

اصلاح روش خطی تعیین پارامتر عامل مقیاس جهت تخمین منحنی مشخصه رطوبتی خاک

حامد سبزی¹، محمد بزانه²، حسین رضایی³، جواد بهمنش⁴، قادر شیرین زاده⁵

تاریخ دریافت: 90/02/06 تاریخ پذیرش: 91/01/27

¹- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

²- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز

³ و ⁴ - استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

⁵- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

E-mail: h.sabzchi.d@gmail.com: مسئول مکاتبه

چکیده

منحنی مشخصه آب خاک نقش مهمی در علوم مربوط به آب و خاک دارد و روش‌های آزمایشگاهی برآورد آن گران و همراه با خطا است. بنابراین بسیاری از محققان منحنی رطوبتی خاک را مدل سازی کرده‌اند. یکی از این روش‌ها بر اساس تشابه منحنی دانه‌بندی و منحنی مشخصه آب خاک بنا نهاده شده‌است که در سال 1981 توسط آریا و پاریس ارائه گردید. مهمترین پارامتر این مدل، پارامتر عامل مقیاس (α) نام دارد که برای هر نوع بافت خاک مقداری ثابت در نظر گرفته شده و یا از روش‌های خطی و لوجستیک محاسبه می‌گردد. هدف از این پژوهش توسعه یک راهکار جهت اصلاح روش خطی در برآورد پارامتر α می‌باشد. در این تحقیق به جای استفاده از برازش یک خط در روش آریا و پاریس، سه خط برازش داده شده مورد استفاده قرار گرفت. در این راستا مقادیر مکش به سه کلاس 0-100، 100-1000 و بزرگتر از 1000 سانتی‌متر طبقه‌بندی و برای هر کلاس یک خط برازش داده شد. در این تحقیق داده‌های پایگاه اطلاعاتی UNSODA برای پنج بافت شن، لوم شن، لوم، سیلت لوم و رس مورد استفاده گرفت. برای مقایسه روش پیشنهادی با روش ارائه شده توسط آریا و همکاران، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بین رطوبت‌های تخمینی و تجربی محاسبه گردید. مقایسه روش خطی و روش خطی اصلاح شده نشان داد که RMSE کاهش یافت. حداقل و حداکثر کاهش بر اساس نوع بافت خاک به ترتیب 0/09 و 1/743 متر مکعب بر متر مکعب بود. این کاهش در مقایسه روش‌های خطی اصلاح شده و لوجستیک تکرار گردید و حداقل و حداکثر کاهش به ترتیب به 0/108 و 1/366 متر مکعب بر متر مکعب رسید. دلیل این کاهش برآورد دقیق‌تر ناحیه مربوط به مکش‌های متوسط و زیاد در روش خطی اصلاح شده بود.

واژه‌های کلیدی: پارامتر عامل مقیاس، روش آریا و پاریس، روش خطی اصلاح شده، منحنی مشخصه آب خاک

Modification of the linear method to determine the scaling parameter for estimating soil water retention curve

H Sabzchi¹, M Bazzaneh², H Rezai³, J Behmanesh⁴, Gh Shirinzadeh⁵

Received: 26 April 2011 Accepted: 15 April 2012

¹MSc Student, Irrig. and Drain., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Urmia, Iran

²MSc Student, Irrig. and Drain., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

^{3,4}Assist. Prof., Irrig. and Drain., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Urmia, Iran

⁵Former MSc Student in Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tarbiat Modarres, Iran

Corresponding author E-mail: sabzchi.d@gmail.com

Abstract

Soil water retention curve plays an important role in water and soil sciences and laboratory methods of its determination are expensive and time consuming. Therefore many researchers have modeled the soil water retention curve. One of these models based on the similarity between soil particle size distribution curve and soil water retention curve has been presented by Arya and Paris. The most important parameter of this model is called scaling parameter which can be assumed as a constant value for any soil texture or can be determined by linear and logistic methods. The goal of this research is to develop a solution for the improvement of the linear method in determining of scaling parameter (α). This improvement yields more accurate determination of soil water retention curve. In the present research, instead of one linear fit used in the Arya and Paris method, three linear fits were utilized. In this direction, pressure heads were divided into three classes of 0-100, 100-1000 and more than 1000 cm and for each class one line was fitted. In this research, according to Arya and Paris studies, UNSODA data were used for five soil textures which included sand, sandy loam, loam, loam silt and clay. For comparison of the proposed methods with the two methods proposed by Arya and Paris, the root mean square error (RMSE) was calculated. Comparing of the linear and improved methods showed reductions in RMSE values. The minimum and maximum reductions of RMSE dependent on the soil texture were 0.09 and 1.793, respectively. These reductions were repeated in comparing of the logistic and improved linear methods and the minimum and maximum reductions were 0.108 and 1.366, respectively. The reason of these reductions in the improved linear method is the accurate determination of the soil water retention curve in the moderate and high head pressures.

