برآورد برخی ویژگی‌های دیریافت خاک‌های استان کرمان با استفاده از توابع انتقالی رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی

حسین شیرانی[۱]* و نغمه رفیع‌نژاد

استادیار گروه علوم خاک دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان؛ shirani379@yahoo.com

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد علوم خاک دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان؛ naghmeh_Rafienejad@yahoo.com

Archive of SID

چکیده

اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های مهم خاک، ممکن است دشوار، بسیار وقت‌گیر و پرهزینه باشد. بنابراین، تخمین این گونه از ویژگی‌های خاک با استفاده از ویژگی‌های زودیافت خاک، می‌تواند مفید باشد. به این روابط، توابع انتقالی خاک (PTFs) می‌گویند. این پژوهش به‌منظور ایجاد توابع انتقالی خاک برای برآورد گنجایش زراعی (FC)، نقطه پژمردگی دائم (PWP) و گنجایش تبادل کاتیونی خاک (CEC) برای خاک‌های استان کرمان انجام شد. بنابراین، تعداد ۱۰۰ نمونه خاک از مناطق مختلف استان کرمان (کرمان، بردسیر، رفسنجان، شهربابک، سیرجان و ارزوئیه بافت) و از لایه صفر تا ۳۰ سانتی‌متر گرفته شد. سپس ویژگی‌های دیریافت (FC ، PWP و CEC) و زودیافت (درصد رس، سیلت، شن، آهک، ماده آلی و گچ) خاک‌ها اندازه‌گیری گردید. در روش رگرسیون، برای FC درصد رس، شن و گچ، برای PWP درصد رس و برای CEC درصد رس و ماده آلی، اثرات معنی‌داری در مدل‌های ایجادشده نشان دادند. ضرایب تبیین (R^2) به‌ترتیب برای FC، PWP و CEC برابر ۰/۸۶، ۰/۴۵ و ۰/۹۴ محاسبه شدند. بهترین PTFs ها توسط شبکه عصبی مصنوعی برای FC، PWP و CEC با ۶ لایه‌ی پنهان و در نظر گرفتن تمامی ورودی‌ها به‌دست آمد (ضریب تبیین به‌ترتیب برابر ۰/۹۸، ۰/۹۳ و ۰/۹۹). دقت در روش شبکه عصبی نسبت به روش رگرسیون بیش‌تر بود. نتایج نشان داد که اگر تعداد ویژگی‌های زودیافت اندازه‌گیری‌شده زیاد نباشند، می‌توان از مدل‌های رگرسیونی با دقت قابل قبولی استفاده کرد. اگر تعداد ویژگی‌های زودیافت اندازه‌گیری‌شده زیاد بود، آن‌گاه مدل شبکه عصبی، نتایج بسیار دقیق‌تری ارائه می‌نماید. دقت مدل شبکه عصبی با کاهش تعداد پارامترهای زودیافت (ورودی‌ها)، کاهش یافت.

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

مقدمه

اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های مهم خاک، ممکن است مشکل، بسیار وقت‌گیر و یا پرهزینه باشد. بنابراین، محققان به‌دنبال روش‌ها و روابطی هستند که به توان این قبیل خصوصیات خاک (خواص دیریافت) را از روی ویژگی‌های که به طور ساده به‌دست می‌آیند (خواص زودیافت)، تخمین بزنند. این‌گونه روش‌های غیرمستقیم

---

[۱]. نویسنده مسئول، آدرس: رفسنجان، دانشگاه ولی عصر(عج)، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک، صندوق پستی ۵۱۸.

* دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۰ و پذیرش: دی ۱۳۹۰

www.SID.ir

برای برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی دیریافت خاک را اصطلاحاً توابع انتقالی خاک[1] می‌نامند (بوما[2]، ۱۹۸۹). در حقیقت، توابع انتقالی‌خاک، یکی از روش‌های غیر مستقیم در برآورد ویژگی‌های دیریافت خاک می‌باشند و خصوصیات زودیافت خاک را به سایر خصوصیات خاک ارتباط می‌دهند. خصوصیاتی از خاک مانند ظرفیت زراعی (FC) و رطوبت پژمردگی دائم (PWP) تابع خصوصیات زودیافت خاک، مانند: درصد شن، سیلت، رس، گچ، ماده آلی، آهک و غیره می‌باشند. توابع انتقالی به‌روش‌های مختلف ازجمله رگرسیون و شبکه عصبی و با استفاده از اطلاعات موجود و زودیافت خاک بسط داده می‌شوند (آگیار و همکاران[3]، ۲۰۰۷). درنتیجه‌ی استفاده از توابع انتقالی، ضمن صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها، می‌توان مقایسه مناسبی را برای تعیین بهترین روش تخمین برای پارامترهای خاک، انجام داد. تعیین توابع انتقالی، به صورتی انجام می‌شود که کاربر این توابع به تواند با سطوح متفاوت اطلاعاتی، تخمین پارامترهای خاک را با دقت مناسب انجام دهد. الگوی شبکه عصبی بر طبق اصول مغز انسان ساخته شده است که بین آموخته‌ها و دانش موجود در داده‌ها ارتباط برقرار می‌کند (پرسون و همکاران[4]، ۲۰۰۲)، البته نه بدین معنی که از نظر کارایی شبیه مغز انسان عمل می‌کند، بلکه فقط ساختار کلی آن از شبکه عصبی طبیعی الگو گرفته است.

از خواص مهم خاک که تعیین آن‌ها در عرصه کشاورزی از نظر آب قابل جذب گیاه، تبخیر و تعرق، برنامه‌ریزی آبیاری و غیره اهمیت زیادی دارد، ویژگی‌های هیدرولیکی خاک می‌باشند (مصدقی و محبوبی، ۲۰۱۱). تعیین نقاط FC و PWP برای به دست آوردن بهترین زمان آبیاری و مقدار آب آبیاری بسیار مهم است، زیرا این نقاط شاخصی برای دانستن میزان آب قابل استفاده گیاه می‌باشند. اگرچه، روش‌های اندازه‌گیری مستقیم ویژگی‌های هیدرولیکی خاک (مانند FC و PWP) در آزمایشگاه و یا در مزرعه دقیق است، ولی به‌دلیل هزینه‌ی زیاد، وقت‌گیر بودن و نیاز به تجهیزات آزمایشگاهی ویژه، دشوار می‌باشد (مصدقی و محبوبی، ۲۰۱۱). ظرفیت تبادل کاتیونی یک خاک، اهمیت فوق‌العاده‌ای در خواص فیزیکی و شیمیایی آن دارد و از آن به‌عنوان یک مشخصه‌ی تعیین نوع خاک استفاده می‌شود. اندازه‌گیری CEC نیز وقت‌گیر، پرهزینه و مشکل است. به همین دلیل تخمین آن با دقت مناسب، با استفاده از شیوه‌های ساده و ارزان به منظور شناسایی روابط منطقی و عملی بین این خواص (به‌عنوان خواص دیریافت خاک) و خواص زودیافت خاک (مثل بافت خاک، گچ، آهک، ماده آلی و غیره)، حائز اهمیت می‌باشد (کروق[5] و همکاران، ۲۰۰۰).

