



دانشگاه گیلان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۵
<http://jwsc.gau.ac.ir>

اشتقاق توابع انتقالی مناسب برای برآورد برخی ویژگی‌های دیرپافت خاک

*جواد سیدمحمدی^۱، لیلا اسماعیل‌نژاد^۲ و محمود شعبانپور^۳

^۱دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تبریز، ^۲دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران،

^۳دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه گیلان

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: اندازه‌گیری مستقیم برخی خواص خاک ممکن است مشکل، هزینه‌بر و وقت‌گیر باشد. بنابراین این خواص می‌توانند به آسانی از داده‌های زودپافت تخمین زده شوند. ظرفیت تبادل کاتیونی یک شاخص مهم حاصل‌خیزی و ظرفیت ذخیره آلاینده‌ها در خاک می‌باشد. ویژگی‌های هیدرولیکی خاک تعیین‌کننده جریان آب در خاک- گیاه- اتمسفر بوده که کنترل‌کننده فرآیندهایی مانند تغذیه آبی و جریان عناصر غذایی بین خاک و پوشش گیاهی می‌باشد. شناخت خواص هیدرولیک خاک برای مدلسازی فرآیندهای فیزیکی مربوط به ذخیره رطوبت خاک دارای اهمیت است. علی‌رغم پیشرفت‌های زیاد در روش‌های اندازه‌گیری، تعیین دقیق خواص هیدرولیکی خاک به‌ویژه برای خاک‌های دست‌نخورده و در محدوده خشک منحنی رطوبتی همچنان مشکل است. همچنین اندازه‌گیری خواص هیدرولیکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک زمان‌بر، مشکل و پرهزینه است. به همین دلیل، این مطالعه سعی در توسعه توابع انتقالی مناسب برای تخمین رطوبت ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های نواحی جنوب استان گیلان دارد.

مواد و روش‌ها: محدوده مورد مطالعه در منطقه گیلوان در جنوب استان گیلان واقع شده است. اقلیم منطقه اریدیک بوده، بارندگی سالیانه ۲۴۵ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. ۲۴۰ نمونه خاک از لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. سپس خواصی چون رس، شن و سیلت، آهک، مواد آلی، جرم مخصوص ظاهری و گچ اندازه‌گیری شدند. اولین مرحله در مطالعات آماری بررسی نرمال بودن داده‌ها است. برای تعیین نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف استفاده شد. داده‌ها به دو دسته آزمون (۲۵ درصد) و آموزش (۷۵ درصد) تقسیم شدند. این تقسیم‌بندی به‌گونه‌ای انجام گرفت که ویژگی‌های آماری هر دو گروه مثل حداقل، حداکثر، انحراف معیار و ... یکسان باشند. سپس مدل‌های رگرسیون و شبکه عصبی بر داده‌های آموزش اعمال شد. برای جلوگیری از خطا در فرآیندهای شبکه عصبی، داده‌ها به مقیاس استاندارد از ۰/۱ تا ۰/۹ تبدیل شد. توابع پرسپترون چند لایه، پس‌انتشار و لونیگ- مارکواردت برای توسعه شبکه‌های عصبی مصنوعی توسعه یافت. برای ارزیابی مدل‌ها از معیارهای RMSE، R^2 و MEF استفاده شد.

* مسئول مکاتبه: syedmohammadi.javad@gmail.com

یافته‌ها: در تجزیه رگرسیون، برای ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد رس و ماده آلی، برای مقدار ظرفیت زراعی، رس، سیلت و جرم مخصوص ظاهری و برای نقطه پژمردگی دائم، درصد رس دارای تأثیر معنی‌دار در مدل‌های توسعه‌یافته بودند. ضرایب تبیین در مدل‌های رگرسیون ایجاد شده برای ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم به ترتیب برای خطی ۰/۷۲، ۰/۸۴ و ۰/۷۳ و غیرخطی ۰/۷۸، ۰/۸۷ و ۰/۷۴ بودند. بهترین توابع انتقالی توسعه‌یافته برای خواص دیریافت در شبکه عصبی مصنوعی از مدل پرسپترون چندلایه با ۲ لایه پنهان، ۸ نرون برای ظرفیت زراعی و پژمردگی و ۶ نرون برای ظرفیت تبادل کاتیونی با در نظر گرفتن همه ورودی‌ها به دست آمد. ضریب تبیین برای ظرفیت تبادل کاتیونی ۰/۹۸، رطوبت ظرفیت زراعی ۰/۹۹ و رطوبت نقطه پژمردگی دائم ۰/۹۸ بود. مدل‌های شبکه عصبی برای تعیین خواص دیریافت با ورودی از داده‌های زودیافت که دارای بیش‌ترین ضریب حساسیت بودند، طراحی شدند. نتایج این مدل‌ها شبیه به مدل‌های رگرسیون غیرخطی بود. نتایج در استفاده از داده‌های آزمون، نشان داد که مدل‌های به دست آمده از شبکه‌های عصبی با ورودی شامل همه داده‌های زودیافت دقیق‌تر از مدل‌های رگرسیون بود.

نتیجه‌گیری: در روش رگرسیون، مدل‌های غیرخطی برای پیش‌بینی خواص دیریافت دقیق‌تر از مدل‌های خطی بودند. در شبکه‌های عصبی مصنوعی مدلهایی با تمام ورودی‌های زودیافت دقیق‌تر از مدلهایی بودند که شامل ورودی‌های زودیافت که دارای بیش‌ترین ضریب حساسیت بودند. در صورتی که تعداد داده‌های زودیافت ورودی کافی نباشند مدل‌های رگرسیونی می‌توانند دقت قابل‌قبولی داشته باشند. اما اگر این داده‌ها کافی باشند شبکه‌های عصبی مصنوعی دقت بیش‌تری خواهند داشت و دقت شبکه‌های عصبی با کاهش پارامترهای ورودی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: توابع انتقالی خاک، شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون، ویژگی‌های دیریافت، گیلان

مقدمه

و با استفاده از اطلاعات موجود و زودیافت خاک بسط داده می‌شوند (۱). در روش رگرسیون رابطه بین یک متغیر وابسته و تعدادی متغیر مستقل در قالب یک رابطه تعیین می‌شود (۱۲). استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی دیگر از روش‌های به دست آوردن توابع انتقالی خاک است که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. برخی پژوهش‌ها بیانگر آن است که این روش دقیق‌تر و قابل اعتمادتر از روش رگرسیونی است (۲، ۶، ۱۱).

