Archive of SID

برازش منحنی نگهداری رطوبت خاک با روش حل معکوس در منطقه غیراشباع خاک

هرمزد نقوی، مجید افیونی، محمدعلی حاج عباسی و جهانگیر عابدی کوهپایی[1*]

چکیده

از آنجا که تعیین خصوصیات هیدرولیک خاک، مانند منحنی نگهداری آب (Water retention curve) کاری سخت، وقت گیر و پر هزینه می‌باشد، کوششهای زیادی بعمل آمده است تا بتوان این خصوصیات را از ویژگیهای آسان‌تر خاک نظیر توزیع اندازه ذرات خاک، جرم مخصوص ظاهری، مقدار ماده آلی و همچنین مقدار رطوبت خاک در مکشهای بخصوصی محاسبه کرد. هدف از این تحقیق مقایسه مدلهای وانگنوختن و بروکس و کوری به روش حل معکوس[2] برای تخمین ضرایب آنها، با دو تابع رگرسیونی، در برآورد منحنی نگهداری آب خاک می‌باشد. در روش حل معکوس، ضرایب مورد نظر معادله غیر خطی با استفاده از تکنیک حداقل مجموع مجذورات تخمین زده می‌شود. در این مطالعه دو نوع خاک یکی دارای بافت لوم شنی و دیگری دارای بافت لوم رسی که هر یک ۶۰ تن در هکتار کود گاوی در مزرعه دریافت کرده بودند مورد آزمایش قرار گرفتند. سه ماه بعد از دریافت کود، منحنی نگهداری آب آنها در ۱۸ پتانسیل ماتریک در دامنه ۱۰- تا ۱۵۰۰- کیلوپاسکال توسط دستگاه صفحه فشار در آزمایشگاه تعیین گردید. جهت تخمین ضرایب معادلات وانگنوختن و بروکس و کوری با استفاده از روش حل معکوس توسط برنامه رایانه‌ای RETC، و نیز جهت تعیین ضرایب معادلات رگرسیونی، داده‌های آزمایشگاهی به دو صورت زیر بکار گرفته شدند: ۱) دو جفت داده (نقطه ۳۰- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال)، و ۲) ۱۸ جفت داده اندازه گرفته شده در آزمایشگاه، استفاده گردید. به منظور مقایسه دقت مدلهای مختلف، مجموع مجذورات انحرافها (SSD^3) و ضریب تبیین (R^2) بین داده‌های آزمایشگاهی و مقادیر تخمین زده شده توسط مدلهای مختلف محاسبه گردید. نتایج نشان داد با بکارگیری تنها دو رطوبت اندازه‌گیری شده در پتانسیل‌های ماتریک ۳۰- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال، مدلهای وانگنوختن و هر دو معادله رگرسیونی خصوصا فرم نمایی دقتی مشابه و بیشتر از مدل بروکس وکوری، بخصوص در خاک لوم شنی داشتند. با بکارگیری تعداد داده آزمایشگاهی بیشتر، مدلهای وانگنوختن و بروکس و کوری نسبت به معادلات رگرسیونی پیش بینی دقیق‌تری از منحنی نگهداری آب بویژه در خاک لوم رسی ارائه کردند.

واژه‌های کلیدی: منحنی نگهداری آب خاک، حل معکوس، وانگنوختن، بروکس و کوری

مقدمه

در مطالعات روابط آب و خاک ، شناخت ارتباط بین مقدار آب و پتانسیل ماتریک آب خاک دارای اهمیت زیادی می‌باشد. این ارتباط که بنام منحنی نگهداری آب (WRC) نامیده می‌شود، کاربرد بسیاری در مسائل آب و خاک دارد. برای مثال از این منحنی برای پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی در شرایط اشباع (Rawls و همکاران،۱۹۸۹؛ Messing، ۱۹۹۷) و غیراشباع، آب قابل استفاده گیاه و حرکت املاح

---

[1] دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشیاران دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

* - وصول: ۸۰/۱۱/۱۰ و تصویب: ۸۲/۱۱/۲٤

2 –Inverse solution

3 –Sum of square of deviation

www.SID.ir

Archive of SID

در خاکها استفاده می‌شود(van Genuchten، ۱۹۸۰؛ Kättere و همکاران، ۲۰۰۱؛ Hoffmann و همکاران ۱۹۹۰). اما تعیین این منحنی در آزمایشگاه دارای دشواریهای عدیده‌ای است، از جمله احتیاج به وقت و نیروی کار زیاد و وسایل و تجهیزات پرهزینه دارد (Minasny و همکاران، ۱۹۹۹). از این رو تحقیقات و پژوهش‌های زیادی انجام شده است تا بتوان این منحنی را توسط روابط و معادلاتی و با استفاده ازخصوصیات ساده‌تر خاک (Easily measurable) نظیر بافت، مقدار ماده آلی و جرم مخصوص ظاهری بدست آورد. به این معادلات PTF (Pedo transfer function) می‌گویند (Schaap و Leij، ۲۰۰۰؛ van Genuchten و همکاران، ۱۹۹۱؛ Bouma و van Lanen، ۱۹۸۷). Rawls و همکاران (۱۹۹۷) اهمیت بکارگیری داده‌های رطوبت خاک را در دو پتانسیل ماتریک ۳۳- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال برای پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی اشباع و همچنین پیش‌بینی شیب خط WRC گزارش کردند. Williams و همکاران (۱۹۹۲) بکارگیری یکی از داده‌های رطوبتی مذکور را موجب بهبود نتایج و استفاده از هر دو داده فوق را باعث دقیق‌ترین پیش‌بینی WRC در مقایسه با مدل‌های مورد تحقیق خود معرفی نمودند.