اکثر توابع انتقالی برای تخمین خصوصیات هیدرولیکی خاک، از داده‌های ساده و زودیافتی چون بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری و یا میزان ماده آلی استفاده می‌کنند (هاورکامپ و همکاران[6]، ۲۰۰۵؛ راولز و پاشپسکی[7]، ۲۰۰۲). در مطالعه‌ای که توسط مردان و همکاران[8] (۲۰۰۶) انجام شد، توابع انتقالی برای نقاط ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم با استفاده از توزیع اندازه ذرات و جرم مخصوص ظاهری توسط شبکه عصبی و رگرسیون چندمتغیره‌ی خطی به‌دست آمد و کارآیی این روش‌ها، با نتایج اندازه‌گیری‌های مستقیم مقایسه گردید. برای دانستن میزان اعتبار توابع انتقالی خاک، ۱۹۵ نمونه خاک به دو گروه تقسیم شد، یک گروه شامل ۱۳۰ نمونه و گروه دیگر شامل ۶۵ نمونه خاک بود. اگرچه تفاوت نتایج بین دو روش در سطح ۵٪ معنی‌دار نبود، ولی رگرسیون چندمتغیره خطی، تخمین بهتری ارائه داد و هر دو روش در تعداد نمونه بیشتر، دقت بالاتری را نشان دادند.

کروق و همکاران (۲۰۰۰)، در تحقیقی اهمیت ذرات رس در برآورد CEC را نشان دادند. بل و ونکولن[9] (۱۹۹۵) برای شبیه‌سازی مدل تابع انتقالی برای تخمین CEC و آزمایش آن در خاک‌های متفاوت، داده‌های ورودی زیادی را ضروری دانسته‌اند. در این مطالعه، مدل شبیه‌سازی شده با ضریب تبیین ۹۶٪ معنی‌دار شد و میزان رس، دارای بیشترین تأثیر در مدل بود. هورن و همکاران[10] (۲۰۰۵) توسط توابع انتقالی، ارتباط بین ظرفیت تبادل کاتیونی و دو خصوصیت فیزیکی خاک، شامل مقدار رس و ماده آلی را نشان دادند. در این مطالعه بر تفاوت اثر انواع مختلف رس تأکید شده است.

هدف از انجام این تحقیق، تعیین توابع انتقالی برای برآورد ویژگی‌های دیریافت خاک مثل FC، PWP و CEC با استفاده از ویژگی‌های زودیافت خاک، مثل درصد شن، سیلت، رس، گچ، آهک، ماده آلی و جرم مخصوص ظاهری توسط معادلات رگرسیون چندمتغیره و مدل‌های شبکه عصبی برای خاک‌های استان کرمان بود.

1. Pedotransfer functions
2. Bouma
3. Agyar et al.
4. Person et al.
5. Krogh
6. Haverkamp
7. Rawls and Pachepsky
8. Merdun
9. Bell and van Keulen
10. Horn

Archive of SID

www.SID.ir

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری در مناطق مختلف استان کرمان، از شهرهای کرمان، بردسیر، رفسنجان، شهربابک، سیرجان و ارزوئیه بافت، شامل قسمت‌های بیابانی، باغ‌ها و اراضی کشاورزی که حتی‌الامکان دارای ویژگی‌های مختلفی بودند، انجام گرفت. در هر نقطه‌ی انتخابی، یک نمونه دست‌خورده از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک برداشته شد که وزن هر نمونه، حدود ۶ کیلوگرم بود. البته برای تعیین چگالی ظاهری خاک، نمونه‌های دست‌نخورده در محل نمونه‌برداری تهیه شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل گردیدند و در کل، ۱۰۰ نمونه خاک از استان جمع‌آوری شد. نمونه‌های جمع‌آوری شده، پس از هواخشک شدن و کوبیده شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. ذرات خاک کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر، برای ادامه‌ی آزمایش‌ها نگه‌داری گردیدند.

تعیین خواص دیریافت خاک (FC، PWP و CEC)

منحنی‌های مشخصه رطوبتی خاک در فشارهای پنوماتیک ۰/۳ (FC) و ۱۵ (PWP) بار، با استفاده از دستگاه صفحه فشاری اندازه‌گیری گردیدند (کلوت[1]، ۱۹۸۶). ظرفیت تبادل کاتیونی، به روش جانشینی کاتیون‌های تبادلی با سدیم استات، تعیین گردید.

اندازه‌گیری ویژگی‌های زودیافت خاک

ویژگی‌های مورد نظر که به‌عنوان ویژگی‌های زودیافت خاک، می‌توانند بر رطوبت ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم تأثیرگذار باشند، عبارت بودند از: درصدهای رس، سیلت، شن، آهک، ماده آلی و گچ. بافت خاک به‌روش هیدرومتری، آهک به‌روش تیتراسیون با اسید، ماده آلی به‌روش والکلی و بلک و گچ به‌روش استون و اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی تعیین شدند (ریان[2] و همکاران، ۲۰۰۱). هم‌چنین، چگالی ظاهری خاک با گرفتن نمونه دست‌نخورده توسط روش استوانه با ابعاد ۸ سانتی‌متر ارتفاع و ۷ سانتی‌متر قطر، اندازه‌گیری گردید.

تجزیه‌های آماری و شبکه عصبی

به‌منظور تجزیه‌های آماری از نرم‌افزار SPSS و برای ایجاد مدل شبکه عصبی از نرم‌افزار MATLAB استفاده گردید. مدل‌های رگرسیونی به‌روش گام‌به‌گام[3] به‌دست آمدند و متغیرهای مستقل یا ویژگی‌های زودیافتی که اثر آن‌ها در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار نبود، از مدل حذف شدند. شبکه استفاده شده در مدل شبکه عصبی، شبکه پرسپترون چندلایه با تابع انتقال هاردلیم[4] بود (منهاج، ۱۳۸۹). پس از آزمون و خطاهای زیاد، تعداد لایه‌های مناسب و داده‌های لازم برای آموزش و اعتبارسنجی (آزمون) مدل برای هر ویژگی، انتخاب شد. هم‌چنین، تحلیل حساسیت به‌منظور تشخیص مؤثرترین ورودی‌ها (ویژگی زودیافت) در برآورد ویژگی دیریافت مورد نظر (خروجی)، توسط نرم‌افزار Neurosolution5 انجام گرفت.