ویژگی‌های هیدرولیکی خاک از خواص مهم خاک هستند که تعیین آن‌ها در عرصه کشاورزی از نظر آب قابل جذب گیاه، تبخیر و تعرق، برنامه‌ریزی آبیاری و غیره اهمیت زیادی دارد (۱۰، ۱۴). تعیین نقاط رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم برای به دست آوردن بهترین زمان آبیاری و مقدار آب آبیاری بسیار مهم است، زیرا این نقاط شاخصی برای دانستن میزان

نمونه‌برداری مستقیم همراه با اندازه‌گیری‌های مستقیم آزمایشگاهی برخی ویژگی‌ها معمولاً بسیار پرهزینه و وقت‌گیر بوده و در نتیجه برای اهداف کاربردی دارای محدودیت می‌باشند. بنابراین، پژوهش‌گران به دنبال روش‌ها و روابطی هستند که بتوانند این قبیل ویژگی‌های خاک را از روی ویژگی‌هایی که به طور ساده به دست می‌آیند تخمین بزنند (۳). توابع انتقالی خاک، یکی از روش‌های غیرمستقیم در برآورد ویژگی‌های دیریافت خاک بوده که ویژگی‌های زودیافت خاک را به دیریافت ارتباط می‌دهند. ویژگی‌هایی از خاک مانند رطوبت ظرفیت زراعی و رطوبت نقطه پژمردگی دائم تابع ویژگی‌های زودیافت خاک شامل: درصد شن، سیلت، رس، گچ، ماده آلی، آهک و غیره می‌باشند. توابع انتقالی به روش‌های مختلف از جمله رگرسیون و شبکه عصبی

ویژگی‌های ظرفیت تبادل کاتیونی، رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم با استفاده از ویژگی‌هایی مثل درصد شن، سیلت، رس، گچ، آهک، ماده آلی و جرم مخصوص ظاهری توسط معادلات رگرسیون چندمتغیره خطی و غیرخطی و مدل شبکه عصبی برای خاک‌های منطقه گیلوان در جنوب استان گیلان بود.

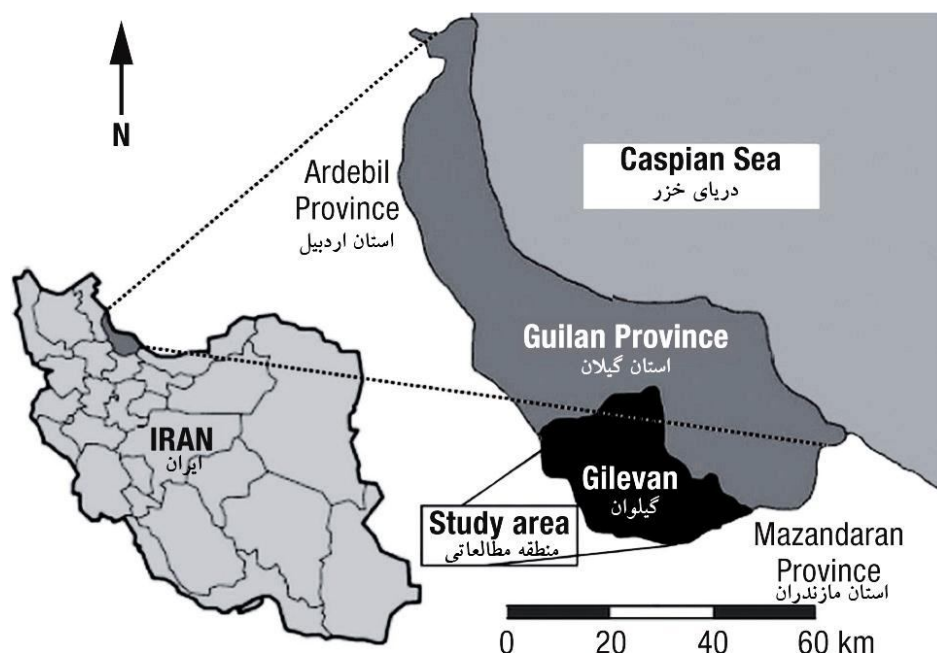
مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در منطقه گیلوان بین عرض شمالی $36^{\circ} 50' 00''$ تا $36^{\circ} 54' 10''$ و در طول شرقی $49^{\circ} 02' 30''$ تا $49^{\circ} 16' 08''$ واقع گردیده است (شکل ۱). میانگین دمای سالیانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالیانه ۲۴۵ میلی‌متر می‌باشد. رژیم رطوبتی منطقه اریدیک است (۵). ۲۴۰ نمونه خاک دست‌خورده و نخورده از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از منطقه جمع‌آوری شد. برای تعیین ویژگی‌های دیریافت رطوبتی، منحنی‌های مشخصه رطوبتی خاک در مکش‌های ۰/۳ و ۱۵ بار، با استفاده از دستگاه پنوماتیک صفحه فشاری اندازه‌گیری گردیدند (۴). ظرفیت تبادل کاتیونی، به روش استات سدیم، بافت خاک به روش پیپت، آهک به روش تیتراسیون با اسید، ماده آلی به روش والکلی و بلک اصلاح شده، گچ به روش استون و جرم مخصوص ظاهری به روش استوانه تعیین شدند (۴).

به‌منظور تجزیه‌های آماری از نرم‌افزار SPSS و برای ایجاد مدل شبکه عصبی از نرم‌افزار MATLAB استفاده گردید. ابتدا داده‌ها از نظر پرت بودن و توزیع نرمال مورد بررسی قرار گرفتند. سپس داده‌ها به ۱۰ گروه تقسیم و از هر گروه به‌صورت تصادفی ۲۵ درصد داده‌ها برای آزمون تفکیک گردید به‌طوری‌که از نظر معیارهای آماری از قبیل میانگین و انحراف معیار تا حد ممکن شبیه ۷۵ درصد باقی‌مانده بودند. مدل‌های رگرسیونی خطی و غیرخطی در محیط نرم‌افزار SPSS ایجاد شدند.

آب قابل استفاده گیاه می‌باشند. بیش‌تر توابع انتقالی برای تخمین خصوصیات هیدرولیکی خاک، از داده‌های ساده و زودیافتی چون بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری و یا مقدار ماده آلی استفاده می‌کنند (۶، ۸، ۱۵). مردون و همکاران (۲۰۰۶) توابع انتقالی برای نقاط رطوبت ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم با استفاده از توزیع اندازه ذرات و جرم مخصوص ظاهری توسط شبکه عصبی و رگرسیون چندمتغیره خطی به‌دست آوردند. در این مطالعه رگرسیون چندمتغیره خطی، تخمین بهتری ارائه داد و هر دو روش در تعداد نمونه بیش‌تر، دقت بهتری را نشان دادند (۱۳). سرمدیان و همکاران (۲۰۰۹) کارایی بیش‌تر مدل‌های شبکه عصبی نسبت به توابع رگرسیون را در برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد آب در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم گزارش کردند (۱۷).