Key words: Arya and Paris method, Modified linear method, Scaling parameter, Soil water retention curve

مقدمه

تعداد ذرات کروی متعاقبا شعاع حفرات و حجم حفرات خاک محاسبه می‌شود که توسط رابطه صعود مؤینگی این شعاع به مکش تبدیل می‌گردد. نکته اینجاست که در نظر گرفتن یک ساختمان منظم مکعبی برای خاک دانه‌ها نمی‌تواند الگوی مناسبی باشد برای آنچه که در طبیعت وجود دارد. بنابراین آریا و پاریس (1981) از پارامتری به نام پارامتر عامل مقیاس (α) برای تبدیل آرایش منظم (تئوریک) به حالت طبیعی آن استفاده کردند و مقدار آن را برای کلیه خاک‌ها $1/38$ توجیه کردند. چندی بعد آریا و همکاران (1999) در تحقیق خود اذعان کردند که نه تنها میزان α برای خاک‌های مختلف متفاوت است، بلکه در هر قسمت از منحنی دانه‌بندی برای هر نوع از بافت خاک نیز باید از روش خطی و یا لوجستیک برآورد شود. چرا که حتی در نظر گرفتن یک α ثابت برای یک بافت منحصر به فرد نتایج قابل قبولی ارائه نمی‌دهد. از بین روش‌های خطی و لوجستیک فولادمند و همکاران (1383) روش خطی را برای بافت‌های رس، رس سیلتی و لوم رسی و روش لوجستیک را برای بافت‌های لوم و لوم شنی در منطقه مورد مطالعه خود پیشنهاد کردند. خوشنود یزدی و قهرمان (1383) برای تخمین پارامتر عامل مقیاس در خاک‌های مناطق آمل، بابل و کرج با استفاده از رگرسیون خطی یک معادله برازش دادند و نتایج آن را با مقادیر حاصل از یک مقدار ثابت $\alpha=1/38$ مقایسه کردند. هدف از پژوهش حاضر اصلاح روش خطی آریا و همکاران (1999) در تخمین پارامتر α و در نتیجه برآورد دقیق‌تر منحنی مشخصه آب خاک برای پنج بافت شن، لوم شنی، لوم، سیلت لوم و رس می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نظر به این که آریا و همکاران (1999) در تحقیق خود از داده‌های پایگاه اطلاعاتی ¹ UNSODA (1996)

منحنی مشخصه آب خاک بیانگر ارتباط بین پتانسیل ماتریک و ظرفیت رطوبتی خاک و در نتیجه تعیین کننده ظرفیت خاک برای ذخیره آب جهت رشد گیاه است که این امر یکی از مهمترین ویژگی‌های هر نوع بافت خاک در علوم مربوط به آبیاری و زهکشی می‌باشد. از آنجا که روش‌های متداول آزمایشگاهی جهت تعیین منحنی مشخصه آب خاک وقت‌گیر و همراه با خطا است از این رو پژوهشگران تاکنون مدل‌های مختلفی جهت تخمین این منحنی ارائه کرده‌اند. از این جمله می‌توان به روش‌های تجربی ارائه شده توسط بروکس و کوری (1964)، کمپل (1974)، ونگنوختن (1980) و هاتسون کاس (1987) اشاره نمود. یکی از اساسی‌ترین تفاوت مدل‌های ارائه شده صرف نظر از دقت آنها، آن دسته از پارامترهایی است که به عنوان ورودی هر مدل بشمار می‌روند و در عمل تعیین کننده گستره و یا محدودیت کاربرد آن روش می‌باشند. همچنین برآورد ضرایب هر یک از این مدل‌ها امریست که خود نیازمند تحقیقات بیشتری است. در این راستا قنبریان و همکاران (2010) به بررسی روش‌های تخمین ضرایب مدل ونگنوختن به کمک تئوری شبکه‌های عصبی و تئوری فرکتالی پرداخته‌اند.

یکی دیگر از مدل‌های تخمین منحنی مشخصه آب خاک که به طور اساسی با مدل‌های مذکور متفاوت است روش ارائه شده توسط آریا و پاریس (1981) می‌باشد. تشابه ظاهری دانه‌بندی خاک و منحنی مشخصه آب خاک این محققین را بر آن داشت که با ارائه روشی بتوانند از منحنی دانه‌بندی هر خاک، منحنی مشخصه آب خاک آن را برآورد نمایند. در این روش منحنی دانه‌بندی خاک به قسمت‌های مختلفی بر اساس قطر ذرات خاک تقسیم می‌شود. تعداد ذرات کروی برای هر قسمت با در نظر گرفتن یک شبکه منظم مکعبی برای ساختمان خاک قابل محاسبه است. با بدست آوردن

