

ارزیابی روش‌های تخمین پارامتر مقیاس در معادله آریا- پاریس به منظور تخمین منحنی مشخصه آب خاک

حمیدرضا جوانی^{۱*}، حسن اوجاقلو و عبدالمجید لیاقت

دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران؛ hr_javani@yahoo.com

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران؛ ojahloo@ut.ac.ir

استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران؛ Aliaghat@ut.ac.ir

چکیده

اندازه‌گیری مستقیم پارامترهای منحنی نگهداری آب خاک امری دشوار، حساس و پرهزینه می‌باشد. یکی از روش‌های غیر مستقیم در تخمین منحنی مشخصه آب خاک، مدل نیمه فیزیکی Arya و Paris است که با استفاده از اطلاعات منحنی دانه بندی، منحنی نگهداری آب خاک را برآورد می‌کند. در مدل یاد شده از یک ضریب تجربی به نام پارامتر مقیاس α ، به منظور تخمین اندازه منافذ I_p با فرض کروی بودن ذرات خاک به شعاع R_p استفاده می‌شود. در این پژوهش، از اطلاعات منحنی دانه‌بندی، منحنی نگهداری آب خاک، چگالی ظاهری و تخلخل ۹۶ نمونه خاک، شامل چهار نوع بافت شنی، لوم شنی، شنی لوم و سیلتی لوم به منظور ارزیابی روش‌های تخمین پارامتر مقیاس استفاده شد. پارامتر مقیاس به دست آمده به روش خطی در بافت‌های شنی و سیلتی لوم به ترتیب با مقادیر ۱/۳۴ و ۱/۲۵ و استفاده از مقدار ثابت پارامتر مقیاس توصیه شده توسط Arya و همکاران، در نمونه خاک‌های با بافت شن لومی و لوم شنی به ترتیب با مقادیر ۱/۳۷ و ۱/۴۶ نزدیکترین مقادیر را به مقادیر واقعی محاسبه شده ارائه دادند. نتایج بررسی تغییرات ضریب α در بافت و رطوبت‌های مختلف نشان داد، رابطه معناداری بین میزان درصد شن و ضریب تجربی α وجود نداشته، در صورتی که با افزایش رطوبت مقدار ضریب فوق افزایش می‌یافت، به طوری که ضریب همبستگی بین تغییرات α با مقادیر رطوبت خاک ۰/۴۵ بدست آمد که در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل مکش، روش خطی، روش لوجستیک، منحنی دانه بندی خاک

مقدمه

از جمله این روش‌ها، می‌توان به مدل‌های توزیع اندازه خلل و فرج (PSD^2) (۱۰) و توابع انتقالی (۸)، (۱۱، ۱۲ و ۱۳) اشاره نمود. رابطه بین توزیع اندازه منافذ خاک و منحنی مشخصه آب خاک سبب شده تا در سال‌های اخیر استفاده از اطلاعات منحنی دانه‌بندی خاک برای حصول منحنی آب خاک مورد توجه بیشتر قرار گیرد. وجود شباهت ظاهری بین منحنی‌های آب خاک و دانه‌بندی نیز به نوعی مبین این نکته می‌باشد. Arya و

منحنی مشخصه رطوبتی از مهمترین شاخص‌ها برای توصیف خصوصیات هیدرولیکی خاک می‌باشد. این منحنی ارتباط بین دو پارامتر رطوبت (θ) و پتانسیل مکش (h)، در خاک را نشان می‌دهد. با توجه به متغیر بودن پارامترهای منحنی مشخصه رطوبتی، اندازه‌گیری مستقیم آن امری دشوار، حساس و پرهزینه است. از همین‌رو، محققین به دنبال روش‌های سریع و ارزان که اغلب دارای مبانی ریاضی و فیزیکی هستند، بوده‌اند.

