



ارزیابی دقت شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی برخی پارامترهای خاک در منطقه فشنده

• الهام مهرابی گوهری

هیات علمی گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور (نویسنده مسئول)

• روح‌الله تقی‌زاده مهرجردی

استادیار خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه اردکان

تاریخ دریافت: دی ماه ۱۳۸۷ تاریخ پذیرش: آبان ماه ۱۳۹۲

تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۵۶۱۸۰۳۸

Email: Elham.mehrabi1@yahoo.com

چکیده

از آنجا که اندازه‌گیری پارامترهای ظرفیت تبادل کاتیونی و جرم مخصوص ظاهری به روش‌های مستقیم مشکل و هزینه‌بر است، روش‌های غیرمستقیم تحت عنوان توابع انتقالی برای پیش‌بینی پارامترهای خاک از خصوصیات سهل الوصول توسعه پیدا کرده است. بدین منظور در این پژوهش، برای برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی و جرم مخصوص ظاهری اقدام به نمونه‌برداری از منطقه فشنده در تهران از ۱۵ پروفیل، به تعداد ۶۳ نمونه شد. در این پژوهش، از توابع انتقالی استفاده شد که قبل از وارد کردن متغیرهای مستقل (عوامل ورودی) و ظرفیت تبادل کاتیونی و وزن مخصوص ظاهری به عنوان خروجی‌ها (متغیر وابسته)، با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب و آزمون نرمال بودن کولموگروف-اسمیرنوف، نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که داده‌ها نرمال می‌باشند. برای توسعه توابع انتقالی از روش رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی استفاده شد. در ابتدا، داده‌های آموزش و تست را تعیین و سپس داده‌های ورودی به شبکه را معیارسازی کرده، در مرحله بعد، مدل‌های مختلف شبکه عصبی با یک لایه مخفی که تعداد نرون‌های آن به بین ۲ تا ۱۰ نرون می‌باشد، تهیه و ساختار بهینه شبکه به روش سعی و خطا با استفاده از معیارهای ضریب همبستگی، $RMSE$ ، ME و $AARE$ تعیین شد. برای پیش‌بینی ظرفیت تبادل کاتیونی، ورودی‌های شبکه شامل رس، سیلت، شن و ماده آلی و برای پیش‌بینی وزن مخصوص ظاهری، ورودی‌های شبکه شامل رس، سیلت، شن، آهک، رطوبت اشباع و ماده آلی استفاده شد. برای تعیین رگرسیون چند متغیره پارامترهای مورد مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب رابطه رگرسیونی مربوطه از داده‌های آموزش تعیین شد و از روابط تجربی بروسما و همکاران (۱۹۸۶)، مانریکو و بل (۱۹۹۱) و ونکولن (۱۹۹۵) نیز استفاده شد. به علت وجود روابط غیرخطی بین متغیرهای وابسته و پیش‌بینی شونده، شبکه عصبی عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های رگرسیونی پایه برای پیش‌بینی ظرفیت تبادل کاتیونی و وزن مخصوص ظاهری خاک با ضرایب تبیین ۰/۸۹ و ۰/۷۴ به ترتیب داشته است. بعد از شبکه عصبی که بهترین عملکرد را به خود اختصاص داد، رگرسیون چند متغیره دقت بالاتری را داشت. در توابع انتقالی که برای تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی به کار رفت، مدل‌های مانریکو و بل (۱۹۹۱) با ضریب تبیین ۰/۲۴، عملکرد یکسانی داشته و نسبت به مدل بروسما و همکاران (۱۹۸۶) با ضریب تبیین ۰/۰۶ دارای دقت بیشتری می‌باشد.

کلمات کلیدی: توابع انتقالی، ظرفیت تبادل کاتیونی، جرم مخصوص ظاهری

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 103 pp: 3-11

Accuracy assessments of artificial neural network for prediction of some soil parameters in FASHAN zone

By: E. mehrabi gohari, Academic member, Faculty of Agriculture, payam noor university. (Corresponding Author; Tel: +989125618038). R. Taghizadeh-Mehrjardi, Assistance Professor of Soil Science, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Desert Studies, Ardakan University, Yazd, Iran.

Direct measurement of cation exchange capacity and bulk density parameters is hard and costly; henceforth indirect methods of pedotransfer functions for predicting soil parameters are developed based on easily obtained parameters. In this regard, for estimating the cation exchange capacity and bulk density 63 samples were taken from 15 profiles in FASHAND zone in TEHRAN. Using pedotransfer function and having cation exchange capacity and bulk density as output variables, variable the normality of the input data were controlled by MINITAB software based on KOLOMOROF-SMIRNOV normality test. For developing the pedotransfer functions multiple regression and artificial neural network methods were engaged. Determining test and training data and then finding the best type of neural network, a hidden layer with 2 to 10 neurons was selected for an optimum simulation in terms of RMSA, ME and AARE indices. Input data to the network for predicting cation exchange capacity involved clay, silt, sand and organic material in percent while for predicting bulk density clay, silt, sand, lime, saturation moisture and organic material in percent were selected. Using multiple regression techniques and some experimental equations like Breeuwsma and teammates (1986), Matrique and Bell (1991) and van Keulen (1995) regression equations were developed. Because of nonlinear relationship between input and output variables, neural networks had better performance in comparison with the regression models which for cation exchange capacity and bulk density gave coefficient of determination as 0.89 and 0.74, respectively. Regarding pedotransfer functions employed for estimating cation exchange capacity Matrique et al. (1991) models with a coefficient determination of 0.24 gave the same response which in comparison with the Breeuwsma (1986) models of a determination coefficient of 0.06 is more acceptable.