¹ Unsaturated Soil Database

با فرض آنکه ذرات خاک کروی شکل و دارای ساختمان منظم مکعبی می‌باشند، تعداد ذرات کروی برای هر قسمت (n_i) از رابطه 4 حاصل می‌شود.

$$n_i = \frac{3w_i}{4\pi R_i^3 \rho_s} \quad [4]$$

همچنین طول کل خلل و فرج در α امین قسمت منحنی دانه‌بندی (L_i) از رابطه 5 بدست می‌آید.

$$L_i = 2 R_i n_i \quad [5]$$

بنابراین میتوان حجم منافذ در هر کلاس اندازه را به صورت زیر نوشت.

$$V_{V_i} = \pi r_i^2 L_i \quad [6]$$

که در آن r_i : میانگین اندازه شعاع خلل و فرج در α امین قسمت منحنی دانه‌بندی می‌باشد. با ادغام روابط 2، 5 و 6 رابطه زیر بین شعاع حفرات با شعاع ذرات برقرار می‌شود.

$$r_i = 0.816 R_i \sqrt{e} \quad [7]$$

چون در طبیعت ساختمان ذرات به صورت منظم نمی‌باشد، بنابراین طول واقعی حفرات به دلیل اعوجاج مسیر بیشتر از آن چیزی است که در تئوری محاسبه گذشته است. برای لحاظ این امر آریا و پاریس (1981) رابطه 7 را به صورت زیر اصلاح کردند.

$$r_i = 0.816 R_i \sqrt{en_i^{(1-\alpha)}} \quad [8]$$

که در آن α : پارامتر عامل مقیاس نامیده شد و مقدار آن بزرگتر از یک است و به روش خطی و یا لوجستیک تعیین می‌گردد.

با بدست آمدن میانگین شعاع حفرات در هر کلاس α ام، مکش آب در همان کلاس (h_i) از رابطه 9 بدست می‌آید.

استفاده کرده بودند، در این پژوهش نیز از اطلاعات همین پایگاه که در نشانی اینترنتی آن موجود می‌باشد، برای پنج بافت شن، لوم شنی، لوم و سیلت لوم و رس استفاده گردید. برای هر بافت خاک تعدادی از نمونه‌ها جهت برآورد ضرایب روش خطی اصلاحی و تعدادی دیگر برای آزمون روش انتخاب شد که در جدول 1 کدهای مربوط به آن‌ها ارائه شده‌است.

روش کار بدین شرح است که ابتدا محور مربوط به قطر ذرات از منحنی دانه‌بندی خاک به تعداد بیست بازه که عبارت‌اند از 1، 2، 3، 5، 10، 20، 30، 40، 50، 70، 100، 150، 200، 300، 400، 600، 800، 1000، 1500 و 2000 میکرومتر طبق روش آریا و پاریس (1981) تقسیم می‌گردد. بدین ترتیب در هر قسمت میانگین شعاع ذرات (R_i) و در صد ذرات کوچکتر از آن (w_i) محاسبه و با در دست داشتن چگالی ظاهری و چگالی حقیقی خاک نسبت پوکی (e) از رابطه 1 بدست آمد.

$$e = (\rho_s - \rho_b) / \rho_b \quad [1]$$

که در آن ρ_s : چگالی حقیقی بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و ρ_b : چگالی ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. از طرفی حجم خلل و فرج خاک در واحد جرم در α امین قسمت منحنی دانه‌بندی بر حسب سانتی‌متر مکعب از رابطه 2 حاصل شد.

$$V_{V_i} = \frac{w_i}{\rho_s} \times e \quad [2]$$

می‌دانیم مجموع حجم حفرات موجود در خاک بیانگر میزان آبی است که خاک می‌تواند در خود جای دهد. بنابراین مقدار رطوبت حجمی آب خاک در α امین قسمت منحنی دانه‌بندی بر حسب متر مکعب بر متر مکعب از رابطه 3 بدست می‌آید.

$$\theta_i = \rho_b \sum_{i=1}^{i=j} V_{V_i} / v_b \quad [3]$$

می‌باشد. با در نظر گرفتن زاویه تماس برابر صفر درجه و جایگزینی مقادیر σ و ρ_w در رابطه 9 و تلفیق آن با رابطه 8 رابطه 10 بدست می‌آید:

$$h_i = \frac{0.18}{R_i (\ln_i^{(1-\alpha)})^{0.5}} \quad [10]$$

به صورت نسبت لگاریتم تعداد ذرات کروی در حالت طبیعی (N_i) به لگاریتم ذرات کروی در حالت تئوریک (n_i) معرفی کردند و آن را به صورت رابطه 11 بیان نمودند.