^۱ آدرس نویسنده مسؤول: البرز- کرج- خیابان امامزاده حسن- پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

* دریافت: شهریور، ۱۳۹۱ و پذیرش: اردیبهشت، ۱۳۹۲

¹. Particle-Size Distribution

Carlos و همکاران (۲۰۰۵)، مقدار α را برای خاک‌های برزیل به عنوان تابعی از (θ) در نظر گرفته و نشان دادند میانگین α با افزایش میزان شن خاک افزایش یافته و با افزایش مقدار رس خاک کاهش می‌یابد. Fuladmand (۲۰۰۷)، منحنی مشخصه آب خاک را با استفاده از روش‌های خطی و لوجستیک بر اساس تخمین منحنی دانه بندی به روش اولیه و اصلاح شده برآورد نمود. نتایج ایشان نشان داد روش لوجستیک و منحنی دانه بندی اصلاح یافته روش مناسبی برای پیش‌بینی منحنی مشخصه آب خاک می‌باشد.

با توجه به نتایج مطالعات پیشین انجام شده در خصوص ارزیابی روش آریا و پاریس، بررسی دقیق‌تر و تخمین مقادیر صحیح پارامتر مقیاس در بافت‌های مختلف خاک ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش، ارزیابی روش‌های تخمین پارامتر مقیاس به منظور برآورد منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از اطلاعات منحنی دانه‌بندی خاک و رسیدن به مقادیر بهینه این پارامتر با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده منحنی مشخصه آب خاک در خاک‌های درشت بافت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از اطلاعات منحنی مشخصه رطوبتی، منحنی دانه‌بندی خاک، چگالی ظاهری و تخلخل ۹۶ نمونه خاک که در اطراف ایستگاه جنگلی هیتیللا در مرکز فنلاند اندازه‌گیری شده، استفاده شد (Jauhiainen, 2004). اکثر نمونه‌های اندازه‌گیری شده دارای بافت درشت می‌باشد که در قالب چهار دسته بافت خاک شامل هشت نمونه شنی، ۱۴ نمونه لوم شنی، ۳۴ نمونه شن لومی و ۴۰ نمونه سیلتی لومی طبقه بندی شده‌اند. برخی مشخصات مهم فیزیکی نمونه‌های مورد استفاده در این پژوهش در جدول (۱) ارائه شده است.

Paris (۱۹۸۱) با استفاده از توزیع ذرات و وزن مخصوص ظاهری خاک، توزیع خلل و فرج خاک را محاسبه نموده و سپس با استفاده از روابط جرمی و حجمی خاک و همچنین کاربرد رابطه تجربی صعود موینگی، مقادیر مکش خاک را به ازای رطوبت‌های مختلف پیش‌بینی نمودند. در مدل ایشان از یک ضریب تجربی به نام پارامتر مقیاس α ، به منظور تخمین اندازه منافذ I_p با فرض کروی بودن ذرات خاک به شعاع R_p استفاده می‌شود. تخمین صحیح مقدار این پارامتر تجربی در پیش‌بینی منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از روش اشاره شده مؤثر می‌باشد.

Arya و Paris (۱۹۸۱) در ابتدا، مقدار پارامتر مقیاس را بین $1/31$ و $1/43$ برای خاک‌های مختلف و به طور میانگین $1/38$ در نظر گرفتند. Tyler و Wheatcraft (۱۹۸۹) با استفاده از منطق ریاضی مشابه روش آریا و پاریس به این نتیجه رسیدند α یک بعد فراکتال از منافذ غیر مستقیم است. Arya و Dierolf (۱۹۹۲)، به منظور پیش‌بینی منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از مدل فوق، مقدار α را برابر $0/938$ در نظر گرفتند، اما به هیچ وجه نتایج قابل توجهی ارائه نشد.

Basile و D'Urso (۱۹۹۷) α را به عنوان تابعی از پتانسیل ماتریک خاک ارائه نموده و منحنی مشخصه رطوبتی برای خاک‌های رسی-لومی را بهبود بخشیدند. نتایج آن‌ها نشان داد رابطه α و پتانسیل ماتریک به نوع خاک بستگی داشته و برای هر خاک باید تعیین شود.

