

توابع انتقالی برای برآورد میزان رطوبت خاک با به کارگیری پارامترهای فرکتالی در استان اردبیل

عباس احمدی*: دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

مجتبی علیمحمدی: دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

شکراله اصغری: دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۶

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت): ۱۳۹۸/۰۳/۱۹

چکیده

اطلاع از میزان رطوبت خاک و ظرفیت نگه‌داشت، در مدیریت اراضی و زراعی مفید می‌باشد و می‌تواند در پیش‌بینی میزان و زمان تولید رواناب کاربرد داشته باشد. هدف این پژوهش، ارائه و مقایسه‌ی توابع انتقالی رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد رطوبت‌های ظرفیت‌زراعی (FC)، نقطه پژمردگی دائم (PWP) خاک و بررسی تأثیر استفاده از پارامترهای فرکتالی ذرات اولیه، خاکدانه و منافذ خاک در افزایش دقت این برآوردها بود. برای این منظور، در مجموع ۹۰ نمونه خاک از سه منطقه در استان اردبیل (دشت اردبیل، فندقلو و سرعین) به صورت تصادفی برداشته شد. توابع رگرسیونی، برای برآورد FC و PWP یک بار با کاربرد و یک بار بدون کاربرد ابعاد فرکتالی (ابعاد فرکتالی ذرات اولیه خاک، خاکدانه‌ها و منافذ خاک) به عنوان متغیر مستقل در مدل‌سازی ایجاد شد. بنابراین، برای برآورد هر کدام از پارامترها (FC و PWP) دو تابع به وجود آمد. هنگامی که ابعاد فرکتالی در ارائه‌ی توابع انتقالی برای تخمین FC و PWP به کار گرفته شد، سه متغیر (جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی و بعد فرکتالی منافذ خاک) به عنوان تخمین‌گر به مدل وارد شد. هنگامی که از این ابعاد در مدل‌سازی استفاده نشد، تابع انتقالی FC با چهار تخمین‌گر (جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی، میانگین هندسی قطر (dg) و انحراف هندسی قطر (σ_g) ذرات اولیه خاک) ایجاد شد و تابع انتقالی PWP با دو (تخمین‌گر جرم مخصوص ظاهری و جرم مخصوص حقیقی). نتایج نشان داد که در روش شبکه عصبی، استفاده از ابعاد فرکتالی برای تخمین رطوبت PWP و FC به افزایش دقت توابع منجر شد. همچنین استفاده از ابعاد فرکتالی خاکدانه‌ها توانست در افزایش دقت مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده برای تخمین FC نیز مؤثر باشد، اما دقت مدل‌های ارائه شده را برای تخمین PWP چندان افزایش نداد.

واژگان کلیدی: ابعاد فرکتالی، توابع انتقالی خاک، ظرفیت زراعی، منافذ خاک.

۱- مقدمه

منحنی مشخصه‌ی رطوبتی از خواص هیدرولیکی مهم خاک است که اندازه‌گیری آن، از نظر تعیین آب قابل جذب

*نویسنده مسئول: a_ahmadi@tabrizu.ac.ir

گیاه، تبخیر و تعرق و برنامه‌ریزی آبیاری اهمیت زیادی دارد (Mosaddeghi and Mahboubi, 2011). رطوبت معادل ظرفیت زراعی^۱ (FC)، مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده در مکش ۰/۱ بار برای خاک‌های شنی و مکش ۰/۳ بار برای خاک‌های رسی است. رطوبت نقطه پژمردگی دائم^۲ (PWP)، مقدار رطوبت در مکش ۱۵ بار برای تمامی خاک‌ها در نظر گرفته می‌شود (Hillel, 2004). دو ضریب رطوبتی فوق (PWP, FC)، در مطالعات مربوط به حرکت آب در خاک اهمیت فراوانی دارد و از طریق اندازه‌گیری منحنی مشخصه‌ی رطوبتی خاک به دست می‌آید. بیات و همکاران (۲۰۱۳)، برای برآورد منحنی مشخصه‌ی رطوبتی از شبکه عصبی مصنوعی و تئوری فرکتال در ۱۴۸ نمونه خاک از شمال غرب ایران استفاده کردند. آنان معتقدند، وارد کردن پارامترهای فرکتال توزیع اندازه ذرات در مدل به افزایش دقت و صحت برآورد نقاط منحنی رطوبتی منجر می‌شود. از توابع انتقالی به دو منظور استفاده می‌شود: (۱) برای تخمین خصوصیات دیربافت خاک مانند هدایت هیدرولیکی و آب قابل استفاده؛ (۲) برای تخمین خصوصیتی که به عنوان ورودی مدل‌های شبیه‌ساز کاربرد دارد (Borgesen and Schaap, 2005). امیر عابدی و همکاران (۲۰۱۳)، پژوهشی را در دشت اردبیل با هدف برآورد رطوبت نقطه پژمردگی، رطوبت ظرفیت زراعی و آب قابل استفاده توسط مدل رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی انجام دادند. آنها در این پژوهش به نمونه‌برداری از ۱۰۰ نقطه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روش شبکه عصبی برای برآورد رطوبت نقطه پژمردگی، رطوبت ظرفیت زراعی و آب قابل استفاده، از روش رگرسیونی مناسب‌تر است.

با استناد به بررسی منابع انجام گرفته، مطالعه‌ای در زمینه‌ی برآورد رطوبت‌های ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم با استفاده از ابعاد فرکتالی در منطقه‌ی مورد مطالعه انجام نشده‌است؛ از این رو، هدف پژوهش حاضر مقایسه‌ی توابع انتقالی ارائه شده به روش رگرسیون چند متغیره و روش شبکه عصبی مصنوعی با هم و بررسی تأثیر استفاده از ابعاد فرکتالی اجزای خاک به عنوان تخمین‌گر در افزایش دقت و صحت برآوردها می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

برای اجرای این پژوهش، تعداد ۹۰ نمونه خاک به‌طور تصادفی از سه منطقه برداشته شد؛ اراضی جنگلی فندقلو (بین ۳۸° ۱۶' تا ۳۸° ۳۲' عرض شمالی و ۴۸° ۴۹' تا ۴۸° ۵۶' طول شرقی)، اراضی زراعی دشت اردبیل (بین ۳۸° ۲۸' تا ۳۸° ۳۰' عرض شمالی و ۴۸° ۳۲' تا ۴۸° ۴۸' طول شرقی) و اراضی مرتعی سرعین (بین ۳۸° ۱۵' تا ۳۸° ۱۶' عرض شمالی و ۴۷° ۹۶' تا ۴۷° ۹۷' طول شرقی) که هر سه در استان اردبیل واقع هستند (۳۰ نمونه از هر منطقه).