یکی از روش‌های بدست آوردن منحنی نگهداری آب خاک استفاده از معادلات رگرسیونی است. بدین ترتیب که در مکش‌های معینی از خاک مقدار رطوبت حجمی به صورت تابعی رگرسیونی از خصوصیات آسان‌تر خاک محاسبه می‌گردد(Ahuja و همکاران، ۱۹۸۵؛ Saxton و همکاران، ۱۹۸۶؛ Cosby و همکاران، ۱۹۸٤؛ Rawls و همکاران، ۱۹۸۲ و ۱۹۹۱؛ Gupta و Larson، ۱۹۷۹؛ Vereecken و همکاران، ۱۹۸۹).

راه دیگر برآورد منحنی نگهداری آب خاک ارائه یک معادله پیوسته است که محاسبه مقدار رطوبت را در تمام مکش‌های خاک میسر می‌سازد (Brooks و Corey، ۱۹٦٤؛ van Genuchten، ۱۹۸۰)

معادله Brooks و Cory (۱۹٦٤) یکی ازاین معادلات است:

$$S_e = \begin{cases} (\alpha h)^{-\lambda} & (ah > 1) \\ 1 & (ah \le 1) \end{cases} \quad [1]$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

S_e= مقدار اشباع مؤثر؛ θ_s= رطوبت اشباع؛ α= معکوس پتانسیل ورود هوا به خاک(L^{-1})؛ θ_r= رطوبت باقیمانده؛ h= پتانسیل ماتریک(L)؛ θ= رطوبت خاک؛ λ= پارامتر توزیع اندازه خلل و فرج (بدون بعد).

van Genuchten (۱۹۸۰) معادله دیگری را برای منحنی نگهداری آب خاک ارائه کرد:

$$S_e = \left[\frac{1}{1+(ah)^n} \right]^m \quad [2]$$

S_e ، α و h مانند رابطه بروکس و کوری می‌باشند، m و n ضرایب تجربی(فاکتور شکل منحنی) هستند. van Genuchten (۱۹۸۰) براساس معادله خود، معادله هدایت هیدرولیکی Mualem (۱۹۷٦) و Burdine (۱۹۵۳) را حل کرد. برای این منظور وی از دو تغییر متغیر $m = 1 - \frac{1}{n}$ و $m = 1 - \frac{2}{n}$ استفاده نمود.

به دلیل اینکه اندازه‌گیری ضرایب مذکور نیز امری دشوار است، مطالعات زیادی انجام شده است تا ضرایب معادلات وانگنوختن و یا بروکس و کوری را براساس پارامترهای ساده‌تر خاک بدست آورند، که برخی از این معادلات اساس رگرسیونی دارند. (Vereecken و همکاران، ۱۹۸۹؛ Rawls و همکاران، ۱۹۸۲؛ Cosby و همکاران، ۱۹۸٤؛ Pachepsky و همکاران، ۱۹۹٦؛Kattere و همکاران، ۲۰۰۱؛ Minasny و همکاران، ۱۹۹۹). امروزه با توسعه کاربرد کامپیوتر، برنامه‌هایی ارائه شده‌اند که با روش‌های متفاوت ضرایب وانگنوختن و یا بروکس و کوری را تخمین می‌زنند. نرم افزارهای RETC و ROSETTA از جمله برنامه‌های مذکور می‌باشند.

RETC از روش تقریب غیرخطی با استفاده از حداقل مربعات و بهره‌گیری از متد Marquardt (۱۹٦۳) ضرایب معادلات مربوطه را تخمین می‌زند (حل معکوس). در این روش داده‌های حاصل از آزمایش که مشاهدات[1] نام دارند با استفاده از تکنیک به حداقل رساندن مجموع وزنی مربعات انحرافات و براساس الگوریتم Marquardt (۱۹٦۳) بر داده‌های استخراج شده از مدل، منطبق شده و ضرایب هیدرولیکی خاک (ضرایب معادله وانگنوختن و یا بروکس و کوری) را تخمین می‌زند، به این روش حل معکوس گفته می‌شود. به عبارتی در این روش بر خلاف روش حل مستقیم که ابتدا ضرایب معادله معلوم می‌شوند و سپس براساس آنها خروجی‌ها محاسبه می‌گردد، با استفاده از داده‌های خروجی (مشاهدات) مقادیر ضرایب معادله مورد نظر تخمین زده‌می‌شوند. برای این منظور یک تابع مانند O(b) (مجموع وزنی مربعات انحرافات) تعریف می‌شود که b ضریب یا ضرایب مجهول می‌باشد، و سعی می‌گردد تابع O(b) در هر دور از محاسبات بر اساس

[1] Observations

www.SID.ir

Archive of SID

روش بیشترین همجواری Marquardt [1] (۱۹۶۳)، به کمترین مقدار خود نزدیک شود.

$$O(b)=\sum_{i=1}^{N}\left[\ W_i\left(\ \theta_i-\hat{\theta}_i(b)\ \right)\ \right]^2 \quad [3]$$

θ_i و $\theta_i(b)$ به ترتیب مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده هستند، W_i ضریب وزن و N برابر با تعداد مشاهدات می‌باشد. ضریب وزن W_i میزان تاثیر هر داده را در تابع فوق معین می‌کند، از این رو باید استفاده کننده از سوابق هر داده اطلاع داشته باشد. ضرایب وزنی قابلیت اطمینان هر داده اندازه‌گیری شده را نشان میدهند و به طور مطلوب ضریب وزنی هر داده باید با معکوس خطای مشاهده شده برای آن (مثلا انحراف معیار) برابر باشد، که دربرگیرنده خطای نمونه‌گیری و خطای آزمایش است.

هدف از این تحقیق مقایسه مدل‌های وانگنوختن و بروکس و کوری با استفاده از روش حل معکوس با دو مدل نمایی و لگاریتمی در تخمین WRC می‌باشد.در این مطالعه، اطلاعات خاک به صورت دومجموعه (تعداد داده کم– تعداد داده زیاد) جهت برآوردهای مذکور بکار گرفته شدند.