نتایج و بحث

توابع انتقالی بر اساس مدل‌های رگرسیونی

رطوبت FC

مدل رگرسیونی استاندارد FC با متغیرهای اولیه‌ی خاک، شامل شن، سیلت، رس، ماده آلی، گچ، آهک و جرم مخصوص ظاهری خاک، به روش گام‌به‌گام بدین شکل به‌دست آمد:

FC = (۰/۶۶) ٪رس + (−۰/۱۵۹) ٪شن + (−۰/۱۸۹) ٪گچ

همان‌طورکه در جدول ۲ مشاهده می‌شود، این مدل با R^2 =۰/۸۶ معنی‌دار شد. مقادیر سیلت، ماده آلی، آهک و جرم مخصوص ظاهری خاک، به‌علت معنی‌دار نشدن، از مدل حذف شدند.

مقدار رس، بیشترین تأثیر را بر رطوبت ظرفیت زراعی داشت (جدول ۳). در خاک‌های انتخاب شده نیز به‌دلیل تنوع بافتی، میزان رس متفاوتی در خاک‌ها وجود داشت که باعث شد در محاسبات تأثیر این تفاوت به‌وضوح دیده شود. بین مقدار شن و رطوبت FC، همبستگی منفی وجود داشت (شکل ۳، R^2 =۰/۷۹).

همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، تأثیر منفی میزان شن بر نقطه‌ی FC در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. افزایش گچ در خاک، باعث ایجاد تغییرات معنی‌دار در سطح ۱٪ در این مدل شد (R^2=۰/۷۵). شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار گچ در خاک، رطوبت ظرفیت مزرعه کاهش می‌یابد.

در این تحقیق، به‌دلیل وجود مقدار کم ماده آلی در خاک‌های استان کرمان و تفاوت کم خاک‌ها از نظر مقدار ماده آلی، اثر آن روی نقطه رطوبتی FC معنی‌دار نشد (R^2 =۰/۲۲). آهک نیز تأثیر چندانی بر FC نداشت (R^2=۰/۴۴). بین مقدار سیلت و رطوبت FC، همبستگی معنی‌داری وجود نداشت. البته ذرات سیلت نیز تولید منافذ ریز می‌نمایند که می‌توانند باعث افزایش FC می‌شوند، ولی با توجه به مقدار و تأثیر کمتر ذرات سیلت در خاک‌های مورد بررسی در مقابل ذرات شن و رس و با در نظر گرفتن

1. Klute
2. Ryan
3. Stepwise
4. Hardlim

Archive of SID

www.SID.ir

این که مجموع درصدهای رس، سیلت و شن برابر ۱۰۰ می‌شود، بنابراین درصد سیلت در مقابل ذرات رس و شن وارد مدل نشده است (R^2=۰/۲۶).

نقطه پژمردگی دائم

مطالعه‌ی انجام شده روی خاک‌های استان کرمان، نشان داد که در بین خصوصیات زودیافت خاک‌ها از قبیل میزان شن، سیلت، رس، ماده آلی، گچ، آهک و جرم مخصوص ظاهری، فقط تأثیر رس بر نقطه‌ی پژمردگی دائم معنی‌دار بود و بقیه‌ی عوامل، به‌دلیل عدم تأثیری معنی‌دار بر PWP حذف شدند و رابطه‌ی رگرسیونی زیر به‌دست آمد:

PWP = (۰/۶۷) ٪رس

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، این مدل رگرسیونی با R^2 =۰/۴۵ معنی‌دار است. داده‌های اولیه به‌صورت stepwise وارد شدند، بنابراین تمام خصوصیاتی که تأثیر آن‌ها در مدل معنی‌دار نبود، از معادله حذف شدند.

در محاسبات انجام شده در جدول ۵، نشان داده شده است که تنها اثر معنی‌دار پارامترهای وارد شده به نرم‌افزار، اثر رس است که در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد (R^2=۰/۴۵). شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار رس در خاک، رطوبت نقطه پژمردگی دائم افزایش می‌یابد.

به‌دلیل معنی‌دار نبودن پارامتر شن، این پارامتر در مدل وارد نشد، اما تأثیر میزان شن بر نقطه‌ی رطوبتی PWP منفی بود (R^2=۰/۲۷). اثر مقدار سیلت بر نقطه‌ی پژمردگی دائم خاک، به‌صورت افزایشی بود، اما اثر آن معنی‌دار نشد (R^2=۰/۱۵). برخی پژوهش‌ها نیز نشان دادند که سیلت تأثیر کمتری نسبت به رس، بر نقطه‌ی رطوبتی PWP دارد (راولز و پاشپسکی، ۲۰۰۲).

در کل تأثیر میزان ماده آلی بر این نقطه‌ی رطوبتی مثبت است و هرچه مقدار ماده آلی خاک بیشتر باشد، به‌دلیل افزایش سطح ویژه‌ی خاک، باعث نگه‌داری آب بیشتری در این مکش رطوبتی می‌شود. اما در خاک‌های نمونه‌برداری شده در این استان، به‌دلیل کمبود ماده آلی، تأثیر این مواد بر PWP ناچیز بوده و در محاسبات معنی‌دار نشده است (R^2=۰/۱۵). اثر گچ (R^2=۰/۱۹) و آهک (R^2=۰/۲)، بر نقطه‌ی رطوبتی PWP معنی‌دار نبود.

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک

با محاسبات آماری انجام شده و مدل‌سازی توابع انتقالی در خاک‌های نمونه‌برداری شده از استان کرمان، تابع انتقالی زیر به‌صورت رگرسیون چندمتغیره خطی با حذف ویژگی‌های غیرمعنی‌دار از مدل به‌دست آمد:

CEC = (۰/۹۰۴) ٪رس + (۰/۱۲۴) ٪ماده آلی

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، این معادله با R^2 =۰/۹۴ معنی‌دار شده است.

در این مطالعه همبستگی CEC با مقدار رس در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. در شکل ۶ تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی با میزان رس خاک‌های مورد بررسی نشان داده شده است (R^2=۰/۹۲).

جدول ۷ نشان می‌دهد، بعد از رس تنها عامل مؤثر بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، ماده آلی است که اثر آن در سطح ۱٪ معنی‌دار گردید. شکل ۷ تغییرات میزان ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های استان کرمان را با تغییرات ماده آلی این خاک‌ها نشان می‌دهد (R^2 =۰/۶۷).