تعیین ویژگی‌های خاک

نمونه‌های خاک با حداقل دست‌خوردگی به مقدار حدود ۳ کیلوگرم و نمونه‌های خاک دست‌نخورده با استفاده از استوانه‌های فولادی به قطر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک برداشته شد. سپس نمونه‌های دست‌خورده در آزمایشگاه هوا خشک شد و بخشی از آن به منظور اندازه‌گیری برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی،

¹ Field capacity

² Permanent wilting point

از الک ۲mm عبور داده شد. جرم مخصوص ظاهری (ρ_b) به روش استوانه فلزی (Blake and Hartge, 1986a)، منحنی توزیع اندازه ذرات اولیه‌ی خاک (PSD) به روش ۹ قرانته هیدرومتر (Gee and Or, 2002)، جرم مخصوص حقیقی (ρ_p) به روش پیکنومتر (Blake and Hartge, 1986b)، کربن آلی (Walkley and Black, 1934) و کربنات کلسیم معادل (Janzen, 1993) اندازه‌گیری شد. همچنین میانگین هندسی قطر (d_g) و انحراف استاندارد هندسی ذرات (σ_g) ذرات خاک (Campbell, 1985)، بعد فرکتالی ذرات خاک (D_y) (Yang et al, 1993)، بعد فرکتالی خاکدانه‌ها (D_f) (Perfect and Kay, 1991) و بعد فرکتالی سطح داخلی منافذ خاک (D_s) (De Gennes, 1985) نیز محاسبه شد. رطوبت ظرفیت زراعی (FC)، رطوبت معادل مکش ۰/۲ بار و رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP)، رطوبت معادل مکش ۱۵ بار در نظر گرفته شد (Baiburdi, 1992) و با دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد.

ارائه توابع انتقالی رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی

داده‌ها به‌طور تصادفی به دو دسته داده‌های سری آموزش (۷۲ داده) و داده‌های سری آزمون (۱۸ داده) تقسیم شد. سپس همبستگی جزئی بین متغیرهای مستقل تعیین شد. برای تعیین وجود هم‌راستایی چندگانه یا وجود رابطه‌ی خطی بین متغیرهای مستقل، از آزمون بارتلت استفاده شد (Ahmadi, 2010). در این پژوهش برای برآورد رطوبت‌های FC و PWP، از روش رگرسیون گام به گام ريج در نرم‌افزار Statistica استفاده شد. همچنین برای ایجاد توابع انتقالی شبکه عصبی از دو نوع شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLPs) و پیشخور تعمیم‌یافته (GFF) استفاده شد. برای هر یک از دو نوع شبکه عصبی مصنوعی، توابع تانژانت و سیگموئیدی در لایه‌های پنهان و خروجی استفاده و ترکیبی از این لایه‌ها با پایین‌ترین MSE، برای داده‌های اعتبارسنجی انتخاب شد.

ارزیابی توابع انتقالی

برای ارزیابی دقت و صحت توابع انتقالی ایجاد شده از آماره‌های مختلفی شامل ضریب تبیین (R^2)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطا (ME)، میانگین هندسی نسبت خطا (GMER)، انحراف معیار هندسی نسبت خطا (GSDER) و معیار اطلاعات آکائیک (AIC) استفاده شد. زمانی که مقادیر اندازه‌گیری شده هم علامت نباشند، آماره GMER قابل محاسبه نیست و از آماره ME استفاده می‌شود. برای آزمون اختلاف دقت و صحت دو تابع از نظر آماری، از آزمون مورگان - گرنجر - نیوبولد (MGN) استفاده شد (Diebold and Mariano, 2002).

۳- یافته‌ها (نتایج) و بحث

خاک‌های مورد استفاده از لحاظ ویژگی‌های مورد مطالعه، پراکنش بالایی داشتند (جدول ۱). مقادیر بیشینه رطوبت ظرفیت زراعی، به داده‌های آموزش و آزمون مربوط به خاک مناطق جنگلی فندقلو بازمی‌گردد که با مقادیر گزارش شده در پژوهش اصغری و همکاران (۲۰۱۵) در همان منطقه در یک راستا می‌باشد. آنها بیان کردند که مقدار رطوبت FC، بین ۰/۱۹ تا ۰/۵۵ (g/g) است. مقدار بیشینه رطوبت PWP، مربوط به خاک مناطق جنگلی فندقلو و کمینه آن مربوط به اراضی مرتعی سریع بود.

همبستگی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم با سایر ویژگی‌های خاک

بین رطوبت در حالت ظرفیت زراعی با میزان سیلت، کربن آلی و انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک، همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد پدیدار شد؛ اما همبستگی بین رطوبت در حالت ظرفیت زراعی با میزان شن، تخریل کل، میانگین هندسی قطر ذرات، کربنات کلسیم، بعد فرکتالی منافذ، بعد فرکتالی خاکدانه، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی به صورت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد منفی شد (جدول ۲). با افزایش میزان شن به علت افزایش منافذ درشت خاک، میزان آب ثقلی افزایش می‌یابد و رطوبت ظرفیت زراعی کاهش. قربانی‌دشتکی و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که افزایش میزان شن در خاک به سبب افزایش میزان خلل و فرج درشت در آن، به حرکت سریع آب در خاک منجر می‌شود و بر رطوبت ظرفیت زراعی تأثیر منفی دارد.

جدول ۱: آماره‌های توصیفی متغیرهای اندازه‌گیری شده برای داده‌های سری آموزش و سری آزمون.

داده‌های آزمون			داده‌های آموزش			متغیر	واحد	
Testing data						variable	Unit	
انحراف معیار	بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار	بیشینه	کمینه	میانگین	
standard deviation	max	min	Average	standard deviation	max	min	Average	
۰/۱۶	۹۷/۹	۵۵/۹۳	۸۱/۴۷	۰/۱۶	۹۹/۵۲	۴۵/۰۱	۷۹/۶۵	% Sand
۱/۰۱	۷/۳۶	۰/۲۱	۲/۰۸	۰/۷۹	۷/۶۵	۰	۲/۰۴	% Clay
۰/۷۴	۴۰/۱۱	۱/۷۲	۱۶/۴۴	۰/۶۴	۴۹/۴۳	۰/۴۸	۱۸/۳۱	% Silt
۰/۲۲	۱/۲۴	۰/۵۴	۰/۹۵	۰/۱۶	۱/۴۲	۰/۶۴	۱/۰۶	g/cm3 pb
۰/۲۲	۲/۶۹	۱/۳۷	۲/۰۹	۰/۱۸	۲/۶۹	۱/۲۳	۲/۶۳	g/cm3 pp
۰/۱۳	۰/۶۳	۰/۳۹	۰/۵۴	۰/۱۵	۰/۶۵	۰/۳	۰/۵۱	cm3/cm3 n
۰/۴۶	۰/۹۴	۰/۱۶	۰/۵۳	۰/۴۶	۱/۰۱	۰/۱۱	۰/۴۹	mm dg
۰/۶۷	۲۶/۶۳	۲	۱۰/۷۸	۰/۵۱	۲۷/۱۵	۱/۳۷	۱۲	- g
۰/۷۴	۶/۱۱	۰/۸۹	۲/۹	۰/۷۸	۶/۳۷	۰/۰۹	۲/۲۷	% OC
۰/۸۶	۲۳/۱۲	۰/۱۸	۱۰/۰۲	۰/۷۵	۲۵/۵۳	۰/۱۷	۱۱/۳۶	% CCE
۰/۳۹	۰/۶۹	۰/۱۶	۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۵۹	۰/۱۱	۰/۳۲	g/g FC
۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۱	۰/۱۹	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۰۷	۰/۱۶	g/g PWP
۰/۰۳	۲/۵۷	۲/۲۸	۲/۳۹	۰/۰۳	۲/۶۲	۲/۲۵	۲/۴	- Dy
۰/۲۸	۴/۵۱	۱/۵۸	۳/۲	۰/۱۸	۴/۵۳	۱/۵۳	۳/۲۱	- Df
۰/۰۱	۲/۹	۲/۷۸	۲/۸۳	۰/۰۲	۳/۰۲	۲/۶۷	۲/۸۳	- Ds