مواد و روش‌ها

این مطالعه بر روی دو نوع خاک صورت گرفت. خاک اول دارای بافت لوم رسی، متعلق به ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی کرمان (Fine Loamy, Mixed, Thermic, Typic Torrifluvents) و به مختصات جغرافیایی ″39.6 ′02 °57 طول شرقی و ″5.8 ′23 °30 عرض شمالی و خاک دوم دارای بافت لوم شنی، متعلق به ایستگاه کرمان مؤسسه تحقیقات پسته کشور (Coarse Loamy, Mixed, Thermic, Typic Torrifluvents) و به مختصات جغرافیایی ″1.8 ′02 °57 طول شرقی و °30 ″1.8 ′02 عرض شمالی می‌باشد. ایستگاه‌های مذکور در منطقه‌ای خشک و دارای متوسط بارندگی ۱۳۰mm در سال می‌باشند. جدول۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مذکور را ارائه داده است. در دو مزرعه مورد مطالعه میزان ۶۰ تن در هکتار کود گاوی اضافه و سپس ذرت رقم ۷۰۴ کاشت شد. ۳ماه بعد از افزایش کود، اقدام به نمونه‌برداری خاک از مزارع گردید. نمونه‌ها به دو طریق دست‌خورده و دست‌نخورده از عمق اختلاط کود با خاک (۳۰–۰ سانتیمتری) تهیه شدند.

بافت خاکها توسط روش پیپت و جرم مخصوص ظاهری به روش استفاده از استوانه‌های نمونه‌برداری تعیین شدند. رطوبت خاک در ۱۸نقطه با مکش‌های ۱۰ ، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰کیلوپاسکال با استفاده از دو دستگاه صفحه فشاری تعیین گردید. به این طریق که پس از رسیدن به حالت تعادل رطوبتی، نمونه‌ها از دستگاه خارج و بلافاصله توزین و در آون با ۱۰۵°C قرار گرفتند. وزن خشک شده بعد از ۲۴ساعت اندازه‌گیری و رطوبت حجمی از رابطه $\theta_v=\theta_m.BD$، (BD= جرم مخصوص ظاهری) محاسبه گردید.

داده‌های رطوبت و پتانسیل ماتریک (ψ,θ_v) جهت تخمین ضرایب معادلات van Genuchten (۱۹۸۰) و Brooks و Corey (۱۹۶۴) به روش حل معکوس با استفاده از نرم‌افزار RETC به کار گرفته شدند. همچنین برای تعیین معادلات نمایی و لگاریتمی ($\theta=a\psi^b$ و $\theta=b+a.\ln(\psi)$) از داده‌های مذکور استفاده گردید.

از برنامه RETC برای تخمین ضرایب ۵ مدل به شرح ذیل استفاده شد: (۱ و۲) مدل وانگنوختن در شرایطی که m و n غیر وابسته به هم هستند، و این مدل با توجه به معادله‌های بوردین (VB) و یا معلم پردازش شود (VM)، (۳) مدل وانگنوختن در شرایطی که m و n به صورت $m=1-\frac{1}{n}$ وابسته باشند(M1N)، (۴) مدل وانگنوختن در شرایطی که m و n به صورت $m=1-\frac{2}{n}$ وابسته باشند(M2N)، (۵) معادله بروکس و کوری (BC). داده‌های آزمایشگاهی به دو صورت بکار گرفته شدند: (۱) تنها دو جفت داده، یعنی رطوبت حاصله در دو سطح مکش ۳۰- و ۱۵۰۰-کیلوپاسکال (اهمیت این داده‌ها به دلیل معمول بودن اندازه‌گیری آنها در آزمایشگاه و موجود بودن این اطلاعات در جاهایی که نقشه خاک تهیه شده، می‌باشد) بکار گرفته شدند، (۲) تمامی داده‌های حاصل از آزمایشگاه استفاده گردیدند (۱۸ جفت داده).

در بکارگیری ۱۸ جفت داده از قاعده محاسبه رگرسیون برای تخمین ضرایب معادلات فوق بهره گرفته شد، و زمانی که فقط از دو جفت داده برای محاسبه ضرایب فوق استفاده گردید، از روش تعیین معادله خطی که از دو نقطه می‌گذرد، ضرایب معادلات مذکور محاسبه شد (در این مقاله به تمام معادلات نمایی و لگاریتمی بدست آمده با هر دو مجموعه داده، معادلات رگرسیونی اطلاق می‌گردد). در مرحله بعد، با استفاده از ضرایب تخمین زده شده برای کلیه مدل‌های وانگنوختن و مدل بروکس و کوری و معادلات نمایی و لگاریتمی (رگرسیونی)، مقادیر θ_v متناظر با داده‌های آزمایشگاهی محاسبه گردید. جهت

[1] Marquardt's maximum neighborhood method

www.SID.ir

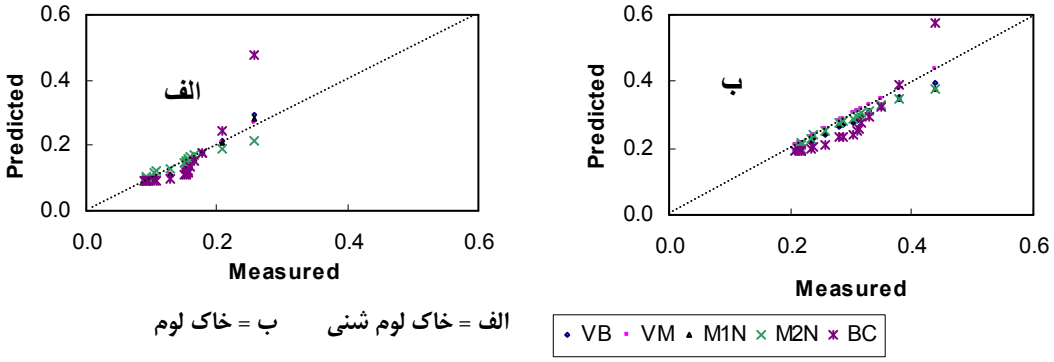
Archive of SID

مقایسه میزان موفقیت مدل‌ها در پیش‌بینی WRC، از مجموع مجذورات انحرافات (SSD) و ضریب تبیین بین θ_v محاسباتی و θ_v اندازه‌گیری شده استفاده گردید:

$$SSD = \sum_{i=1}^{18} (\theta_{vm} - \theta_{vc})^2 \qquad [4]$$

θ_{vm}= رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه.

