

## برآورد برخی از نقاط منحنی مشخصه رطوبتی خاک شامل FC و PWP با استفاده از توابع انتقالی خاک و روش رگرسیونی در بردسیر کرمان

حسین شیرانی<sup>\*۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۳/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۲۵)

### چکیده

گنجایش زراعی و نقطه پژمردگی دائم، از مهم ترین داده های مورد نیاز در مطالعات آبیاری مزارع می باشند که اندازه گیری آنها دشوار و وقت گیر است. با این وجود، می توان آنها را از روی برخی ویژگی های زود یافت خاک مانند بافت، ماده آلی و مقدار آهک با استفاده از توابع انتقالی خاک، با دقت قابل قبولی تخمین زد. به همین منظور پژوهشی برای بررسی دقت مدل شبکه عصبی ROSETTA با سطوح مختلف برای تخمین رطوبت های گنجایش زراعی و نقطه پژمردگی دائم و ایجاد توابع انتقالی رگرسیونی بین این نقاط رطوبتی و ویژگی های زود یافت خاک مانند: درصد رس، شن، سیلت، آهک و گچ در منطقه بردسیر کرمان انجام شد. نمونه برداری در ۲۰ منطقه و به دو روش (دست نخورده برای تعیین چگالی ظاهری و دست خورده برای تعیین سایر ویژگی های خاک) و به تعداد ۱۲۰ نمونه انجام و ویژگی های زود یافت و دریافت مورد نظر تعیین گردیدند. نتایج نشان داد، ارتقای مدل شبکه عصبی از سطح پایین تر به سطح بالاتر، نیازمند تعداد ورودی بیشتری بوده، در حالی که تخمین ها تقریباً مشابه بود. بدین معنی که در اکثر خاک ها، افزایش ارتقای سطح مدل و استفاده از ورودی های بیشتر، موجب افزایش قابل ملاحظه دقت پیش بینی های مدل نشد. هم چنین نتایج به دست آمده از ایجاد توابع رگرسیونی نشان داد، همبستگی بین نقطه پژمردگی دائم با درصد رس مثبت و معنی دار بود ( $r = 0.83$ ) که بیانگر تأثیر زیاد رس بر این نقطه رطوبتی است. گنجایش زراعی با مقدار شن، همبستگی معنی دار و منفی ( $r = -0.80$ ) و با مقدار سیلت، همبستگی مثبت و معنی دار ( $r = 0.76$ ) داشت.

واژه های کلیدی: گنجایش زراعی، نقطه پژمردگی دائم، توابع انتقالی خاک، بردسیر کرمان

۱. استادیار خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

\* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: shirani379@yahoo.com

## مقدمه

مقادیر گنجایش زراعی و نقطه پژمردگی دائم، از ابتدایی‌ترین و مهم‌ترین داده‌های مورد نیاز در مطالعات آبیاری مزارع می‌باشند. ولی اندازه‌گیری این داده‌ها عموماً نیاز به صرف وقت و هزینه زیادی دارد و به این نوع ویژگی‌ها که تعیین آنها، مستلزم به‌کار بردن زمان و هزینه زیاد بوده و یا با دشواری اندازه‌گیری می‌شوند، داده‌های دیریافت می‌گویند. یکی از راه‌هایی که برای کاهش وقت و هزینه در این مورد پیشنهاد می‌شود، استفاده از داده‌های زودیافت خاک، مانند درصد اجزای بافت خاک (شن، سیلت و رس) و یا درصد ماده آلی، برای اندازه‌گیری داده‌های سخت خاک به‌طور غیرمستقیم می‌باشد که به این روابط و مدل‌ها، توابع انتقالی خاک (PTFs) گویند (۳، ۱۷ و ۲۲). البته توابعی که در یک منطقه سازگاری مناسبی دارند، لزوماً در مناطق دیگر نمی‌توانند به‌طور موفقیت‌آمیزی به‌کار روند. به‌عبارت دیگر، ممکن است مدل‌های مورد نظر، در منطقه جدید سازگاری مناسبی با مقادیر واقعی نداشته باشند (۱).

یکی از ویژگی‌های مهم زودیافت خاک که برای تخمین ویژگی‌های دیریافت در PTFs کاربرد دارد، بافت خاک است. اهمیت بافت خاک در PTFs برای تخمین روابط آب و خاک، از آنجا مشخص می‌گردد که تقریباً در تمام PTFs‌ها که از مجموعه فراوان داده استفاده شده و برای خاک‌های زیادی نیز پیش‌بینی‌های تقریباً مناسبی داشته‌اند، از داده‌های بافت خاک نیز بهره برده‌اند. از این توابع، می‌توان به مدل‌های گوپتا و لارسون (۷)، راولز و همکاران (۱۶)، وریخن و همکاران (۲۳) و اسخاپ و همکاران (۱۸) اشاره کرد. کرنلیس و همکاران (۵) برخی از توابع انتقالی را برای تخمین منحنی مشخصه رطوبتی ارزیابی کرده و نتیجه گرفتند که مدل وریخن و همکاران (۲۳) بهترین پیش‌بینی را در بین سایر مدل‌ها ارائه کرده است. مدل فوق با استفاده از درصد رس، شن، ماده آلی و چگالی ظاهری، منحنی مشخصه رطوبتی را تخمین می‌زند. پاچپسکی و راولز (۱۵)، مقادیر رطوبت خاک را در FC و PWP با استفاده از توابع انتقالی تعیین شده، تخمین زدند. آنها از درصد شن، رس،