پژوهش‌های بعدی Arya و همکاران (۱۹۹۹)، نشان داد این پارامتر بین مقدار $1/02$ برای خاک‌های با بافت ریز و $2/97$ برای خاک‌های با بافت درشت متغیر است، بنابراین نمی‌توان آن را برای همه خاک‌ها یکسان در نظر گرفت. Arya و همکاران (۱۹۹۹)، برای تعیین مقدار α سه روش ثابت، خطی و لوجستیک ارائه نمودند.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی نمونه خاک‌های استفاده شده

بافت خاک	تعداد نمونه‌ها	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	چگالی ظاهری (gr/cm^3)	تخلخل (%)
شنی	۸	۳/۵-۲*	۱۱/۸-۶*	۹۴-۸۹*	۱/۶۳-۱/۳۷*	۰/۴۸-۰/۳۸*

۰/۶-۰/۵۸	۱/۴۸-۱/۰۶	۸۳-۷۵	۱۸-۱۵/۲	۵/۵-۴	۳۴	لوم شنی
۱/۳۲-۰/۶	۱/۶۵-۱/۱۴	۶۷/۸-۵۸	۳۷-۲۶	۷/۴-۵/۵	۱۴	شنی لوم
۰/۵۸-۰/۳۶	۱/۶۶-۱/۱۲	۳۸/۱-۳۲/۲	۶۸/۲-۵۱/۵	۸/۳-۳/۵	۴۰	سیلتی لوم

* محدوده تغییرات متغیرها

که در آن‌ها: V_{pi} حجم کل ذرات جامد در واحد جرم خاک در قسمت i ام منحنی دانه‌بندی بر حسب سانتی‌متر مکعب بر گرم، R_i میانگین اندازه شعاع ذرات خاک در قسمت i ام منحنی دانه‌بندی بر حسب سانتی متر، I_i اندازه شعاع خلل و فرج در قسمت i ام منحنی دانه‌بندی بر حسب سانتی‌متر، n_i تعداد کل ذرات کروی خاک در قسمت i ام منحنی دانه‌بندی بر حسب یک بر گرم، L_i طول کل خلل و فرج در قسمت i ام منحنی دانه‌بندی بر حسب سانتی‌متر می‌باشد. طول واقعی مجاری عبور آب با فرض کروی و یکنواخت بودن کلیه ذرات خاک از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$L_i = 2n_i^\alpha R_i \quad (5)$$

که در آن: ضریب تجربی α پارامتر مقیاس معادله آریا پاریس نامیده می‌شود. لذا به منظور لحاظ کردن طول واقعی منافذ از ضریب تجربی به نام پارامتر مقیاس α استفاده می‌شود. مقدار شعاع خلل و فرج خاک از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$r_i = 0.816R_i \sqrt{en_i^{1-\alpha}} \quad (6)$$

در نهایت مقدار پتانسیل مکش خاک از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$h_i = \frac{0.18}{R_i (en_i^{1-\alpha})^{0.5}} \quad (7)$$

روش‌های تخمین پارامتر مقیاس

استفاده از مقدار عددی ثابت در بافت‌های مختلف، روش خطی و لوجستیک از پرکاربردترین روش‌های تخمین ضریب تجربی α به شمار می‌آید.

روش خطی

برای تعیین پارامتر مقیاس α با کروی در نظر گرفتن ذرات خاک، تعداد ذرات خاک N_i در هر قسمت از منحنی دانه‌بندی از رابطه زیر به دست می‌آید:

برای انجام محاسبات، منحنی دانه‌بندی خاک به قسمت‌های مختلف تقسیم و در هر قسمت میانگین شعاع ذرات و در صد ذرات کوچکتر از آن شعاع مشخص شد. با داشتن مقادیر چگالی واقعی خاک و نسبت پوکی حجم خلل فرج خاک در واحد جرم در هر قسمت قابل محاسبه شد (Arya و همکاران، ۱۹۹۹):

$$V_{vi} = \left(\frac{w_i}{\rho_s} \right) e \quad (1)$$

که در آن: V_{vi} حجم خلل فرج خاک در واحد جرم در قسمت i ام از منحنی دانه‌بندی خاک بر حسب سانتی‌متر مکعب بر گرم، w_i جرم ذرات جامد خاک در واحد جرم در قسمت i ام منحنی دانه‌بندی بر حسب گرم بر گرم، ρ_s چگالی واقعی خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و e نسبت پوکی خاک می‌باشد.