اثر مقادیر شن، گچ و آهک بر CEC اگرچه به‌صورت کاهشی بود، ولی در مدل رگرسیون این اثرات معنی‌دار نشد.

توابع انتقالی بر اساس مدل شبکه عصبی

در این مبحث، ابتدا ویژگی دیریافت مورد بررسی با تمامی ورودی‌ها توسط مدل برآورد شد که نتایج خیلی دقیقی به‌دست آمد. 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 تست شود. بنابراین در این بخش نیز سعی شد، علاوه بر ایجاد مدل با تمامی ورودی‌ها که نتایج خیلی دقیقی ارائه می‌نمود، با تعداد ورودی کم نیز مدل تست شود. مبنای انتخاب متغیرهای ورودی مدل با تعداد پارامتر کم، همبستگی آماری آن‌ها با متغیر وابسته (مشخصه دیریافت) بود. بدین معنی که برای هر ویژگی دیریافت مورد بررسی، متغیرهای ورودی انتخاب شدند که بیشترین همبستگی را با صفت دیریافت مورد نظر داشتند و بیشترین تأثیر را بر آن داشته و بهترین نتیجه یا تخمین را ارائه نمودند.

ظرفیت زراعی

برای ظرفیت زراعی بهترین مدل هنگامی به‌دست آمد که همه‌ی پارامترهای زودیافت خاک، میزان شن، سیلت، رس، ماده‌آلی، گچ، آهک و جرم مخصوص ظاهری وارد مدل شدند. این امر نشان‌دهنده‌ی اهمیت استفاده از تعداد بیشتر خصوصیات زودیافت خاک در دقت مدل شبکه عصبی است. در این روش از ۷۵ داده‌ی آموزشی و ۲۵ داده‌ی آزمونی استفاده شد و هم‌چنین بهترین تعداد لایه‌ی پنهان برای ظرفیت زراعی ۶ لایه به‌دست آمد. R^2 این مدل ۰/۹۸ برآورد گردید. برای ظرفیت زراعی خاک با سه پارامتر زودیافت خاک شامل: مقدار رس، شن و گچ، مدل‌سازی انجام شد. بهترین تخمین در حالت وجود ۵ لایه‌ی پنهان، ۸۵ داده‌ی آموزشی و ۱۵ داده‌ی آزمونی به‌دست آمد (R^2=۰/۸۳). نتایج تحلیل حساسیت نشان داد

Archive of SID

www.SID.ir

که مؤثرترین ویژگی زودیافت در برآورد FC توسط مدل شبکه عصبی، درصد شن بود. پس از شن، درصدهای رس و گچ به‌ترتیب بیشترین اثر را در تخمین رطوبت گنجایش زراعی داشتند.

نقطه‌ی پژمردگی دائم خاک

بهترین مدل برای نقطه پژمردگی دائم هنگامی به‌دست آمد که همه‌ی پارامترهای زودیافت خاک، میزان شن، سیلت، رس، ماده‌آلی، گچ، آهک و جرم مخصوص ظاهری وارد مدل شدند. در این روش از ۸۰ داده‌ی آموزشی و ۲۰ داده‌ی آزمونی استفاده گردید و بهترین تعداد لایه‌ی پنهان برای این نقطه ۶ لایه به‌دست آمد (R^2=۰/۹۳). برای نقطه‌ی پژمردگی دائم خاک با سه پارامتر زودیافت خاک، شامل: مقدار رس، شن و گچ مدل‌سازی انجام شد. بهترین تخمین با ۵ لایه‌ی پنهان، ۷۵ داده‌ی آموزشی و ۲۵ داده‌ی آزمونی به‌دست آمد و R^2=۰/۶۲ بود. مؤثرترین ویژگی زودیافت در برآورد PWP، طبق نتایج تحلیل حساسیت درصد شن بود. پس از شن، درصدهای رس و گچ به‌ترتیب بیشترین اثر را در تخمین رطوبت رطوبت پژمردگی دائم داشتند.

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک

در مدل شبکه عصبی بهترین مدل برای ظرفیت تبادل کاتیونی مانند سایر ویژگی‌ها، هنگامی به‌دست آمد که همه‌ی پارامترهای زودیافت خاک، میزان شن، سیلت، رس، ماده‌آلی، گچ، آهک و جرم مخصوص ظاهری وارد مدل شدند. در این روش از ۸۵ داده‌ی آموزشی و ۱۵ داده‌ی آزمونی استفاده شد و بهترین تعداد لایه‌ی پنهان برای ظرفیت تبادل کاتیونی ۶ لایه به‌دست آمد. هم‌چنین R^2 این مدل ۰/۹۹ برآورد گردید. بهترین تخمین برای ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با سه پارامتر زودیافت خاک شامل: مقدار رس، ماده آلی و سیلت، با ۴ لایه‌ی پنهان، ۸۰ داده‌ی آموزشی و ۲۰ داده‌ی آزمونی به‌دست آمد (R^2=۰/۹۵). نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که مؤثرترین ویژگی‌های زودیافت در برآورد CEC توسط مدل شبکه عصبی، به‌ترتیب درصد رس و ماده آلی بودند.

بحث

مقدار رس بیشترین تأثیر را بر رطوبت ظرفیت زراعی داشت (جدول ۳). 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 FC دارند، بنابراین همبستگی مثبت بین FC و مقدار رس خاک وجود دارد. مصدقی و محبوبی (۲۰۱۱) در تحقیقی، توابع رگرسیونی برای نگهداشت آب در خاک را در مکش‌های مختلف ایجاد کرده و گزارش نمودند که مقدار رس، تأثیر معنی‌دار مثبتی بر رطوبت نگه‌داری شده (از جمله رطوبت گنجایش زراعی) توسط خاک دارد. به‌طور کلی با افزایش رس، مقدار رطوبت در یک مکش معین افزایش می‌یابد (بای-بوردی، ۱۳۸۲)، که این اثر روی FC نیز مشاهده می‌شود. در مطالعه راولز و پاشپسکی (۲۰۰۲)، تأثیر مثبت مقدار رس بر نقطه رطوبتی FC در حدی بود که دیگر پارامترها تحت تأثیر مقدار آن، اثر خود را از دست دادند.