ماده آلی، اجزای درشت خاک، چگالی ظاهری و گنجایش تبادل کاتیونی به‌عنوان داده‌های ورودی در مدل استفاده کردند. در معادلاتی که به این منظور ارائه شد، درصد شن دارای ضریب منفی بود. در این پژوهش، داده‌های به‌دست آمده براساس رژیم رطوبتی USDA تفکیک شد و دوباره اقدام به یافتن رابطه‌ای بین داده‌های فوق و مقادیر FC و PWP کردند. این پژوهشگران دریافتند که در رژیم رطوبتی Aridic، مقادیر شن، رس و CEC برای تخمین FC در معادلات، تأثیر معنی‌دار داشتند. توماسلا و همکاران (۲۰) با استفاده از ۸۳۸ مجموعه داده منحنی مشخصه رطوبتی خاک، اقدام به مقایسه دو روش ایجاد توابع انتقالی، یکی روش تقریب در نقطه (نقطه‌ای) و دیگری روش تخمین پارامترهای مدل‌های پیوسته (پارامتری) نمودند. آنها دریافتند که در هر دو روش، اجزای بافت خاک در معادلات تأثیر معنی‌داری دارند. در روش اول مشاهده کردند که برای تخمین PWP، یکی از ورودی‌های مهم، درصد رس (یکی از اجزای بافت خاک) و در روش پارامتری، درصد شن درشت و سیلت هستند.

در تعیین ضرایب هیدرولیکی خاک‌ها، همیشه با آزمایش‌هایی روبه‌رو هستیم که وقت‌گیر، پرهزینه و دارای حجم کاری زیاد و بعضاً پیچیده هستند. امروزه سعی می‌شود از معادله‌ها یا برنامه‌هایی استفاده گردد که به‌صورت غیرمستقیم و با استفاده از پارامترهای زودیافت، بتوان ضرایب هیدرولیکی خاک‌ها را تخمین زد. منحنی مشخصه رطوبتی، یکی از ویژگی‌های مهم هیدرولیکی خاک است که از آن برای پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی در شرایط اشباع و غیراشباع، آب قابل دسترسی گیاه و حرکت املاح در خاک‌ها استفاده می‌شود. به‌دلیل این که اندازه‌گیری منحنی رطوبتی، کاری وقت‌گیر، پرهزینه و دشوار می‌باشد، کوشش‌های زیادی به‌عمل آمده است که بتوان این منحنی را از ویژگی‌های ساده‌تر خاک، نظیر بافت، مقدار ماده آلی و چگالی ظاهری به‌دست آورد (۳، ۱۷ و ۲۲). یکی از روش‌های برآورد منحنی مشخصه رطوبتی خاک، ارائه یک معادله پیوسته است که مقدار رطوبت را در تمام مکش‌های خاک برآورد می‌نماید (۴ و ۲۱). به‌دلیل این که اندازه‌گیری

عبارت بودند از: ۱. تخمین ویژگی‌های رطوبتی دیریافت خاک، مانند گنجایش زراعی و نقطه پژمردگی دائم توسط برآورد پارامترهای معادله منحنی مشخصه رطوبتی وان گنوختن با استفاده از مدل شبکه عصبی ROSETTA و ۲. بسط توابع رگرسیونی برای برآورد این نقاط رطوبتی مهم با توجه به اجزای بافت خاک.

### مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش با استفاده از نقشه‌های استعداد اراضی موجود و مطالعات صحرائی، خاک‌های مختلف دشت بردسیر که از نظر کشاورزی در منطقه حائز اهمیت بودند، شناسایی شدند و پس از شناسایی مکان آنها، نمونه‌برداری انجام شد. وسعت کل منطقه زیر کشت (منطقه مورد مطالعه) حدود ۴۵ هزار هکتار می‌باشد که از این مقدار حدود ۱۵۰۰۰ هکتار مربوط به محصولات باغی و حدود ۳۰۰۰۰ هکتار مربوط به محصولات زراعی است. کشت غالب در منطقه شامل: گندم، جو، چغندر قند و آفتاب‌گردان است. طبق نقشه خاک منطقه، خاک‌ها از نظر رده‌بندی در گروه‌های بزرگ Haplogypsis، Haploalclids، Torriorthents و Haplozerpts قرار می‌گیرند. نمونه‌ها طوری انتخاب شدند که از نظر خصوصیات زودیافت مورد نظر، بیشترین تغییرپذیری را داشته باشند. روش نمونه‌برداری به این صورت بود که در هر نقطه یا مکان مشخص شده، نمونه‌برداری به دو روش دست‌نخورده توسط استوانه با قطر ۶ و ارتفاع ۸ سانتی‌متر (به‌منظور اندازه‌گیری چگالی ظاهری خاک) و دست‌خورده (به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک مانند اجزای بافت خاک و ماده آلی) از خاک‌های مکان‌های مهم کشاورزی منطقه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری انجام گرفت. نمونه‌برداری در ۲۰ مکان و از هر مکان به تعداد ۶ نمونه و به دو روش (دست‌نخورده برای تعیین چگالی ظاهری و دست‌خورده برای تعیین سایر ویژگی‌های خاک) انجام شد (تعداد ۱۲۰ نمونه) و سعی گردید نقاط نمونه‌برداری به گونه‌ای انتخاب شوند که متغیرهای اصلی مؤثر

پارامترهای مذکور نیز امری دشوار است، پژوهش‌های زیادی انجام شده تا پارامترهای معادلات وان گنوختن و بروکس و کوری را براساس پارامترهای ساده‌تر خاک به‌دست آورند که گروهی از این معادلات، مبنای رگرسیونی دارند (۱). با توسعه کاربرد کامپیوتر، برنامه‌هایی ارائه شده‌اند که با استفاده از روش‌های مختلف، ضرایب معادله وان گنوختن (۲۱) و یا بروکس و کوری (۴) را تخمین می‌زنند. برنامه RETC توسط وان گنوختن و همکاران (۲۲) و ROSETTA توسط اسخاپ و همکاران (۱۸) ارائه گردید. اسخاپ و همکاران (۱۹) طی تحقیقی بر روی ۱۲۰۹ نمونه خاک‌های دنیا، سعی کردند با استفاده از مدل‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی، پارامترهای مدل منحنی مشخصه رطوبتی وان گنوختن را حدس بزنند. در این تحقیق از مدل شبکه عصبی با پنج سطح داده مورد نیاز استفاده گردید و هر مدل نسبت به مدل قبلی، نیازمند تعداد ورودی بیشتری است. به‌همین دلیل آنها این روش را روش سلسله مراتبی (Hierarchical) نامیدند. انتظار می‌رود که هرچه سطح مدل بالاتر رود و از داده‌های بیشتری برای تخمین پارامترهای مدل منحنی مشخصه رطوبتی وان گنوختن استفاده شود، پیش‌بینی‌های انجام شده دقیق‌تر باشد.