با تعیین مقدار حجم خلل و فرج خاک، مقدار رطوبت حجمی آب خاک در هر قسمت از منحنی دانه‌بندی، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\theta_i = (\rho_b) \sum_{j=0}^i V_{vj} \quad (2)$$

که در آن: θ_i مقدار رطوبت حجمی آب خاک در قسمت i ام منحنی دانه‌بندی بر حسب سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب، ρ_b چگالی ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. اگر در هر قسمت از منحنی دانه‌بندی خاک تعداد ذرات کروی را برابر n_i در نظر گرفته و خلل و فرج خاک را به صورت منافذی در امتداد یک استوانه فرض شود، می‌توان نوشت:

$$V_{pi} = n_i \frac{4\pi R_i^3}{3} = \frac{w_i}{\rho_s} \quad (3)$$

$$V_{vi} = \pi r_i^2 L_i = \frac{w_i}{\rho_s} e \quad (4)$$

خاک‌های شن لومی و سیلتی لوم این مقادیر مشابه روش خطی به طریق میانمایی به دست آمده است.

ارزیابی روش‌ها

به منظور ارزیابی روش‌های مختلف تخمین ضریب α ، مقادیر پتانسیل مکش محاسبه شده با استفاده از روش‌های مختلف تعیین α برای بیش از ۹۶ نمونه خاک و در هر نمونه خاک برای پنج مقدار رطوبتی خاک (در مجموع ۴۸۰ نقطه) محاسبه شد و با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده آن مقایسه شد. برای صحت سنجی روش‌ها از شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطای (RMSE)^۱ استفاده شد:

$$RMSE = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N [\log(h_{im}) - \log(h_{ip})]^2}{N-1} \right\}^{1/2} \quad (13)$$

به منظور بررسی مقادیر مکش به دست آمده از روش‌ها (برآورد کمتر و یا بیشتر مقادیر) نسبت به مقادیر واقعی، از شاخص آماری میانگین خطای سوگیری (MBE)^۲ استفاده شد:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (\log h_{im} - \log h_{ip})}{N} \quad (14)$$

مقادیر مثبت و منفی این شاخص نشان‌دهنده برآورد بیشتر و کمتر مقادیر محاسباتی نسبت به مقادیر واقعی است. در روابط فوق h_{im} مقادیر مکش اندازه‌گیری شده بر حسب سانتی‌متر و h_{ip} مقادیر مکش به دست آمده از روابط مورد بررسی بر حسب سانتی‌متر و N تعداد مشاهدات می‌باشد.

محاسبه مقادیر واقعی پارامتر مقیاس به روش حل

معکوس

در پژوهش حاضر به ازای بیش از ۴۸۰ نمونه رطوبت و مکش اندازه‌گیری شده، مقدار پارامتر تجربی α از طریق روش حل معکوس بدست آمد. برای بافت‌های

$$n_i^\alpha = N_i \quad (8)$$

رابطه (۹) نشان‌دهنده رابطه خطی بین $\log n_i$ و $\log\left(\frac{w_i}{R_i^3}\right)$ به صورت زیر می‌باشد:

$$\log N_i = a + b \log \frac{w_i}{R_i^3} \quad (9)$$

از تلفیق روابط (۸) و (۹) مقدار ضریب α به روش خطی قابل محاسبه می‌باشد:

$$\alpha_i = \frac{a + b \log \frac{w_i}{R_i^3}}{\log n_i} \quad (10)$$

ضرایب تجربی a و b برای خاک‌های شنی، لوم شنی توسط Arya و همکاران (۱۹۹۹) ارائه شده است و برای خاک‌های شن لومی و سیلتی لوم این مقادیر از طریق میانمایی به دست آمده است.