ظرفیت تبادل کاتیونی اهمیت فوق‌العاده‌ای در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک دارد. اندازه‌گیری آن پرهزینه و مشکل است. به همین دلیل تخمین آن با دقت مناسب، با استفاده از شیوه‌های ساده و ارزان به‌منظور شناسایی روابط منطقی و عملی بین آن و خواص زودیافت خاک دارای اهمیت می‌باشد (۳، ۱۱). سیبولد و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهشی اهمیت ذرات رس را در برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی نشان دادند (۱۸). در پژوهش امینی و همکاران (۲۰۰۵) مقدار رس و ماده آلی دارای بیش‌ترین همبستگی با ظرفیت تبادل کاتیونی بوده و مدل پرسپترون شبکه عصبی دقیق‌تر از مدل توابع شعاع محور و رگرسیونی این ویژگی دیریافت خاک را تخمین می‌زند (۲). هورن و همکاران (۲۰۰۵)، کیانپور و همکاران (۲۰۱۲) و سرمدیان و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از توابع انتقالی، ارتباط بین ظرفیت تبادل کاتیونی و دو ویژگی خاک، یعنی مقدار رس و ماده آلی را نشان دادند. در این مطالعات بر تفاوت اثر انواع مختلف رس تأکید شده است (۹، ۱۱، ۱۶). هدف از انجام این پژوهش، تعیین توابع انتقالی برای برآورد



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Location of study area.

$$MEF = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (3)$$

که در آن‌ها، RMSE میانگین ریشه دوم مربع خطا نسبی، MEF فاکتور کارایی مدل، \hat{y}_i مقدار پیش‌بینی شده و ویژگی، \bar{y}_i میانگین مقدار اندازه‌گیری شده و ویژگی و y_i مقدار اندازه‌گیری شده و ویژگی دیر یافت خاک است.

نتایج و بحث

خصوصیات آماری ویژگی‌های مورد مطالعه و ضرایب همبستگی آن‌ها به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. داده‌ها از نظر پرت بودن کنترل شدند که داده پرت وجود نداشت. همچنین آزمون توزیع نرمال داده‌ها با استفاده از کولموگروف-اسمیرنوف انجام شد که نتایج ضریب آزمون نشان داد داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند (جدول ۱).

مدل استفاده شده در شبکه عصبی، مدل پرسپترون با الگوریتم یادگیری پس‌انتشار^۱ و تابع آموزش لونیگ مارکواردت^۲ بود. برای استفاده از داده‌ها در شبکه عصبی باید استانداردسازی صورت گیرد (۲) که از رابطه ۱ استفاده شد. پس از آزمون و خطاهای زیاد، تعداد لایه‌ها و نورون‌های مناسب در این شبکه انتخاب شد.

$$y = \left[0.8 \times \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \right] + 0.1 \quad (1)$$

که در آن، y مقدار استاندارد شده متغیر، X_i مقدار متغیر مورد نظر، X_{min} و X_{max} به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار ویژگی مورد نظر هستند. برای ارزیابی دقت توابع انتقالی از روابط زیر استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \times \frac{100}{\bar{y}_i} \quad (2)$$

- 1- Feed forward backpropagation
- 2- Levenberg-Marquardt

جدول ۱- خصوصیات آماری داده‌های مورد استفاده.

Table 1. Statistical characteristics of used data.

ویژگی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی	ضریب آزمون*
Property	Min	Max	Mean	St.D.	CV	Skewness	Kurtosis	K-S index
داده‌های آموزش (Train Data)								
ظرفیت تبادل کاتیونی CEC($\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$)	28.6	48.5	37.1	5	13.4	0.49	-0.45	0.08
رطوبت ظرفیت زراعی FC(g/g)	0.38	0.46	0.41	0.02	4.9	0.39	-0.33	0.09
رطوبت نقطه پژمردگی PWP(g/g)	0.17	0.25	0.21	0.02	9.5	-0.02	-0.45	0.06
رس Clay(%)	19	48	35.9	6.5	18.1	-0.29	-0.49	0.06
سیلت Silt(%)	15	45.7	32.5	6.9	21.2	-0.4	0.17	0.07
شن Sand(%)	13	57	31.4	9.7	30.1	0.49	0.35	0.06
جرم مخصوص ظاهری $\rho_b(\text{gcm}^{-3})$	1.29	1.62	1.45	0.07	4.8	0.05	-0.19	0.17
گچ CaSO ₄ (%)	10.5	28.5	19.3	4.8	24.8	0.15	-0.36	0.28
آهک CaCO ₃ (%)	4.1	10.6	7.1	1.4	19.7	0.48	0.45	0.08
ماده آلی OM(%)	0.75	2.3	1.3	0.33	25.4	0.23	-0.49	0.06
داده‌های آزمون (Test Data)								
ظرفیت تبادل کاتیونی CEC($\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$)	30.2	45.2	37.4	4.7	12.5	-0.03	0.47	0.43
رطوبت ظرفیت زراعی FC(g/g)	0.38	0.45	0.42	0.02	4.8	-0.06	0.37	0.36
رطوبت نقطه پژمردگی PWP(g/g)	0.17	0.25	0.21	0.02	9.5	-0.15	-0.48	0.12
رس Clay(%)	18	45.5	36.6	7.4	20.2	-0.42	-0.01	0.06
سیلت Silt(%)	15	45.5	33.1	7.4	22.3	-0.38	0.35	0.08
شن Sand(%)	14	56.2	30.3	12.1	39.9	0.49	-0.26	0.09
جرم مخصوص ظاهری $\rho_b(\text{gcm}^{-3})$	1.31	1.58	1.43	0.07	4.9	0.03	-0.43	0.67
گچ CaSO ₄ (%)	11.9	28.1	18.9	4.1	21.6	0.48	0.49	0.38
آهک CaCO ₃ (%)	4.2	11	7.7	2	25.9	0.41	0.47	0.09
ماده آلی OM(%)	0.78	2.1	1.3	0.49	37.7	0.40	0.49	0.06

* ضریب آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای توزیع نرمال داده‌ها باید بیش‌تر از ۰/۰۵ باشد.

* Kolmogorov-Smirnov test index for normal distribution, that should be greater than 0.05.

جدول ۲- ضرایب همبستگی ویژگی‌های مورد مطالعه.

Table 2. Correlation coefficients of studied properties.