مدل روزتا در پژوهش‌های انجام شده در استان کرمان و یا در حال انجام در این استان (۱) برای استفاده از پارامترهای منحنی رطوبتی و تخمین نقاط رطوبتی مهم، همچون گنجایش زراعی و نقطه پژمردگی دائم استفاده می‌شود، در حالی که پژوهش دقیقی در خصوص اعتبار آن در مناطق مهم کشاورزی استان مانند منطقه بردسیر انجام نشده است. این منطقه یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در استان کرمان است. هم‌چنین، تاکنون در خصوص ایجاد توابع رگرسیونی برای برآورد ویژگی‌های رطوبتی مهم مانند FC و PWP پژوهشی انجام نگرفته است. بنابراین، این پژوهش با این فرضیه اجرا شد که می‌توان توابع انتقالی را برای برآورد این دو نقطه مهم رطوبتی در منطقه بردسیر از طریق رگرسیون ایجاد نمود و دقت مدل روزتا را نیز در تخمین آنها بررسی کرد. اهداف این پژوهش

میانگین جذر مجموع مجذور انحرافات (MSD) ارزیابی شد که مقدار آن از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$MSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

در رابطه فوق،  $y_i$  و  $\hat{y}_i$  به ترتیب برابر مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده ویژگی مورد نظر، و  $n$  تعداد مشاهدات هستند. همچنین، رابطه بین رطوبت‌های FC و PWP اندازه‌گیری شده با مقادیر شن، سیلت، رس، آهک و ماده آلی خاک، از طریق رگرسیون گام‌به‌گام تعیین شد. آنالیزهای آماری توسط نرم‌افزار SPSS و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار EXCEL انجام گرفت.

### نتایج و بحث

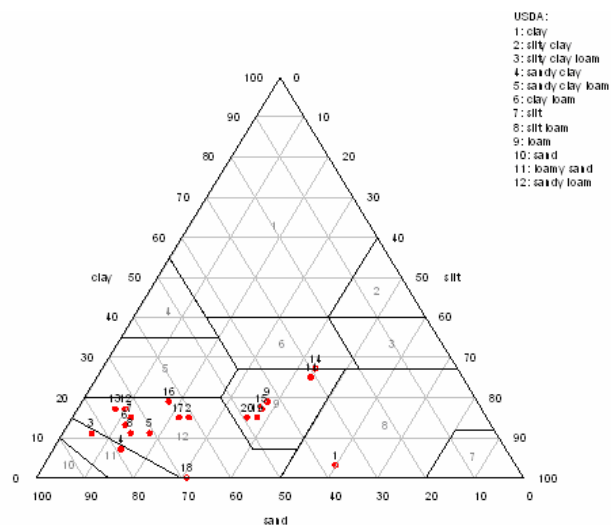
شکل ۱، مکان واقع شدن بافت خاک هریک از نمونه‌های مورد بررسی روی مثلث بافت خاک USDA را نمایش می‌دهد. طبق این نمودار، به جز خاک‌های شماره ۱۱ و شماره ۱۴، سایر خاک‌ها دارای بافت خاک درشتی هستند. این دو خاک، بیش از سایر خاک‌ها دارای رس بوده و به ترتیب شامل ۲۵ و ۲۷ درصد رس می‌باشند. جدول ۲ انحراف مقادیر تخمین زده شده رطوبت در کل دامنه منحنی خصوصیت رطوبتی خاک (۵ نقطه) توسط هر سطح مدل، از مقادیر مشاهده‌ای آنها و مقادیر همبستگی بین داده‌های آزمایشگاهی و برآورد شده را برای هر خاک مورد بررسی نشان می‌دهد. بدین معنی که برای هر نمونه خاک، منحنی مشخصه رطوبتی و رطوبت حجمی در ۵ نقطه مکشی اندازه‌گیری و با استفاده از مدل ROSETTA ضرایب وان گنوختن و رطوبت حجمی در ۵ نقطه مورد نظر تخمین زده شد. سپس بین ۵ رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده، رگرسیون خطی تعیین گردید که مقدار ضریب تبیین و انحراف مدل در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان داد، ارتقای مدل از سطح پایین‌تر به سطحی بالاتر، نیازمند تعداد ورودی بیشتری بوده در حالی که تخمین‌ها تقریباً مشابه بود. بدین معنی که طبق نتایج موجود در جدول ۲ در اکثر خاک‌ها،

بر ویژگی‌های رطوبتی خاک (FC و PWP) در نمونه‌های تهیه‌شده، دارای دامنه تغییرات نسبتاً زیادی باشند. برای هر مکان نمونه‌برداری، میانگین ۶ نمونه برای هر ویژگی خاک تعیین و در محاسبات لحاظ گردیدند. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند و بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۱)، درصد اشباع به روش وزنی (۱۱)، درصد آهک به روش تیتراسیون برگشتی (۱۰)، چگالی ظاهری با استفاده از استوانه نمونه‌برداری با قطر ۶ و ارتفاع ۸ سانتی‌متر (۲)، وزن مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر (۱۱)، تخلخل از روش محاسبه، ماده آلی با استفاده از روش اکسیداسیون تر (۱۰) و منحنی‌های مشخصه رطوبتی خاک در فشارهای پنوماتیک ۰/۳ (FC)، ۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ (PWP) بار با استفاده از دستگاه صفحه فشاری اندازه‌گیری گردیدند (۱۲). دامنه تغییرات ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک‌های مورد بررسی در ۲۰ نقطه نمونه‌برداری، در جدول ۱ نشان داده شده است.

