضریب بدون بعد حساسیت (۸) استفاده گردید.

در این پژوهش برای انجام تجزیه حساسیت مدل از ضریب بدون بعد حساسیت (۹) استفاده گردید. همچنین جهت ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف، از ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین

1- Correlation Coefficient (R^2)

جدول ۱- توصیف آماری خصوصیات شیمیایی خاک‌ها

| پارامتر | واحد | حداقل | حداکثر | میانگین | ضریب تغییرات (%) | چولگی |
|----------|-----------------------|-------|--------|---------|------------------|-------|
| ماده آلی | % | ۰/۳۳ | ۳/۷۶ | ۲/۰۲ | ۳۵ | ۰/۰۵ |
| آهک | % | ۲/۵ | ۴۳/۵ | ۱۵/۶۷ | ۵۴ | ۰/۷۶ |
| pH | -log[H ⁺] | ۷/۳۲ | ۸/۶۳ | ۷/۸۳ | ۳ | ۰/۷۴ |
| EC | dS.m ⁻¹ | ۰/۴ | ۲۳ | ۲/۹۳ | ۱۳/۹ | ۲/۹۳ |
| CEC | CMol ⁺ /Kg | ۵/۴۷ | ۳۸/۷۴ | ۱۹/۹۱ | ۳۷ | ۰/۱۱ |

جدول ۲- توصیف آماری خصوصیات فیزیکی خاک‌ها

| پارامتر | واحد | حداقل | حداکثر | میانگین | ضریب تغییرات (%) | چولگی |
|-------------------------|---------------------|-------|--------|---------|------------------|--------|
| رس | % | ۱/۵ | ۵۲ | ۲۶/۵۷ | ۴۸ | -۰/۰۱ |
| سیلت | % | ۶/۵ | ۷۱ | ۴۳/۹۴ | ۳۱ | -۱/۰۲۲ |
| شن | % | ۱ | ۹۰/۵ | ۲۹/۴۸ | ۸۰ | ۱/۰۱ |
| میانگین هندسی قطر ذرات | mm | ۰/۰۰۴ | ۰/۶۷ | ۰/۰۸۰ | ۱۷/۵ | ۲/۹۵ |
| انحراف معیار هندسی ذرات | - | ۳/۶۷ | ۱۵/۶۳ | ۹/۹۶ | ۲۷ | -۰/۱۶ |
| جرم مخصوص ظاهری | gr.cm ⁻³ | ۰/۹۳ | ۱/۶۹ | ۱/۳۲ | ۱۱/۲ | -۰/۴۲ |
| جرم مخصوص حقیقی | gr.cm ⁻³ | ۲/۳۷ | ۲/۷۷ | ۲/۶۱ | ۳/۶ | -۰/۴۷ |
| تخلخل کل | | ۰/۳۴ | ۰/۶۴ | ۰/۴۹ | ۱۱/۸ | ۰/۳۹ |

حساسیت (۸) انجام شد. جدول ۴ نتایج آنالیز حساسیت را نشان می‌دهد. هیل (۹) در تحقیقاتش بیان می‌کند که اگر مقدار ضریب حساسیت پارامتری از ۰/۱ بیشتر باشد، آن پارامتر جزو پارامترهای حساس مدل محسوب می‌شود. برطبق نتایج هیل (۹)، در این تحقیق، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به همه پارامترها حساس می‌باشد.

جدول ۳- نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای زود یافت خاک

| پارامتر | ضریب حساسیت نسبی (۲) |
|-------------------|----------------------|
| clay | ۱ |
| silt | ۰/۹۵ |
| OM | ۰/۹۱ |
| sand | ۰/۸۸ |
| Logd _g | ۰/۸۲۲ |
| f | ۰/۸۲۱ |
| σ _g | ۰/۷۷ |
| CCE | ۰/۶۱ |
| ρ _s | ۰/۶ |
| pH | ۰/۵۹ |
| ρ _b | ۰/۴۶ |
| LogEC | ۰/۴۲ |

اما از آنجایی که هدف این تحقیق تخمین سریع ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (با حداقل تعداد آزمایشات و پارامترهای مورد نیاز) می‌باشد، با توجه به جدول ۴ حساس‌ترین پارامترها را در برآورد

مقادیر R² برای مراحل آموزش، اعتبارسازی، آزمون و کل به ترتیب برابر ۰/۹۴، ۰/۹۱، ۰/۸۲ و ۰/۹۰ و مقادیر RMSE برای مراحل آموزش، اعتبارسازی، آزمون و کل به ترتیب برابر ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۷، ۰/۰۱۱ و ۰/۰۰۳ می‌باشد. بالا بودن مقادیر R² و پایین بودن مقادیر RMSE مذکور حاکی از نزدیک بودن داده‌های پیش‌بینی با داده‌های اندازه‌گیری و دقت بالای مدل در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع است.