Keywords: Pedotransfer function, Cation Exchange Capacity, Bulk density

مقدمه

با توجه به مشکلات موجود در اندازه‌گیری مستقیم عوامل خاک، روش‌های غیرمستقیم برای برآورد آن‌ها در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. تخمین پارامترهای دیربافت خاک با استفاده از اطلاعات موجود خاک که به وسیله معادلات رگرسیونی صورت می‌گیرد، توابع انتقالی خاک نامیده می‌شود [معادله ۳ و ۴]. در سال‌های اخیر توابع انتقالی فراوانی برای تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی و جرم مخصوص ظاهری از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ایجاد شده است [۱۲]. کریمیان (۱۳۷۵) 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 و نیز ظرفیت تبادل کاتیونی تعدادی از خاک‌ها را پس از اکسایش مواد آلی با آب اکسیژنه اندازه و سهم مواد آلی و رس را به طور مستقیم تعیین نمود [۲]. Bell و همکاران (۱۹۹۵) برای خاک‌های چهار منطقه از مکزیک با استفاده از متغیرهای مقدار رس، ماده آلی و واکنش خاک، تابعی برای برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی ارائه نمودند [۶]. با استفاده از بانک اطلاعاتی خاک‌های دانمارک و استفاده از متغیرهای مقدار ماده آلی، رس، سیلت ریز و واکنش خاک در عصاره کلرور کلسیم، کرو و همکاران (۲۰۰۰) توابعی برای برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی ارائه دادند [۱۵]. وس و همکاران (۲۰۰۵)

برای تخمین جرم مخصوص ظاهری از ۱۲ تابع توابع انتقالی و بانک اطلاعاتی برزیل استفاده کردند و نتایج آن‌ها نشان داد جدا کردن داده‌های خاک سطحی و زیرین دقت پیش‌بینی را بالا نبرده است [۲۴]. کاور و همکاران (۲۰۰۲) و هوشنر و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند بافت و مواد آلی مؤلفه‌های اصلی در تعیین جرم مخصوص ظاهری می‌باشند [۱۳ و ۱۴]. اخیراً تلاش‌هایی به منظور بکارگیری روش‌ها و فنون جدید در مدل‌بندی چنین توابعی صورت گرفته است که می‌توان برای نمونه به استفاده از شبکه‌های عصبی اشاره نمود [۲۱]. شبکه عصبی مصنوعی یک روش شبیه‌سازی می‌باشد که از مطالعه سیستم مغز و شبکه عصبی موجودات زنده الهام گرفته است. یکی از متداول‌ترین شبکه‌های عصبی مورد استفاده، شبکه عصبی پرسپترون^۱ چندلایه می‌باشد. در شبکه عصبی پرسپترون چند لایه یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و یک یا چند لایه مخفی وجود دارد که تعداد نرون‌های در لایه‌های ورودی و خروجی برابر با تعداد بردارهای ورودی و خروجی می‌باشند. مسئله اصلی در این شبکه‌ها، تعیین تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون‌های آن‌ها می‌باشد که در این رابطه نظرات متفاوتی وجود دارد. در این مورد، نیلسون^۲ (۱۹۸۷) ثابت کرد که در شبکه‌های عصبی با یک لایه مخفی با تابع سیگموئید در لایه میانی و تابع خطی در لایه خروجی قادر به تقریب تمامی توابع مورد

مصنوعی، رگرسیون چندمتغیره و مقایسه سه تابع انتقالی در برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و وزن مخصوص ظاهری با استفاده از متغیرهای زود یافت خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در حوضه فشنند در جنوب شهر هشتگرد و بین عرض‌های جغرافیایی 35° و 51° تا 35° و 58° شمالی و طول‌های جغرافیایی 50° و 32° تا 50° و 41° شرقی قرار دارد. این منطقه وسعتی در حدود 10000 هکتار را به خود اختصاص داده است و بلندترین ارتفاع منطقه از سطح دریا حدود 1350 متر و گودترین نقطه ارتفاعی در حدود 1165 متر است. رژیم رطوبتی-حرارتی منطقه به ترتیب زیریک و ترمیک می‌باشد. مطالعه بودند.

تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

تعداد ۶۳ نمونه خاک از ۱۵ پروفیل که محل آن‌ها بر اساس واحدهای اراضی انتخاب شده بود، جمع‌آوری شد. بعد از انتقال به آزمایشگاه و هوا خشک شدن به خوبی کوبیده و نرم شدند و از الک دو میلی‌متر عبور داده شد و آزمایش‌های مورد نظر انجام شد [۲۲]. درصد رطوبت اشباع به روش گراویمتری، درصد آهک از طریق کلسیمتری، درصد کربن آلی به روش تیتراسیون با سولفات فروآمونیاکال [۷]، بافت خاک به وسیله هیدرومتر انجام گرفت، وزن مخصوص ظاهری با روش پارافین و ظرفیت تبادل کاتیونی نمونه‌های خاک به روش باور اندازه‌گیری شد که نتایج در جدول (۱) آمده است.

توابع انتقالی

در این پژوهش، از سه تابع انتقالی استفاده شد. قبل از وارد کردن عوامل ورودی (متغیرهای مستقل) و ظرفیت تبادل کاتیونی و وزن مخصوص ظاهری به عنوان خروجی‌ها (متغیر وابسته)، همه آن‌ها تحت آزمون هم‌راستایی و نرمال بودن قرار گرفت. با استفاده از نرم افزار مینی تب و آزمون نرمال بودن کولموگروف-اسمیرنوف، نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی شد.

نظر با هر درجه تقریب خواهد بود، مشروط به این‌که به اندازه کافی نرون در لایه مخفی داشته باشد، این قضیه به تقریب ساز جهانی معروف می‌باشد (به نقل از منهایج) [۳].

یکی از مزایای شبکه‌های عصبی مصنوعی در مقایسه با دیگر توابع انتقالی این است که برای گسترش این توابع نیازی به مدل اولیه برای بیان ویژگی‌های خاک وجود ندارد [۱۷]. شبکه‌های عصبی کاربرد بسیاری در برآورد پارامترهای خاک بخصوص خصوصیات هیدرولیکی خاک دارد. پاچیسکی و همکاران (۱۹۹۶) شبکه‌های عصبی مصنوعی را برای تخمین منحنی رطوبتی از خصوصیات زود یافت خاک بکار بردند. آنها نشان دادند شبکه‌های عصبی میزان آب را در پتانسیل‌های ماتریک انتخاب شده بهتر از رگرسیون تخمین زده است [۱۸].

اسچاپ و لی (۱۹۹۸) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی توابعی برای تخمین پارامترهای معادلات وان گنحتن (۱۹۸۰)، فن گنحتن-معلم و گاردنر (۱۹۸۰) ایجاد کردند. نتایج این محققین نشان داد هر چه تعداد داده‌های ورودی مورد استفاده در این توابع بیشتر باشد، صحت توابع افزایش خواهد یافت [۲۰]. نجفی و گیوی (۲۰۰۵) برای پیش‌بینی وزن مخصوص ظاهری از شبکه‌های عصبی مصنوعی و توابع انتقالی استفاده کرده و نتایج ایشان حاکی از کارایی بالاتر شبکه‌های عصبی در تخمین این پارامتر دارد [۴].

امینی و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از میزان ماده آلی و رس اقدام به برآورد میزان ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در منطقه اصفهان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و پنج مدل تجربی که بر پایه روش‌های رگرسیونی می‌باشند، کردند. نتایج این محققین نشان داد روش شبکه عصبی از برتری قابل قبولی نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است [۵].

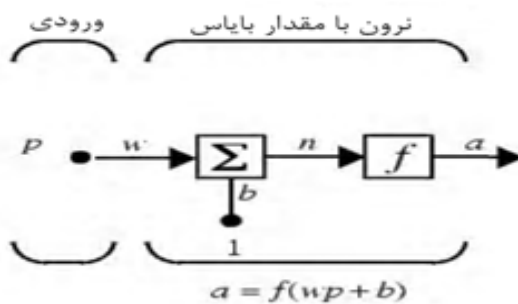
محققین مختلفی اقدام به ایجاد توابع انتقالی در سرتاسر دنیا و ایران نموده‌اند، اما مطالعات بسیار کمتری برای پیش‌بینی ظرفیت تبادل کاتیونی و وزن مخصوص ظاهری در خاک‌های مناطق خشک شده است. با توجه به مشکلات اندازه‌گیری مستقیم ظرفیت تبادل کاتیونی بخصوص در اریدیسول‌های ایران از قبیل میزان بالای آهک [۱۰] و گچ [۱۹] و اندازه‌گیری مستقیم وزن مخصوص ظاهری نیز اغلب خسته‌کننده و وقت‌گیر می‌باشد، لذا، هدف از این پژوهش مقایسه کارایی شبکه‌های عصبی