در این پژوهش از مدل شبکه عصبی روزتا برای تخمین پارامترهای معادله وان گنوختن استفاده شد. مدل روزتا قادر است ویژگی‌های رطوبتی و هیدرولیکی خاک را با استفاده از یک سری پارامترهای ساده و زودبافت خاک، از جمله درصد هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده بافت خاک (رس، سیلت و شن)، چگالی ظاهری خاک و حدود رطوبتی FC و PWP به‌عنوان ورودی، تخمین بزند. در این تحقیق، ابتدا داده‌های اندازه‌گیری مربوط به درصد شن، سیلت، رس و چگالی ظاهری به‌عنوان ورودی، وارد نرم‌افزار روزتا و پارامترهای معادله وان گنوختن توسط مدل تخمین زده شد. سپس با استفاده از پارامترهای به دست آمده و مکش‌های ۳۳ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال در مدل، مقدار رطوبت در ظرفیت زراعی (مکش ۳۳ کیلوپاسکال) و نقطه پژمردگی دائم (مکش ۱۵۰۰ کیلوپاسکال) و همچنین سایر نقاط اندازه‌گیری شده منحنی رطوبتی خاک، توسط معادله وان گنوختن برآورد شده و همبستگی مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده محاسبه شد. دقت تخمین مدل روزتا در سطوح مختلف مدل، توسط دو آماره ضریب تبیین ( $R^2$ ) و

جدول ۱. دامنه تغییرات ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک‌ها در ۲۰ منطقه نمونه‌برداری (۱۲۰ نمونه خاک)

ویژگی خاک	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	ماده آلی (درصد)	آهک (درصد)	گچ (درصد)	FC (درصد حجمی)	PWP (درصد حجمی)
دامنه تغییرات	۳-۲۷	۶-۶۰	۲۹-۸۳	۰/۱-۰/۵	۷-۳۴	۰-۳۰	۱۲/۷-۴۳/۶	۵/۸-۱۰/۸



شکل ۱. جایگاه بافت خاک‌های مورد بررسی در مثلث بافت خاک USDA

در بین خاک‌های مورد مطالعه، خاک‌های شماره ۱۴ و ۱۱ دارای بافت ریزتر از سایر خاک‌ها می‌باشند (شکل ۱ و جدول ۱). در جدول ۲ نیز مشاهده می‌گردد که به‌ویژه در خاک شماره ۱۴، مدل‌ها کمترین موفقیت را در برازش‌های مربوطه داشته‌اند. در ناحیه‌ای مشابه بافت خاک‌های شماره ۱۴ و ۱۱، تعداد نسبی داده‌هایی که مدل روزتا براساس آنها آموزش دیده است، کمتر از سایر نقاط می‌باشد. یعنی تعداد نسبی خاک‌هایی که دارای بافت خاک درشت‌تر از خاک‌های شماره ۱۴ و ۱۱ هستند، در بانک خاک‌های آموزشی برنامه، خیلی بیشتر است. از این‌رو، به نظر می‌رسد، به علت شباهت بیشتر سایر خاک‌ها (از نظر بافت خاک) به شرایطی که مدل‌ها براساس آن شرایط آموزش داده شده‌اند، برازش‌های مربوطه، دارای انحراف کمتری هستند. بنابراین شباهت بافت خاک‌های مورد بررسی به خاک‌هایی که مجموعه آموزش شبکه را تشکیل داده‌اند، یکی از فاکتورهایی است که در دقت و پیش‌بینی‌های این مدل‌ها اهمیت دارد. نتایج

افزایش ارتقای سطح مدل و استفاده از ورودی‌های بیشتر، موجب افزایش (به نسبت تعداد ورودی) دقت پیش‌بینی‌های مدل نشده است. به عبارتی دیگر، افزایش تعداد ورودی به مدل، موجب دقت بیشتر مدل‌ها در تخمین ضرایب معادله وان گنوختن نشد. شاید تفاوت بین شرایط خاک‌هایی که بانک آموزشی این مدل‌ها بوده‌اند با خاک‌های مورد بررسی در این تحقیق، دلیل این موضوع باشد. به‌طور کلی برای خاک‌هایی که مقدار آهک آنها بیشتر بود، دقت مدل روزتا کمتر شد. در کل، خاک‌های منطقه در زمره خاک‌های آهکی هستند و یکی از دلایلی که موجب عدم افزایش دقت برآورد مدل با افزایش سطح آن شده است، احتمالاً آهکی بودن خاک‌هاست. خداوردیلو و همکاران (۹) نیز گزارش نمودند که دقت توابع انتقالی رگرسیونی برای پیش‌گویی رطوبت خاک در خاک‌های آهکی، بیشتر از مدل روزتا بوده و این مدل دقت قابل توجهی در تخمین این پارامترها در خاک‌های آهکی ندارد.