Sand: شن، Clay: رس، Silt: سیلت، pb: جرم مخصوص ظاهری، pp: جرم مخصوص حقیقی، n: تخریل کل، dg: میانگین هندسی قطر ذرات، σ_g : انحراف استاندارد هندسی ذرات، OC: کربن آلی، CCE: کربنات کلسیم معادل، FC: رطوبت ظرفیت زراعی، PWP: رطوبت نقطه پژمردگی دائم، Ds: بعد فرکتالی منافذ، Df: بعد فرکتالی خاکدانه و Dy: بعد فرکتالی ذرات اولیه.

رطوبت ظرفیت زراعی (FC) با بعد فرکتال منافذ و خاکدانه، همبستگی منفی و معنی‌دار داشت که بیان‌گر ارتباط عکس، میان اندازه‌ی منافذ و خاکدانه‌ها با مقدار رطوبت FC است؛ به عبارت دیگر، هر چه اندازه‌ی منافذ و خاکدانه

کوچک‌تر باشد، مقدار رطوبت FC بالاتر است. رطوبت نقطه پژمردگی دائم با میزان سیلت، انحراف معیار هندسی قطر ذرات و کربن آلی، ارتباط مثبت معنی‌داری دارد و با شن، جرم مخصوص حقیقی، میانگین هندسی قطر ذرات، کربنات کلسیم و بعد فرکتال خاکدانه، ارتباط منفی معنی‌دار. ارتباط منفی و معنی‌دار رطوبت PWP با بعد فرکتال خاکدانه به این صورت قابل توجیه است که با کاهش D_f ، اندازه‌ی خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد و احتمالاً به دلیل کاهش سطح ویژه کل خاک، مقدار آب جذب سطحی شده یا همان رطوبت PWP نیز کاهش می‌یابد.

جدول ۲: ضرایب همبستگی پیرسون (r) بین متغیرها (n=90).

	Sand	Clay	Silt	ρ_b	ρ_p	n	dg	δg	OC	CCE	D_s	D_f	D_v	FC
FC	-۰/۵۰**	۰/۱۴	۰/۵۲**	-۰/۶۴**	-۰/۷۹**	-۰/۳۰**	۰/۵۳**	۰/۴۵**	۰/۸۶**	-۰/۷۴**	-۰/۴۱**	-۰/۴۷**	۰/۱۲	۱
PWP	-۰/۴۷**	۰/۱۴	۰/۴۸**	-۰/۷۰**	-۰/۸۰**	-۰/۲۵*	-۰/۴۵**	۰/۴۸**	۰/۷۷**	-۰/۷۳**	۰/۱۱	-۰/۵۲**	۰/۱۹	۰/۸۴**

**معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و * معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪؛ توصیف علائم در جدول ۱ شرح داده شده‌است.

برآورد رطوبت ظرفیت زراعی

توابع رگرسیونی

بر اساس مقادیر جدول ۳ بهترین متغیرهای ورودی برای تابع ۱، جرم مخصوص حقیقی (ρ_p)، جرم مخصوص ظاهری (ρ_b) و بعد فرکتالی منافذ (D_s) است. در تابع ۲ نیز n ، dg و δg به‌عنوان بهترین متغیرهای ورودی به تابع وارد شد. میرخانی و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که ورود متغیرهایی همچون n ، dg و δg در توابع انتقالی، برای تخمین ضرایب رطوبتی خاک به علت تأثیر بسزای این پارامترها در تخلخل کل و ساختمان خاک است. استفاده از بعد فرکتالی ذرات، منافذ خاک و خاکدانه به افزایش دقت معادله رگرسیونی منجر نمی‌شود (جدول ۴)؛ به طوری که مقادیر ضریب تبیین (R^2) برای تابع ۱ کمتر از مقادیر آن برای تابع ۲ می‌باشد. آماره ارزیابی $GSDER$ و GMR ، در داده‌های سری آموزش و آزمون تابع ۱ نسبت به تابع ۲ نیز تفاوت چندانی ندارد. آزمون MGN نیز فقدان تفاوت معنی‌دار بین تخمین حاصل از دو تابع را نشان می‌دهد.

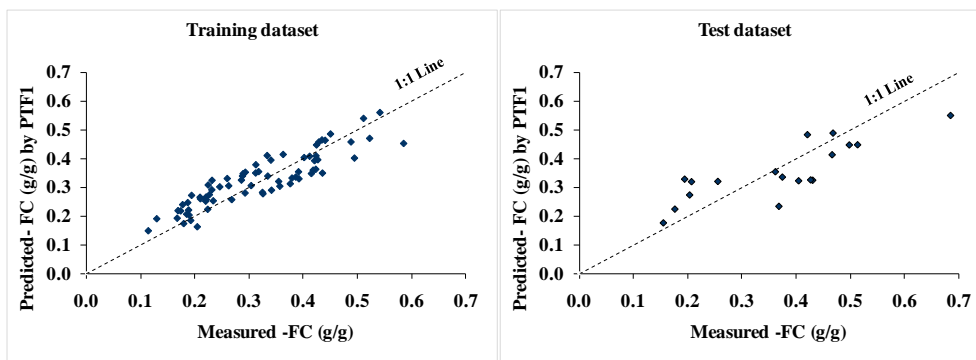
جدول ۳: توابع انتقالی رگرسیونی بهینه برای برآورد رطوبت ظرفیت زراعی (FC) خاک

توابع انتقالی	معادله رگرسیون خطی	ویژگی‌های زود یافت
PTF1	$FC=2.6-0.15 \rho_b -0.145 \rho_p -0.64D_s$	Sand-Clay-Silt- ρ_b - ρ_p -n- d_g - δ_g -OC-CCE- D_s - D_f - D_v
PTF2	$FC=1.17-0.21 \rho_b -0.155 \rho_p -0.315dg-0.012\delta g$	Sand-Clay-Silt- ρ_b - ρ_p -n- d_g - δ_g -OC-CCE