اثر درصد شن بر رطوبت گنجایش زراعی معنی‌دار و منفی بود. زیرا وجود شن به‌دلیل ذرات درشت، باعث ایجاد خلل و فرج بزرگ‌تر در خاک شده که مناسب برای نگه‌داری هوا هستند. بدین ترتیب آب سریع‌تر از خاک خارج شده و ظرفیت نگه‌داری آب خاک پایین است. وجود شن به‌دلیل تخلیه‌ی سریع آب و سطح ویژه‌ی کم، اثر منفی زیادی در نگه‌داری آب خاک دارد و تأثیر منفی آن در این پژوهش، به‌طور کاملاً معنی‌داری مشاهده شد. قربانی دشتکی و همکاران (۲۰۱۱) نیز اثر معنی‌دار و منفی درصد شن را در توابع انتقالی رگرسیونی ایجاد شده برای تخمین رطوبت در مکش ۳۰ کیلوپاسکال (گنجایش زراعی) نشان دادند. مطالعات انجام شده در خاک‌های مناطق مختلف، همگی بر تأثیر منفی میزان شن روی نقطه FC تأکید داشته‌اند (راولز و پاشپسکی، ۲۰۰۲). در پژوهش‌های دیگری نیز نشان داده شد که درصد رس موجود در بافت خاک، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار روی PWP است (کازمیرو همکاران[1]، ۲۰۰۱؛ هاورکامپ و همکاران، ۲۰۰۵؛ رقاوندرا و همکاران[2]، ۲۰۰۷).

گچ نیز مانند شن، تأثیر منفی و معنی‌داری بر رطوبت FC داشت. ظرفیت جذب آب گچ نسبت به ذرات خاک بسیار کمتر است. به‌ویژه گچ در خاک، بیشتر به‌صورت بلورهای درشت (پندانت گچی) وجود دارد که دارای سطح ویژه‌ی خیلی کمی است و بنابراین قابلیت جذب آب توسط آن کاهش می‌یابد. درنتیجه، افزایش گچ در خاک می‌تواند موجب کاهش رطوبت در تمامی مکش‌ها و هم-چنین کاهش رطوبت گنجایش زراعی گردد. در بیشتر تحقیقات انجام شده در این زمینه، احتمالاً به‌دلیل کمبود یا نبود گچ مناطق مورد مطالعه، این پارامتر در نظر گرفته نشده است. نتایج این تحقیق نشان داد که در خاک‌هایی که دارای گچ می‌باشند، این ویژگی تأثیر مهمی بر رطوبت FC دارد. آهک نیز تأثیر چندانی بر FC نداشت. دلیل آن احتمالاً مربوط به این است که تمام خاک‌ها آهکی بوده و تفاوت چندانی از نظر مقدار آهک نداشتند. هم‌چنین، وجود

[1] Cazemier et al.
[2] Raghavendra et al.

Archive of SID

www.SID.ir

پارامترهای مؤثری مثل رس و شن، شاید مانع از بروز اثر این فاکتورها بر FC شده‌اند.

تنها عامل مؤثر در برآورد رطوبت PWP در این پژوهش، درصد رس بود. رطوبت PWP تحت تأثیر سطح ویژه‌ی 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 تشکیل دهنده‌ی معدنی خاک، رس دارای بیشترین سطح ویژه می‌باشد، بنابراین هر قدر مقدار رس یک خاک بیشتر باشد، سطح بیشتری برای جذب و نگه‌داری آب خواهد داشت. نتایج قربانی دشتکی و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان داد که رطوبت در مکش ۱۵۰۰ کیلوپاسکال (PWP)، فقط با درصد رس رابطه‌ی معنی‌داری داشت که با نتایج این تحقیق کاملاً منطبق است. آینا و پریاسوامی[1] (۱۹۸۵) نیز گزارش کردند که مقدار رطوبت در مکش ۱۵۰۰ کیلوپاسکال (رطوبت پژمردگی دائم)، تنها به مقدار رس بستگی داشت. در کل تأثیر میزان ماده آلی بر این نقطه‌ی رطوبتی مثبت است و هرچه مقدار ماده آلی خاک بیشتر باشد، به‌دلیل افزایش سطح ویژه‌ی خاک، باعث نگه‌داری آب بیشتری در این مکش رطوبتی می‌شود. اما در خاک‌های نمونه‌برداری شده در این استان، به‌دلیل کمبود ماده آلی، تأثیر این مواد بر PWP ناچیز بوده و در محاسبات معنی‌دار نشده است. در مطالعه‌ای که توسط هاورکامپ و همکاران (۲۰۰۵) انجام گرفت نیز تأثیر ناچیز ماده آلی نشان داده شده است که علت آن، احتمالاً همین کمبود میزان ماده آلی در خاک‌های نمونه‌برداری شده بوده است.

نتایج این تحقیق نشان داد که دقت توابع انتقالی رگرسیونی در برآورد FC بیشتر از PWP است (مقدار ضریب تبیین برای FC برابر ۸۶ درصد و برای PWP معادل ۴۵ درصد می‌باشد). مصدقی و محبوبی (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند، با افزایش مکش، دقت توابع انتقالی رگرسیونی در برآورد رطوبت کاهش یافت و ضریب تبیین برای برآورد FC بیشتر از PWP بود. نتایج دیگر پژوهشگران نیز بیانگر دقت بیشتر توابع انتقالی رگرسیونی برای تخمین رطوبت گنجایش زراعی نسبت به رطوبت پژمردگی دائم بود (سالشو و همکاران[2]، ۱۹۹۶). در مقابل هاتسون و کاس[3] (۱۹۸۶) نتیجه‌ای برعکس را گزارش نمودند، بدین معنی که نتایج آن‌ها نشان داد که توابع انتقالی برای برآورد FC دقت کمتری نسبت به PWP داشت. علت این امر را ساختمان بسیار متغیر خاک در پژوهش خود گزارش کردند که این پارامتر تأثیر زیادی بر رطوبت گنجایش زراعی دارد. در پژوهش ما، به‌طور کلی ساختمان خاک‌ها ضعیف بود که علت آن مربوط به ماده آلی کم خاک و اقلیم خشک منطقه می‌باشد.