در این مرحله، مدل بسیار دقیقی برای برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از ۱۲ ورودی زود یافت خاک به دست آمد. اما از آنجا که هدف از این تحقیق برآورد سریع و آسان (هزینه و زمان کمتر) ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از پارامترهای زود یافت خاک می‌باشد، لذا کاربرد این مدل با اهداف این تحقیق تناقض دارد. زیرا اندازه‌گیری ۱۲ ورودی نیز پرهزینه و زمان‌بر است. از این رو می‌توان پارامترهای حساس به برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را با استفاده از آنالیز حساسیت شناسایی کرده (۸) و سپس با استفاده از این پارامترهای حساس به عنوان ورودی‌های مدل، برای برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، مدل‌های مختلفی که ورودی‌های آن‌ها با حداقل تعداد آزمایش و پارامتر کمتر به دست می‌آید، ایجاد شود.

آنالیز حساسیت: بعد از مدل‌سازی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با ۱۲ ورودی به وسیله شبکه عصبی مصنوعی و به دست آوردن بهترین شبکه از نظر پارامترهای آماری، برای به دست آوردن حساس‌ترین پارامترها، آنالیز حساسیت به روش ضریب بدون بعد

در مدل ۱ تا ۵ با زودیافت‌ترین پارامترها (درصد شن، رس، سیلت، لگاریتم میانگین هندسی و انحراف معیار هندسی اندازه ذرات) که از آزمایش بافت خاک به دست می‌آید مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی مختلفی ایجاد گردید. در مدل ۶ پارامتر درصد ماده آلی به پارامترهای مدل ۵ اضافه شد، تعداد آزمایش‌های انجام شده در این مدل بافت خاک و اندازه‌گیری درصد ماده آلی است، که شامل دو آزمایش می‌باشند. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق کروگ و همکاران (۱۲) و بل و وان کولن (۳) همخوانی دارد. در مدل ۷ پارامتر تخلخل کل به پارامترهای مدل ۶ اضافه شد. آزمایش‌های انجام شده در این مدل علاوه بر بافت خاک و اندازه‌گیری درصد ماده آلی، اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی و ظاهری می‌باشد، که برای به دست آوردن تخلخل کل لازم است. تعداد آزمایش‌ها در این مدل شامل چهار آزمایش می‌باشد.

در مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی، بهترین آرایش لایه پنهان با الگوریتم آموزشی لوبزبرگ - مارکواردت به صورت یک لایه پنهان، تابع آستانه logsig برای لایه پنهان و tansig برای لایه خروجی انتخاب گردید. نتایج مدل‌ها در جدول ۵ آمده است. در شکل ۱ خط برازش داده شده بین داده‌های پیش‌بینی شده در مقابل داده‌های اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در مرحله آزمون برای مدل‌های ۱ تا ۷ نشان داده شده است.

با مقایسه مدل‌های ۱ تا ۴ نتیجه‌گیری می‌شود که در بین سه مدل بیشترین R^2 و کمترین RMSE مربوط به مدل ۴ می‌باشد، ولی با این همه دقت قابل قبولی برای تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ندارد. مقایسه مدل‌های ۵ تا ۷ نشان می‌دهد که این مدل‌ها با تفاوت خیلی کمی از هم ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را پیش‌بینی می‌کنند. مدل ۷ با دقت بالاتری نسبت به دو مدل دیگر میزان ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را برآورد می‌کند.

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک مشخص کرده و با آن‌ها مدل‌سازی انجام می‌شود. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود در مقادیر ضریب حساسیت پارامترها روند کاهشی وجود دارد (از حساسیت پارامترها به ترتیب کاسته می‌شود). از پارامتر انحراف معیار هندسی اندازه ذرات به بعد، ضریب حساسیت تغییر چندانی نمی‌یابد. از این‌رو پارامترهای درصد رس، درصد سیلت، ماده آلی، درصد شن، لگاریتم میانگین هندسی اندازه ذرات، تخلخل کل و انحراف معیار هندسی اندازه ذرات به ترتیب به عنوان حساس‌ترین پارامترها انتخاب گردید.