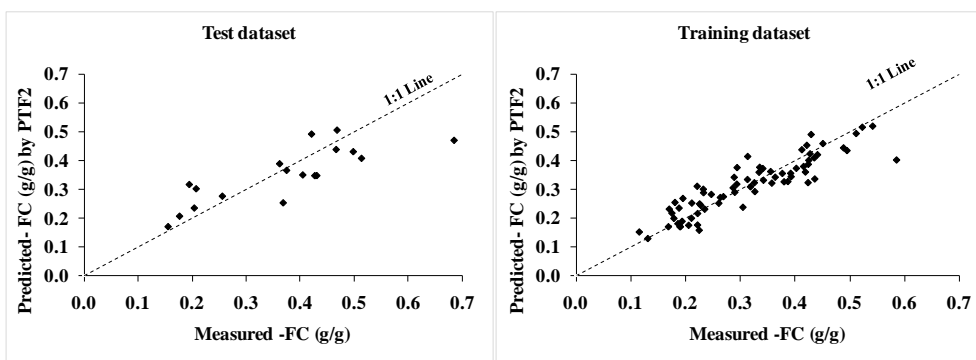
جدول ۴: آماره‌های ارزیابی توابع انتقالی رگرسیونی ارائه شده برای برآورد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (Fc)

MGN	R ²	RMSE (mm)	ME (mm)	AIC	GMER	GSDER	تابع	داده Data
۰/۴۴ ^{ns}	۰/۸	۰/۰۵	-۰/۰۱	-۳۱۶/۰۱	۱/۰۵	۱/۱۸	PTF1	آموزشی
	۰/۸۱	۰/۰۵	۰/۰۰۱	-۳۶۶/۰۶	۱/۰۱	۱/۱۷	PTF2	Training set
۰/۱۲ ^{ns}	۰/۶۷	۰/۰۸	۰/۰۱	-۷۲/۸۱	۱/۰۱	۱/۳	PTF1	آزمونی
	۰/۶۷	۰/۰۸	۰/۰۲	-۷۲/۴۲	۱/۰۱	۱/۲۶	PTF2	Test set

تابع ۱: تابع ارائه شده با به کارگیری بعد فرکتالی، تابع ۲: تابع ارائه شده بدون به کارگیری بعد فرکتالی، R²: ضریب تبیین، RMSE: ریشه‌ی میانگین مربعات خطا، ME: میانگین خطا، AIC: معیار اطلاعات آکائیک، GMER: میانگین هندسی نسبت خطا، GSDER: انحراف معیار هندسی نسبت خطا، MGN: آماره آزمون مورگان-گرنجر-نیبولد، ns: غیر معنی‌دار.



الف) با به کارگیری ابعاد فرکتالی به عنوان تخمین‌گر



ب) بدون استفاده از ابعاد فرکتالی به عنوان تخمین‌گر

شکل ۱: مقادیر برآوردی در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده میزان رطوبت ظرفیت زراعی به وسیله توابع رگرسیونی با به کارگیری (تابع ۱) و بدون به کارگیری ابعاد فرکتالی به عنوان تخمین‌گر (تابع ۲)

توابع انتقالی شبکه عصبی مصنوعی

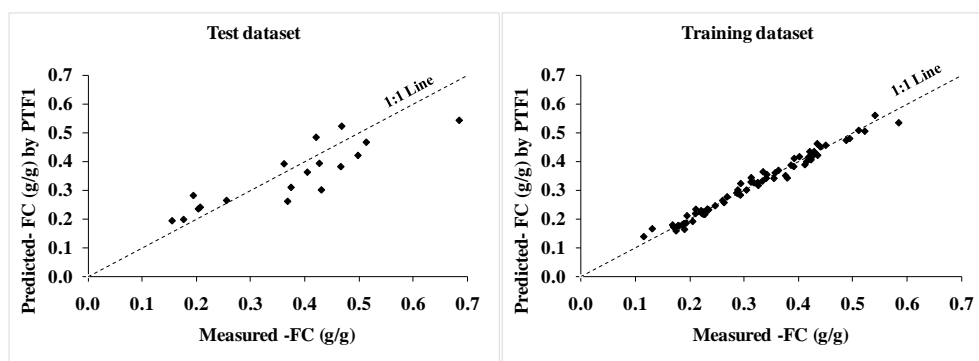
شبکه عصبی مصنوعی ایجاد شده از نوع (MLP^۱) با ساختار الگوریتم ۳ لایه و ۸ نرون در لایه پنهان و تابع فعال‌ساز سیگموئیدی است. به طور کلی، استفاده از بعد فرکتالی در طراحی شبکه عصبی به افزایش دقت مدل برآورد کننده‌ی رطوبت FC منجر شد (جدول ۵)؛ به طوری که R^2 تابع ۱ برای داده‌های سری آموزش (۰/۹۸) بیش از تابع ۲ (۰/۹۲) به دست آمد. RMSE و ME مدل، برای داده‌های سری آموزش در تابع ۱ نسبت به ۲ کمتر بود. آماره ارزیابی GSDER و GMER برای تابع ۱ نسبت به ۲ کمتر بود که پخشیدگی کم و انطباق بالای برآوردهای تابع ۱ نسبت به ۲ را نشان می‌دهد. آزمون MGN برای برآورد حاصل از دو تابع ۱ و ۲ در داده‌های سری آموزش در سطح احتمال ۵ درصد معنی-دار است که بیانگر معنی‌دار بودن تفاوت تخمین در معادلات فوق می‌باشد. نتیجه‌ی حاصل از آزمون MGN در سری آزمون غیر معنی‌دار شده است که فقدان تفاوت قابلیت اعتماد دو تابع را نشان می‌دهد.

جدول ۵: آماره‌های ارزیابی توابع انتقالی شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده برای برآورد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (Fc)

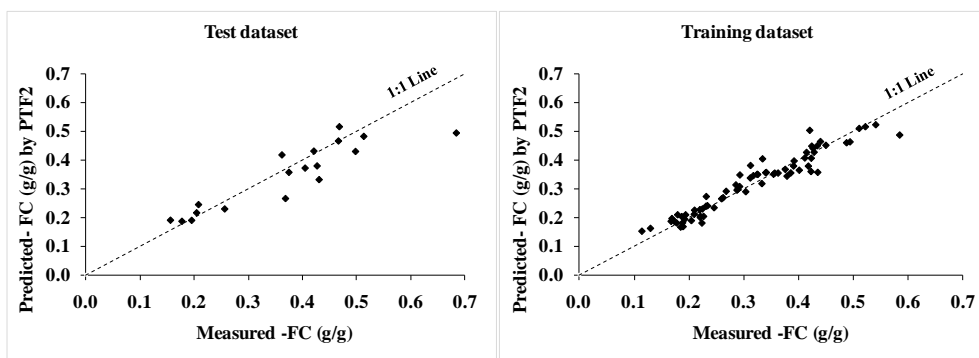
داده Data	تابع	GSDER	GMER	AIC	ME (mm)	RMSE (mm)	R2	MGN
آموزشی Training set	PTF1	۱/۰۶	۱	-۵۲۹/۶۵	۰/۰۰۰۲	۰/۰۲	۰/۹۸	۷/۹۸**
	PTF2	۱/۱	۱/۰۱	-۴۳۳/۵۳	-۰/۰۰۰۵	۰/۰۳	۰/۹۲	
آزمونی Test set	PTF1	۱/۲۲	۰/۹۸	-۷۸/۲۹	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۷۷	۰/۶۵ ^{ns}
	PTF2	۱/۱۷	۰/۹۶	-۸۱/۳۹	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۸۲	