$$h_i = \frac{2\sigma \cos\beta}{r_i g \rho_w} \quad [9]$$

که در آن σ : کشش سطحی بین آب و هوا بر حسب گرم بر مجذور ثانیه، g : شتاب ثقل حسب سانتی‌متر بر مجذور ثانیه، ρ_w : چگالی آب بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و β : زاویه تماس آب با دیواره منفذ از آنجایی که در این مقاله نتایج روش خطی اصلاح شده با روش‌های خطی و لوجستیک مقایسه شده است بنابراین به طور خلاصه توضیح روش‌های مذکور در زیر می‌آید. آریا و پاریس (1981) پارامتر α را

جدول 1- بافت و کدهای UNSODA بکار برده شده برای برآورد ضرایب خطی اصلاحی و آزمون آنها

کد های خاک بکار رفته در تحقیق		کلاس بافت
جهت برآورد ضرایب خطی اصلاح شده	جهت آزمون روش خطی اصلاح شده	
1462,1465,3340, 4650, 1460	1463,1466,1467,1464	شن
1381,3310,4160,1131,1130	4100,1382,1091,3300	لوم شنی
2531, 4610,1370	3302,4600,3303	لوم
4673,3090,2001,2011,2000	4182,4030,2761,1350,1340	سیلت لوم
1400, 2361,4680	2360,4681,2362,2620	رس

روش خطی برای تعیین α

رابطه 4 بیانگر ارتباط خطی بین $\text{Log} n_i$ و $\text{Log} \frac{W_i}{R_i^3}$ و در نتیجه بین $\text{Log} N_i$ و $\text{Log} \frac{W_i}{R_i^3}$ می‌باشد. از این رو رابطه 12 را می‌توان به صورت زیر نوشت.

$$\text{Log} N_i = a + b \text{Log} \frac{W_i}{R_i^3} \quad [13]$$

$$\alpha = \frac{\text{Log} N_i}{\text{Log} n_i} \quad [11]$$

همچنین آریا و همکاران (1999) با استفاده از منحنی مشخصه آب خاک اندازه‌گیری شده، برای بدست آوردن N_i رابطه 12 را ارائه نمودند.

$$N_i = 7.371 w_i e^{\frac{h_{mi}^2}{\rho_s R_i}} \quad [12]$$

که در آن h_{mi} : مکش آب خاک اندازه‌گیری شده می‌باشد که از منحنی مشخصه آب خاک مشاهداتی بدست آمده است.

$$Y + \Delta Y = \frac{Y_f Y_{in}}{Y_{in} + (Y_f - Y_{in}) \exp(-\mu(X + \Delta X))} \quad [16]$$

پارامترهای معادله لجستیک توسط آریا و همکاران (1999) برای بافت های مختلف قبلا تعیین شده و در جدول 2 ارائه شده است.

روش پیشنهاد شده در تحقیق جاری برای تعیین α در این روش ابتدا مکش های مشاهداتی بر اساس مقادیر 0-100، 100-1000 و بزرگتر از 1000 سانتی متر به ترتیب به سه دسته مکش های کم، متوسط و زیاد تقسیم شدند. بازه های مذکور بر اساس محدوده تقریبی خروج آب ثقلی، آب قابل استفاده انتخاب شدند انتخاب مکش 1000 سانتی متر بدلیل متداول بودن این مکش در انجام آزمایشات مربوط به صفحات فشاری و بر اساس تحقیق بورگیسن و اسپاچ (2005) صورت پذیرفته است و همچنین مقادیر بیش از 1000 سانتی متر به دلیل در بر داشتن محدوده مکش آب هیگروسکوپیک انتخاب گردید. لازم به ذکر است که این بازه ها برای تحقیقات دیگر می تواند تغییر داده شود.

از تلفیق معادله های 11 و 13 معادله 14 حاصل می شود.

$$\alpha_i = \frac{a + b \log \frac{W_i}{R_i^3}}{\log n_i} \quad [14]$$

ضرایب a و b توسط آریا و همکاران (1999) برای بافت های مختلف قبلا تعیین شده و در جدول 2 آمده است.

روش لجستیک برای تعیین α

آریا و همکاران (1999) با در نظر گرفتن یک رابطه لجستیک بین مقادیر $\log n_i$ و $\log N_i$ آنرا به صورت معادله 15 نوشتند.

$$Y = \frac{Y_f Y_{in}}{Y_{in} + (Y_f - Y_{in}) \exp(-\mu X)} \quad [15]$$

که در آن Y: متغیر وابسته $\log N_i$ ، X: متغیر مستقل $\log n_i$ ، μ : ضریب شدت و اندیس in و f به ترتیب بیانگر حد پایین و حد بالای $\log N_i$ می باشد. از آنجا که مقادیر اولیه بدست آمده از معادله 15 در بسیاری از موارد منفی می شد، آریا و همکاران (1999) محورهای X و Y را به سمت چپ و پایین محورهای اصلی منتقل کردند و رابطه 15 را به صورت رابطه 16 نوشتند.