θ_{vc}= رطوبت حجمی محاسبه شده.



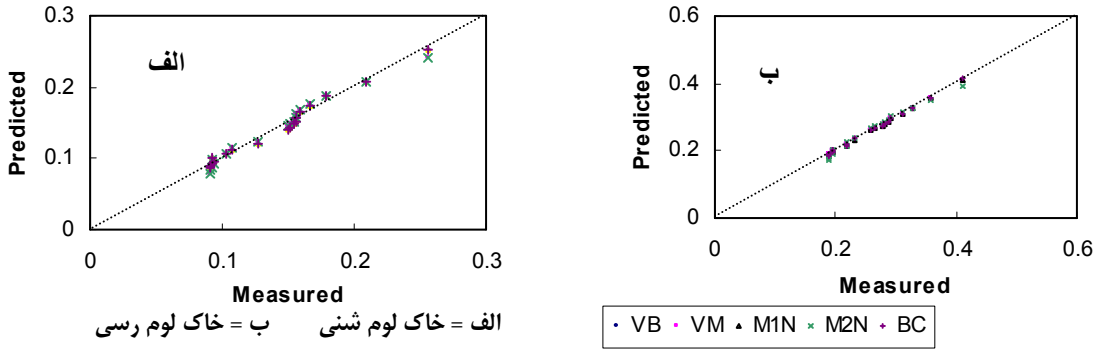
الف = خاک لوم شنی ب = خاک لوم

شکل ۱- رطوبت های حجمی پیش بینی شده توسط مدل های مختلف و انگنوختن و مدل بروکس و کوری با استفاد از (RETC) در مقابل رطوبت های حجمی اندازه گیری شده با بکارگیری دو جفت داده

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی دو خاک مورد مطالعه (عمق اختلاط کود با خاک، ۳۰-۰ سانتیمتری)

بافت	شن ٪	سیلت ٪	رس ٪	عصاره اشباع				OC٪	$CaCO_3$ (LIME) %
				EC (dSm^{-1})	Na ($meq.L^{-1}$)	Ca + Mg ($meq.L^{-1}$)	Cl ($meq.L^{-1}$)		
خاک لوم شنی	٦٦	١٨	١٦	٣/٦	١٧/٥	٢٢/٤	٦	٠/٥٤	٤٩
خاک لوم رسی	٣٢	٤٢	٢٦	٢٤/٧	١٨٠	٧٢	١٥٨	٠/٥١	٤٠

OC= مقدار ماده آلی



الف = خاک لوم شنی ب = خاک لوم رسی

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۲- رطوبت های حجمی پیش بینی شده توسط مدل های مختلف و انگنوختن و مدل بروکس و کوری با استفاده از (RETC) در مقابل رطوبت های حجمی اندازه گیری شده با بکارگیری تمامی داده ها

نتایج و بحث

شکل‌های ۱ تا ٤ مقدار رطوبت حجمی خاک پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مختلف را در مقابل مقادیر رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده نشان می‌دهند. خط مستقیم معرف خط ۱ به ۱ است. ضرایب مدل‌های وانگنوختن و بروکس و کوری و مدل‌های رگرسیونی و نیز SSD و R^2 در جدول ۲ آمده است.

شکل ۱ نتایج حل معکوس کلیه مدل‌های وانگنوختن و مدل بروکس و کوری را توسط RETC برای دو خاک مورد مطالعه با بکارگیری دو جفت داده (نقطه ۳۰- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال) نشان می‌دهد. مدل‌های وانگنوختن و مدل بروکس و کوری، رطوبت خاک را در محدوده بررسی شده کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده تخمین زده‌اند. مدل بروکس و کوری در پتانسیل‌های ۱۰- و ۲۰- کیلوپاسکال رطوبت خاک را بیش از مقدار اندازه‌گیری شده برآورد کرده است (شکل ۱) و برای رطوبت اشباع خاک (θs) مقدار غیرمعقول ۱/۰۸ را تخمین زده است (جدول ۲). van Genuchten (۱۹۸۰) انحراف زیاد معادله بروکس و کوری را در منطقه نزدیک اشباع گزارش می‌کند. مشابه همین نتیجه را Felton و Nieber (۱۹۹۱) گزارش کرده‌اند.

مقادیر SSD در جدول ۲ نشان می‌دهد که در خاک لوم شنی بهترین پیش‌بینی‌ها توسط مدلهایVM و M2N و بعد از آن M1N و VB انجام گرفته است؛ نهایتا حل معکوس مدل BC بیشترین انحرافات را داشته است. در خاک لوم رسی کلیه مدلهای حل معکوس وانگنوختن بهترین برازش و نزدیک به هم ولی کمتر از خاک لوم شنی داشته‌اند. مدل بروکس و کوری کمترین برازش را در این خاک ارائه کرده‌است.

جدول ۲- ضرائب مدل‌های وانگنوختن و بروکس و کوری با استفاده از روش حل معکوس، و ضرائب دو مدل رگرسیونی با بکارگیری دو مجموعه تعداد داده و دو شاخص آماری جهت مقایسه دقت تخمین مدل‌ها.