تابع ۱: با استفاده از بعد فرکتالی به عنوان تخمین‌گر، تابع ۲: بدون استفاده از بعد فرکتالی به عنوان تخمین‌گر، توصیف علائم آماره‌ها در زیر جدول ۴ آورده شده است. *، ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و غیر معنی‌داری.

^۱- Multilayer perceptron



الف) با به کارگیری ابعاد فرکتالی به عنوان تخمین گر



ب) بدون استفاده از ابعاد فرکتالی به عنوان تخمین گر

شکل ۲: مقادیر برآوردی در مقابل مقادیر اندازه گیری شده میزان رطوبت ظرفیت زراعی توابع شبکه عصبی مصنوعی با بکارگیری (تابع ۱) و بدون بکارگیری (تابع ۲) ابعاد فرکتالی به عنوان تخمین گر.

مقایسه‌ی توابع رگرسیونی و شبکه عصبی ارائه شده برای برآورد رطوبت ظرفیت زراعی (FC)

استفاده از بعد فرکتالی در روش شبکه عصبی در مقایسه با روش رگرسیونی، به افزایش دقت مدل ارائه شده منجر شد (جدول ۶). ضریب تبیین (R^2) در روش شبکه عصبی نسبت به روش رگرسیون در هر دو سری آموزشی و آزمونی، بیش از مدل ۲ می‌باشد. آماره ارزیابی GSDER و GMER در روش شبکه عصبی نسبت به روش رگرسیونی کمتر است که پخشیدگی کم و انطباق بالای برآوری روش شبکه عصبی را نسبت به روش رگرسیونی نشان می‌دهد. آزمون MGN برای برآورد حاصل از این دو روش در داده‌های سری آزمونی و آموزش، غیر معنی‌دار است که به معنی فقدان اختلاف معنی‌دار در تخمین دو مدل می‌باشد.

جدول ۶: شاخص‌های آماری توابع انتقالی رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده برای تخمین رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای با کاربرد ابعاد فرکتالی به عنوان متغیر مستقل در مدل‌سازی.

داده	تابع	GSDER	GMER	AIC	ME (mm)	RMSE (mm)	R2	MGN
آموزشی	Regression	۱/۱۸	۱/۰۵	-۳۶۱/۰۱	-۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۸	۱۴/۲۶*
	ANN	۱/۰۶	۱	-۵۲۹/۶۵	۰/۰۰۰۲	۰/۰۲	۰/۹۸	
Training set								

۱/۳ ^{ns}	۰/۶۵	۰/۰۸	۰/۰۱	-۷۲/۸۱	۱/۰۱	۱/۳	Regression	آزمونی
	۰/۷۷	۰/۰۷	۰/۰۲	-۷۸/۲۹	۰/۹۸	۱/۲۲	ANN	Test set

توصیف علائم آماره‌ها در زیر جدول ۵ آورده شده است.

رطوبت نقطه پژمردگی دائم

توابع رگرسیونی

برای ارزیابی تأثیر پارامترهای فرکتالی در تخمین رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP) در ایجاد توابع انتقالی، ابتدا با استفاده از این پارامترهای فرکتالی و بار دیگر بدون استفاده از این پارامترها، توابع انتقالی ایجاد شد. در جدول ۷، معادله‌ی تابع انتقالی رگرسیونی در هر دو روش با استفاده از بعد فرکتالی تابع ۱ و بدون استفاده از بعد فرکتالی تابع ۲ برای برآورد رطوبت PWP نشان داده می‌شود. متغیرهای ورودی تابع ۱ شامل ρ_b , ρ_p و D_s و در تابع ۲ متغیرهای ورودی شامل ρ_b و ρ_p است. نتایج جدول ۸ نیز نشان می‌دهد که گرچه استفاده از ابعاد فرکتالی در تابع ۱ به افزایش ضریب تبیین (R^2) و کاهش مقدار میانگین خطا (ME) منجر شده است، دو تابع از لحاظ دقت و قابلیت اعتماد، تفاوت آماری ندارند.

جدول ۷: توابع انتقالی رگرسیونی برای برآورد میزان رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم (PWP)

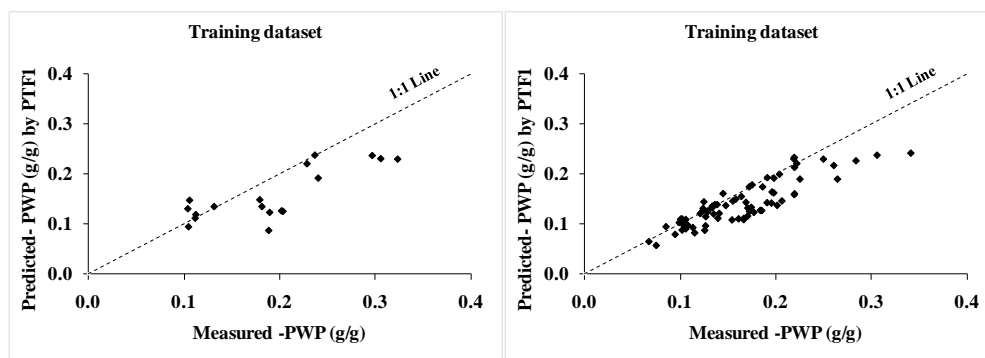
متغیرهای زود یافت	معادله رگرسیون خطی.	تابع
Easily accessible data	Linear regression equation	Function
Sand-Clay-Silt-pb-pp-n-dg- δ g-OC-CCE-Ds-Df-Dy	$PWP=0.201D_s-0.082 \rho_b -0.077 \rho_p -0.171$	PTF1
Sand-Clay-Silt- pb- pp-n-dg- δ g-OC-CCE	$PWP= 0.42-0.095 \rho_b -0.07 \rho_p$	PTF2
PTF2: تابع ارائه شده بدون به کارگیری بعد فرکتالی.	PTF1: تابع ارائه شده با به کارگیری بعد فرکتالی،	

جدول ۸: شاخص‌های آماری ارزیابی توابع انتقالی رگرسیونی ارائه شده برای برآورد میزان رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم (PWP)