در نتایج معماریان فرد و بیگی هرچگانی (۱۵)، توابع انتقالی برای پیش‌بینی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از خصوصیات اساسی خاک مانند توزیع اندازه ذرات، کربن آلی، درصد رطوبت اشباع و pH توسعه داده شد و با روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره خطی با استفاده از دسته داده‌های آزمون ارزیابی شد. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی پس انتشار خطای توسعه داده شده با چهار ورودی کربن آلی، رطوبت اشباع، درصد رس و شن با هفت نرون در لایه پنهان توانست ظرفیت تبادل کاتیونی را بهتر از مدل‌های رگرسیونی و دیگر مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی کند. این مطلب نشان می‌دهد که نتایج حاصل از آنالیز حساسیت در این تحقیق با نتایج معماریان فرد و بیگی هرچگانی (۱۵) مطابقت دارد و پارامترهای رس، درصد سیلت، ماده آلی، درصد شن، لگاریتم میانگین هندسی اندازه ذرات، تخلخل کل و انحراف معیار هندسی اندازه ذرات به عنوان پارامترهای حساس در برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک مورد تایید است.

طراحی مدل‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی با پارامترهای حساس: با ۵ پارامتر زودیافت خاک که در برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از حساسیت بیشتری برخوردارند به ترتیب با افزایش تعداد پارامترهای ورودی و افزایش تعداد آزمایش انجام شده، مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی مختلفی به صورت جدول ۴ ایجاد شد.

جدول ۴- طراحی مدل‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی بر اساس نتایج آنالیز حساسیت و حداقل تعداد آزمایش برای بدست آوردن ورودی‌های

| مدل | پارامتر ورودی | تعداد آزمایش |
|---------|------------------------------|--------------|
| مدل (۱) | Clay | ۱ |
| مدل (۲) | Clay+Silt | ۱ |
| مدل (۳) | Clay+Silt+Sand | ۱ |
| مدل (۴) | Clay+Silt+Sand+Logdg | ۱ |
| مدل (۵) | Clay+Silt+Sand+Logdg+σg | ۱ |
| مدل (۶) | Clay+Silt+Sand+Logdg+σg+OM | ۲ |
| مدل (۷) | Clay+Silt+Sand+Logdg+σg+OM+f | ۴ |

جدول ۵- پارامترهای آماری محاسبه شده برای مراحل آموزش و آزمون

| مدل | تعداد نرون | R ² آموزش | RMSE آموزش | R ² آزمون | RMSE آزمون |
|-------|------------|----------------------|------------|----------------------|------------|
| مدل ۱ | ۳۰ | -/۰۸۲ | -/۰۰۵ | -/۰۶۸ | -/۰۱۳ |
| مدل ۲ | ۳۰ | -/۰۸۳ | -/۰۰۵ | -/۰۷۴ | -/۰۱۴ |
| مدل ۳ | ۳۰ | -/۰۸۵ | -/۰۰۵ | -/۰۷۸ | -/۰۱ |
| مدل ۴ | ۳۰ | -/۰۸۵ | -/۰۰۵ | -/۰۷۹ | -/۰۱ |
| مدل ۵ | ۳۰ | -/۰۸۶ | -/۰۰۵ | -/۰۸۰ | -/۰۱ |
| مدل ۶ | ۳۰ | -/۰۸۶ | -/۰۰۴۹ | -/۰۸۱ | -/۰۱۱ |
| مدل ۷ | ۳۰ | -/۰۸۹ | -/۰۰۴۷ | -/۰۸۱ | -/۰۱ |

اما از آنجایی که در مدل ۷ برای به دست آوردن ورودی‌های مدل چهار پارامتر باید اندازه‌گیری شود بنابراین مدل ۵ به علت تخمین سریع ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به عنوان مدل بهینه و برتر معرفی می‌گردد (جدول ۶).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که روش شبکه عصبی مصنوعی دارای دقت بالایی در برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می‌باشد، به گونه‌ای که ۸۲ درصد (ضریب تبیین در مرحله آزمون) تغییرپذیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در منطقه مورد مطالعه را با استفاده از ۱۲ خصوصیت زودیافت خاک نشان می‌دهد. بررسی نتایج تحقیق حاضر حاکی از آن است که بافت و مقدار ماده آلی خاک مهم‌ترین فاکتورهای موثر بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در منطقه می‌باشند. در بین پارامترهای حساس مدلی با پارامترهای ورودی درصد رس، سیلت و شن، لگاریتم میانگین هندسی و انحراف معیار هندسی اندازه ذرات به عنوان بهترین مدل پیش‌بینی کننده ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از نظر دقت و سهولت الوصول بودن انتخاب گردید. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق کروگ و همکاران (۱۲)، معماریان فرد و بیگی هرچگانی (۱۳) و بل و وان کولن (۳) تطابق دارد. نتایج به دست آمده در این مطالعه تنها برای منطقه مورد مطالعه و دیگر مناطق مشابه از نظر توپوگرافی، اقلیم، خاک و عملیات مدیریتی قابل استفاده است. هر چند که می‌توان نظیر چنین مطالعه‌ای را با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در مناطق دیگر نیز انجام داد.