جدول 2- ضرایب معادله خطی و پارامترهای معادله لجستیک آریا و همکاران (1999) برای بافت های مختلف

جهت برآورد پارامتر عامل مقیاس (α)

روش لجستیک					روش خطی		بافت
ΔX	ΔY	μ	Y_f	Y_{in}	b	a	
0/00032	1/734	0/609	16/602	0/996	1/49	-2/478	شن
1/849	2/492	0/553	16/983	0/559	1/773	-3/398	لوم شنی
1/977	2/242	0/510	16/614	0/628	1/395	-1/681	لوم
0/684	1/902	0/457	19/686	0/719	1/353	-2/48	سیلت لوم
2/648	4/766	0/289	21/685	1/993	1/305	-2/6	رس

که در آن O_i و P_i به ترتیب مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده می‌باشند و j : تعداد مشاهدات است. مقادیر کمتر RMSE نشان دهنده دقت بیشتر پیش‌بینی می‌باشد.

نتایج و بحث

جدول 3 نشان دهنده مقادیر a و b اصلاح شده برای هر بافت خاک به همراه آن قسمت از بازه رطوبتی که این ضرایب باید در آن ناحیه اعمال شوند، می‌باشد. پس از برآورد منحنی مشخصه آب خاک از سه روش خطی، لوجستیک و خطی اصلاح شده، منحنی‌های حاصل در یک دستگاه مختصات با مقیاس لگاریتمی به همراه منحنی مشخصه آب خاک مشاهداتی ترسیم گردید که در شکل 1 نمایش داده شده‌اند. مقادیر RMSE برای مکش‌های متناظر با رطوبت حجمی حاصل از سه روش مذکور در جدول 4 آورده شده است. مقادیر RMSE مربوط به روش خطی اصلاح شده برای پنج بافت شن، لوم شنی، لوم، سیلت لوم و رس کمتر از هر دو روش خطی و لوجستیک می‌باشد که این حاکی از دقت بیشتر روش خطی اصلاح شده در تخمین منحنی مشخصه آب خاک نسبت به دو روش دیگر است.

با توجه به مقادیر جدول 4 مشخص می‌شود که با بکارگیری روش خطی اصلاح شده میزان بهبود در مقدار RMSE برای لگاریتم مقادیر مکش، حداقل 0/09 برای بافت لوم شنی و حداکثر 1/743 برای بافت لوم نسبت به روش خطی است. چنین بهبودی در مقایسه روش خطی اصلاح شده با روش لوجستیک حداقل 0/108 برای بافت رس و حداکثر 1/366 برای بافت لوم می‌باشد. میزان کاهش RMSE برای سایر بافت‌ها نیز در محدوده ارقام مذکور می‌باشد.

سپس مقادیر N_i و در نتیجه $\text{Log}N_i$ برای هر دسته از رابطه 12 محاسبه و یک رابطه خطی بین $\text{Log}N_i$ و $\frac{W_i}{R_i^3}$ برقرار گردید. بدین ترتیب برای هر برازش خطی که بر روی هر یک از دسته‌ها اعمال شده است یک جفت از ضرایب a و b حاصل خواهد شد. هر یک از جفت ضرایب مذکور، برای برآورد رطوبت در بازه نظیر خود بکار بسته شد و از به هم پیوستن این بازه‌ها در نهایت تمامی منحنی مشخصه آب خاک توسط مدل پیش‌بینی گردید. لازم به ذکر است که برای تعیین بازه رطوبتی مطلوب برای هر یک از جفت ضرایب a و b ، ابتدا سه منحنی مشخصه برای هر خاک با استفاده از هر یک از جفت ضرایب مذکور ترسیم و سپس از انطباق سه منحنی حاصل با منحنی مشاهداتی، آن بازه رطوبتی که در آن، هر یک از سه منحنی مذکور برآورد بهتری از منحنی مشاهداتی را حاصل کرده بود، انتخاب شد.