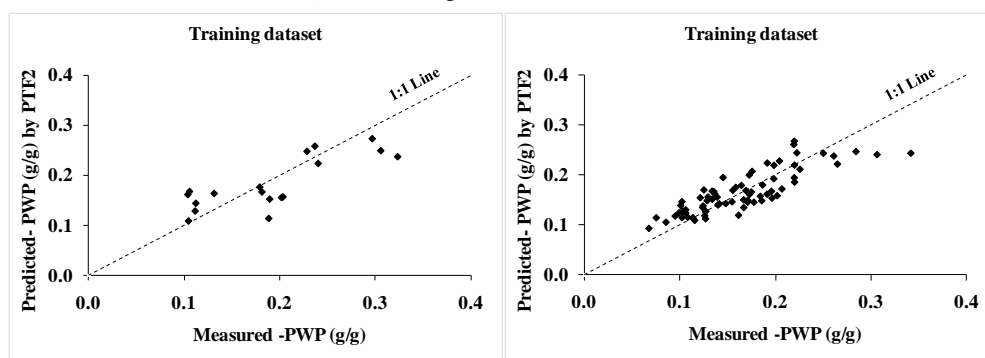
MGN	R^2	RMSE (mm)	ME (mm)	AIC	GMER	GSDER	تابع Function	داده Data
۱/۹۴ ^{ns}	۰/۷۶	۰/۰۳	۰/۰۲	-۴۱۲/۱۳	۰/۸۷	۱/۱۷	PTF1	آموزشی
	۰/۷۱	۰/۰۳	-۰/۰۰۱	-۴۳۶/۵۳	۱/۰۳	۱/۱۹	PTF2	Training set
۱/۹۳ ^{ns}	۰/۶۴	۰/۰۵	۰/۰۳	-۸۸/۱۸	۰/۸۴	۱/۳۱	PTF1	آزمونی
	۰/۶۴	۰/۰۴	۰/۰۱	-۹۶/۱۹	۰/۹۹	۱/۳	PTF2	Test st

ns: تفاوت غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

توصیف علائم آماره‌ها در زیر جدول ۵ آورده شده است.



الف) با به کار گیری ابعاد فرکتالی به عنوان تخمین گر



ب) بدون استفاده از ابعاد فرکتالی به عنوان تخمین گر

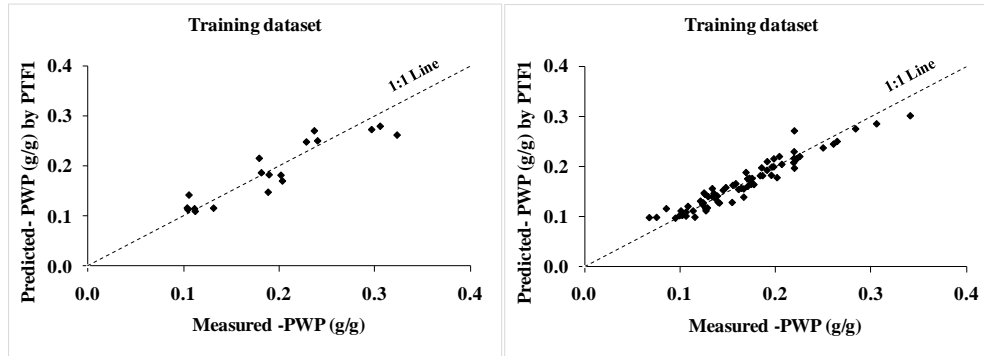
شکل ۳: مقادیر برآوردی در مقابل مقادیر اندازه گیری شده میزان رطوبت نقطه پژمردگی دائم به وسیله توابع رگرسیونی با به کار گیری (تابع ۱) و بدون به کار گیری (تابع ۲) ابعاد فرکتالی به عنوان تخمین گر

شبکه عصبی مصنوعی

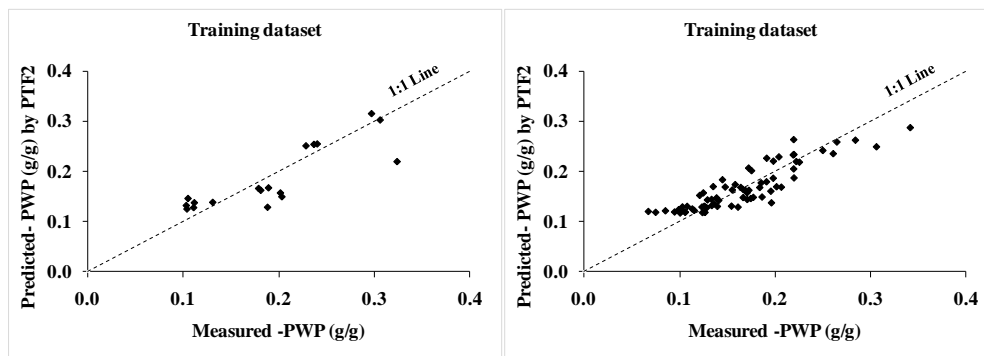
شبکه عصبی ایجاد شده تخمین رطوبت نقطه پژمردگی (PWP)، از نوع پیش خور تعمیم یافته^۱ با ساختار الگوریتم ۳ لایه با ۴ نرون در لایه پنهان و تابع فعال ساز سیگموئیدی است. در جدول ۹، آماره‌های ارزیابی تخمین ارائه شده در هر دو سری آزمون و آموزش آورده شده است. این جدول نشان می‌دهد که استفاده از بعد فرکتالی منافذ به افزایش دقت مدل ارائه شده منجر می‌شود. ضریب تبیین (R^2) تابع ۱ برای داده‌های سری آموزش و آزمون (به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۸۵) بیش از تابع ۲ (به ترتیب ۰/۷۹ و ۰/۷۲) می‌باشد. آماره ارزیابی GSDER و GMER در هر دو سری آموزش و آزمون مدل ۱ نسبت به مدل ۲ کمتر است که پخشیدگی کم و انطباق بالای برآوردی مدل ۱ نسبت به ۲ را نشان می‌دهد. آزمون MGN برای برآورد حاصل از این دو روش در داده‌های سری آموزش و آزمون در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است که بیانگر اختلاف معنی‌دار در دقت توابع فوق می‌باشد. در شکل ۴، مقدار اندازه‌گیری و برآورد شده‌ی PWP آورده شده است.

¹ Generalized feedforward

مقایسه توابع رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی در برآورد رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP) در این بخش به مقایسه‌ی توابع انتقالی شبکه عصبی مصنوعی و روش رگرسیونی در حالتی که از ابعاد فرکتال برای ایجاد توابع استفاده شده‌است، می‌پردازیم. به‌طور کلی، جدول ۱۰ نشان می‌دهد که استفاده از بعد فرکتالی در روش شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با روش رگرسیونی به افزایش دقت مدل ارائه شده منجر می‌شود.