OM	CaCO ₃	CaSO ₄	ρ_b (gcm ⁻³)	Sand	Silt	Clay	PWP	FC	CEC (cmol(+)kg ⁻¹)	
	(%)				(%)		(g/g)			
									1	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC(cmol(+)kg ⁻¹)
								1	0.10	رطوبت ظرفیت زراعی FC(g/g)
							1	0.49**	0.58**	رطوبت نقطه پژمردگی PWP(g/g)
						1	0.86**	0.37**	0.75**	رس Clay(%)
					1	0.04	-0.13	0.07	0.08	سیلت Silt(%)
				1	-0.74**	-0.70**	-0.48**	-0.29**	-0.57**	شن Sand(%)
			1	-0.31**	0.23**	0.20**	-0.04	-0.71**	0.35**	جرم مخصوص ظاهری ρ_b (gcm ⁻³)
		1	0.28*	0.03	-0.03	0.00	-0.01	-0.19*	0.04	گچ CaSO ₄ (%)
	1	-0.09	0.07	0.17*	-0.17*	-0.08	-0.06	-0.15*	-0.18*	آهک CaCO ₃ (%)
1	-0.04	0.02	0.13	-0.17*	-0.03	0.29**	0.24**	0.05	0.60**	ماده آلی OM(%)

** و * به ترتیب همبستگی در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار است.

** , * Correlation is significant at 0.01 and 0.05 probability level respectively.

همبستگی ظرفیت تبادل کاتیونی با مقدار رس در این مطالعه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به ضرایب استاندارد رگرسیون که برای رس ۰/۶۳ و برای ماده آلی ۰/۴۲ به دست آمد بعد از رس تنها عامل مؤثر بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، ماده آلی است که اثر آن در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). اگرچه اثر مقادیر شن و آهک بر ظرفیت تبادل کاتیونی به صورت کاهشی بود، ولی در مدل رگرسیون این اثرات معنی‌دار نشد. جرم مخصوص ظاهری، گچ و سیلت نیز با وجود داشتن اثر مثبت ولی در رابطه رگرسیونی به دست آمده معنی‌دار نشدند. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود دقت

محاسبات رگرسیونی: توابع انتقالی زیر پس از محاسبات آماری و مدل‌سازی در خاک‌های مورد مطالعه برای ظرفیت تبادل کاتیونی به صورت رگرسیون چندمتغیره خطی و غیرخطی با حذف ویژگی‌های غیرمعنی‌دار از مدل برای داده‌های آموزش به دست آمد:

$$CEC = 0.48Clay + 6.35OM + 10.17 \quad (۴)$$

$$R^2 = 0.72$$

$$CEC = 0.001(Clays)^{2.45} + 0.26(OM)^{4.44} + 27.03 \quad R^2 = 0.78 \quad (۵)$$

گرچه منفی حتی در معادله وارد شده است (رابطه‌های ۶ و ۷). مقادیر گچ و آهک نیز بر رطوبت ظرفیت زراعی تأثیر منفی داشت. در این پژوهش، به دلیل وجود مقدار کم ماده آلی در خاک‌های مورد مطالعه و تفاوت کم خاک‌ها از نظر مقدار ماده آلی اثر آن روی نقطه رطوبتی زراعی معنی‌دار نشد ($R^2=0/002$). روابط رگرسیونی برای رطوبت نقطه پژمردگی دائم به صورت زیر به دست آمد:

$$PWP = 0.26Clay + 11.21 \quad R^2 = 0.73 \quad (۸)$$

$$PWP = 3.44(Clays)^{0.48} + 1.55 \quad R^2 = 0.74 \quad (۹)$$

در محاسبات انجام شده تنها اثر معنی‌دار پارامترهای وارد شده به نرم افزار، اثر رس است که با مقدار ضریب استاندارد ۰/۸۶ در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده و دارای بیشترین ضریب تأثیر می‌باشد. مقدار رس با رطوبت نقطه پژمردگی دائم همبستگی مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۲). با وجود معنی‌دار بودن پارامترهای ماده آلی و شن، این پارامترها در مدل وارد نشدند و تأثیر شن بر نقطه رطوبتی پژمردگی منفی بود. مقدار سیلت، گچ، آهک و جرم مخصوص ظاهری با رطوبت نقطه پژمردگی همبستگی منفی و غیرمعنی‌دار داشتند، بنابراین در مدل وارد نشدند. راولز و پاچپسکی (۲۰۰۲) و اسماعیل‌نژاد و همکاران (۲۰۱۵) نیز به چنین نتیجه‌ای رسیده‌اند (۶، ۱۵). تأثیر ماده آلی بر این نقطه رطوبتی مثبت است و هرچه مقدار ماده آلی خاک بیش‌تر باشد، به دلیل افزایش سطح ویژه خاک، باعث نگهداری آب بیش‌تری در این مکش رطوبتی می‌شود. اما در خاک‌های مورد مطالعه به دلیل کمبود ماده آلی، تأثیر این مواد بر رطوبت نقطه پژمردگی دائم ناچیز بوده و در محاسبات روابط رگرسیونی وارد نشده است.

مدل رگرسیون غیرخطی از خطی بیش‌تر است، این به دلیل تغییرات بطنی و منحنی‌وار ویژگی‌های خاک است.

مدل رگرسیونی خطی و غیرخطی استاندارد رطوبت ظرفیت زراعی خاک، با متغیرهای اولیه شامل درصد شن، سیلت، رس، ماده آلی، گچ، آهک و جرم مخصوص ظاهری خاک، با استفاده از داده‌های آموزش به صورت روابط زیر به دست آمد:

$$FC = 0.16Clay - 23.57\rho_b + 0.07Silt + 67.28 \quad R^2 = 0.84 \quad (۶)$$

$$FC = 25.73(Clays)^{0.14} - 34.48\ln(\rho_b) + 0.001(Silt)^{1.95} + 10.41 \quad R^2 = 0.87 \quad (۷)$$

مقادیر ماده آلی، آهک، گچ به علت معنی‌دار نشدن یا ضریب همبستگی کم، از رابطه خطی حذف شدند. مقدار رس با توجه به ضریب استاندارد که برای رس ۰/۵۴، سیلت ۰/۲۵ و جرم مخصوص ظاهری ۰/۸۸- بود، بیش‌ترین تأثیر را بر رطوبت ظرفیت زراعی داشت. در خاک‌های مورد مطالعه نیز به دلیل تنوع بافتی، میزان رس متفاوتی در خاک‌ها وجود داشت که باعث شد در محاسبات تأثیر این تفاوت به وضوح دیده شود. بین مقدار شن، گچ و آهک با رطوبت ظرفیت زراعی همبستگی منفی و معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲) با این وجود در رابطه رگرسیونی وارد نشده‌اند. ذرات سیلت تولید منافذ ریز می‌نمایند که می‌توانند باعث افزایش رطوبت ظرفیت زراعی شوند که در معادله رگرسیونی وارد شده است.

همان‌طور که در جدول ۲ ارائه شده است، تأثیر منفی جرم مخصوص ظاهری و درصد شن بر نقطه رطوبت ظرفیت زراعی در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. بنابراین با افزایش آن‌ها مقدار رطوبت ظرفیت زراعی کاهش می‌یابد به طوری که جرم مخصوص ظاهری به علت داشتن ضریب تأثیر زیاد

برای رطوبت ظرفیت زراعی بهترین مدل هنگامی به‌دست آمد که همه ویژگی‌ها وارد مدل شدند. این امر نشان‌دهنده اهمیت استفاده از تعداد بیش‌تر ویژگی‌های زوددییافت خاک در دقت مدل شبکه عصبی است. مدل شبکه عصبی پس‌انتشار با دو لایه پنهان و ۸ نورون بهترین نتیجه را ارائه کرد به‌طوری‌که ضریب تبیین ۰/۹۹ به‌دست آمد. مدل‌سازی برای رطوبت ظرفیت زراعی با ویژگی‌های دارای بیش‌ترین ضریب حساسیت یعنی رس، شن و جرم مخصوص ظاهری انجام شد (جدول ۳). با این تعداد ورودی بهترین تخمین در حالت وجود ۲ لایه پنهان و ۸ نورون حاصل شد که دارای ضریب تبیین ۰/۸۵ بود.