جدول ۶- مقایسه RMSE و R² مدل‌های مختلف در مرحله آزمون

| مدل | RMSE | R ² |
|-----|-------|----------------|
| ۱ | -/۰۱۳ | -/۰۶۸ |
| ۲ | -/۰۱۴ | -/۰۷۴ |
| ۳ | -/۰۱۰ | -/۰۷۸ |
| ۴ | -/۰۱۰ | -/۰۷۹ |
| ۵ | -/۰۱۰ | -/۰۸۰ |
| ۶ | -/۰۱۱ | -/۰۸۱ |
| ۷ | -/۰۱۰ | -/۰۸۱ |

اگرچه در دید اولیه در تعیین پارامترهای ورودی ممکن است چنین بنظر آید که ارتباطی بین انحراف معیار هندسی، جرم مخصوص حقیقی یا تخلخل با ظرفیت تبادل کاتیونی نباشد، لیکن نتایج تحقیق حاضر نشان از پیچیده بودن روابط شیمیایی و فیزیکی در خاکها و ضرورت ادامه تحقیق در زمینه موجود بعنوان یک پیشنهاد تحقیقاتی دارد.

منابع

- 1- Alizadeh A. 2004. Soil physic. Astan Quds Razavi. Press. 438p. (In Persian).
- 2- Amini M., Abbaspour K.C., Khademi H., Fathianpour N., Afyuni M., and Schulin R. 2005. Neural Network models to predict cation exchange capacity in arid regions of Iran. *Europ. J. Soil Sci.* 56: 551-559.
- 3- Bell M.A. and Van Kullen H. 1995. Soil pedotransfer function for four Mexican soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 59: 865-871.
- 4- Breeuwsma A., Wosten J.H.M., Vleeshouwer J.J., Van Slobbe A.M., and Bouma J. 1986. Derivation of land qualities to assess environmental problems from soil surveys. *Soil. Sci. Am. J.*, 50:186-190.
- 5- Broadbent F.E., and Bradford G.R. 1952. Cation exchange grouping in the soil organic fraction. *Soil Sci.* 74: 447-457.
- 6- Churchman G.J., and Burke C.M. 1991. Properties of subsoils in relation to various measures of surface area and water content. *J. Soil Sci.* 42: 463-478.
- 7- Dahiya I.S., Shanwal A.V., Dahya D.J., and Laura R.D. 1988. A statistical model for estimating cation exchange