الف) با به کار گیری ابعاد فرکتالی به عنوان تخمین‌گر



ب) بدون استفاده از ابعاد فرکتالی به عنوان تخمین‌گر

شکل ۴: مقادیر برآوردی در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده میزان رطوبت نقطه پژمردگی دائم به وسیله توابع شبکه عصبی مصنوعی با به کارگیری تابع ۱) و بدون به کارگیری (تابع ۲) ابعاد فرکتالی به عنوان تخمین‌گر

جدول ۹: شاخص‌های ارزیابی توابع انتقالی شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده برای برآورد شرایط رطوبتی نقطه پژمردگی دائم (pwp).

MGN	R2	RMSE (mm)	ME (mm)	AIC	GMER	GSDER	تابع Function	داده Data
۵/۸۶**	۰/۹۲	۰/۰۲	۰/۰۰۰۰۱	-۵۳۳/۶۷	۱	۱/۱۱	PTF1	آموزشی Training set
	۰/۷۹	۰/۰۲	-۰/۰۰۱	-۴۶۰/۳۱	۱/۰۳	۱/۱۸	PTF2	
۲/۱۵*	۰/۸۵	۰/۰۳	۰/۰۰۳	-۱۱۳/۱۲	۱	۱/۱۵	PTF1	آزمونی Test set
	۰/۷۲	۰/۰۴	۰/۰۱	-۱۰۱/۰۱	۰/۹۸	۱/۲۴	PTF2	

توصیف علائم آماره‌ها در زیر جدول ۵ آورده شده‌است. * معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

ضریب تبیین R^2 در روش شبکه عصبی مصنوعی در هر دو سری آموزش و آزمون بیش از روش رگرسیونی می-باشد، به علاوه RMSE و ME در هر دو سری آموزش و آزمون در روش شبکه عصبی نسبت به روش رگرسیونی کمتر است. معیار آکائیک در روش شبکه عصبی در هر دو سری آزمون و آموزش کمتر از روش رگرسیونی است که قدرت پیش‌بینی بیشتر روش شبکه عصبی مصنوعی را نسبت به روش رگرسیونی نشان می‌دهد. آماره ارزیابی GSDER و GMER در روش شبکه عصبی نسبت به روش رگرسیونی، به یک نزدیک‌تر است که پخشیدگی کم و انطباق بالای برآوری روش شبکه عصبی را نسبت به روش رگرسیونی نشان می‌دهد. آزمون MGN، برای برآورد حاصل از این دو روش در داده‌های سری آزمون و آموزش در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است که بیانگر معنی‌دار بودن تفاوت تخمین در معادلات فوق می‌باشد.

جدول ۱۰: شاخص‌های آماری توابع انتقالی ایجاد شده توسط توابع رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین PWP با به کارگیری ابعاد فرکتالی به عنوان متغیر مستقل در مدل‌سازی

MGN	R2	RMSE (mm)	ME (mm)	AIC	GMER	GSDER	تابع Function	داده Data
۸/۸۷**	۰/۷۶	۰/۰۳	۰/۰۲	-۴۱۲/۱۳	۰/۸۷	۱/۱۷	Regression-PTF	سری آموزشی
	۰/۹۲	۰/۰۲	۰/۰۰۰۰۱	-۵۳۳/۶۷	۱/۰۱	۱/۱۱	ANN-PTF	Training set
۴/۱۸**	۰/۶۴	۰/۰۵	۰/۰۳	-۸۸/۱۸	۰/۸۴	۱/۳۱	Regression- PTF	سری آزمون
	۰/۸۵	۰/۰۳	۰/۰۰۳	-۱۱۳/۱۲	۱	۱/۱۵	ANN- PTF	Test set

توصیف علائم آماره‌ها در زیر جدول ۵ آورده شده است. **: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که توابع شبکه عصبی مصنوعی، صحت و دقت بیشتری نسبت به توابع رگرسیونی دارد. همچنین افزودن پارامترهای فرکتالی (ذرات اولیه‌ی خاک، خاکدانه و منافذ خاک) در کنار سایر متغیرهای زودیافت به توابع شبکه عصبی مصنوعی، به افزایش دقت و صحت اغلب توابع انتقالی ارائه شده برای برآورد FC و PWP منجر می‌شود؛ اما کاربرد این ویژگی‌ها در طراحی توابع انتقالی رگرسیونی، افزایش دقت و قابلیت اعتماد توابع را در پی نداشته است. بنابراین، توصیه می‌شود از پارامترهای فرکتال به عنوان برآوردکننده‌ی FC و PWP در مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی بهره‌گیری شود.

منابع

- Ahmadi, A., 2010. Artificial neural network applicability in erosion and runoff simulation using fractal dimensions, Ph.D. Thesis in Field of Study Soil Physics and Soil Conservation, Tabriz University, 197page (In Persian).
- Ahmadi, A.; Aghababparvin, M.; Bandeh Hagh, A.; & M. E. Sadeghzadeh, 2016. Temporal Variations of Runoff and Sediment Generation during the Growing Season in Rain-Fed Lentil: A Case Study in Tikmehdash Region of Eastern Azerbaijan, *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, 6, 91-104 (In Persian).
- Amir Abedi, H.; Asghari, Sh.; Mesri Gandoshmin, T.; & F. Keivan Behjo, 2013. Estimating of Field Capacity, Permanent Wilting and Available Water Content in Ardabil Plain Soils