مدل	θ_r	θ_s	α (1/cm)	n	m	n×m	شاخص‌های تخمین دقت		
	(cm^3/cm^3)						SSD	(10^{-3})	$100\times R^2$
خاک لوم شنی، بکارگیری دو جفت داده آزمایشگاهی (θ, ψ)									
VB[1]	۰/۰۹	۰/٦۱	۰/۰۳	۲/۰۱	۰/۳۷	۰/۷۵	٤/٤		۹۸/٤
VM[2]	۰/۰۸	۰/۵۵	۰/۰٤	۱/۵۸	۰/٤	۰/٦۳	۲/۲		۹۷/۹۲
M1N[3]	۰/۰۸	۰/۵۷	۰/۰۳	۱/۷٤	-	۰/۷۳	۳/٦		۹٦/۷۸
M2N[4]	۰/۰۰	۰/۳٦	۰/۱۸	۲/۱۹	-	۰/۱۷	۲/۵		۹۸/۲۸
BC[5]	۰/۰۹	۱/۰۸	۰/۰۲	-	-	۱/۳٦	٦۰/۲		۸۵/۳۱
ln regression[6]			$\theta = ۰/۳۰۸۳ - ۰/۰۲۳ \times \ln(\psi)$				٤/٦		۹۵/۸۸
Power regression[7]			$\theta = ۰/٤۸۵٤ \times (\psi)^{-۰/۱۷٤۹}$				۲/٤		۹۸/۲۹
خاک لوم رسی، بکارگیری دو جفت داده آزمایشگاهی (θ, ψ)									
VB	۰/۱٤	۰/٤۵	۰/۰۱	۲/۰۱	۰/۱۸	۰/۳٦	۸/۵		۹۹/٦۹
VM	۰/۱۱	۰/٤٤	۰/۰۱	۱/۸۸	۰/۲۱	۰/٤	۸/۳		۹۸/۸۷
M1N	۰/۱۱	۰/٤٤	۰/۰۱	۱/۲۷	-	۰/۲۷	۸/٤		۹۹/۰۳
M2N	۰/۰۰	۰/٤۷	۰/۰۲	۲/۱٤	-	۰/۱٤	۷/٦		۹۸/٤۹
BC	۰/۱۹	۰/۵۹	۰/۰۱	-	-	۰/۹۳	٤۵/۱		۹۱/۸٦
ln regression			$\theta = ۰/۵۲۷ - ۰/۰۳۵ \times \ln(\psi)$				۷/۹		۹۸/۸٤
Power regression			$\theta = ۰/۷۲۲ \times (\psi)^{-۰/۱۳۹}$				۳/٦		۹۸/۹۷
(θ, ψ) خاک لوم شنی، بکارگیری ۱۸ جفت داده آزمایشگاهی									
VB	۰/۰۵	۰/٤۸	۰/۱۵	۲/٦۷	۰/۱۲	۰/۳۲	۰/۵۳		۹۹/۲٦
VM	۰/۰٦	۰/۷	۰/۲٤	۱/۵	۰/۲٦	۰/۳۸	۰/۹٤		۹۸/٦۹
M1N	۰/۰٦	۰/۷٤	۰/۵	۱/۳٤	-	۰/۳٤	۰/۵۳		۹۹/۲٦
M2N	۰/۰۰	۰/٦۵	۰/۸٤	۲/۲۲	-	۰/۲۲	۰/۹٤		۹۸/۷
BC	۰/۰٦	۰/٤۳	۰/۰٦	-	-	۰/۳۸	۰/۵۳		۹۹/۲۷
ln regression			$\theta = ۰/۳۵۳ - ۰/۰۲۹ \times \ln(\psi)$				۲/۸		۹۱/۹۳
Power regression			$\theta = ۰/٦۰۳ \times (\psi)^{-۰/۲۰٦}$				۱/۰۹		۹۷/۳۵

www.SID.ir

Archive of SID

(θ, ψ)				خاک لوم رسی، بکارگیری ۱۸ جفت داده آزمایشگاهی				
VB	۰/۱۳	۰/۴۸	۰/۰۱	۲/۰۱	۰/۱۷	۰/۳۴	۰/۲۶	۹۹/۸۲
VM	۰/۱۵	۰/۵۳	۰/۰۲	۱/۱۲	۰/۴	۰/۴۳	۰/۲۴	۹۹/۸۳
M1N	۰/۱۴	۰/۵۱	۰/۰۲	۱/۳۸	-	۰/۳۸	۰/۲۴	۹۹/۸۳
M2N	۰/۰۰	۰/۷۳	۰/۴۵	۲/۱۶	-	۰/۱۶	۱/۳۳	۹۹/۰۶
BC	۰/۱۰	۰/۴۹	۰/۰۲	-	-	۰/۲۷	۰/۲۷	۹۹/۸۱
ln regression				$\theta = ۰/۵۶۰ - ۰/۰۴۱۲ \times \ln(\psi)$			۴/۲	۹۳/۹۳
Power regression				$\theta = ۰/۷۹۰ \times (\psi)^{-۰/۱۵۶}$			۱/۶	۹۸/۷۲

۱- VB: وانگنوختن با در نظر گرفتن معادله بوردین و استقلال m و n

۲-VM: وانگنوختن با در نظر گرفتن معادله معلم و استقلال m و n

۳-M1N: وانگنوختن با شرط m=1-1/n. مدل در این حالت برای مقدار m تخمینی انجام نمی‌دهد. ولی می‌توان آن را از طریق محاسبه بدست آورد.

۴-M2N: وانگنوختن با شرط m=1-2/n. مدل در این حالت برای مقدار m تخمینی انجام نمی‌دهد. ولی می‌توان آن را از طریق محاسبه بدست آورد.

۵-BC: بروکس و کوری

۶- ln regression : $\theta = b + a.\ln(\psi)$

۷- Power regression : $\theta = a\psi^b$

با توجه به جدول ۲ به نظر می‌رسد چون مدل BC تخمین غیر منطقی از مقدار θs در خاک لوم شنی ارائه کرده (θs = ۱/۰۸) و برای فاکتور شکل λ که معادل $m \times n$ می‌باشد در دو خاک بیشترین تخمین را زده، در برازش‌های مربوطه موفق نبوده‌است. جدول ۲ همچنین نشان می‌دهد با بکارگیری تنها دو جفت داده، حل معکوس مدل‌های وانگنوختن نسبت به مدل بروکس و کوری موفق‌تر و برای خاک لوم شنی دقت بیشتری داشته‌اند.

