ارزیابی کاربردی توابع انتقالی پارامتریک در برآورد رطوبت در برخی خاک‌های آهکی

حبیب خداوردی‌لو[1*]، شجاع قربانی دشتکی[2]، زهرا نریمانی[1] و المیرا شهنازی[1]

1- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه.کدپستی 165-57135

2- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

*email: h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir

چکیده

توابع انتقالی پارامتریک عموماً ضرایب تبیین (R^2) پایینی دارند که موجب می‌شود کاربران در استفاده از آنها تردید نمایند. با این حال، اگر دقت و اعتبار این توابع از جنبه برآورد منحنی رطوبتی به‌جای برآورد جداگانه‌ی هر یک از پارامترها ارزیابی گردد، نتایجی متفاوت از دقت و یا اعتبار خود توابع پارامتریک حاصل می‌شود. هدف از این مطالعه ایجاد توابع پارامتریک و ارزیابی کاربردی این توابع بود. بیشینه R^2 در توابع پی‌ریزی‌شده، 0/53 برای q_s بود. بااین وجود نتایج ارزیابی کاربردی این توابع نشان داد چنانچه هدف از ایجاد توابع انتقالی پارامتریک، برآورد رطوبت خاک باشد بهتر است دقت و اعتبار این توابع را از جنبه مقدار رطوبت برآورد شده و نه مقدار برآورد شده پارامترها ارزیابی نمود.

کلمات کلیدی: توابع انتقالی پارامتریک، منحنی رطوبتی خاک، خاک آهکی.

مقدمه

وقت‌گیر و پرهزینه بودن اندازه‌گیری مستقیم منحنی رطوبتی و همچنین اهمیت آن در تعیین شماری دیگر از ویژگی-های خاک (مانند توزیع اندازه منافذ، ساختمان خاک، هدایت هیدرولیکی و حل معادلات جریان آب در حالت غیراشباع)، استفاده از روشهای غیرمستقیم در برآورد این ویژگی را ضروری ساخته است. مدل‌هایی گوناگون از جمله مدل بروکس – کوری و مدل وان‌گنوختن برای بیان کمّی و پیوسته منحنی رطوبتی خاک وجود دارند. همهٔ این مدلها با پارامترهایی تعریف می‌شوند که مقدار آنها می‌بایست از راه آزمون و با برازش داده‌های اندازه‌گیری شده منحنی رطوبتی بر مدل مورد نظر به دست آید. به دست آوردن مستقیم این پارامترها برای هر منطقه نیز مستلزم صرف وقت و هزینهٔ فراوان است. به دلیل وابستگی رطوبت خاک و یا پارامترهای مدل‌های تجربی- نظری مربوط به منحنی رطوبتی به دیگر ویژگی‌ها خاک مانند ساختمان خاک، بافت خاک، فشردگی، تخلخل وغیره انتظار می‌رود که بتوان منحنی رطوبتی و یا پارامترهای معادلات فوق را بوسیلهٔ زود یافت خاک، مانند فراوانی نسبی ذرات، درصد مواد آلی، جرم ویژهٔ ظاهری و کربنات‌کلسیم معادل و غیره که اندازه‌گیری آنها کم هزینه‌تر و سریع‌تر بوده و در مطالعات خاکشناسی رایج هستند به دست آورد. در این راستا تلاش‌هایی فراوان صورت گرفته که نتایج حاصل از آنها در بسیاری از موارد رضایت بخش بوده است (برای مثال مایر و یارویس، 1999).

توابع انتقالی خاک (PTF)، توابعی رگرسیونی هستند که ویژگی‌های زودیافت خاک مانند داده‌های بافت و ساختمان خاک و میزان مواد آلی را به خصوصیات دیریافت خاک مانند ویژگی‌های هیدرولیکی تبدیل می‌کنند (لارسون و پیرس، 1991). تفاوت بین PTFها منجر به تقسیم آنها به دو گروه کلّی PTFهای کلاسی و PTFهای پیوسته شده

است.PTFهای کلاسی مقادیر میانگین و تقریبی از ویژگی‌های و پارامترهای دیریافت برای کلاسهای بافتی ویژه ارایه می‌دهند. از آنجاکه، این PTFها، منحنی میانگینی را برای گروه‌های خاک ارایه می‌دهند، نمی‌بایست به اشتباه از آنها جهت برآورد ویژگیهای هیدرولیکی برای نقاطی ویژه استفاده کرد. PTFهای پیوسته ویژگی‌های خاک مانند فراوانی نسبی ذرات، درصد مواد آلی و جرم ویژهٔ ظاهری خاک را به عنوان متغیرهای رگرسیونی در نظر می‌گیرند و ممکن است برای برآورد هر نقطهٔ دلخواه از روابط θ-h-K یا پارامترهای موجود در مدلهای مربوط به این روابط به کار روند.
PTFهای کلاسی و پیوسته را می‌توان به دو گروه توابع انتقالی نقطه‌ای و پارامتریک تقسیم کرد. توابع انتقالی نقطه‌ای مقدار رطوبت در یک پتانسیل یا مقدار هدایت هیدرولیکی در یک رطوبت را برآورد می‌کنند. توابع انتقالی پارامتریک بر پایهٔ این فرض بنا گردیده‌اند که روابط $\theta(h)$ و یا $K(\theta)$ را می‌توان با استفاده از معادلات تجربی- تئوریکی یا معادلات بسته به گونه‌ای مناسب توضیح داد. با این توابع می‌توان پارامترهای ناشناختهٔ معادلات منحنی رطوبتی و هدایت هیدرولیکی را به ویژگی‌های چند از خاک ارتباط داد و با انتقال روابط بدست آمده به معادلات ذکر شده مقادیر θ یا K را در هر مقدار از h یا θ به دست آورد. این روش در مدل‌سازی انتقال آب و املاح در خاک ترجیح داده می‌شود، زیرا نتایج به دست آمده از آن بر خلاف روش قبلی، تابعی پیوسته از روابط $\theta(h)$ و یا $K(\theta)$ می‌باشد (بوما، 1989؛ وستن، 1997). توابع انتقالی پارامتریک عموماً توابعی ضعیف (با R^2 پایین) هستند که موجب می‌شود کاربران در استفاده از آنها تردید نمایند. با این حال، برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهند که اگر دقت و اعتبار این توابع از جنبه رطوبت‌های برآورد شده از طریق استفاده از این توابع (که خواسته اصلی کاربران است) ارزیابی گردد نتایجی متفاوت از دقت و یا اعتبار خود توابع پارامتریک حاصل می‌شود (برای نمونه، اسخاپ و همکاران، 2004).
هدف از این مطالعه ایجاد توابع انتقالی پارامتریک برای برخی خاک‌های آهکی و بررسی دقت منحنی رطوبتی برآورد شده این خاک‌ها پس از قرار دادن این توابع پارامتریک در مدل منحنی رطوبتی مورد استفاده بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های منحنی رطوبتی (مقدار رطوبت حجمی در پتانسیل‌های ماتریک 0، 100-، 330-، 1000-، 3000-، 5000- و 15000- سانتی‌متر آب) و ویژگی‌های زودیافت (درصد ذرات شن، سیلت و رس، میانگین هندسی و انحراف معیار هندسی قطر ذرات، جرم ویژه ظاهری، کربنات کلسیم معادل) 275 نمونه خاک استفاده شد. شرح مشخصات این خاک‌ها و روش‌های اندازه‌گیری توسط خداوردی‌لو و همکاران (2011) آمده است. داده‌های 220 نمونه خاک برای ایجاد مدل‌ها و 55 نمونه برای ارزیابی اعتبار مدل‌ها به‌کار رفت.
برای بیان کمّی و پیوسته منحنی رطوبتی خاک از مدل ون‌گنوختن (1980) استفاده شد:

$$q(h) = q_r + \frac{q_s - q_r}{\left(1 + |a\,h|^n\right)^{1-1/n}} \qquad (1)$$

که در آن q_r q_s به ترتیب بیانگر مقادیر رطوبت‌های باقیمانده و اشباع و α ، n پارامترهایی تجربی هستند که شکل منحنی رطوبتی را مشخص می‌کنند. پارامتر α (cm^{-1}) تقریباً معادل عکس بار فشار در نقطهٔ ورود هوا به خاک است، یعنی جایی که $d\theta/dh$ بیشترین مقدار خود را داراست. پارامتر بدون بعد n پارامتر شکل منحنی رطوبتی است که از برازش معادلهٔ منحنی رطوبتی به داده‌ها بدست می‌آید.
پارامترهای مدل فوق با برازش مدل ون‌گنوختن بر داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت خاک در مکش‌های مختلف با استفاده از برنامه RETC تعیین گردید. این برنامه به گونه‌ای غیرخطی و به روش حداقل مربعات خطا مقادیر بهینه‌ی پارامترهای معادله را تعیین می‌نماید. پس از بررسی نرمال بودن توزیع مقادیر پارامترهای منحنی رطوبتی و همبستگی

بین متغیرهای ورودی (برای جلوگیری از همراستایی خطی چندگانه)، با استفاده از رگرسیون گام به گام اقدام به ایجاد توابع انتقالی گردید. به‌منظور آزمون همراستایی چندگانه و بررسی باقیمانده‌های در توابع پی‌ریزی‌شده از آماره‌های VIF و Durbin-Watson (DW) استفاده شد. سپس، توابع رگرسیونی ایجاد شده برای پارامترهای منحنی رطوبتی در مدل وان‌گنوختن جایگذاری شد و رطوبت خاک در همان مکش‌هایی که قبلاً اندازه‌گیری شده بود، برآورد گردید. این مقادیر برآورد شده با مقادیر حاصل از برازش مدل وان‌گنوختن بر داده‌های منحنی رطوبتی مقایسه شد. بدین‌منظور از آماره‌های R^2 و $RMSE$ استفاده گردید.

نتایج و بحث

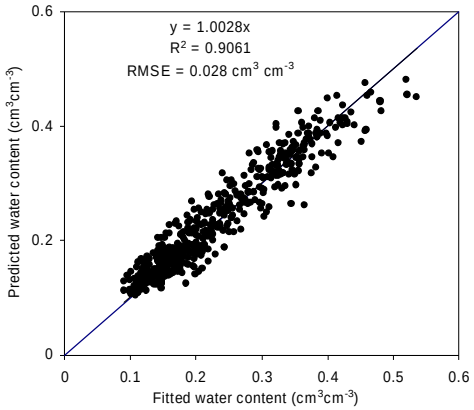
جدول 1 توابع انتقالی پارامتریک اشتقاق یافته برای برآورد پارامترهای مدل منحنی رطوبتی وان‌گنوختن را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این جدول توابع ایجاد شده به ویژه برای پارامترهای q_r n از نظر مقدار ضریب R^2_{adj} توابعی ضعیف هستند. (آیا ضرایب به‌دست آمده برای پارامتر n معنی‌دار بود؟) این نتایج با یافته‌های سایر پژوهشگران از جمله قربانی دشتکی و همکاران (2010) و خداوردی‌لو و همکاران (2011) نیز هم‌خوانی دارد.

جدول 1- توابع انتقالی پارامتریک اشتقاق یافته برای برآورد پارامترهای مدل منحنی رطوبتی وان‌گنوختن به همراه مقادیر ضریب تبیین تصحیح شده (R^2_{adj})، جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE$)، فاکتور تورم واریانس (VIF) و آماره دوربین-واتسون (DW)

توابع انتقالی اشتقاق یافته	R^2_{adj} ($RMSE$)	VIF	DW
$q_s = 0.244 + 0.00318\ (Si \times \rho_b) - 0.00359\ CCE$¶	0.53 (0.029)	1.0	2.3
$q_r = 0.0717 + 6.69 \times 10^{-5}\ (\delta_g / d_g)$	0.16 (0.028)	-	1.51
$\ln(a) = -5.28 + 0.837\ (\delta_g / CCE)$	0.34 (0.097)	-	1.79
$\ln(n) = 0.130 + 1.89\ (\rho_b / \delta_g) + 0.0601 (d_g \times CCE)$	0.05 (0.045)	1.0	1.88

¶ d_g و δ_g به ترتیب میانگین هندسی (mm) و انحراف معیار هندسی (-) قطر ذرات، Si، ρ_b و CCE به ترتیب درصد سیلت، جرم ویژه ظاهری خاک ($g\ cm^{-3}$) و درصد کربنات کلسیم معادل.

شکل 1 منحنی رطوبتی خاک حاصل از برازش داده‌های اندازه‌گیری شده بر معادله وان‌گنوختن و مقادیر برآورد شده از طریق جایگذاری توابع انتقالی پارامتریک موجود در جدول 1 در معادله وان‌گنوختن و محاسبه رطوبت خاک در نقاط پتانسیلی مختلف -که قبلاً رطوبت خاک در آنها اندازه‌گیری شده بود- را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود علیرغم دقت پایین توابع پارامتریک ایجاد شده (جدول 1)، رطوبت‌های برآورد شده با استفاده از این توابع دقت بسیار مطلوبی دارند (شکل 1). این نتایج با یافته‌های اسخاپ و همکاران (2004) هم‌خوانی دارد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد چنانچه هدف از ایجاد توابع انتقالی پارامتریک، برآورد رطوبت خاک باشد بهتر است دقت و اعتبار این توابع را از جنبه مقدار رطوبت برآورد شده و نه مقدار برآورد شده خود پارامتر ارزیابی نمود.



شکل 1- مقایسه منحنی رطوبتی خاک حاصل از برازش داده‌های اندازه‌گیری شده بر معادله وان‌گنـوختن (محـور x) و مقادیر برآورد شده از طریق جایگذاری توابع انتقالی پارامتریک در معادله وان‌گنوختن و محاسبه رطوبت خاک (محـور y). خط مورب نشان دهنده قطر 1:1 است.

نتیجه‌گیری

نحوه‌ی ارزیابی توابع انتقالی خاک به چگونگی استفاده از این توابع وابسته است. نتایج این پژوهش نشان داد که چنانچه هدف از ایجاد و کاربرد توابع انتقالی پارامتریک، برآورد رطوبت خاک باشد بهتر است دقت و اعتبار این توابع را از جنبه مقدار رطوبت برآورد شده و نه مقدار برآورد شده خود پارامتر ارزیابی نمود.

منابع

Bouma, J. 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. Adv. Soil Sci. Soc. Am. J. 9: 177-213 .

Ghorbani Dashtaki, S., M. Homaee, and 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.

Khodaverdiloo, H., M. Homaee, M. Th. van Genuchten, and Sh. Ghorbani Dashtaki. 2011. Deriving and Validating Pedotransfer Functions for some Calcareous Soils. Journal of Hydrology. In Press.

Larson, W. E. and F. J. Pierce. 1991. Conservation and enhancement of soil qualify. In: Evaluation for sustainable landn management in the developing world Vol.2: Technical papers. Bangkok, Thailand: International Board for Soil Research and Management. IBSRAM proceeding No. 12(2). pp:175-204 .

Mayer, T. and N. J. Jarvis. 1999. Pedotransfer functions to estimate soil water retention parameters for modified Brooks-Corey type model. Geoderma. 91: 1-9.

Schaap, M. G., A. Nemes, and M. Th. van Genuchten. 2004. Comparison of Models for Indirect Estimation of Water Retention and Available Water in Surface Soils. Vadose Zone Journal. 3:1455-1463.

van Genuchten, M. Th. 1980. A closed- form equation for predicting the hydraulic conductivity of soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892- 898.

Wosten, J. H. M. 1997. Pedotransfer functions to evaluation soil quality. In: Gregorich, E. G. and M. R. Carter (Eds). Soil quality for crop production and ecosystem health. Soil Sci. 25.