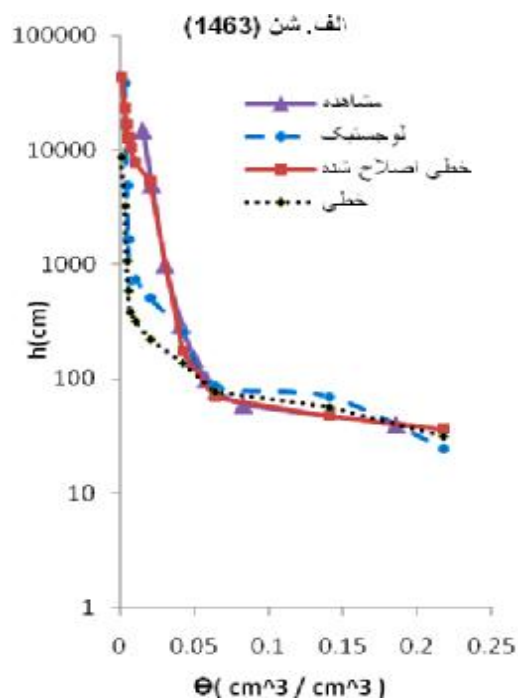
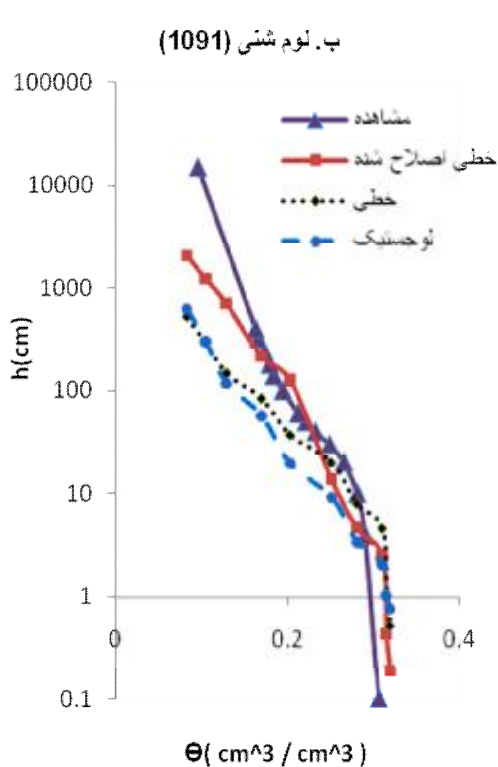
انتظار می‌رود که روش اخیر برآورد دقیق‌تری در ناحیه مربوط به مکش‌های متوسط و زیاد از منحنی مشخصه آب خاک حاصل نماید. چرا که با طبقه‌بندی مکش‌ها، α محاسبه شده برای هر بخش، متأثر از مکش‌های مربوط به دسته‌های دیگر نخواهد بود. لذا جهت برآورد α در بخش مربوط به مکش‌های متوسط و زیاد، با قرار دادن مکش‌های مربوط به این بخش در رابطه 12 مقادیر N_i و در نتیجه $\text{Log}N_i$ بزرگتری حاصل می‌شود که این امر طبق رابطه 13 عرض از مبدا معادله خط برازش داده شده را افزایش خواهد داد. بدین ترتیب بنا به رابطه 14 پارامتر α محاسبه شده برای نواحی مذکور نسبت به روش خطی آریا و همکاران (1999) مقدار بزرگتری بدست خواهد آمد.

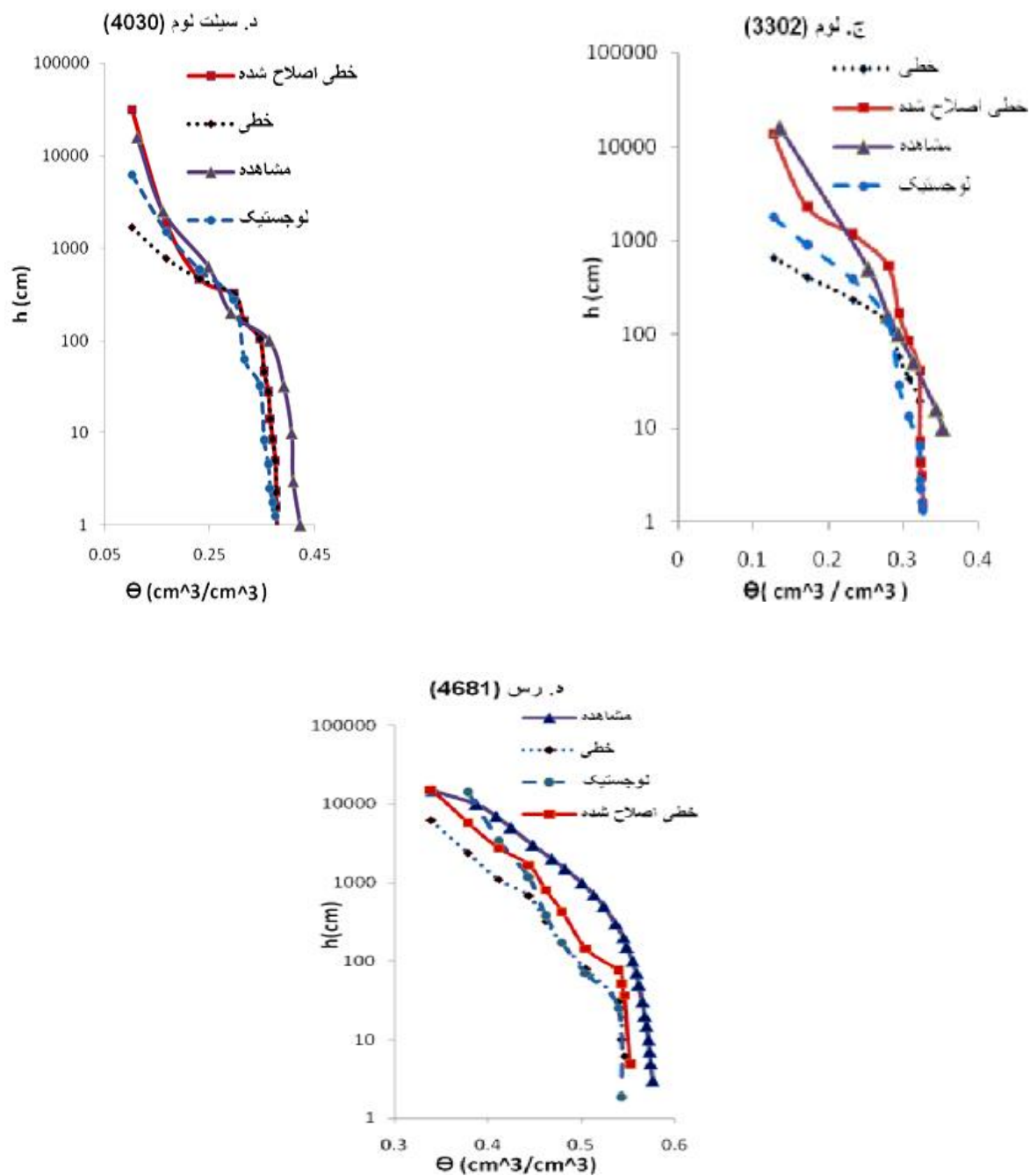
برای مقایسه نتایج بدست آمده و بررسی دقیق هر یک از روش‌ها با داده‌های اندازه‌گیری شده، شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) از رابطه 17 محاسبه شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^j (P_i - O_i)^2}{j}} \quad [17]$$