- capacity of soils from their saturation percentage. *International Journal of Tropical Agriculture*, 6(10):26-30.
- 8- Dane J.H. and Puckett W. 1994. Field soil hydraulic properties based on physical and mineralogical information. In: van Genuchten, M. Th. (Eds) *Proceedings of the International Workshop on Indirect Method for Estimation Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*. California University. Riverside. CA. 389-403.
 - 9- Hill M. 1998. *Methods and guidelines for effective model calibration*. U.S. Geological survey Water- Resources Investigations Rep. 98-4005.
 - 10- Karimian A. 1996. Influence of clay and organic matter in cation exchange capacity in calcareous soils of Fars province. 5th Soil science congress in Iran.
 - 11- Keller A., Von Steiger B., Van der Zee S.T., and Schuline R. 2001. A stochastic empirical model for regional heavy metal balances in agroecosystems. *J. of Environ Qual*, 30:1976-1989.
 - 12- Krogh L., Madsen H.B., and Greve M.H. 2000. Cation exchange capacity pedotransfer functions for Danish soils. *Acta Agric. Scand ., Sect. B, Soil and Plant Sci.*, 50:1-12.
 - 13- Manrique L.A., Jones C.A., and Dyke P.T. 1991. Predicting cation exchange capacity from soil physical and chemical properties. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 55:787-794.
 - 14- McBratney A.B., Minasny B., Cattle S.R., and Vervoort R.W. 2002. From pedotransfer function to soil inference systems. *Geoderma*, 93:225-253.
 - 15- Memarian fard M., and Beigi harchagani H. 2009. Comparison of artificial neural network and regression pedotransfer functions models for prediction of soil cation exchange capacity in Chaharmahal Bakhtiari province. *Journal of Water and Soil*, Vol. 23, No. 4, Winter 2009, p. 90-99.
 - 16- Menhaj M. 2002. *Principles of neural networks*. Amir kabir University. P715.
 - 17- Minasny B., and Mcbratney A.B. 2002. The neuro-m method for fitting neural network parametric pedotransfer functions. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 66:352-361.
 - 18- Mirkhani R., Shabanpour M., and Saadat S. 2005. Using particle-size distribution and organic carbon percentage to predict the cation exchange capacity of soils of Lorestan province. *Tehran, Iran. J. Soil and Water Sci.* 19(2): 235-242.
 - 19- Mitchell J. 1932. The origin, nature and importance of soil organic constituents having base exchange properties. *J. Am. Soc. Agron.* 24:256-275.
 - 20- Nourbakhsh F., Jalalian A., and Shariatmadari H. 2003. Estimation of cation exchange capacity from some soil physical and chemical properties. *Isfahan, J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour.* 7(3):107-118.
 - 21- Pachepsky Y.A., Timlin D., and Varallyay G. 1996. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 60:727-733.
 - 22- Page A., Miller R., and Keeney D. 1982. *Methods of Soil Analysis*. 2th ed. Part2: Chemical and biological properties. Soil Sci. Soc. Am. Inc. publisher.
 - 23- Schaap M., and Leij F. 1998. Using neural networks to predict soil water retention and soil hydraulic conductivity. *Soil and Till Res.* 47: 37-42.
 - 24- Tamari S., Wosten J., and Ruiz-Suarez J. 1996. Testing an Artificial Neural Network for predicting soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1732-1741.
 - 25- Tang L., Zeng G.M., Nourbakhsh F., and Shen G.L. 2008. Artificial neural network approach for predicting cation exchange capacity in soil based on physico-chemical properties. *Environ. Eng. Sci.* 26(2): 1-10.
 - 26- Toth T., and Jozefaciuk G. 2002. Physicochemical properties of a solonchic toposequence. *Geoderma*. 106:137-159.
 - 27- Walkley A. and Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63:251-263.
 - 28- Wright W.R., and Foss J.E. 1972. Contribution of clay and organic matter to the cation-exchange capacity of Maryland soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36:115-118.
 - 29- Yerima B.P.K., Wilding L.P., Hallmark C.T., and Calhoun F.G. 1989. Statistical relationships among selected properties of northern Cameroon Vertisols and associated Alfisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1758-1763.



The Prediction Possibility of Soil Cation Exchange Capacity by Using of Easily Accessible Soil Parameters

A. Hezarjaribi^{1*} - F. Nosrati Karizak²- K. Abdollahnezhad³- Kh. Ghorbani⁴

Received: 14-11-2012

Accepted: 29-09-2013

Abstract

Cation Exchange Capacity (CEC) is an important characteristic of soil in view point of nutrient and water holding capacity and contamination management. Measurement of CEC is difficult and time-consuming. Therefore, CEC estimation through other easily-measurable properties is desirable. The purpose of this research was to investigate CEC estimating using easily accessible parameters with Artificial Neural Network. In this study, the easily accessible parameters were sand, silt and clay contents, bulk density, particle density, organic matter (%OM), calcium carbonate equivalent (%CCE), pH, geometric mean diameter (dg) and geometric standard deviation of particle size (σ_g) in 69 points from a 1×2 km sampling grid. The results showed that Artificial Neural Network is a precise method to predict CEC that it can predict 82% of CEC variation. The most important influential factor on CEC was soil texture. The sensitivity analysis of the model developed by using of Artificial Neural Network represented that clay%, silt%, sand%, geometric mean diameter and geometric standard deviation of particle size, OM% and total porosity were the most sensitive parameters, respectively. The model with clay%, silt%, sand%, geometric mean diameter and geometric standard deviation of particle size as inputs data was selected as the base model to predict CEC at studied area.

Keywords: Cation exchange Capacity, Artificial Neural Network, Prediction, Easily soil properties

1,4-Assistant Professors, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Golestan

(*- Corresponding Author Email: hezab10@yahoo.com)

2- Former M.Sc Student, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Golestan University, Gorgan, Golestan

3- Assistant Professor, Department of Statistic and Math, University of Golestan