مدل مناسب برای رطوبت نقطه پژمردگی دائم هنگامی به‌دست آمد که همه ویژگی‌ها وارد مدل شدند. بهترین تعداد لایه پنهان و نورون برای این نقطه به‌ترتیب ۲ و ۸ به‌دست آمد که ضریب تبیین آن ۰/۹۸ بود. مدل‌سازی برای رطوبت نقطه پژمردگی دائم خاک با سه ویژگی رس، شن و جرم مخصوص ظاهری با بیش‌ترین ضریب حساسیت، انجام شد. بهترین تخمین با ۲ لایه پنهان و ۸ نورون حاصل شد که ضریب تبیین ۰/۸۳ بود.

محاسبات شبکه عصبی: ویژگی دیریافت مورد بررسی ابتدا با تمامی ورودی‌های زود یافت توسط مدل برآورد شد که نتایج به‌دست آمده دارای ضرایب تبیین زیادی بود. برخی مواقع، کاربران تعداد پارامترهای اندازه‌گیری شده کمی در اختیار دارند و لازم است که مدل شبکه عصبی با تعداد ورودی کم نیز ایجاد و آزمون شود. بنابراین در این پژوهش نیز سعی شد، علاوه بر ایجاد مدل با تمامی ورودی‌ها که نتایج قابل‌قبولی ارائه می‌نمود، با تعداد ورودی کم نیز مدل آزمون شود. مبنای انتخاب متغیرهای ورودی مدل با تعداد پارامتر کم، ضریب حساسیت آن‌ها با ویژگی دیریافت بود.

بهترین مدل برای برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی در شبکه عصبی، هنگامی به‌دست آمد که همه پارامترهای زوددییافت وارد مدل شدند. الگوریتم پس‌انتشار با تابع آموزش لونبرگ مارکواردت برای این ویژگی دیریافت با ۲ لایه پنهان و ۶ نورون بهترین تخمین را انجام داد که دارای ضریب تبیین ۰/۹۸ بود. بهترین تخمین برای ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با پارامترهای دارای بیش‌ترین ضریب حساسیت شامل رس، ماده آلی و شن با ۲ لایه پنهان و ۶ نورون با ضریب تبیین ۰/۷۷ به‌دست آمد.

جدول ۳- نتایج تحلیل حساسیت ویژگی‌های دیریافت نسبت به ویژگی‌های زوددییافت.

Table 3. Results of sensitivity analysis of difficulty available properties with respect to readily available properties.

آهک CaCO ₃	گچ CaSO ₄	جرم مخصوص ظاهری ρ_b	ماده آلی OM	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	ویژگی زوددییافت
							Readily available property
0.13	0.04	0.21	0.41	0.58	0.002	0.41	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)
0.01	0.06	0.90	0.02	0.54	0.26	0.45	رطوبت ظرفیت زراعی (FC)
0.02	0.07	0.23	0.001	0.90	0.11	0.48	رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP)

اثر معنی‌دار و منفی درصد شن را در محاسبه توابع انتقالی رگرسیونی جهت برآورد رطوبت ظرفیت زراعی نشان دادند (۷، ۱۵). تأثیر منفی جرم مخصوص ظاهری بر رطوبت ظرفیت زراعی بیش‌تر از درصد شن بود (جدول ۲) بنابراین در رابطه رگرسیونی به‌دست آمده، وارد شده و اثری شبیه شن روی این نقطه رطوبتی دارد.

گچ و آهک نیز مانند شن، تأثیر منفی بر رطوبت ظرفیت زراعی داشتند. ظرفیت جذب آب توسط آن‌ها نسبت به ذرات خاک بسیار کم‌تر است. به‌ویژه گچ در خاک، بیش‌تر به‌صورت بلورهای درشت وجود دارد که دارای سطح ویژه خیلی کمی است، بنابراین قابلیت جذب آب توسط آن کاهش می‌یابد. در نتیجه، افزایش مقادیر آن‌ها در خاک می‌تواند موجب کاهش رطوبت در تمامی مکش‌ها به‌ویژه کاهش رطوبت ظرفیت زراعی گردد. در بیش‌تر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، احتمالاً به‌دلیل کمبود یا نبود گچ و آهک مناطق مورد مطالعه، این ویژگی‌ها در نظر گرفته نشده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد که گچ و آهک با وجود مقادیر قابل‌ملاحظه آن‌ها در خاک‌های مورد مطالعه در مدل رگرسیونی به‌دست آمده وارد نشده‌اند که دلیل آن احتمالاً مربوط به این است که تمام خاک‌های مورد مطالعه گچی و آهکی بوده و تفاوت چندانی از نظر مقادیر این دو ویژگی نداشتند. همچنین، وجود پارامترهای مؤثرتری مثل رس، جرم مخصوص ظاهری و سیلت شاید مانع از بروز اثر این ویژگی‌ها بر رطوبت ظرفیت زراعی شده‌اند.

درصد رس بیش‌ترین تأثیر را در برآورد رطوبت نقطه پژمردگی دائم داشت. پژوهش‌های انجام شده توسط هاورکامپ و همکاران (۲۰۰۵) و اسماعیل‌نژاد و همکاران (۲۰۱۵) این نتیجه را تأیید می‌کند (۶، ۸).

مقایسه روش‌ها: مقدار رس بیش‌ترین تأثیر را بر رطوبت ظرفیت زراعی داشت. در خاک‌های متفاوت، وجود ذرات رس به‌دلیل ایجاد خلل و فرج ریزتر که مناسب برای نگهداری آب هستند و به‌علت سطح ویژه بیش‌تر، اثر بیش‌تری بر قابلیت نگهداری آب خاک در رطوبت ظرفیت زراعی دارند، بنابراین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین رطوبت ظرفیت زراعی و مقدار رس خاک وجود دارد. مصدقی و محبوبی (۲۰۱۱) در پژوهشی، توابع رگرسیونی برای نگهداشت آب در خاک را در مکش‌های مختلف ایجاد کرده و گزارش نمودند که مقدار رس، تأثیر معنی‌دار و مثبتی بر رطوبت نگهداری شده توسط خاک از جمله رطوبت ظرفیت زراعی دارد (۱۴). به‌طورکلی با افزایش مقدار رس خاک مقدار رطوبت در یک مکش معین افزایش می‌یابد که این اثر روی رطوبت ظرفیت زراعی نیز مشاهده می‌شود. راولز و پاچپسکی (۲۰۰۲) و اسماعیل‌نژاد و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که تأثیر مثبت مقدار رس بر رطوبت ظرفیت زراعی در حدی است که دیگر ویژگی‌ها تحت‌تأثیر مقدار آن، اثر خود را از دست دادند (۶، ۱۵).