شکل ۲ نتایج حل معکوس مدل‌های وانگنوختن و بروکس و کوری را توسط RETC برای دو خاک مورد مطالعه با بکارگیری تمام جفت داده‌های آزمایش (۱۸ جفت داده) نشان می‌دهد. حل معکوس همه مدل‌های وانگنوختن و مدل بروکس و کوری پیش بینی موفقی از منحنی نگهداری آب خاک ارائه داده‌اند. مقادیر SSD در جدول ۲ نشان می‌دهد در خاک لوم شنی به ترتیب مدلهایM1N،VB و BC و پس از آنها مدلهای VM و M2N بهترین برازش را داشته‌اند، و در خاک لوم رسی به استثناء مدل M2N که برازش کمتری دارد، سایر مدلها برازش بسیار نزدیکی ارائه داده‌اند. همچنین حل معکوس مدل‌های وانگنوختن و مدل بروکس و کوری باتعداد داده زیاد در خاک لوم رسی موفق‌تر بوده‌اند (جدول ۲ و شکل ۲).

شکل ۳ پیش بینی مقدار رطوبت خاک را در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده توسط مدل‌های رگرسیونی نمایی و لگاریتمی با بکارگیری دو جفت داده (۳۰- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال) نشان می‌دهد. در هر دو خاک معادله رگرسیونی نمایی پیش بینی موفق‌تری نسبت به معادله رگرسیونی لگاریتمی داشته است. این معادلات برای هر دو خاک در رطوبتهای زیاد (متناظر با پتانسیل‌های ۱۰- و ۲۰- کیلوپاسکال) نسبت به مقادیر اندازه گیری شده، درصد آب کمتری را برآورد نموده‌اند. مقادیر SSD نشان می‌دهد که معادلات رگرسیونی مذکور در خاک لوم شنی برازش بهتری دارند (جدول ۲).

شکل ٤ پیش بینی مقدار رطوبت خاک را در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده توسط مدل‌های رگرسیونی نمایی و لگاریتمی با بکار گیری تمام جفت داده‌های آزمایشگاهی (۱۸ جفت داده) نشان می‌دهد. طبق این نتایج در هر دو خاک، معادله رگرسیونی نمایی پیش‌بینی موفق‌تری نسبت به معادله رگرسیونی لگاریتمی داشته‌است. این معادلات برای هر دو خاک، در رطوبتهای زیاد (متناظر با پتانسیل‌های ۱۰- و ۲۰- کیلوپاسکال) و کم (متناظر با پتانسیلهای ۱۰۰۰- تا ۱۵۰۰- کیلوپاسکال)، درصد رطوبت خاک را کمتر برآورد نموده‌اند. مقادیر SSD جدول ۲ نشان می‌دهد که معادلات رگرسیونی مذکور در خاک لوم شنی برازش بهتری دارند.

مقایسه شکل ۱ و ۲ نشان می‌دهد با بکارگیری دو جفت داده در روش حل معکوس مدل‌های مورد مطالعه پیش‌بینی منحنی نگهداری آب خاک را با دقت کمتری انجام داده‌اند، و چون با افزایش تعداد داده‌های مورد استفاده، حل معکوس همه مدلهای وانگنوختن و مدل بروکس و کوری پیش‌بینی دقیقی نسبت به رطوبت‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه ارائه داده‌اند، بنابراین منحنی‌های نگهداری آب خاک‌های مورد مطالعه در این تحقیق تا حد زیادی به مدل‌های مذکور نزدیک می‌باشند. Felton و Nieber (۱۹۹۱) طی تحقیقی با بهره‌گیری از روش

www.SID.ir

Archive of SID

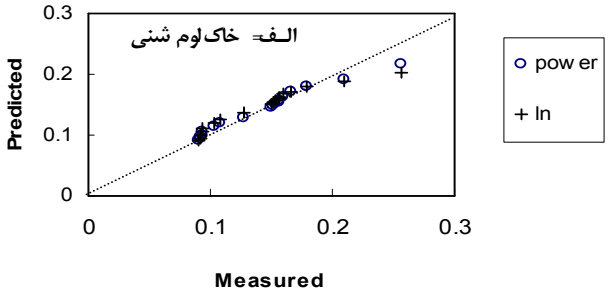
حل عددی نتیجه گرفتند معادله وانگنوختن نسبت به سایر مدل‌های مورد مطالعه آنها برازش بهتری از WRC ارائه کرده است. Leong و همکاران (٢٠٠٢) اعتقاد دارند مدل وانگنوختن انعطاف‌پذیری زیادی در پیش‌بینی WRC دارد.

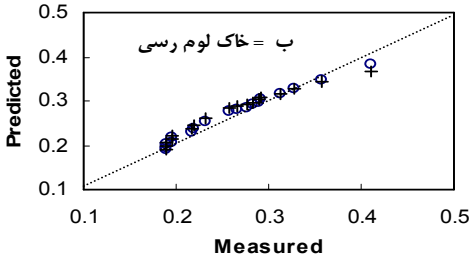
مقایسه شکل‌های ٣ و ٤ و مقادیر SSD جدول ٢ مربوط به معادلات رگرسیونی نشان می‌دهد با اینکه شکل کلی منحنی نگهداری آب خاک تا حدی نزدیک به توابع نمایی و لگاریتمی می‌باشد، اما چون با افزایش داده‌ها در تعیین مدل‌های رگرسیونی، افزایش دقت پیش‌بینی آنها کم بوده است، نتیجه گرفته می‌شود مجموعه این نقاط، نزدیکی کمتری را به معادلات مذکور نشان می‌دهند. از طرفی تاثیر نسبتا زیاد رطوبت خاک در پتانسیل‌های ٣٣- و ١٥٠٠- کیلوپاسکال در موفقیت برازش برخی از PTFها گزارش شده است (Rawls و همکاران، ١٩٩٢؛ Williams و همکاران، ١٩٩٨). به نظر می‌رسد دلیل آن ناشی از نزدیک شدن ناگهانی نقاط پیش‌بینی شده به اعداد تجربی با بکارگیری این دو داده می‌باشد. البته از این نوع PTFها نمی‌توان انتظار پیش‌بینی‌های بسیار دقیق را داشت. همانطور که تحقیق جاری نشان می‌دهد، استفاده از این داده‌ها در معادلات رگرسیونی مورد مطالعه فقط موجب پیش‌بینی متوسطی از رطوبت خاک می‌شوند، بخصوص در نقاط پررطوبت WRC، انحرافات زیادتری دارند. این موضوع وقتی بهتر روشن می‌شود که از داده‌های زیادی در طول منحنی نگهداری آب استفاده شود، در این حالت مشاهده شد که افزایش دقت پیش‌بینی‌ها به نسبت افزایش داده‌های ورودی نمی‌باشد و تنها کمی بر دقت پیش‌بینی‌ها افزوده می‌شود.