جدول ۲. مقادیر ضریب تبیین ( $R^2$ ) و میانگین جذر مجموع مجذور انحرافات (MSD) سطوح مدل ROSETTA در مقایسه با مقادیر مشاهده‌ای رطوبت حجمی خاک در خاک‌های مورد آزمایش

شماره خاک	سطح مدل*									
	SSC, BD, 33, 1500(kPa)		SSC, BD, 33(kPa)		SSC, BD		SSC		STXT	
	$R^2$	MSD	$R^2$	MSD	$R^2$	MSD	$R^2$	MSD	$R^2$	MSD
۱	۰/۵۶	۵/۶	۰/۷۰	۴/۰	۰/۹	۶/۳	۰/۹۱	۳/۷	۰/۹۱	۳/۰
۲	۰/۶۸	۴/۵	۰/۸۷	۳/۱	۰/۹	۴/۷	۰/۹۰	۴/۴	۰/۹۱	۵/۱
۳	۰/۷۹	۲/۳	۰/۸۰	۱/۹	۰/۹	۲/۷	۰/۸۸	۲/۴	۰/۸۹	۲/۷
۴	۰/۸۰	۲/۰	۰/۸۰	۲/۲	۰/۸۸	۳/۱	۰/۸۸	۲/۷	۰/۹۰	۲/۹
۵	۰/۶۲	۳/۵	۰/۸۰	۲/۸	۰/۸۲	۴/۲	۰/۸۵	۳/۸	۰/۸۶	۳/۷
۶	۰/۹۰	۱/۵	۰/۹۱	۱/۳	۰/۹۳	۱/۷	۰/۹۲	۱/۵	۰/۹۲	۱/۲
۷	۰/۹۱	۱/۳	۰/۹۱	۱/۳	۰/۹۴	۲/۲	۰/۹۲	۱/۹	۰/۹۲	۱/۷
۸	۰/۸۷	۱/۵	۰/۸۶	۲/۰	۰/۸۹	۲/۹	۰/۸۹	۲/۵	۰/۸۸	۱/۱
۹	۰/۸۶	۲/۸	۰/۹۰	۲/۴	۰/۹۱	۳/۱	۰/۹۱	۳/۵	۰/۹۱	۳/۵
۱۰	۰/۸۴	۲/۸	۰/۹۰	۱/۸	۰/۹۱	۳/۹	۰/۹۱	۳/۹	۰/۹۰	۴/۹
۱۱	۰/۷۹	۰/۸	۰/۸۷	۱/۰	۰/۸۰	۲/۲	۰/۷۸	۲/۵	۰/۷۹	۱/۸
۱۲	۰/۹۱	۱/۵	۰/۹۱	۱/۳	۰/۹۲	۱/۳	۰/۹۳	۱/۲	۰/۹۳	۱/۲
۱۳	۰/۴۶	۷/۶	۰/۷۲	۴/۹	۰/۸۹	۶/۰	۰/۹۰	۵/۱	۰/۸۹	۵/۶
۱۴	۰/۹۷	۰/۷	۰/۹۸	۱/۷	۰/۹۸	۳/۴	۰/۹۸	۲/۶	۰/۹۸	۲/۴
۱۵	۰/۸۵	۱/۳	۰/۸۵	۱/۵	۰/۸۵	۱/۴	۰/۹۲	۱/۳	۰/۸۸	۱/۹
۱۶	۰/۸۵	۱/۷	۰/۸۶	۲/۴	۰/۸۶	۳/۶	۰/۸۷	۳/۴	۰/۸۸	۴/۱
۱۷	۰/۹۱	۱/۳	۰/۹۰	۱/۷	۰/۹۱	۵/۳	۰/۹۰	۴/۵	۰/۹۰	۳/۶
۱۸	۰/۹۱	۱/۳	۰/۹۱	۱/۷	۰/۹۱	۳/۰	۰/۹۱	۲/۵	۰/۹۱	۲/۳
۱۹	۰/۹۰	۱/۶	۰/۹۰	۲/۰	۰/۹۰	۲/۰	۰/۹۰	۲/۲	۰/۹۰	۲/۱
۲۰	۰/۵۶	۵/۶	۰/۷۰	۴/۰	۰/۹۰	۶/۳	۰/۹۰	۳/۷	۰/۹۱	۵/۱
میانگین	۰/۹	۲/۶	۰/۸۵	۲/۳	۰/۸۹۵	۳/۵	۰/۹	۳/۰	۰/۹	۳/۰
کل نمونه‌ها	۰/۸۹	۳/۱	۰/۸۰	۳/۱	۰/۸۹	۴/۱	۰/۸۹۷	۲/۸	۰/۸۹	۲/۹

\* سطح STXT، پیش‌بینی مدل فقط براساس کلاس بافت خاک؛ سطح SSC، پیش‌بینی مدل براساس درصدهای شن، سیلت و رس؛ سطح SSC، BD، پیش‌بینی مدل براساس موارد قبل و چگالی ظاهری خاک؛ سطح SSC, BD, 33(kPa)، پیش‌بینی مدل براساس موارد قبل و رطوبت در مکش ۳۳ کیلوپاسکال؛ سطح SSC, BD, 33, 1500(kPa)، پیش‌بینی مدل براساس موارد قبل و رطوبت در مکش ۱۵۰۰ کیلوپاسکال

و PWP از ویژگی‌های دیریافت خاک می‌باشند که با ویژگی‌های زودیافت خاک، مثل مقادیر رس، شن و سیلت رابطه نشان داده‌اند. لذا برای پیش‌بینی ویژگی‌های دیریافت خاک توسط مقادیر پارامترهای زودیافت، مدل رگرسیون بین FC و PWP و سایر ویژگی‌های از روش حذف پسر و توسط نرم‌افزار SPSS برقرار شد که متغیرهای زودیافت درصد شن، درصد سیلت و درصد رس در مدل پیش‌گویی FC باقی ماندند که قادرند ۶۹/۲٪ از تغییرات FC را توجیه نمایند. در مدل پیش‌گویی PWP، تنها رس وارد شد که می‌تواند ۷۶/۷٪ از تغییرات PWP را توجیه نماید. جدول‌های ۴ و ۵، به ترتیب معنی‌دار بودن مدل‌ها و ضرایب رگرسیونی را برای FC و PWP نشان می‌دهند.