روش لوجستیک

Arya و Paris (۱۹۹۹) با محاسبه مقادیر N_i و n_i رابطه لوجستیک بین $\log Ni$ و $\log ni$ را به صورت زیر در نظر گرفتند:

$$Y = \frac{Y_f Y_{in}}{Y_{in} + (Y_f - Y_{in}) \exp(-\mu x)} \quad (11)$$

که در آن: Y_{in} بیانگر مقدار اولیه متغیر $\log Ni$ ، Y_f بیانگر مقدار نهایی متغیر $\log Ni$ ، x بیانگر متغیر $\log ni$ و μ بیانگر ضریب شدت است. باتوجه به این‌که مقادیر اولیه $\log ni$ و $\log Ni$ برای برخی از خاک‌ها منفی به دست آمده است. در نهایت، رابطه زیر برای تعیین پارامتر مقیاس به روش لوجستیک به دست می‌آید:

$$(12)$$

$$Y + \Delta Y = \frac{Y_f Y_{in}}{Y_{in} + (Y_f - Y_{in}) \exp(-\mu x + \Delta x)}$$

که در آن: ΔY برابر با $\Delta \log Ni$ و همچنین Δx برابر با $\Delta \log ni$ در نظر گرفته شده است. پارامترهای این معادله برای خاک‌های شنی، لوم شنی توسط Arya و همکاران (۱۹۹۹) ارائه شده است و برای

¹ Root Mean Squared Error

² Mean Biased Error

معکوس و با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده منحنی مشخصه آب خاک در این جدول ارائه شده است. مطابق جدول (۲)، میانگین مقادیر α به روش‌های خطی و لوجستیک به طور میانگین در نمونه خاک‌های با بافت شنی به ترتیب $1/34$ و $1/52$ محاسبه شد. روش حل معکوس نیز با استفاده از اطلاعات واقعی رطوبت و مکش خاک، مقدار ضریب α را به طور میانگین $1/32$ نتیجه داد. ملاحظه می‌شود نتایج روش خطی و مقدار ثابت توصیه شده ($1/285$) توسط Arya و Paris (۱۹۸۱) در این نمونه خاک‌ها نزدیک به هم بوده و اختلاف کمتری با میانگین مقادیر واقعی بدست آمده از روش حل معکوس داشتند

مختلف خاک تحلیل و در نهایت طبقه بندی شد. معادله مورد استفاده به منظور حل معکوس مطابق رابطه زیر است:

$$\alpha_i = 1 - \frac{\log\left[\frac{3}{2e} \left(\frac{2\sigma}{\rho_w h_i g R_i}\right)^2\right]}{\log n_i} \quad (15)$$

نتایج و بحث

مقادیر ضریب α با استفاده از سه روش ثابت، خطی و لوجستیک برای بیش از ۹۶ نمونه خاک در قالب چهار دسته بافت خاک جداگانه محاسبه شد. مقادیر دامنه و میانگین α محاسبه شده با استفاده از هر یک از روش‌های یاد شده در بافت‌های مختلف در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین، مقادیر محاسبه شده α از طریق حل

جدول ۲- میانگین و دامنه مقادیر α به دست آمده از روش‌های ثابت، خطی، لوجستیک و معکوس