جدول ۱- پارامترهای آماری داده‌های استفاده شده در شبکه عصبی برای وزن مخصوص ظاهری

پارامتر آماری	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	رطوبت اشباع (%)	آهک (%)	کربن آلی (%)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)
کمترین	۱/۲۳	۲۲/۱۴	۵	۰/۱	۸/۴۴	۱/۲۸	۱۲/۵۶
میانگین	۱/۳۹	۴۳/۸۴	۰/۵۹	۰/۵۹	۳۲/۳۱	۲۸/۹۷	۳۸/۱۲
بیشترین	۱/۵۱	۶۶/۳۳	۱/۴۶	۱/۴۶	۵۵/۴۴	۴۹/۲۸	۸۴/۲۸
انحراف معیار	۰/۰۷	۸/۱۹	۸/۱۹	۰/۳۵	۱۰/۳۶	۱۱/۰۴	۱۷/۳۴
کمترین	۱/۳۱	۲۵/۰۳	۷/۸۲	۰/۲۴	۱۶/۴۴	۵	۱۵/۵۶
میانگین	۱/۴۴	۳۸/۵۵	۱۳/۰۷	۰/۵۳	۳۱/۷۳	۳۲/۶۶	۳۵/۶۱
بیشترین	۱/۵۹	۵۰/۹۸	۱۸/۱۲	۱/۰۷	۴۸/۴۴	۴۷	۷۸/۵۶
انحراف معیار	۰/۰۸	۶/۹۳	۳/۰۲	۰/۲۸	۹/۲۷	۱۳/۴۲	۱۸/۶۷

داده‌های آموزشی
داده‌های تست

لونبرگ-مارکوارت (۱۹۹۰) استفاده شد. در شکل (۱) ساختار یک نرون ارائه شده است.



شکل ۱- نرون با یک ورودی

ارزیابی مدل‌ها

در این پژوهش برای تعیین ساختار مدل مناسب و مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف در هر مرحله از معیارهای ضریب همبستگی ME^* ، $RMSE^*$ و $AARE^*$ استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (Z_s - Z_o)^2} \quad (1)$$

$$AARE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{Z_s - Z_o}{Z_o} \right) * 100 \quad (2)$$

جدول ۲- پارامترهای آماری داده‌های استفاده شده در شبکه عصبی برای ظرفیت تبادل کاتیونی

پارامتر آماری	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	رطوبت اشباع (%)	آهک (%)	کربنالی (%)	رس (%)
کمترین	۵/۶۴	۰/۱۵	۱۲/۴۴	۷/۲۸	۲۰/۵۶
میانگین	۱۲/۰۷	۰/۷۱	۳۱/۳۲	۲۹/۳۳	۳۹/۳۵
بیشترین	۱۵/۷	۱/۴۶	۵۰/۴۴	۴۲	۷۹/۵۶
انحراف معیار	۲/۲۶	۰/۳۴	۹/۹۷	۹/۷۹	۱۴/۸۵
کمترین	۸/۵۶	۰/۱۵	۲۶/۴۴	۱۲	۱۲/۵۶
میانگین	۱۲/۰۹	۰/۷۲	۳۳/۸۲	۳۳/۶۶	۳۴/۵۳
بیشترین	۱۵/۳۸	۱/۰۷	۴۲/۴۴	۴۵	۵۷/۵۶
انحراف معیار	۲/۰۷	۰/۳۲	۶/۳۵	۱۱/۷۹	۱۶/۲۹

قبیل میانگین و انحراف معیار تا حد ممکن شبیه یکدیگر باشند. در جداول ۱ و ۲ معیارهای آماری مربوط به داده‌های تست و آموزش ارائه شده است. همان‌طور که در جداول یادشده ملاحظه می‌شود، مقادیر میانگین و انحراف معیار داده‌های آموزش و تست برای عامل ظرفیت تبادل کاتیونی برابر با ۲/۱۲، ۲۶/۰۷ و ۱۵/۳۸، ۱/۰۷ و ۲/۰۷، برای عامل وزن مخصوص ظاهری به ترتیب برابر با ۱/۳۹ و ۰/۰۷ برای داده‌های آموزش و ۱/۴۴، ۰/۰۸ برای داده‌های آزمون می‌باشد.

پس از تعیین مجموعه داده‌های تست و آموزش، داده‌های ورودی به

نتایج نشان داد داده‌ها نرمال می‌باشند. برای توسعه توابع انتقالی از روش رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی استفاده شد. در رگرسیون چندگانه خطی اگر بین متغیرهای مستقل وابستگی خطی قوی مشاهده شود، همراستایی چندگانه به وجود می‌آید [۱]. از آنجائی که فراوانی نسبی ذرات شامل رس، شن و سیلت همراستا بودند، برای اجتناب از همراستایی در توابع به دست آمده، در ایجاد تابع انتقالی به جای یکی از آن‌ها از نسبت رس به سیلت استفاده شد [۱۸].

شبکه عصبی

در این پژوهش، از شبکه عصبی پرسپترون با یک لایه مخفی که دارای تابع فعال‌سازی سیگموئید در لایه مخفی و تابع فعال‌سازی خطی در لایه خروجی بوده، برای پیش‌بینی ظرفیت تبادل کاتیونی عوامل رس، سیلت، شن و ماده آلی و برای پیش‌بینی وزن مخصوص ظاهری پارامترهای رس، سیلت، شن و ماده آلی، آهک و درصد رطوبت اشباع می‌باشند [۱۱]. برای آموزش شبکه از ۸۰ درصد داده‌های موجود انتخاب شد [۵، ۱۷ و ۱۸]. از آنجا که شبکه عصبی فاقد قدرت برون‌یابی بالا می‌باشد و توانایی تعمیم دهی آن فقط در چارچوب درون‌یابی مطرح است، لذا داده‌های آموزشی طوری باید انتخاب شود که نماینده کل داده‌ها باشند، یعنی تمام حالات ممکن در داده‌ها از قبیل مقادیر حدی (حداکثر و حداقل) را در خود داشته باشند. تعداد نرون‌های لایه مخفی از یک تا ۱۰ نرون متغیر در نظر گرفته شد و تعداد نرون مناسب به روش سعی و خطا در مرحله آموزش تعیین شد. به علت کارایی، سادگی و سرعت بالا، در این تحقیق از الگوریتم آموزش