ضرایب استاندارد برای FC نشان می‌دهند که مقادیر شن و سیلت در پیش‌گویی رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه، از اهمیت بیشتری نسبت به رس برخوردارند (جدول ۳). با توجه به جدول‌های ۴ و ۵، مشاهده می‌شود که دقت PTFs برای برآورد FC تا حدی کمتر از دقت این توابع در تخمین PWP است. این نتیجه با نتایج هوتسون و کاس (۸) مطابقت دارد. جدول ۵ و توابع رگرسیونی، اثر مثبت رس و سیلت را بر FC و تأثیر مثبت رس را بر PWP نشان می‌دهند. مصدقی و محبوبی (۱۴) در تحقیقی توابع رگرسیونی برای نگهداشت آب در خاک را در مکش‌های مختلف ایجاد کرده و گزارش نمودند که مقدار سیلت و رس، تأثیر معنی‌دار مثبتی بر رطوبت نگه‌داری شده توسط خاک دارد. برای بررسی مناسب بودن مدل‌های رگرسیونی به‌دست آمده و تحلیل مانده‌ها از آماره‌های دوربین واتسون (DW) و شاخص تورم واریانس (VIF) (جدول‌های ۴ و ۵) و همچنین از طریق بررسی تصادفی بودن و نرمال بودن خطاها، رسم نمودار خطاهای استاندارد شده روی مقادیر پیش‌گویی شده استاندارد و P-P PLOT توسط SPSS انجام گرفت (شکل‌های ۲ و ۳). طبق جدول ۴، آماره دوربین واتسون برای دو مدل FC و PWP، حدود ۲ می‌باشد که بیانگر مستقل بودن خطاها بوده (نبود همبستگی بین خطاها) و اعتبار مدل را از این

این پژوهش نشان داد، در مورد خاک‌های درشت‌بافت منطقه، می‌توان از مدل‌های فوق با دقت قابل قبولی استفاده کرد. همچنین، توصیه نمی‌شود که برای افزایش دقت در پیش‌بینی‌های مدل، از داده‌های بیشتری استفاده کرد، زیرا برای این کار باید هزینه افزایش اندازه‌گیری ورودی بیشتر را تحمل کرد، ولی افزایش قابل توجهی در دقت پیش‌بینی‌ها، مشاهده نمی‌گردد. یک دلیل دیگر، ممکن است مربوط به ضعیف بودن ساختمان خاک در خاک‌های درشت‌بافت و اثر آن بر نگهداشت آب باشد که در متغیرهای ورودی وجود ندارد. بدین معنی که در خاک‌های ریزبافت، به دلیل احتمال حضور بیشتر خاکدانه‌ها و تأثیر آنها بر رطوبت گنجایش زراعی و در نظر گرفته نشدن این پارامتر به‌طور مستقیم به‌عنوان ورودی برای تخمین، دقت مدل روزتا برای برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در خاک‌های ریزبافت کمتر است.

میانگین مقادیر FC، PWP، درصد شن، سیلت، رس و میزان آهک خاک‌های مورد مطالعه، به ترتیب ۳۰/۱، ۸/۱ درصد حجمی، ۶۰/۰، ۲۵/۰، ۱۴/۹ و ۲۲/۳ و مقادیر انحراف معیار برای مقادیر فوق به ترتیب ۸/۷، ۶۲/۱، ۱۷/۱، ۱۵/۳، ۷/۰ و ۱۳/۵ بود. بنابراین، نتیجه می‌شود که خاک‌های مورد بررسی، تقریباً دارای بافت درشت و میانگین بافت خاک آنها، لوم شنی می‌باشد. ماده آلی به دلیل مقادیر بسیار کمی که داشت و عدم مشاهده همبستگی آن با ضرایب مورد بررسی، از محاسبات حذف شد. ضرایب همبستگی (جدول ۳) نشان می‌دهند که FC با مقدار شن همبستگی معنی‌دار منفی و با مقدار سیلت همبستگی مثبت و معنی‌دار است. همبستگی بین PWP با رس مثبت و معنی‌دار است که نشان می‌دهد، رس تأثیر زیادی بر رطوبت نقطه پژمردگی دارد. قربانی دشتکی و همکاران (۶) نیز اثر معنی‌دار و منفی درصد شن را در توابع انتقالی رگرسیونی ایجاد شده برای رطوبت در مکش ۳۰ کیلوپاسکال (گنجایش زراعی) نشان دادند. هم‌چنین نتایج آنها نشان داد که رطوبت در مکش ۱۵۰۰ کیلوپاسکال (PWP)، فقط با درصد رس رابطه معنی‌داری داشت که با نتایج این تحقیق کاملاً منطبق است. FC

جدول ۳. همبستگی (r) بین ویژگی‌های مورد بررسی

	FC	PWP	Sand	Silt	Clay	آهک	گچ
FC	۱						
PWP	۰/۲	۱					
Sand	-۰/۸**	۰/۴	۱				
Silt	۰/۸**	۰/۱	-۰/۹**	۱			
Clay	۰/۲	۰/۹**	-۰/۵*	۰/۱	۱		
آهک	۰/۱	۰/۲	-۰/۴	۰/۳	۰/۳	۱	
گچ	۰/۱	۰/۲	۰/۰	۰/۱	۰/۰	۰/۱	۱

\*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد

جدول ۴. تجزیه واریانس رگرسیون برای FC و PWP

تابع	منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	R <sup>2</sup> تعدیل شده	DW
FC	رگرسیون	۳	۳۴۰/۸***	۰/۷	۱/۹
	باقی مانده	۱۵	۲۳/۵		
	کل	۱۸			
PWP	رگرسیون	۱	۳۷/۱***	۰/۸	۱/۹
	باقی مانده	۱۷	۰/۶		
	کل	۱۸			