- using Regression and Artificial Neural Network Models, *J Soil Applied Research*, 1(1), 60-72 (In Persian).
4. Asghari, Sh.; Dizajghoorbani Aghdam, S.; & A. Esmali Ouri, 2015. Investigation the spatial variability of some soil physical quality indices in Fandoghlu region of Ardabil using geostatistics, *Water and Soil*, 28(6), 1271- 1383 (In Persian).
 5. Baiburdi, M., 1992. Soil physics, Tehran Univ, Press, 671page (In Persian).
 6. Bayat, H.; Neyshaburi, M. R.; Mohammadi, K.; Nariman-Zadeh, N.; Irannejad, M.; & A. S. Gregory, 2013. Combination of artificial neural networks and fractal theory to predict soil water retention curve, *Computers and Electronics in Agriculture*, 92, 92-103.
 7. Blake, G. R., & K. H. Hartge., (1986a). Bulk Density. In A. Klute (ed). Methods of Soil Analysis, Part 1- Physical and Mineralogical Methods. *Soil Science Society of American Inc., Madison, WI*, 363-375p.
 8. Blake, G. R., & K. H. Hartge., (1986b). Particle Density. In A. Klute (ed). Methods of Soil Analysis. Part 1- Physical and Mineralogical Methods. *Soil Science Society of American Inc., Madison, WI*, 377-382p.
 9. Borgesen, C. D., & M. G. Schaap., (2005). Point and parameter pedotransfer functions for water retention predictions for Danish soils. *Geoderma*. 127, 154-167.
 10. Campbell, G. S., 1985. Soil Physics with Basic: Transport Models for Soil-Plant System. Elsevier, New York, 150p.
 11. Dashtaki, S. G.; Homae, M.; & H. Khodaverdiloo, 2010. Derivation and validation of pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a variety of soil data, *Soil Use and Management*, 26(1), 68-74.
 12. De Gennes, P. G., 1985. Partial filling of a fractal structure by a wetting fluid. In Adler D, Fritzsche H, Ovshinsky SR (eds.) Physics of Disordered Materials, Plenum Press, New York, pp: 227-241.
 13. Diebold, F. X., & R. S. Mariano., (2002). Comparing predictive accuracy. *Business & Economic Statistics*. 20, 134-144.
 14. Gee, G. W., & D. Or., (2002). Particle-size analysis. In: Dane, J.H., Topp, G.C. (eds.), Methods of Soil Analysis, Part 4, Soil Science Society of American Inc. Book Series No. 5. Madison, WI, pp: 255-293.
 15. Hillel, D., 2004. Introduction to Environmental Soil Physics, Elsevier Academic Press, 494 page.
 16. Janzen, H. H., 1993. Soluble salts. In: Carter, M.R. (ed.), Soil Sampling and Methods of Analysis, pp 161-166.
 17. Mosaddeghi, M. R., & 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(4), 327-342.
 18. Myrkhany, R., & H. Khodaverdiloo., (2006). The impact Average and Geometric standard deviation soil texture At Estimated Coefficients soil moisture. *Soil and Water Sciences*. 20(1), 54-63 (In Persian).
 19. Perfect, E., & B. D. Kay., (1991). Fractal theory applied to soil aggregation. *Soil Science Society of American Journal*. 55, 1522-1558.

20. Walkley, A., & I. A. Black., (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37(1), 29-38.
21. Yang, P. L.; Luo, Y. P.; & Y. C. Shi, 1993. Soil fractal character taken by particle- mass distribution, *Science Bulletin Journal*, 38, 1896-1899.

Pedotransfer functions for estimating soil moisture content using fractal parameters in Ardabil province

Abbas Ahmadi¹: *Associated Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran*

Mojtaba Alimohammadi: *Former M.Sc. Student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resource, University of Mohaghegh Ardabili, Iran*

Shokerollah Asghari: *Associated Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resource, University of Mohaghegh Ardabili, Iran*

Article History (Received: 2019/06/09

Accepted: 2019/11/27)

Extended abstract

1- Introduction

Soil moisture curve is an important characteristic of soil and its measurement is necessary for determining soil available water content for plant, evapotranspiration and irrigation planning. Direct measurements of soil moisture coefficients are time-consuming and costly. But it is possible to estimate these characteristics from readily available soil properties. The purposes of this study were: 1) development of pedotransfer functions (PTFs) for estimating of soil moisture content at field capacity (FC) and permanent wilting point (PWP) conditions by artificial neural networks system (ANN) and multivariate regression method and 2) investigation effects of using soil primary particles, aggregates and porosity fractal dimensions as a predictor for increasing the accuracy and reliability of these PTFs.

2- Methodology

For this reason, 90 soil samples from three regions (Agricultural land of the Ardabil plain, Forest of the Fandoglo and Rangelands of the Sareyn, which were located in Ardabil province) were collected in random design sampling method. Then FC and PWP coefficients of these soils were measured using pressure plates apparatus. As well as, some readily available properties of soils such as fractal dimensions (primary particles, aggregates, and soil pores), texture, bulk density and particles density, porosity, organic carbon and calcium carbonate equivalent (CCE) were determined by routine laboratory method. Then data were divided into two datasets randomly: Training dataset (including 72 soil samples) and test dataset (including 18 soil samples). Regression-PTFs for estimating FC and PWP were developed once by using and once without using of the fractal dimension of primary particles (D_s), the fractal dimension of aggregates (D_f) and fractal dimensions of soil pores (D_v) as independent variables. The predictors of Regression-PTFs once again were used for development of the ANNs-PTFs. Therefor two PTFs were developed for predicting each dependent variable (FC and PWP). Statistical and Neurosolution softwares were used for development of the Regression-PTFs and ANN-PTFs, respectively. Finally, the accuracy and reliability of PTFs were investigated.

3- Results & Discussion

Results showed that FC has a positive significant correlation with soil silt ($r= 0.52^{**}$) and organic carbon content ($r= 0.86^{**}$), and a negative significant correlation with sand ($r= -0.50^{**}$), CCE ($r= -0.74^{**}$), bulk density ($r= -0.64^{**}$), particles density ($r= -0.79^{**}$) and D_f ($r= -0.47^{**}$). As well as, there are positive significant correlation between PWP and other soil properties such as soil silt ($r= 0.48^{**}$) and organic carbon content ($r= 0.77^{**}$), and negative significant correlation with sand ($r= -0.50^{**}$), CCE ($r= -0.74^{**}$), bulk density ($r= -0.70^{**}$), particles density ($r= -0.80^{**}$) and D_f ($r= -0.52^{**}$). Results also showed that there is a positive significant correlation between FC and PWP ($r= 0.84^{**}$). When fractal dimensions used as independent variables for estimating of FC, three variables (bulk density

¹ Corresponding Author: a_ahmadi@tabrizu.ac.ir

(ρ_b), particles density (ρ_p), and fractal dimension of soil pores (D_s)) included as a predictor in PTFs and these predictors could explain 80% and 98% of variation of FC, at Regression- and ANN-PTFs, respectively. But when fractal dimensions didn't used in modeling, PTFs was developed with four predictors (ρ_b , ρ_p , d_g and σ_g) and these predictors could explain 81% and 92% of the variation of FC, at Regression- and ANN-PTFs, respectively. Results also showed that there were no significant differences between the Regression- and ANN-PTF which achieved for the estimation of FC values. As well as, Regression-PTF by using fractal dimensions as independent variables for the estimation of PWP was developed with three predictors (ρ_b , ρ_p and D_s) and these predictors could explain 76% and 92% of the variation of PWP, at Regression- and ANN-PTFs, respectively. But when fractal dimensions weren't used as independent variables, PTFs was developed with two predictors (ρ_b and ρ_p), and these predictors could explain 71% and 85% of the variation of PWP, at Regression- and ANN-PTFs, respectively. Results of the investigation of accuracy and reliability of the PTFs showed that when fractal dimensions used as independent variables for estimating of PWP, only the accuracy and reliability of the ANN-PTF was increased.

4- Conclusions

ANN-PTFs were more accurate than Regression-PTFs. When fractal dimensions of soil primary particles, aggregates, and pores were used as independent variables in modeling for the prediction of FC and PWP, only the fractal dimension of soil pores included as a predictor and increased the accuracy of ANN-PTFs, but it could not increase the accuracy of Regression-PTFs.

Key Words: Field capacity; Fractal dimensions; Soil pedotransfer functions; Soil pores.