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n (Z_s - Z_o) \quad (3)$$

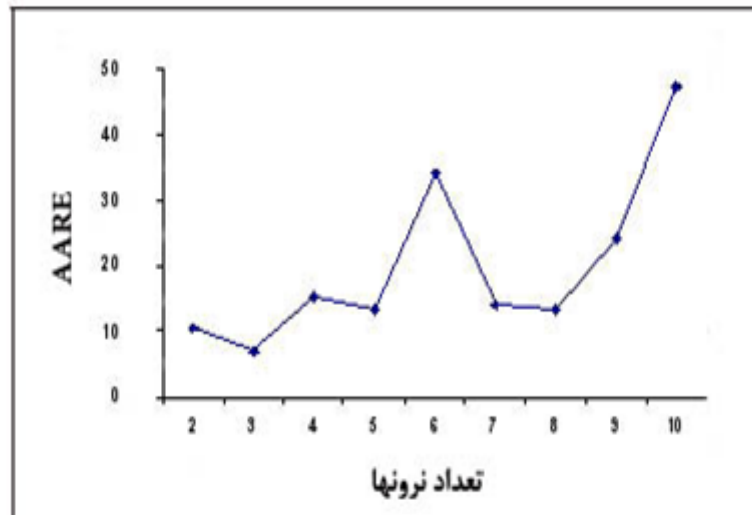
که در آن‌ها: Z_s مقادیر شبیه‌سازی شده، Z_o مقادیر مشاهداتی و n تعداد داده‌ها می‌باشند.

نتایج

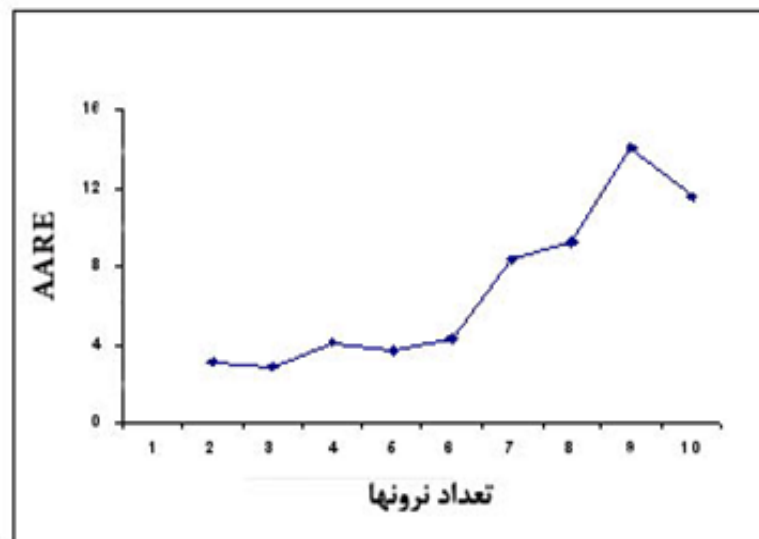
در این پژوهش در ابتدا داده‌های آموزش و تست تعیین شد که برای این منظور این داده‌ها طوری تعیین شدند که از نظر برخی معیارهای آماری از

شامل درصدهای رس، سیلت، شن، آهک، رطوبت اشباع و ماده آلی می باشد. در این قسمت مقادیر $AARE$ برای تعداد نرون های مختلف در پیش بینی پارامترهای ظرفیت تبادل کاتیونی و وزن مخصوص ظاهری در شکل های ۲ و ۳ ارائه شده است. با توجه به شکل های ۲ و ۳ ملاحظه می شود، حداقل مقدار $AARE$ برای هر دو پارامتر مربوط به شبکه با سه نرون در لایه مخفی می باشد. همچنین،

شبکه را معیارسازی کرده، در مرحله بعد مدل های مختلف شبکه عصبی با یک لایه مخفی که تعداد نرون های آن به بین دو تا ۱۰ نرون می باشد، ساخته و ساختار بهینه شبکه به روش سعی و خطا با استفاده از معیارهای ضریب همبستگی، ME ، $RMSE$ و $AARE$ تعیین شد. برای پیش بینی ظرفیت تبادل کاتیونی، ورودی های شبکه شامل درصدهای رس، سیلت، شن و ماده آلی و برای پیش بینی وزن مخصوص ظاهری ورودی های شبکه



شکل ۲- مقادیر میانگین خطای نسبی برای تعداد نرون متفاوت در پیش بینی پارامتر ظرفیت تبادل کاتیونی