مقایسه شکل‌های ١ و ٢ نشان می‌دهد اگر تعداد داده‌های موجود کم باشد (رطوبت در مکش‌های ٣٠ و ١٥٠٠ کیلو پاسکال)، حل معکوس مدل‌های مختلف وانگنوختن و یا معادلات رگرسیونی خصوصا در خاک لوم شنی، نتایج مشابه و بهتری نسبت به مدل بروکس و کوری دارند. اما اگر داده‌های ورودی زیادتر باشند، مدل‌های مختلف وانگنوختن و یا مدل بروکس و کوری، منحنی نگهداری آب را برای هر دو خاک دقیق‌تر پیش‌بینی می‌کنند. Leong و همکاران (٢٠٠٢) قابلیت زیاد معادله وانگنوختن را بویژه هنگامی که پارامترهای آن (m و n) به هم وابسته نباشند گزارش و استفاده از مدل بروکس و کوری را موفقیت آمیز عنوان کرده‌اند.

نتیجه‌گیری

هرچند معادلات زیادی برای تخمین WRC پیشهاد شده است، اما همه این معادلات در محدوده وسیعی از مکش (١٠ تا ١٥٠٠ کیلو پاسکال)، WRC را با دقت کافی پیش‌بینی یا شبیه‌سازی نمی‌کنند. در این تحقیق نشان داده شد دقت معادلات رگرسیونی لگاریتمی و نمایی با بکارگیری دو داده، برابر با مدل‌های وانگنوختن بود (بخصوص در دامنه ٣٠- تا ١٥٠٠- کیلوپاسکال)، اما بکارگیری ١٨ داده دقت برازش آنها را به اندازه مدل‌های وانگنوختن و بروکس و کوری افزایش نداد. از طرفی نشان داده شد معادلات وانگنوختن با استفاده از هر دو مجموعه داده، برازش خوبی ارائه و با افزایش داده‌ها، دقت پیش‌بینی آنها افزایش چشمگیری پیدا کرد. البته در بین دو معادله رگرسیونی مورد مطالعه، همواره مدل نمایی موفقیت بیشتری نسبت به مدل لگاریتمی داشت. مشابه این نتیجه راRawls وهمکاران(١٩٩٧) نیز گزارش‌نمودند.

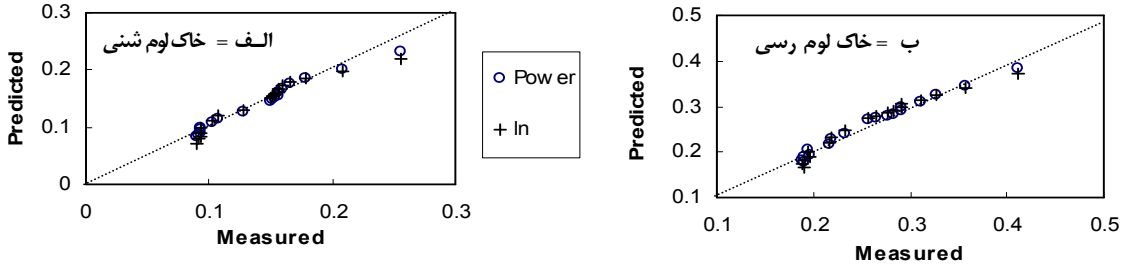




www.SID.ir

Archive of SID

شکل ٣ـ رطوبت‌های حجمی پیش بینی شده توسط مدل‌های رگوسیونی در مقابل رطوبت‌های حجمی اندازه‌گیری شده با بکارگیری دو جفت داده



شکل ٤- رطوبت‌های حجمی پیش‌بینی شده توسط مدل‌های رگوسیونی در مقابل رطوبت‌های حجمی اندازه‌گیری شده با بکارگیری تمام داده‌ها

Ahuja . و همکاران (١٩٨٥) گزارش کردند با استفاده از داده‌های رطوبت در پتانسیل‌های ٣٣- و ١٥٠٠- کیلوپاسکال می‌توان شیب WRC را به خوبی حدس زد. بنابراین پیشنهاد می‌شود اگر هدف، استفاده از معادلات رگرسیونی برای برآورد WRC می‌باشد، از مدل‌های نمایی و در دامنه ٣٣- تا ١٥٠٠- کیلوپاسکال استفاده گردد، و چنانچه داده‌ها زیاد باشند بهتر است روش حل معکوس معادلات وانگنوختن و یا بروکس و کوری را در مطالعه WRC بکار گرفت.

موضوع دیگری که دارای اهمیت است، پیش‌بینی بهتر تقریبا کلیه مدل‌ها از WRC در خاک لوم شنی نسبت به خاک لوم رسی است. از آنجا که دو خاک مورد مطالعه از نظر توزیع اندازه ذرات با هم تفاوت زیادی دارند، بنابراین انتظار می‌رود، تقریبا کلیه فاکتورهای مؤثر در شکل WRC، از جمله: رطوبت اشباع، رطوبت باقیمانده، نقطه ورود هوا به خاک و شیب منحنی با هم متفاوت باشند. به نظر می‌رسد مدلهای مورد بحث با توجه به مجموع پارامترهایی که شکل WRC را تعیین می‌کنند، منحنی نگهداری آب خاک لوم شنی را بهتر از خاک لوم رسی توجیه می‌کنند. البته مدل وانگنوختن انعطاف‌پذیری بیشتری داشته است.