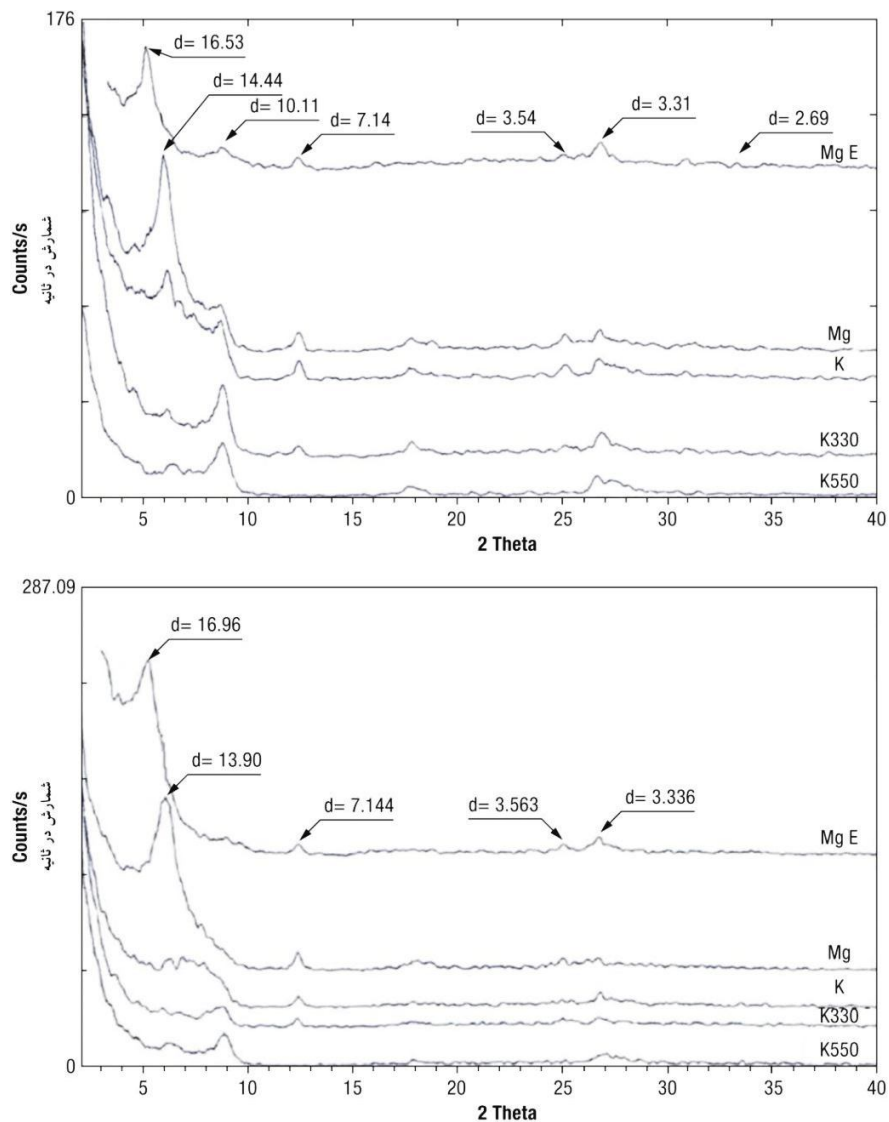
اثر درصد شن بر رطوبت ظرفیت زراعی معنی‌دار و منفی بود (جدول ۲). زیرا وجود شن به‌دلیل ذرات درشت، باعث ایجاد خلل و فرج بزرگ‌تر در خاک شده که مناسب برای نگهداری هوا هستند. بدین‌ترتیب آب سریع‌تر از خاک خارج شده و ظرفیت نگهداری آب خاک پایین است. وجود شن به‌دلیل تخلیه سریع آب و سطح ویژه کم، اثر منفی زیادی در نگهداری آب خاک دارد و تأثیر منفی آن در این پژوهش، به‌طور معنی‌داری مشاهده شد. قربانی‌دشتکی و همکاران (۲۰۱۱) و راولز و پاچپسکی (۲۰۰۲) نیز

به‌دست آمده برای برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی وارد مدل شدند. در بین ذرات معدنی خاک، ذرات رس دارای بیش‌ترین ظرفیت تبادل کاتیونی بوده که مقدار آن در رس‌های مختلف، متفاوت است. به‌طوری‌که رس ریزی چون اسمکتایت نسبت به رس درشتی هم‌چون کائولینایت دارای ظرفیت تبادل کاتیونی زیادی است. همچنین مواد آلی نیز دارای ظرفیت تبادل کاتیونی زیادی می‌باشند. ذرات رس به‌دلیل داشتن سطح ویژه زیاد، دارای مکان‌های بیش‌تری برای تبادل کاتیون‌ها هستند (۲، ۱۵). نتایج کانی‌شناسی رس از نمونه خاک‌های مورد مطالعه نشان داد که عمده رس‌های موجود در خاک‌های منطقه از نوع رس‌های ریز با ظرفیت تبادل کاتیونی و سطح ویژه زیاد مثل اسمکتایت و ورمیکولایت هستند حضور پیک‌های با مقدار d بیش‌تر از ۱۶ در تیمار منیزیم-اتیلن‌گلیکول این موضوع را تأیید می‌کند (شکل ۲).

ماده آلی نیز به‌دلیل سطح ویژه زیاد و داشتن گروه‌های عامل آنیونی فراوان، مکان مناسبی برای جذب و تبادل کاتیون‌ها می‌باشد. اگرچه مقدار ماده آلی نمونه‌های خاک کم بود و انتظار می‌رفت که تأثیر معنی‌داری در مدل نداشته باشد، ولی شاید به‌دلیل اثر زیاد آن بر ظرفیت تبادل کاتیونی، در مدل ظرفیت تبادل کاتیونی وارد شده است. البته ضریب تأثیر آن در مدل نسبت به درصد رس کم است. هورن و همکاران (۲۰۰۵)، امینی و همکاران (۲۰۰۵) و سرمیدیان و همکاران (۲۰۱۳) ارتباط بین ظرفیت تبادل کاتیونی با مقدار رس و ماده آلی را نشان دادند (۲، ۹، ۱۶).

رطوبت نقطه پژمردگی تحت‌تأثیر سطح ویژه ذرات خاک است، زیرا در این مکش تمامی منافذ خاک از آب خالی بوده و فقط آب به‌صورت جذب سطحی وجود دارد. در بین ذرات تشکیل‌دهنده معدنی خاک، رس دارای بیش‌ترین سطح ویژه می‌باشد، بنابراین هر چه مقدار رس خاک بیش‌تر و از نوع ریزتر باشد، سطح بیش‌تری برای جذب و نگهداری آب خواهد داشت. که با نتایج قربانی‌دشتکی و همکاران (۲۰۱۱) و اسماعیل‌نژاد و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد (۶، ۷).

تأثیر ماده آلی بر این نقطه رطوبتی مثبت است و هرچه مقدار ماده آلی خاک بیش‌تر باشد، به‌دلیل افزایش سطح ویژه خاک، باعث نگهداری آب بیش‌تری در این مکش رطوبتی می‌شود. اما در خاک‌های مورد مطالعه به‌دلیل کم‌تر بودن مقدار ماده آلی، تأثیر این مواد بر رطوبت نقطه پژمردگی دائم ناچیز بوده و در محاسبات روابط رگرسیونی وارد نشده است که با نتایج هاورکامپ و همکاران (۲۰۰۵) و اسماعیل‌نژاد و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد (۶، ۸). نتایج این پژوهش نشان داد که دقت توابع انتقالی رگرسیونی در برآورد رطوبت ظرفیت زراعی بیش‌تر از رطوبت نقطه پژمردگی دائم است. مصدقی و محبوبی (۲۰۱۱) و خداوردیلو و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که با افزایش مکش، دقت توابع انتقالی رگرسیونی در برآورد رطوبت کاهش یافت و ضریب تبیین برای برآورد رطوبت ظرفیت زراعی بیش‌تر از رطوبت نقطه پژمردگی دائم بود (۱۰، ۱۴). ویژگی‌های درصد رس و ماده آلی در مدل رگرسیونی



شکل ۲- نمونه‌هایی از دیفراکتوگرام بخش رس مربوط به خاک‌های مورد مطالعه.
Figure 2. X-ray diffractogram of clay fraction related to studied soils.

از رطوبت نقطه پژمردگی دائم است. در مورد شبکه‌های عصبی نیز مدل‌هایی که پارامترهای ورودی آن‌ها شامل همه ویژگی‌های زودپافت هستند نسبت به روابط رگرسیونی و مدل‌های عصبی با تعداد ورودی کم‌تر، دقت بیشتر است. همچنین با توجه به مقادیر معیارها در جدول ۴، زمانی که تعداد ویژگی‌های زودپافت کم‌تر است با دقت قابل‌قبولی می‌توان از روابط رگرسیونی به‌ویژه غیرخطی استفاده کرد.

نتایج ارزیابی توابع انتقالی به‌دست آمده از طریق داده‌های آموزش با استفاده از داده‌های آزمون در جدول ۴ ارائه شده است. در این ارزیابی از معیارهای ضریب تبیین، میانگین ریشه دوم مربع خطا نسبی و فاکتور کارایی مدل استفاده شد. مقایسه مقادیر معیارهای ارزیابی در مدل‌های مختلف برای ویژگی‌های دیرپافت نشان می‌دهد که دقت مدل‌های رگرسیون غیرخطی بیش‌تر از خطی است. دقت روابط رگرسیونی در برآورد رطوبت ظرفیت زراعی بیش‌تر

جدول ۴- ارزیابی روش‌های برآوردکننده ویژگی‌های دیر یافت خاک برای داده‌های آزمون.

Table 4. Predicting methods evaluation of soil difficulty available properties for test data.

MEF	RMSE(%)	R ²	مدل Model	ویژگی دیر یافت Difficulty available property
0.81	2.4	0.82	رگرسیون خطی (Linear regression)	رطوبت ظرفیت زراعی FC
0.83	2.31	0.84	رگرسیون غیرخطی (Non-linear regression)	
0.94	1.34	0.94	شبکه عصبی* (Neural network*)	رطوبت نقطه پژمردگی دائم PWP
0.80	2.46	0.81	شبکه عصبی** (Neural network**)	
0.69	5.73	0.70	رگرسیون خطی (Linear regression)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC
0.74	5.27	0.74	رگرسیون غیرخطی (Non-linear regression)	
0.92	2.91	0.92	شبکه عصبی* (Neural network*)	
0.85	4.95	0.78	شبکه عصبی** (Neural network**)	
0.41	9.31	0.71	رگرسیون خطی (Linear regression)	
0.70	6.65	0.80	رگرسیون غیرخطی (Non-linear regression)	
0.95	2.73	0.95	شبکه عصبی* (Neural network*)	
0.80	5.33	0.81	شبکه عصبی** (Neural network**)	

* مدل شبکه عصبی با ورودی شامل همه ویژگی‌های زود یافت خاک.

* Neural network with inputs including all of the soil readily available properties.

** مدل شبکه عصبی با ورودی فقط ویژگی‌های زود یافت خاک که بیشترین ضریب حساسیت با ویژگی دیر یافت دارند.

** Neural network with inputs including soil readily available properties that have the most sensitivity coefficient with difficulty available property.

نتیجه گیری

از رطوبت نقطه پژمردگی دائم می‌باشد. البته با کاهش تعداد ویژگی‌های زود یافت ورودی، دقت برآورد مدل شبکه عصبی تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت، ولی به‌طور کلی، روش شبکه عصبی در ایجاد توابع انتقالی، نتایج معتبرتری را نشان داد. نتایج این پژوهش در خصوص خاک‌های مورد مطالعه نشان داد که اگر

نتایج به‌دست آمده در این مطالعه نشان داد که مدل‌های شبکه عصبی بسط داده شده با تمام ورودی‌های زود یافت نسبت به روابط رگرسیون چندمتغیره، دارای دقت بیشتری هستند. دقت روابط رگرسیونی در برآورد رطوبت ظرفیت زراعی بیش‌تر

به منظور تخمین ویژگی دیریافت تعداد ویژگی های
 کرد. ولی اگر تعداد ویژگی های زودیافت اندازه گیری
 زودیافت کمی اندازه گیری شده است، می توان از
 شده متعدد و بیش تر بود، آن گاه مدل شبکه عصبی
 مدل های رگرسیونی نیز با دقت قابل قبولی استفاده
 نتایج بسیار دقیق تری ارائه می نماید.