شکل ۳- مقادیر میانگین خطای نسبی برای تعداد نرون متفاوت در پیش بینی پارامتر وزن مخصوص ظاهری

که در آن‌ها:

درصد شن: $Sand$

درصد رس به سیلت: $Clay/Silt$

$O.C$: درصد مواد آلی

$CaCO_3$: درصد آهک

پس از تعیین معادله رگرسیونی چند متغیره مربوط به منطقه، برای مقایسه مدل به دست آمده با معادلات دیگر از چند تابع انتقالی که توسط محققین دیگر از جمله بروسما و همکاران (۱۹۸۶)، مانریکو و بل (۱۹۹۱) و ونکولن (۱۹۹۵) استفاده شد. در این مرحله، برای هر یک از مدل‌های تابع انتقالی (پارامتر ظرفیت تبادلی کاتیونی) ضرایب بهینه مربوط به هر یک از مدل‌ها را تعیین کرده که در جدول (۳) ضرایب مربوطه ارائه شده است.

برای روابط تجربی بروسما و همکاران (۱۹۸۶)، مانریکو و بل (۱۹۹۱) و ونکولن (۱۹۹۵) ضرایب کالیبراسیون به ترتیب 0.24 ، 0.24 و 0.06 می‌باشد.

با توجه به این اشکال ملاحظه می‌شود که با افزایش تعداد نرون‌ها، عملکرد مدل‌ها بدتر شده و بهترین عملکرد مربوط به شبکه‌ها با تعداد نرون‌های پایین می‌باشد. مقادیر ضریب همبستگی، ME و $RMSE$ پارامتر ظرفیت تبادلی کاتیونی برای شبکه با سه نرون در لایه مخفی به ترتیب 0.89 ، 0.04 و 1.03 و برای وزن مخصوص ظاهری به ترتیب 0.76 ، 0.1 و 0.56 بدست آمده است که از لحاظ هر چهار معیار مذکور برتر از مدل‌های دیگر می‌باشد. برای تعیین رگرسیون چند متغیره پارامترهای مورد مطالعه، با استفاده از نرم افزار مینی تب رابطه رگرسیونی مربوطه را با استفاده از داده‌های آموزش تعیین کرده که به صورت روابط (۳) و (۴) می‌باشد.

$$CEC = 18.8 - 0.116Sand + (0.682Clay / Silt) + 1.91OC \quad (3)$$

$$BD = 1.53 - 0.0001Sand + (0.0032Clay / Silt) - 0.122OC + 0.00357CaCO_3 + 0.00237SP \quad (4)$$

جدول ۳- پارامترهای مدل‌های استفاده شده و ضرایب کالیبراسیون

مدل	تابع انتقالی
بروسما و همکاران (۱۹۸۶) [۹] (M1)	$CEC = 0.312Clay + 1.49OM$
مانریکو (۱۹۹۱) [۱۶] (M2)	$CEC = 7.49 + 0.159Clay + 0.412OC$
بل و ونکولن (۱۹۹۵) [۶] (M3)	$CEC = 7.49 + 0.156Clay + 0.24OM$

می‌باشد که از لحاظ هر چهار معیار بهتر از سایر مدل‌ها می‌باشد. بعد از شبکه عصبی که بهترین عملکرد مربوط به رگرسیون چند متغیره و بعد از آن سایر مدل‌ها رفتار متفاوتی از خود نشان داده‌اند، به طوری که نتایج مدل‌های بروسما و همکاران (۱۹۸۶) و مانریکو و بل (۱۹۹۱) (جدول ۳) مشابه یکدیگر شده و از مدل ونکولن (۱۹۹۵) برتری نشان می‌دهند.

سپس، اقدام به برآورد مقادیر ظرفیت تبادلی کاتیونی با استفاده از هر یک از توابع انتقالی شد. نتایج مربوط به هر یک از مدل‌ها به همراه شبکه عصبی در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به این جدول ملاحظه می‌شود، در کل بهترین عملکرد مربوط به شبکه عصبی می‌باشد که مقادیر $AARE$ ، $RMSE$ ، ME و ضریب همبستگی آن به ترتیب 0.12 ، 0.03 ، 0.1 و 0.89