طبق نتایج این پژوهش، در مدل رگرسیونی به‌دست آمده برای برآورد CEC، متغیرهای درصد رس و ماده آلی وارد مدل شدند. در بین ذرات معدنی خاک، ذرات رس بیشترین ظرفیت تبادل کاتیونی را دارا هستند و این مقدار در انواع رس‌های مختلف نیز متفاوت است. هم‌چنین مواد آلی (هوموس) نیز دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی می‌باشند. ذرات رس به‌دلیل داشتن سطح ویژه‌ی بالا، دارای مکان‌های بیشتری برای تبادل کاتیون‌ها می‌باشند. بنابراین بسته به نوع رس که دارای بار منفی متفاوت هستند، ظرفیت تبادل کاتیونی رس‌های مختلف، متفاوت است (کروک و همکاران، ۲۰۰۰؛ راولز و پاشپسکی، ۱۹۹۹). ماده آلی نیز به‌دلیل سطح ویژه‌ی بالا و داشتن گروه‌های عامل آنیونی به مقدار زیاد، مکان مناسبی برای جذب و تبادل کاتیون‌ها می‌باشد. اگرچه مقدار مواد آلی نمونه‌های خاک کم بود و انتظار می‌رود که مانند قبل (اثر آن بر FC و PWP) تأثیر معنی‌داری در مدل نداشته باشد، ولی شاید به‌دلیل اثر زیاد آن بر CEC، در مدل ظرفیت تبادل کاتیونی وارد شده است. البته ضریب تأثیر آن در مدل خیلی کم است (۰/۱۲۴) و اگر خاک‌های مورد مطالعه شامل دامنه‌ی مقادیر بیشتری از نظر مقدار ماده آلی بودند، احتمالاً اثر مواد آلی بر CEC زیادتر بود (ضریب تأثیر بیشتر). به دیگر سخن، دلیل وارد شدن درصد ماده آلی در مدل تخمینی CEC، می‌تواند مربوط به حساسیت زیاد ظرفیت تبادل کاتیونی به این پارامتر باشد، زیرا مقدار مواد آلی در خاک‌های مورد بررسی کم بود. هورن و همکاران (۲۰۰۵)، ارتباط بین ظرفیت تبادل کاتیونی و دو خصوصیت فیزیکی خاک، شامل مقدار رس و ماده آلی را نشان دادند.

نتایج به‌دست آمده در این مطالعه نشان داد که دقت در روش شبکه عصبی نسبت به رگرسیون چندمتغیره خطی، خیلی بیشتر است. به‌طور مثال برای رطوبت زراعی در روش رگرسیون چندمتغیره خطی، مدل به‌دست آمده با ضریب تبیین ۰/۸۶ معنی‌دار شد، ولی در روش شبکه عصبی ضریب تبیین به‌دست آمده، ۰/۹۸ بود. در تخمین رطوبت پژمردگی دائم نیز، ضریب تبیین به روش رگرسیون ۰/۴۵و به روش شبکه عصبی ۰/۹۳ بود. مقایسه بقیه ضرایب نیز همین نتیجه را دربر دارد. البته با کاهش تعداد متغیرهای ورودی، دقت برآورد مدل شبکه عصبی تا حد قابل ملاحظه‌ی کاهش یافت، ولی به‌طور کلی، روش شبکه عصبی در ایجاد توابع انتقالی، نتایج معتبرتری را نشان داد.

1. Aina and Periaswamy
2. Salchow et al.
3. Hutson and Cass

Archive of SID

www.SID.ir

همان‌طور که در نتایج به‌دست آمده مشاهده شد، با تحلیل حساسیت اهمیت پارامترهای ورودی در تخمین ویژگی دیریافت خاک مشخص گردید. از طرف دیگر، در روش شبکه عصبی اگرچه با تحلیل حساسیت می‌توان اهمیت یک ورودی را در برآورد متغیر خروجی تعیین کرد، ولی مانند معادلات رگرسیون، ضرایب مشخص نیستند. نتایج این تحقیق در خصوص خاک‌های مورد بررسی در استان کرمان نشان داد که اگر به‌منظور تخمین ویژگی دیریافت خاک (FC، PWP و CEC)، تعداد خواص زودیافت کمی اندازه‌گیری شده است، می‌توان از مدل‌های رگرسیونی نیز با دقت قابل قبولی استفاده کرد. ولی اگر تعداد ویژگی‌های زودیافت اندازه‌گیری شده متعدد و بیشتر بود، آن‌گاه مدل شبکه عصبی نتایج بسیار دقیق‌تری ارائه می‌نماید.

جدول ۱- ویژگی‌های آماری خواص اندازه‌گیری شده‌ی خاک‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد

آماره	ویژگی خاک									
	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	آهک (درصد)	گچ (درصد)	ماده آلی (درصد)	ρ_b (g/cm^3)	FC (درصد)	PWP (درصد)	CEC ($cmol^+/Kg$)
میانگین	۱۸/۱	۱۸/۵	۶۳/۴	۱۶/۴	۱۳/۰	۰/۲	۱/۵	۱۸/۷	۷/۵	۲۱/۶
حداقل	۵/۱	۲/۶	۴۴/۰	۱۲/۵	۴/۲	۰/۰۱	۱/۲	۴/۶	۲/۰	۱۱
حداکثر	۲۸/۴	۳۲/۲	۸۶/۹	۲۱/۵	۱۸/۵	۰/۴	۱/۸	۳۴/۷	۱۳/۲	۳۱
انحراف معیار	۴/۹	۶/۷	۱۰/۲	۱/۹	۳/۰	۰/۱	۰/۱۶	۷/۸	۳/۰	۵/۲

ρ_b، چگالی ظاهری خاک؛ g/cm^3، گرم بر سانتی‌متر مکعب؛ $cmol^+/Kg$، سانتی‌مول کاتیون بر کیلوگرم خاک

جدول ۲- تجزیه واریانس رگرسیون برای متغیرهای وارد شده در مدل (مقدار شن، رس و گچ)

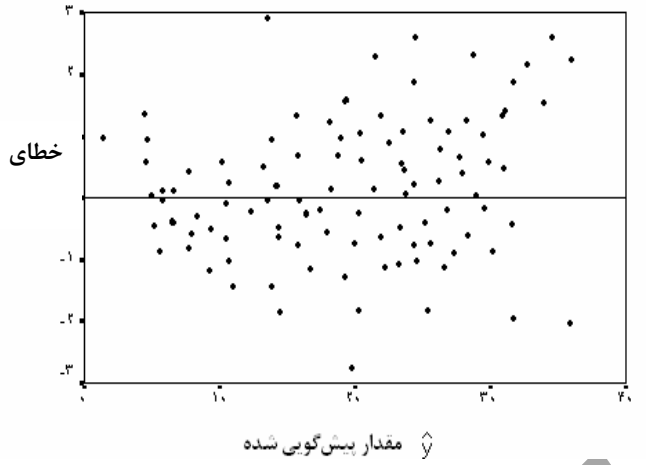
	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	R^2	سطح معنی‌دار
رگرسیون	۵۱۵۷/۷۴۵	۳	۱۷۱۹/۲۴۸	۰/۸۶	۰/۰۱۶
باقی‌مانده	۸۴۵/۲۷۵	۹۶	۸۴۵/۲۷۵		
کل	۶۰۰۳/۰۲	۹۹			

جدول ۳- آزمون ضرایب رگرسیون در مدل نهایی

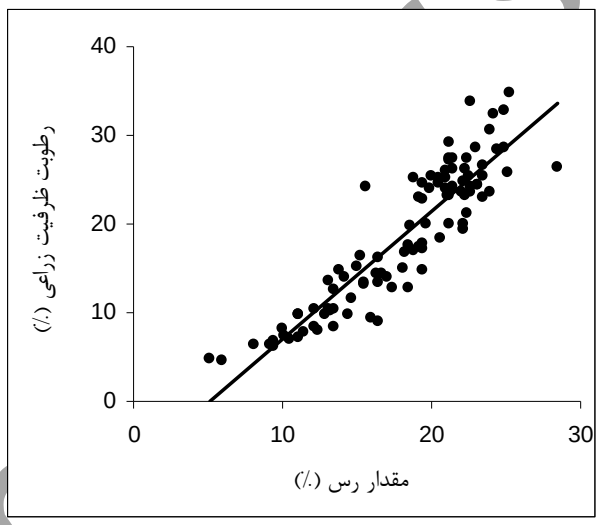
مدل	ضرایب غیر استاندارد	خطای استاندارد	ضرایب استاندارد	t	سطح معنی‌دار
ثابت	۱۳/۸۳	۵/۲۵۴	-	۲/۶۳	۰/۰۱
رس	۱/۰۴۶	۰/۱۱۱	۰/۶۶	۹/۴۰۵	۰/۰۰۰
گچ	-۰/۴۹۷	۰/۱۳۱	-۰/۱۸۹	-۳/۷۸	۰/۰۰۰
شن	-۰/۱۲۱	۰/۰۴۹	-۰/۱۵۹	-۲/۴۵۲	۰/۰۱۶

Archive of SID

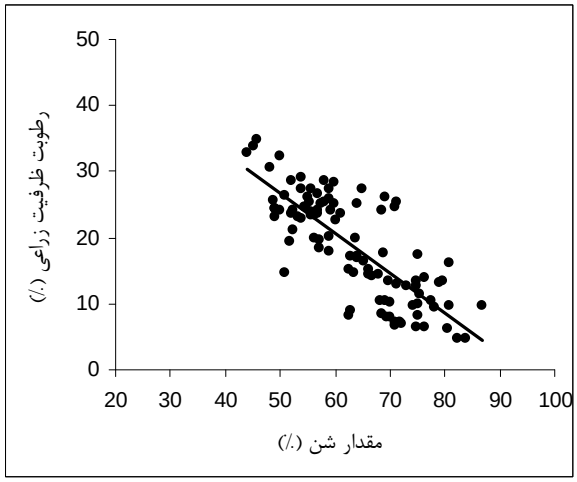
www.SID.ir



شکل ۱- پخش خطاهای استاندارد مدل رگرسیونی ظرفیت زراعی

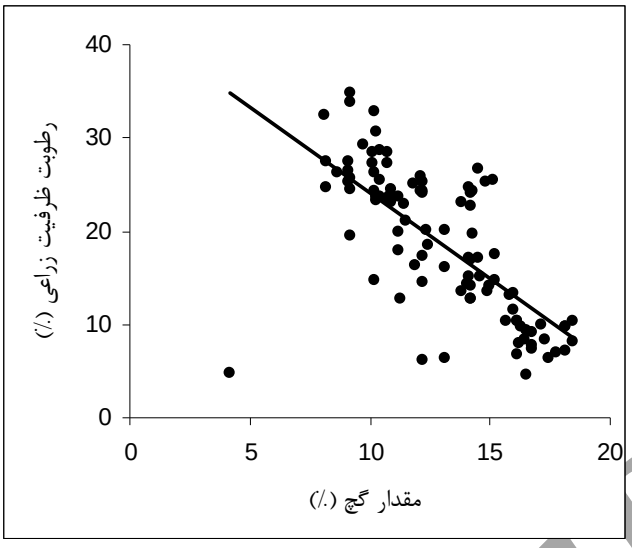


شکل ۲- اثر مقدار رس بر رطوبت ظرفیت زراعی خاک.



شکل ۳- اثر مقدار شن بر رطوبت ظرفیت زراعی خاک

www.SID.ir



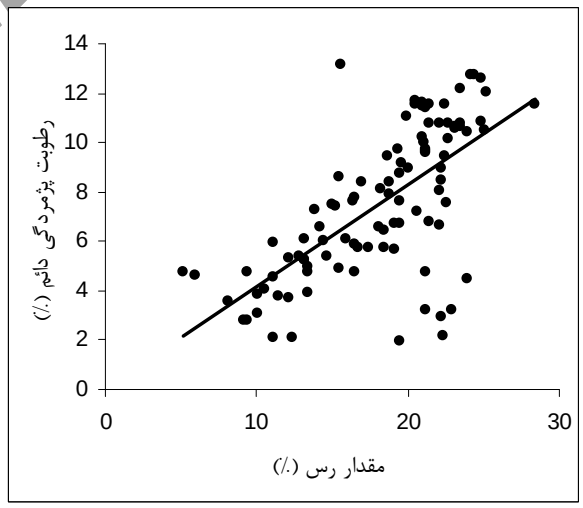
شکل ۴- اثر مقدار گچ بر رطوبت ظرفیت زراعی خاک.

جدول ۴- تجزیه واریانس رگرسیون برای متغیرهای وارد شده در مدل (مقدار رس)

	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	R^2	سطح معنی‌دار
رگرسیون	۴۰۴/۲۶۱	۱	۴۰۴/۲۶۱	۰/۴۵	۰/۰۰۰
باقی‌مانده	۵۰۶/۸۲۶	۹۸	۵/۱۷۲		
کل	۹۱۱/۰۸۷	۹۹			

جدول ۵- آزمون ضرایب رگرسیون در مدل نهایی

مدل	ضرایب غیر استاندارد	خطای استاندارد	ضرایب استاندارد	t	سطح معنی‌دار
ثابت	۰/۰۵۱	۰/۸۷۳	–	۰/۰۵۹	۰/۹۵۳
رس	۰/۴۱۱	۰/۰۴۶	۰/۶۶۶	۸/۸۴۱	۰/۰۰۰