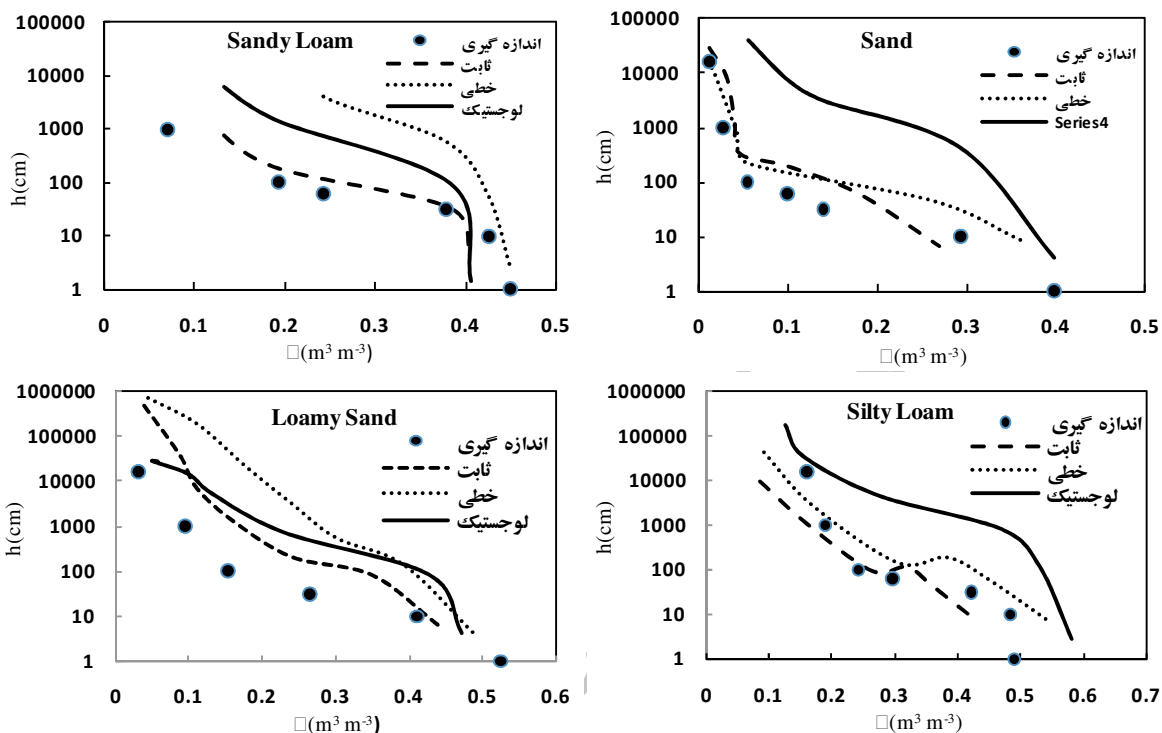
نوع خاک	تعداد نمونه خاک	پارامتر مقیاس (α)			
		لوجستیک		معکوس	
		ثابت	خطی	لوجستیک	معکوس
		دامنه	میانگین	دامنه	میانگین
شنی	۸	۱/۲۸۵	۱/۴۰-۱/۱۸	۱/۱۵-۱/۶۹	۱/۴۱-۱/۲۰
شنی لوم	۳۴	۱/۳۷	۱/۶۳-۱/۴۵	۱/۶۳-۱/۱۶	۱/۵۲-۱/۲۵
لوم شنی	۱۴	۱/۴۵۹	۱/۶۴-۱/۱۹	۱/۶۴-۱/۲۱	۱/۷۹-۱/۲۴
سیلتی لوم	۴۰	۱/۱۵	۱/۲۷-۱/۱۲	۱/۴۶-۱/۰۸	۱/۴۳-۱/۱۷

مطابق نتایج جدول (۲)، در نمونه خاک‌های با بافت سیلتی لوم مقادیر محاسبه شده α به روش‌های خطی و لوجستیک به طور میانگین به ترتیب $1/25$ و $1/37$ و مقدار ثابت توصیه شده $1/15$ می‌باشد. میانگین مقادیر واقعی بدست آمده از حل معکوس $1/23$ بود و نشان دهنده عملکرد بهتر روش خطی نسبت به سایر روش‌های تخمینی است. با استفاده از مقادیر محاسبه شده α در هر نمونه خاک، اقدام به ترسیم منحنی‌های مشخصه آب خاک شد و با منحنی‌های واقعی اندازه‌گیری شده مورد مقایسه قرار گرفت. تعداد ۹۶ منحنی مشخصه آب خاک ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. شکل (۱) نمونه‌ای از منحنی‌های مشخصه بدست آمده برای هر دسته بافت خاک را نشان می‌دهد. مطابق نتایج ارائه شده در شکل (۱) و مقادیر میانگین خطای سوگیری ارائه شده در جدول (۳)، در همه نمونه خاک‌ها، روش‌های تخمین