جدول ۴- عملکرد مدل‌های مختلف در برآورد پارامتر ظرفیت تبادلی کاتیونی

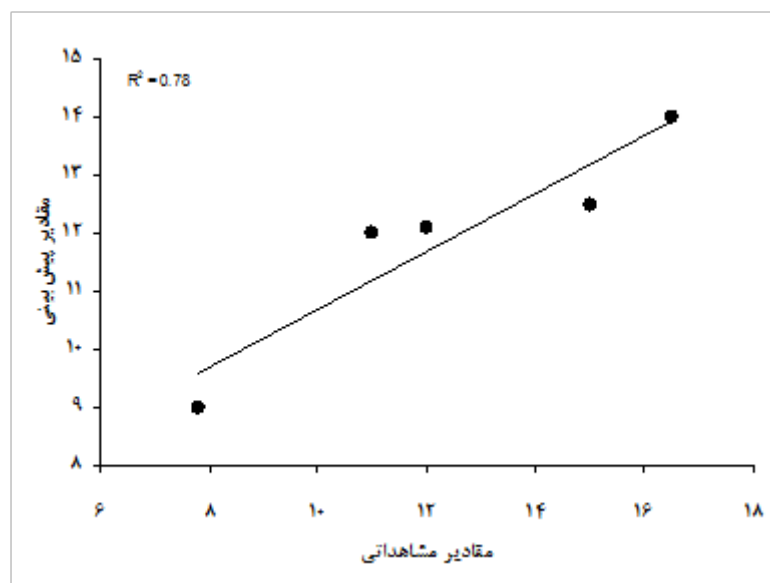
ME	$RMSE$	R	$AARE$	
۲/۲۳	۳/۰۹	۰/۰۶	۲۴/۹۸	بروسما و همکاران (۱۹۸۶)
-۱/۴۲	۱/۹۶	۰/۲۴	۱۴/۴۲	مانریکو و بل (۱۹۹۱)
-۱/۴۲	۱/۹۶	۰/۲۴	۱۴/۴۲	ونکولن (۱۹۹۵)
-۱/۰۳	۱/۵۳	۰/۷۷	۱۰/۴۹	رگرسیون
۰/۰۴	۱/۰۳	۰/۸۹	۷/۱۲	شبکه عصبی

ضریب همبستگی آن به ترتیب 0.46 ، 0.05 ، 0.02 و 0.74 می‌باشد که از لحاظ هر چهار معیار بهتر از رگرسیون چند متغیره می‌باشد. در شکل‌های ۴ و ۵ دیگرام‌های پراکنش در داده‌های تست برای مدل شبکه عصبی که بهترین عملکرد را به خود اختصاص داده، ارائه شده است.

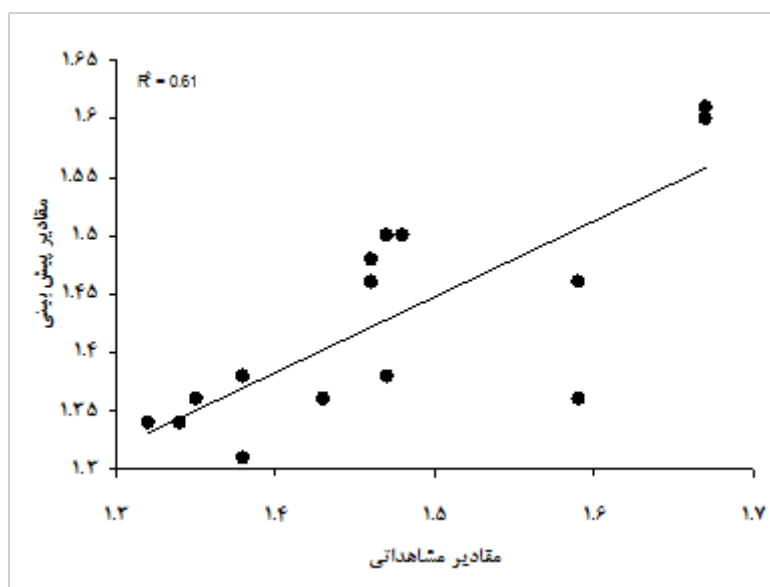
نتایج مربوط به شبکه عصبی و رگرسیون چندمتغیره مربوط به وزن مخصوص ظاهری در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به این جدول ملاحظه می‌شود در کل بهترین عملکرد در این پارامتر نیز مربوط به شبکه عصبی می‌باشد که مقادیر $AARE$ ، $RMSE$ ، ME و

جدول ۵- عملکرد مدل‌های مختلف در برآورد پارامتر وزن مخصوص ظاهری

ME	RMSE	R	AARE	
۰/۲۱	۰/۰۷	۰/۶۴	۵/۱۳	رگرسیون
-۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۷۴	۲/۴۶	شبکه عصبی



شکل ۴- دیاگرام پراکنش برای مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده ظرفیت تبادل کاتیونی



شکل ۵- دیاگرام پراکنش برای مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده وزن مخصوص ظاهری

بحث

و وزن مخصوص ظاهری برآورد شد. در این پژوهش، از شبکه عصبی پرسپترون با یک لایه مخفی که دارای تابع فعال‌سازی سیگموئید در لایه مخفی و تابع فعال‌سازی خطی در لایه خروجی بود مورد استفاده قرار گرفت. برای پیش‌بینی ظرفیت تبادل کاتیونی عوامل رس، سیلت، شن و ماده آلی و برای پیش‌بینی وزن مخصوص ظاهری عوامل رس، سیلت، شن و ماده آلی، آهک و درصد رطوبت اشباع می‌باشند. با توجه به معیارهای ارزیابی، نتایج بررسی نشان داد که در مورد مطالعه شده شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به معادلات رگرسیونی پایه کارایی بهتری داشته است.