جدول 3- ضرایب خطی اصلاح شده جهت برآورد α و بازه رطوبتی مطلوب برای تخمین منحنی مشخصه آب خاک.

بافت	مکش	a (عرض از مبدا)	b (شیب)	بازه رطوبتی مطلوب (cm^3/cm^3)
شن	زیاد	3/772	0/860	0-0/04
	متوسط	1/424	0/798	0/04 - 0/06
	کم	-0/288	0/934	بیشتر از 0/06
لوم شنی	زیاد	-0/623	1/489	0-0/15
	متوسط	-0/412	1/316	0/15-0/25
	کم	-4/552	1/968	بیشتر از 0/25
لوم	زیاد	1/25	1/306	0-0/15
	متوسط و کم	-2/005	1/69	بیشتر از 0/15
سیلت لوم	زیاد	0/426	1/31	0-0/12
	متوسط	3/2	0/73	0/12-0/22
	کم	-2/48	1/353	بیشتر از 0/22
رس	زیاد	-0/552	1/292	0-0/48
	متوسط	0/909	0/945	0/48 - 0/55
	کم	-2/6	1/305	بیشتر از 0/55





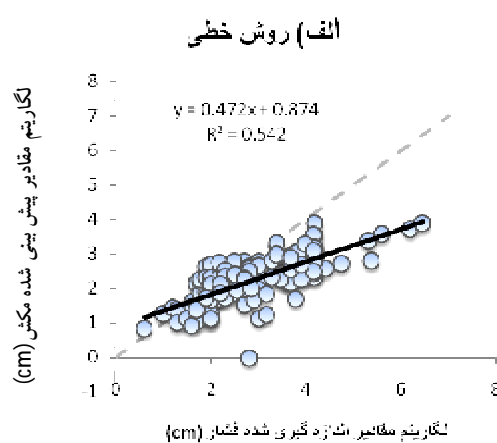
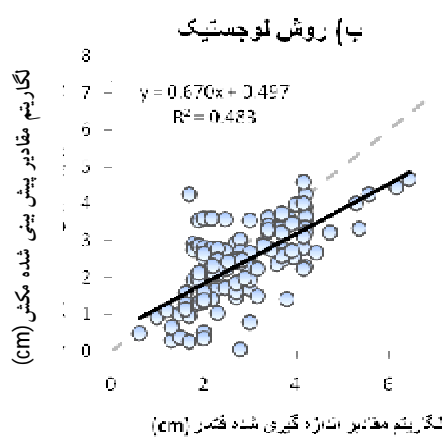
شکل 1- مقایسه منحنی مشخصه آب خاک مشاهداتی با پیش بینی شده: (الف) خاک شن، (ب) خاک لوم شن، (ج) خاک لومی، (د) خاک سیلت لوم و (ه) خاک رس