منابع

1. Agyare, W.A., Park, S.J., and Vlek, P.L.G. 2007. Artificial neural network estimation of saturated hydraulic conductivity. *Vadose Zone J.* 6: 423-431.
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. Bayat, H., Davatgar, N., and Jalali, M. 2014. Prediction of CEC using fractal parameters by artificial neural networks. *International Agrophysics.* 28: 143-152.
4. Burt, R. 2014. Soil survey laboratory methods manual. Soil survey investigations report No. 42, Version 5. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center.
5. Esmaeelnejad, L. 2008. Investigation on physicochemical and mineralogical properties of the marls and their effect on soil erosion in the south of Guilan province. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Guilan, 165p.
6. Esmaeelnejad, L., Ramezanpour, H., Seyedmohammadi, J., and Shabanpour, M. 2015. Selection of a suitable model for the prediction of soil water content in north of Iran. *Spanish J. Agric. Res.* 13: 1. 12-2.
7. Ghorbani Dashtaki, S., Homae, M., and Khodaverdiloo, H. 2011. Derivation and validation of pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a variety of soil data. *Soil Use and Management.* 26: 68-74.
8. Haverkamp, R., Leij, F.J., Fuentes, C., Sciortino, A., and Ross, P.J. 2005. Soil water retention. I. Introduction of shape index. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 69: 1881-1890.
9. Horn, R., Fleige, H., Richter, F.H., Czyz, E.A., Dexter, A., Diaz-Pereira Damitru, E., Enarcho, R., Mayol, F., Rajkai, K., Delarosa, D., and Simota, C. 2005. SIDASS project 5: prediction of mechanical strength of arable soils and its effects on physical properties at various map scales. *Soil and Tillage Research.* 82: 47-56.
10. Khodaverdiloo, H., Homae, M., van Genuchten, M.T., and Ghorbani Dashtaki, S. 2011. Deriving and validating pedotransfer functions for some calcareous soils. *J. Hydrol.* 399: 93-99.
11. Kianpoor, K.Y., Rezaie, A.R., Amerikhah, H., and Sami, M. 2012. Comparison of multiple linear regressions and artificial intelligence-based modeling techniques for prediction the soil cation exchange capacity of Aridisols and Entisols in a semiarid region. *Austr. J. Agric. Engin.* 3: 39-46.
12. McBratney, A.B., Minasny, B., Cattle, S.R., and Vervoort, R.W. 2002. From pedotransfer functions to soil inference systems. *Geoderma.* 109: 41-73.
13. Merdun, H., Cinar, O., Meral, R., and Apan, M. 2006. Comparison of artificial neural network and regression pedotransfer functions for prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil and Tillage Research.* 90: 108-116.
14. Mosaddeghi, M.R., and Mahboubi, A.A. 2011. Point pedotransfer functions for prediction of water retention of selected soil series in a semi-arid region of western Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science.* 57: 327-342.
15. Rawls, W.J., and Pachepsky, Y.A. 2002. Soil consistence and structure as predictors of water retention. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 66: 1115-1126.

16. Sarmadian, F., Azimi, S., Keshavarzi, A., and Ahmadi, A. 2013. Neural computing model for prediction of soil cation exchange capacity: A data mining approach. *Inter. J. Agron. Plant Prod.* 4: 7. 1706-1712.
17. Sarmadian, F., Taghizadeh Mehrjardi, R., and Akbarzadeh, A. 2009. Modeling of some soil properties using artificial neural network and multivariate regression in Gorgan province, north of Iran. *Austur. J. Bas. Appl. Sci.* 3: 1. 323-329.
18. Seybold, C.A., Grossman, R.B., and Reinch, T.G. 2005. Predicting cation exchange capacity for soil survey using linear models. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 69: 856-886.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(4), 2016
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Derivation the suitable pedotransfer functions for prediction of some difficult available soil properties

*J. Seyedmohammadi¹, L. Esmaeelnejad² and M. Shabanpour³

¹Ph.D. Student, Dept. of Soil Science Engineering, University of Tabriz, ²Ph.D. Student, Dept. of Soil Science Engineering, University of Tehran, ³Associate Prof., Dept. of Soil Science Engineering, University of Guilan

Received: 12/30/2015; Accepted: 05/08/2016

Abstract

Background and Objective: Direct measurement of some soil properties may be difficult, costly and time consuming. So, these properties can be predicted using readily available data. Soil cation exchange capacity (CEC) is an important indicator of soil fertility and pollutant sequestration capacity. Soil hydraulic properties drive the water flow in the soil-plant-atmosphere system and hence control processes such as aquifer recharge or nutrient fluxes between soil and vegetation. Knowledge of soil hydraulic is important for modeling the physical processes related to soil water content. Despite great advances in measurement methods, it is still difficult to determine soil hydraulic properties accurately, especially for undisturbed soils and in the dry range. However, the measurement of the soil hydraulic properties and CEC is time-consuming, labor and expensive. Therefore, the present study aimed to derive the pedotransfer functions (PTFs) for the estimation of field capacity (FC), permanent wilting point (PWP) and CEC in some soils of Guilan province.

Materials and Methods: Study area is located in south of Guilan Province, Gilevan region, northern Iran. The climate is aridic. The annual precipitation is 245 mm and the average temperature is 18 °C. A total of 240 soil samples from 0-30 cm layer of this region were collected. Then, both difficult and readily available soil properties such as clay, sand and silt percent, CaCO₃, organic matter, bulk density and gypsum were measured. The first step for using statistical methods is to study the normality of data. For this purpose, Kolmogorov-Smirnov test was used. Data were divided into two groups of test (%25) and train (%75). This division carried out in such a way that statistical characteristics of two groups such as minimum, maximum, standard deviation, etc. were similar. Then regression and artificial neural network (ANN) models set on training data. For prevention of error in ANN process, data converted in standard scale from 0.1 to 0.9. Multi-layer perceptron, feed forward backpropagation and Levenberg-Marquardt functions were used for extension of ANN. Relative root mean square error (RMSE), determination coefficient (R²) and model efficiency factor (MEF) criteria were used for evaluation of models.

Results: In regression analysis, for CEC, clay and organic matter percent, in FC moisture content, clay, silt as well as bulk density and for PWP, clay percent showed significant effects in created models. Coefficients of determination in created linear models for CEC, FC and PWP were 0.72, 0.84 and 0.73, respectively. While these coefficients for non-linear models were 0.78, 0.87 and 0.74 for CEC, FC and PWP, respectively. The best PTFs for prediction of difficult available properties in ANNs obtained by multi-layer perceptron model with 2 hidden layers, 8 neurons for FC and PWP, 6 neurons for CEC and considering all inputs. Coefficients of determination for CEC, FC and PWP were 0.98, 0.99 and 0.98, respectively. ANNs designed for prediction of difficulty available properties with inputs include soil readily available properties that have the most sensitivity coefficient with difficulty available properties. Test results of these models were similarity non-linear regression models. The results of models compared with test data showed that the models obtained from ANNs were more accurate than the regression model.

Conclusion: In regression method, non-linear models for prediction of soil difficulty available properties were more accurate than linear models. In ANNs, models with inputs including all of the soil readily available properties were more accurate than models with inputs include soil easily available properties that have the most sensitivity coefficient with difficulty available property. Besides, according to results, if the number of readily available data weren't adequate, regression models could be used with acceptable accuracy. While, these data were enough, then the ANN provides much more accurate results. These means that ANN accuracy decreases by reducing input variables.

Keywords: Artificial neural network, Difficulty available properties, Guilan, Regression, Soil pedotransfer functions

* Corresponding Author; Email: seyedmohammadi.javad@gmail.com