\*\* معنی‌دار در سطح ۰/۰۰۱، DW، آماره دوربین واتسون

جدول ۵. آزمون ضرایب رگرسیون به دست آمده برای FC و PWP

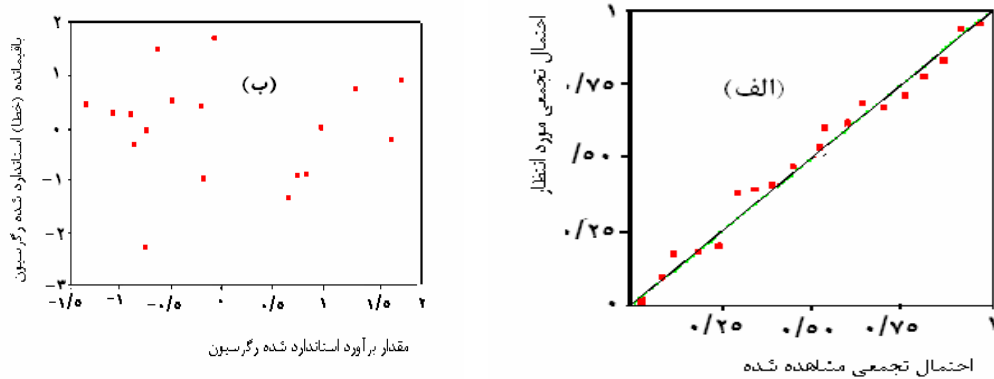
تابع	متغیرهای مستقل	ضرایب رگرسیون (b)	ضرایب استاندارد	t	VIF.
FC	ثابت (a)	۱۵۹/۴	-	۳/۲**	
	Sand	-۱/۴	-۲/۸	-۲/۹*	۸/۹
	Silt	۱/۰	۱/۷	۲/۰*	۹/۵
	Clay	۱/۲	۰/۹	۲/۳*	۲/۴
PWP	ثابت (a)	۴/۹	-	۱۱*	
	Clay	۰/۲	۰/۹	۷/۸*	۱

VIF، شاخص تورم واریانس

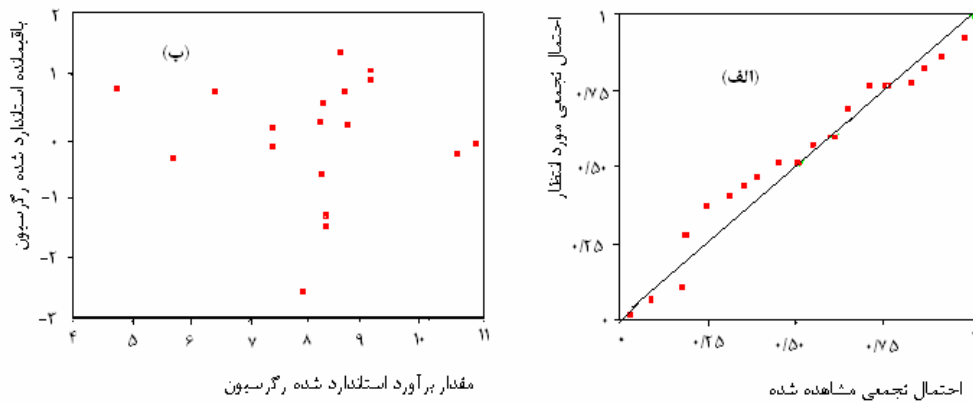
$$FC = 159.395 - 1/441 \text{ Sand} + 0.985 \text{ Silt} + 1/226 \text{ Clay}$$

$$PWP = 4.934 + 0.23 \text{ Clay}$$





شکل ۲. الف) توزیع نرمال خطاها برای برآورد FC و ب) پراکنش خطاهای استاندارد برای برآورد FC



شکل ۳. الف) توزیع نرمال خطاها برای برآورد PWP و ب) پراکنش خطاهای استاندارد برای برآورد PWP

### نتیجه گیری

نتایج نشان داد که با افزایش سطح مدل روزتا (افزایش متغیرهای ورودی)، دقت برآورد نقاط رطوبتی FC و PWP برای خاک‌های منطقه مورد بررسی توسط این مدل، افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا نکرد. بنابراین، با توجه به اینکه اندازه‌گیری ورودی‌های بیشتر، مستلزم صرف وقت و هزینه بیشتر است، استفاده از سطوح بالای مدل برای تخمین منطقی به نظر نمی‌رسد. همچنین، نتایج آنالیز رگرسیون، آماره‌های مختلف و نمودارهای تحلیل خطاها، نشان دادن که مدل‌های رگرسیونی به‌دست آمده، دقت و اعتبار خوبی برای برآورد مقادیر رطوبتی گنجایش زراعی و نقطه پژمردگی دائم با استفاده از اجزای بافت خاک را دارند.

نظر نشان می‌دهد (۱۳). همچنین، شاخص تورم واریانس برای تمامی متغیرهای مستقل وارد شده به مدل، کمتر از ۱۰ می‌باشد که نشان‌دهنده قابل چشم‌پوشی بودن همبستگی بین متغیرهای مستقل و اعتبار مدل به‌دست آمده است. به دیگر سخن، اگر مقدار شاخص تورم واریانس بیش از ۱۰ باشد، بیانگر وجود همبستگی قابل ملاحظه بین متغیرهای مستقل و عدم اعتبار مدل به‌دست آمده است (۱۳). شکل ۲ (الف و ب) نشان می‌دهند که خطاها در مدل FC تصادفی و توزیع آنها نرمال است و مدل خطی به‌دست آمده مناسب است. شکل ۳ (الف و ب) نیز نشان‌دهنده مناسب بودن مدل برای برآورد PWP می‌باشند.