پاورقی‌ها

- 1- Perceptron
- 2- Nielson
- 3- Mean Error
- 4- Root Mean Square Method
- 5- Average Absolute Relative Error

منابع مورد استفاده

۱. قربانی دشتکی، ش. و م. همایی. ۱۳۸۱. برآورد پارامتریک توابع هیدرولیکی بخش غیر اشباع خاک با استفاده از توابع انتقالی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۳. شماره ۱۲. ص ۱۵-۳.
۲. کریمیان، ن.ع. ۱۳۷۵. سهم رس و مواد آلی در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های آهکی استان فارس. پنجمین کنگره علوم خاک ایران. کرج. ص ۲۳۶-۲۳۴.
۳. منهاج. م. ۱۳۷۸. مبانی شبکه‌های عصبی و هوش مصنوعی (جلد ۱ و ۲) دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۵۸۱ ص.
۴. نجفی، م. و ج. گیوی. ۱۳۸۴. ارزیابی پیش‌بینی وزن مخصوص ظاهری با استفاده از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی و توابع انتقالی خاک. نهمین کنگره علوم خاک. ص ۶۸۱-۶۸۰.
5. Amini, M., K.C. Abbaspour, H. Khademi, N. Fathianpour, M. Afyuni and R. Schulin. 2005. *Neural network models to predict cation exchange capacity in arid regions of Iran. European Journal of Soil Science, 757-53:748.*
6. Bell, M.A. and H.van Keulen, 1995. *Soil pedotransfer functions for four Mexican soils. Soil Science Society of America Journal, 871-59:865.*
7. Black, C.A. 1982. *Method of soil analysis, Chemical and microbiological properties, American Society of Agronomy, INC. Vol. 2.*
8. Bouma, J. 1989. *Using soil survey data for quantitative land evaluation. Adv. Soil Sci. -177 9 213.*
9. Breeuwsma, A., J.H.M., Wo" sten, J.J. Vleeshouwer, A.M. van Slobbeand and J.

نتایج این پژوهش نشان داد شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به معادلات رگرسیونی پایه کارایی بهتری دارد. زیرا، از یک سو کارایی توابع انتقالی بدست آمده در مناطق مختلف با هم متفاوتند و از سوی دیگر، بر طبق نظر اسچاپ (۱۹۹۸) در طراحی شبکه‌های عصبی نوع خاصی از معادلات لازم نیست و با ایجاد رابطه مناسب بین داده‌های ورودی و خروجی می‌توان به نتایج مناسب دست پیدا کرد. همچنین، به علت وجود روابط غیرخطی میان متغیرهای وابسته و پیش‌بینی شونده (که در اینجا ظرفیت تبادل کاتیونی و وزن مخصوص ظاهری می‌باشند)، شبکه عصبی عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های رگرسیونی پایه داشته است. بعد از شبکه عصبی که بهترین عملکرد را به خود اختصاص داده، رگرسیون چندمتغیره دقت بالاتری را داشت. در توابع انتقالی که برای تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی به کار رفت، مدل‌های مانریکو و بل (۱۹۹۱) عملکرد یکسانی داشته و نسبت به مدل بروسما (۱۹۸۶) دارای دقت بیشتری می‌باشند که این مسئله اهمیت نوع توابع و شکل آن‌ها را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده از این پژوهش با آنچه که امینی و همکاران (۲۰۰۵) در برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی در منطقه اصفهان بدست آورد، همخوانی دارد. ایشان نیز نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی کارایی بالایی در برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نسبت به سایر توابع انتقالی که به صورت خطی هستند، دارد.

نجفی و گیوی (۱۳۸۴) نیز کارایی شبکه عصبی را در پیش‌بینی وزن مخصوص ظاهری نشان دادند که نتایج حاضر نیز کارایی شبکه عصبی مصنوعی را در پیش‌بینی این عامل نشان می‌دهد. پاچپسکی و همکاران (۱۹۹۶) با استفاده از آماره‌های ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا به بررسی شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز رگرسیون پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که شبکه عصبی برآورد بهتر و با خطای کمتری، بر اساس داده‌های زودیافت خاک دارد. نتایج مشابهی توسط تاماری و همکاران (۱۹۹۶) به دست آمده است، آن‌ها نیز مقدار $RMSE$ کمتری از برآورد خصوصیات خاک با شبکه عصبی مصنوعی نسبت به رگرسیون خطی چندگانه به دست آوردند [۲۳]. تاماری و همکاران (۱۹۹۶) نشان دادند اگر ناپایداری داده‌ها بالا باشد، شبکه عصبی از مدل‌های رگرسیونی خطی بهتر نخواهد بود، اما زمانی که داده‌هایی با دقت بالا بکار برده شوند، شبکه عصبی کارایی بالاتری را نشان می‌دهد که این مسئله موید دقت بالای داده‌های مورد آزمایش و انتخاب صحیح داده‌های تست و آموزش می‌باشد. بنابراین، با توجه به مشکلاتی که در اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی و وزن مخصوص ظاهری به طور مستقیم وجود دارد، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از مدل‌های نروفازی نیز برای تعیین روابطی منطقی در هر منطقه برای پیش‌بینی سایر پارامترهای خاک، بخصوص خصوصیات هیدرولیکی خاک استفاده شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی، رگرسیون چند متغیره و چند تابع انتقالی تجربی مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی