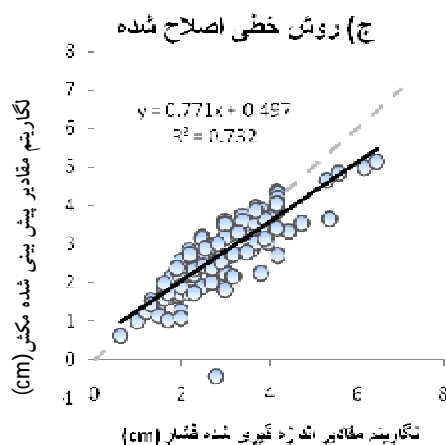
جدول 4- مقادیر RMSE برای مکش های مشاهداتی و مکش های پیش بینی شده در خاک های منتخب جهت آزمون

روش خطی	مقادیر RMSE		کد های UNSODA	بافت
	روش لوجستیک	روش خطی اصلاح شده		
0/225	0/624	0/883	1463	شن
0/426	0/681	0/552	1464	
0/381	1/120	0/705	1466	
0/398	0/968	0/777	1467	
0/147	0/486	0/728	1091	
2/042	2/242	2/204	1382	لوم شنی
0/242	1/017	0/333	3300	
0/315	1/322	0/438	4100	
0/348	0/950	0/854	3302	لوم
0/253	0/596	0/625	3303	
0/214	1/580	1/957	4600	
0/510	0/989	0/708	1340	
0/239	0/608	0/539	1350	سیلیت لوم
0/904	1/512	1/886	2761	
0/351	0/713	0/614	4030	
0/219	0/621	0/491	4182	
0/538	0/888	1/271	2360	
0/570	0/877	1/361	2362	رس
0/102	0/210	0/576	2620	
0/532	0/715	0/871	4681	

مختصات لگاریتمی نمایش داده شده است. همچنین مقادیر ضریب تبیین (r^2) حاصل از هر یک از روش ها در شکل 2 آورده شده است. از مقایسه مقادیر r^2 مربوط به هر روش، دقت بالاتر روش خطی اصلاح شده به دلیل داشتن r^2 بیشتر، تایید می گردد.

شکل 2 نشان دهنده یک مقایسه کلی بین مکش های مشاهداتی و مقادیر پیش بینی شده برای تمامی خاک های منتخب جهت مقایسه دقت روش های خطی، لوجستیک و خطی اصلاح شده است. در این شکل مقادیر مکش مشاهداتی در برابر مکش پیش بینی شده توسط هر یک از روش های مذکور در یک دستگاه





شکل 2- مقایسه مقادیر مکش مشاهداتی و پیش بینی شده برای خاک های منتخب جهت آزمون (الف) روش خطی، (ب) روش لوجستیک و (ج) روش خطی اصلاح شده

منابع مورد استفاده

- خوشنود یزدی عا و قهرمان ب، 1383. بررسی روابط بافت خاک و پارامتر مقیاس بندی برای برآورد رطوبت خاک. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد پنجم. شماره بیستم. صفحه های 17 تا 34.
- فولادمند ح، سپاسخواه ع ر و نیازی ج، 1383. تخمین منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از منحنی دانه بندی و چگالی ظاهری خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال هشتم. شماره سوم، صفحه های 1 تا 12.
- Arya LM, Leij FJ, Van Genuchten MTh and Shouse PJ, 1999. Scaling parameter to predict the soil water characteristic from particle-size distribution data. *Soil Sci Soc Am J* 63: 510-519
- Arya L M and Paris JF, 1981. A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. *Soil Sci Soc Am J* 45: 1023-1030.
- Borgesen CD, Schaap MG, 2005. Point and parameter pedotransfer function for water retention predictions for Danish soils. *Geoderma* 127: 154-167
- Brooks R H and Corey AT, 1964. Hydraulic properties of porous media. Colorado State University, Hydrology Paper No. 3, Fort Collins, CO. USA.
- Campbell GS, 1974. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. *Soil Sci* 117: 311-314.
- Ghanbarian-Aavijeh B , Liaghat A, Huang Guan-Hua and van Genuchten MTh, 2010. Estimation of the van Genuchten soil water retention properties from soil textural data. *Pedosphere* 20(4): 456-465.
- Hutson JL and Cass A, 1987. A retentivity function for use in soil water simulation models. *J Soil Sci* 38: 105-113.
- Leij FJ, Alves WJ, van Genuchten MTh and Williams JR, 1996. Unsaturated Soil Hydraulic Database, UNSODA 1.0 user's manual. Rep. EPA/600/R-96/095. U S Environmental Protection Agency, Ada, OK.
- Van Genuchten, MTh, 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. *Soil Sci Soc Am J* 44: 892-898.