## منابع مورد استفاده

۱. نقوی، ه.، م. افیونی، م.ع. حاج‌عباسی و ج. عابدی کوهپایه. ۱۳۸۲. برازش منحنی نگهداری رطوبت خاک با روش حل معکوس در منطقه غیراشباع خاک. مجله علوم خاک و آب ۱۷(۱):
2. Blake, M. H. and Hartage, K. H. 1986. Bulk density determination. methods of soil analysis. Part 1. Physical and mechanical methods. Soil Sci. Soc. Amer. J. Agronomy monograph. P. 363-373.
3. Bouma, J. and J.A.J. Van Lanen. 1987. Transfer functions and threshold values: From soil characteristics to land qualities. 106-110. In: P. K. J. Beck *et al.* (Ed.), Quantified land evaluation. Proc. Worksh. ISS and SSSA, Washington, DC. 27 Apr. –2 May. 1986. Int. Inst. Aerospace Surv. Earth Sci. Publ. No. 6. ITC Publ., Enschede, the Netherlands.
4. Brooks, R.H. and A.T. Corey. 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrology Paper No. 3, Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado. 27 pp.
5. Cornelis, W.M., J. Ronsyn, M. van Meirvenne and R. Hartmann. 2001. Evaluation of pedotransfer functions for predicting the soil moisture retention curve. Soil Sci. Soc. Amer. J. 65(3): 638-648.
6. Ghorbani Dashtaki, S., M. Homaei 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 Manage. 26: 68–74.
7. Gupta, S.C. and W.E. Larson. 1979. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter content, and bulk density. Water Resour. Res. 15:1633-1635.
8. Hutson, J.L. and A. Cass. 1987. A retentivity function for use in soil-water simulation models. J Soil Sci. 38:105–113.
9. Khodaverdiloo, H., M. Homaei, M.Th. van Genuchten and S.G. Dashtaki. 2011. Deriving and validating pedotransfer functions for some calcareous soils. J. Hydrol. 399: 93–99.
10. Klute, A. 1986. Method of soil analysis. Part II- chemical and biochemical methods. 2<sup>nd</sup> ed., Agronomy No. 9. America Society of Agronomy and Soil science society of America Inc., Madison, Wisconsin, USA.
11. Klute, A. 1986. Method of soil analysis. Part I- physical and mineralogical methods. 2<sup>nd</sup> ed., Agronomy No. 9. America Society of Agronomy and Soil science society of America Inc., Madison, Wisconsin, USA.
12. Klute, A. 1986. Water retention: Laboratory methods. PP. 635-662. In: Klute, A.(Ed.). Methods of Soil Analysis, Part1, Physical and Mineralogical Methods. 2<sup>nd</sup> Ed., ASA Monog. No. 9. Madison, Wisconsin.
13. Montgomery, D.C. 1992. Intraduction to Linear Regression Analysis. 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley Sons., New York.
14. 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 Agron. and Soil Sci. 57: 327-342.
15. Pachepsky, Ya.A. and W.J. Rawls. 1999. Accuracy and reliability of pedotransfer functions as affected by grouping soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 63: 1748-1757.
16. Rawls, W.J., D.L. Brakensiek and K.E. Saxton. 1982. Estimation of soil water properties. Trans. ASAE 25(5): 1316-1320.
17. Schaap, M.G. and F.J. Leij. 2000. Improved prediction of unsaturated hydraulic conductivity with the Mualem-van Genuchten model. Soil Sci. Soc. Amer. J. 64: 843-851.
18. Schaap, M.G., F.J. Leij and M.Th. Van Genuchten. 1999. A bootstrap-neural network approach to predict soil hydraulic parameters. In: van Genuchten, M.Th., F.J. Leij and L. Wu (Eds.), Proc. Int. Workshop.
19. Schaap, M.G. and F.J. Leij. 1998. Database related accuracy and uncertainty of pedotransfer functions. Soil Sci. 163: 765-779.
20. Tomasella, J., Ya.A. Pachepsky, S. Crestana and W.J. Rawls. 2003. Comparison of two techniques to develop pedotransfer functions for water retention Soil Sci. Soc. Amer. J. 67: 1085-1092.
21. van Genuchten, M.TH. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 44: 892-898.
22. van Genuchten, M.TH., F.J. Leij and S.R. Yates. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. U.S. Salinity Laboratory. Department of agriculture, Agricultural research service. Riverside, California.
23. Vereecken, H., J. Maes, J. Feyen and P. Darius. 1989. Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density, and carbon content. Soil Sci. 6: 389-402.

## Prediction of FC and PWP Using Neural Network and Statistical Regression in Bardsir-Kerman Area

H. Shirani<sup>1\*</sup>

(Received : May 30-2010 ; Accepted : Jan. 14-2011)

### Abstract

Field capacity and permanent wilting point are the most important parameters in designing and programming irrigation, whose measurements are troublesome and time-consuming. But these parameters could be estimated by easy data characteristics such as soil texture, organic matter and gypsum, using Pedotransfer Functions (PTFs) with high precision. In order to estimate soil moisture at FC and PWP by easy data characteristic, using neural network (ROSETA) and regression models, 20 soil samples with 6 replications were collected from around Bardsir area in Kerman province and the characteristics including, bulk density, clay, sand, silt, FC, PWP, T.N.V and organic matter were determined for each sample. The results showed that progress in neural network from a low level up to higher level needs new inputs (characteristics), but without any considerable increase in the precision of prediction. Also, regression analysis for estimation of linear models to predict FC and PWP showed that PWP has a significant positive correlation with clay, and FC significantly correlated with sand, silt and clay. Therefore, two prediction models were constructed for FC and PWP with ( $R^2 = 69.2$ ) and ( $R^2 = 76.6$ ), respectively.

**Keywords:** FC, PWP, Pedotransfer functions, Bardsir-Kerman.

---

1. Assis. Prof. of Soil Sci., College of Agric., Vali-e-Asr Univ. of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: shirani379@yahoo.com