شکل ۵- اثر مقدار رس بر رطوبت نقطه پژمردگی دائم خاک

Archive of SID

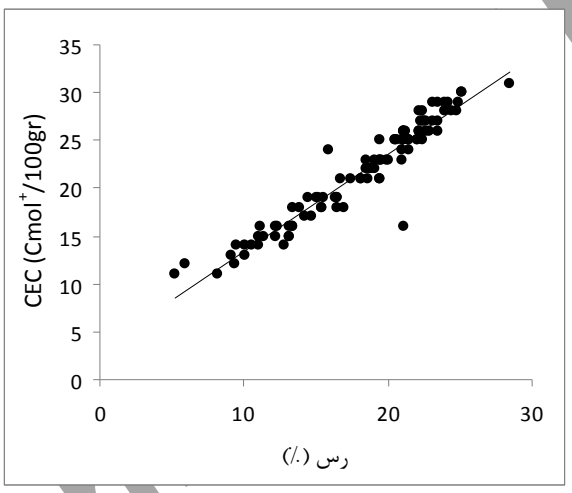
www.SID.ir

جدول ۶- تجزیه واریانس رگرسیون برای متغیرهای وارد شده در مدل (مقدار رس و ماده آلی)

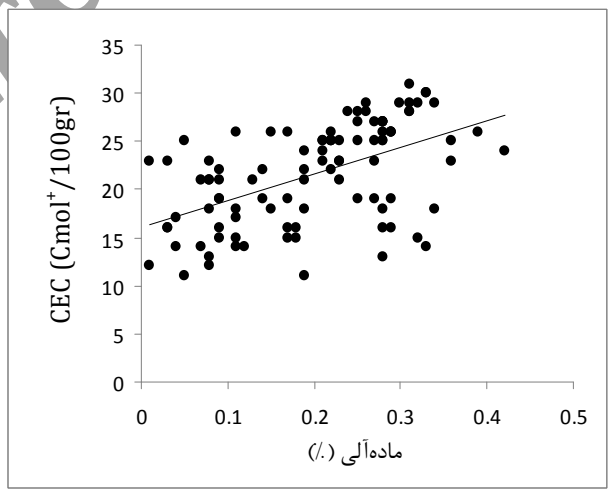
منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	R^2	سطح معنی-دار
رگرسیون	۲۹۵۶/۵۶۳	۲	۱۰۵۲/۶۱۳	۰/۹۴	۰/۰۰۰
باقی‌مانده	۴۹۶/۲۵۳	۹۷	۵/۳۳۲		
کل	۳۹۸۹/۳۲۵	۹۹			

جدول ۷- آزمون ضرایب رگرسیون در مدل نهایی

مدل	ضرایب غیر استاندارد	خطای استاندارد	ضرایب استاندارد	t	سطح معنی‌دار
ثابت	۳/۰۱۸	۰/۵۲۲	–	۵/۷۸۳	۰/۰۰۰
رس	۰/۹۵۷	۰/۰۳۱	۰/۹۰۴	۳۰/۸۸۹	۰/۰۰۰
ماده آلی	۶/۴۹۱	۱/۵۳۲	۰/۱۲۴	۴/۲۳۶	۰/۰۰۰



شکل ۶- اثر مقدار رس بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک



شکل ۷- اثر ماده آلی بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک

فهرست منابع:

۱. بای‌بوردی، م. ۱۳۸۲. فیزیک خاک. چاپ هفتم. انتشارات دانشگاه تهران. ۶۷۱ صفحه.

www.SID.ir

۲. منهاج، م.م. ۱۳۸۹. مبانی شبکه‌های عصبی. چاپ هفتم. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. ۷۱۵ صفحه.
3. Agyare W.A., S.J. Park, and P.L.G. Vlek. 2007. Artificial neural network estimation of saturated hydraulic conductivity. Vadose Zone J. 6:423-431.
4. Aina P.O and S.P. Periaswamy. 1985. Estimating available water-holdi ng capacity of western Nigerian soils from soil texture and bulk density, using core and sieved samples. Soil Sci. 140:55–58.
5. Bell, M. A., and H. Van Keulen. 1995. Soil pedotransfer functions for four Mexican soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 3:865-871.
6. Bouma J. 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. Adv Soil Sci. 9 :177–213.
7. Cazemier, D.R., P. Lagacherie, and R.M. Clouaire. 2001. A possibility theory approach for estimating available water capacity from imprecise Information contained in soil data bases. Geoderma. 103:113-132.
8. Ghorbani Dashtaki, S., M. Homaee and H. Khodaverdiloo.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.
9. Haverkamp, R., F.J. Leij, C. Fuentes, A. Sciortino, and P.J. Ross. 2005. Soil water retention. I. Introduction of shape index. Soil Sci. Soc. Am. J. 69:1881-1890.
10. Horn R., H. Fleige, F.H. Richter, E. A. Czyz, A. Dexter, E. Diaz-Pereira Damitru, R. Enarche, F. Mayol, K. Rajkai, D. Delarosa, and C. Simota. 2005. SIDASS project 5: prediction of mechanical strength of arable soils and its effects on physical properties at various map scales. Soil and Tillage. Res. 82:47-56.
11. Hutson, J.L. and A. Cass. 1987. A retentivity function for use in soil-water simulation models. J Soil Sci. 38:105–113.
12. Klute, A. 1986. Water retention: Laboratory methods.In: Klute, A.(ed.). Methods of soil analysis, part1, physical and mineralogical methods (2nd Edition). ASA Monog. No. 9. Madison, Wis., 635-662.
13. Krogh, L., H.B. Madsen, and M.H. Greve. 2000. Cation-exchange capacity pedotransfer functions for Danish soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:1-12.
14. Merdun H., O. Cinar, R. Meral, and M. Apan. 2006. Comparison of artificial neural network and regression pedotransfer functions for prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. Soil and Tillage Res. 90:108-116.
15. Mosaddeghi, M.R. and A.A. Mahboubi.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.
16. Pachepsky Y.A., and W.J. Rawls. 1999. Accuracy and reliability of pedotransfer functions as affected by grouping Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 63:1748-1757.
17. Person M., B. Sivakumar, R. Berndtsson, O.H. Jacobsen, and P. Jonning. 2002. Predicting the dielectric constant-water content relationship using artificial neural networks. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:1424-1429.
18. Raghavendra B.J., B.P. Mohanty, and E.P. Springer. 2007. Multiscale pedotransfer function for soil water retention. Vadose Zone J. 6:868- 878.
19. Rawls W.J. and Pachepsky Y.A. 2002. Soil consistence and structure as predictors of water retention. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:1115-1126.
20. Ryan, J., G. Estefan and A. Rashid. 2001. Soil and plant analysis laboratory manual. Second edition. Jointly published by International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) and the National Agricultural Research Center (NARC). Available from ICARDA, Aleppo, Syria. 172 pp.
21. Salchow E., R. Lal, N.R. Fausey and A. Ward. 1996. Pedotransfer functions for variable a lluvial soils in Southern Ohio. Geoderma. 73:165–181.

Archive of SID

www.SID.ir