استفاده از روش حل معکوس برای تخمین ضرایب معادله van Genuchten، (١٩٨٠) و معادله Brooks و Corey (١٩٦٤). علاوه بر پیش‌بینی مقدار رطوبت در هر پتانسیل، برخی از ضرایب هیدرولیکی خاک (θ_s، θ_r، α، m، n و λ) را نیز تخمین می‌زند، که برای سایر مطالعات آب در خاک مفید می‌باشند.

فهرست منابع

1. Ahuja, L. R., J. W. Naney, and R. D. Williams. 1985. Estimating soil water characteristics from simpler properties or limited data. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 1100-1105.
2. Bouma, J., and J. A. J. van Lanen. 1987. Transfer functions and threshold values: From soil characteristics to land qualities. P. 106-110. In K. J. Beck et.al. (ed.) Quantified land

www.SID.ir

Archive of SID

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.

3. 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.
4. Burdine, N. T., 1953. Relative permeability calculations from pore-size distribution data. Petrol. Trans., Am. Inst. Min. Eng. 198: 71-77.
5. Cosby, B. J., G. M. Hornberger, R. B. Clapp, and T. R. Ginn.1984. A statistical exploration of the relationship of soil moisture charactristics to the physical properties of soils. Water Resour. Res. 20: 682-690.
6. Felton G. K., and J. L. Nieber.1991. Four soil moisture characteristic curve functions evaluated for numerical modeling of sand. Transactions of the ASAE. 34: 417-422
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. Hoffmann-Rien, M.Th. van Genuchten, and H. Fluhler. 1999.A general model of the hydraulic conductivity of unsaturated soils. P.31-12. In M.Th. van Genuchten et al. (ed.) Proc. Int. Worksh, Characterization and measurements of the hydraulic properties of unsaturated porous media. Riverside, Ca.22-24 Oct . 1997. University of California, Riverside.
9. Kättere, T., B. Schmied, K. C. Abbaspour, and R. Schulin. 2001. Single- and dual-prosity modeling of multiple tracer transport through soil columns: effects of initial moisture and mode of application. European J. of Soil Sci. 52: 25-36.
10. Leong, E. C. , L. He, and H. Rahardjo. 2002. Factors affecting the paper method for total and matric suction measurments. J. Geotechnical Testing. Vol. 25: 521-532
11. Marquardt, D. W., 1963. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. J. Soc.Ind Appl. Math. 11: 431-441.
12. Messing, I., 1989.Estimation of the saturated hydraulic conductivity in clay soils from soil moisture retention data. Soil Sci. Soc. Am. J. 35: 655-668.
13. Minasny, B., A. B. McBratney, and K. L. Bristow. 1999. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water-retention curve. Geoderma. 93: 225-253.
14. Mualem, Y., 1976. A new model predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resour. Res 12: 513-522.
15. Pachepsky, Ya. A., D. Timlin, and G. Varallyay.1996. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. Soil Sci. Soc. Am. J. 60: 727-733.
16. Rawls W.J., D.Gimenes, and R. Grossman. 1997. Use of soil texture , bulk density, and slope of the water retention curve to predict saturated hydraulic conductivity. ASAE. 41: 983-988.
17. Rawls, W. J., D. L. Brakensiek, and K. E. Saxton. 1982. Estimating soil water properties. ASAE. 25: 1316-1320.
18. Rawls W . J., T. J. Gish, and D.L. Brakensiek.1991. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics. Adv. Soil Sci.16: 123-234.
19. Saxton, K. E., W. J. Rawls J. S. Romberger, and R. I. Popendick.1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 1031-1036.
20. Schaap, M.G., and F.J. Leij. 2000. Improved prediction of unsaturated hydraulic conductivity with the Mualem-van Genuchten model. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 843-851.
21. 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. Depart. of Agriculture, Agricultural Res. Service. Riverside, California.
22. van Genuchten, M.Th., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Am. J. 44: 892-898.
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.148: 389-402.
24. Williams R. D., L. R. Ahuja, and J. W. Naney. 1992. Comparison of methods to estimate soil water characteristics from soil texture, bulk density, and limited data. Soil Science. 153: 172-184.

www.SID.ir

Archive of SID

Estimation of Soil Water Retention Curve in Unsaturated Zone by Inverse Solution

H. Naghavi, M. Afyuni, M. A. Hajabassi, G. Abedi K[1]

Abstract

Determining water retention curve (WRC) is time consuming and expensive. Other soil parameters, like particle size distribution, organic carbon, bulk density, and soil moisture in particular matric potentials can be used to estimate WRC. The objective of this study was to compare the abilities of van Genuchten and Brooks-Corey and two regression models (power and exponential) in WRC prediction with the coefficient of van Genuchten and Brooks-Corey estimated by using inverse solution method. A sandy loam and a clay loam soil incorporated with 60 Mgh^{-1} cow manure were used. Three months after manure application, WRC was determined at 18 matric potentials (from –10 to –1500 kPa). The experimental data were used for van Genuchten and Brooks-Corey coefficients estimation using inverse solution (by RETC computer program), and also for the determination of the regressions coefficients. Two data set sizes were used in all models: I) water content at exactly 30 and 1500 kPa (2p), and II) water content at 18 water potential ranging from 10-1500 kPa (18p). Sum of square of deviations (SSD) and R^2, between measured and predicted water contents were compared for all the models just mentioned. Using 2p data set, regression equations (particularly exponential equation) and van Genuchten models produced similar results and were more accurate than Brooks-Corey model, especially for the SL soil. But when 18p data set was used, van Genuchten and Brooks-Corey models predicted WRC better than the regression models, especially for the CL soil.

Key Words: Water retention curve, Inverse solution, van Genuchten, Brooks and Corey

[1]- Ph.D. Student and Associate Professors at Isfahan University of Technology, respectively.

www.SID.ir