در نمونه خاک‌های با بافت شنی لوم، میانگین مقادیر α به روش‌های خطی و لوجستیک به طور میانگین به ترتیب $1/52$ و $1/44$ بدست آمد. با توجه به مقدار ثابت توصیه شده در این نمونه خاک‌ها ($1/37$) و میانگین مقادیر واقعی بدست آمده از روش حل معکوس ($1/36$)، ملاحظه می‌شود، مقدار ثابت توصیه شده عملکرد بهتری را نسبت به روش‌های خطی و لوجستیک داشته است. در نمونه خاک‌های با بافت لوم شنی، میانگین مقادیر α بدست آمده از روش‌های خطی و لوجستیک به طور میانگین به ترتیب $1/52$ و $1/61$ و مقدار ثابت توصیه شده $1/459$ می‌باشد. با توجه به مقدار واقعی بدست آمده ضریب α ($1/455$)، در این نمونه خاک‌ها نیز مقدار ثابت توصیه شده بهترین عملکرد را داشت. این در حالی است که روش لوجستیک نیز نتایج قابل قبول تری را نسبت به روش خطی ارائه داد.

ملاحظه می‌شود در نمونه خاک‌های با بافت شنی، منحنی-های مشخصه آب خاک بدست آمده از روش‌های خطی و لوجستیک به ترتیب کمترین و بیشترین مقادیر محاسبه شده ریشه میانگین مربعات خطای مکش را با مقادیر اندازه‌گیری شده دارند.

ضریب α منجر به برآورد بیشینه مقادیر مکش خاک نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده است. در جدول (۳) نیز مقادیر محاسبه شده ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای سوگیری مربوط به مکش‌های محاسبه شده با استفاده از روش‌های مختلف تخمین α ارائه شده است.



شکل ۱- منحنی‌های مشخصه آب خاک اندازه‌گیری شده و بدست آمده از روش‌های مختلف تخمینی α

جدول ۳- ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای سوگیری مربوط به مکش‌های محاسبه شده با استفاده از روش‌های تخمین α

لوجستیک		خطی		ثابت		تعداد نمونه خاک	نوع خاک
MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE		
۱/۷۵	۱/۸۵	۱/۰۲	۰/۸۴	۰/۸۷	۱/۰۶	۸	شنی
۱/۳۴	۱/۴۶	۱/۳۶	۱/۸۳	۰/۸۸	۰/۶۶	۳۴	شنی لومی
۱/۴۱	۱/۴۷	۱/۵۶	۱/۷۹	۱/۲۱	۱/۴۳	۱۴	لوم شنی
۰/۸۸	۱/۳۲	۰/۲۶	۰/۵۶	۰/۰۴	۰/۷۱	۴۰	سیلتی لوم

دقت را در پیش بینی منحنی مشخصه آب خاک ارائه دادند.

نمونه خاک‌های با بافت سیلتی لوم، بهترین و بدترین عملکرد به ترتیب مربوط به روش‌های خطی و لوجستیک بود. در این نمونه خاک‌ها نیز نتایج حاصل از مقدار ثابت توصیه شده برای α قابل قبول ارزیابی شد. شکل (۲) تغییرات پارامتر α را با مقدار درصد شن نشان می‌دهد. مقدار ضریب همبستگی بدست آمده بین این دو

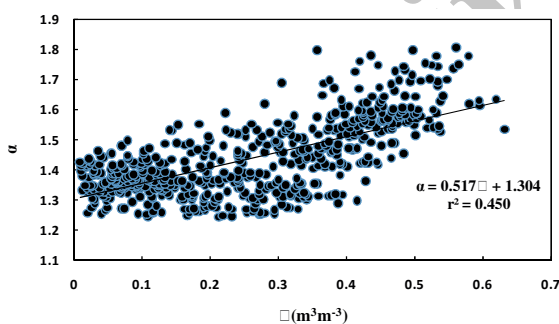
در نمونه خاک‌های با بافت شنی لوم، منحنی-های مشخصه آب خاک بدست آمده از روش‌های ثابت و خطی به ترتیب کمترین و بیشترین اختلاف را با مقادیر اندازه‌گیری شده دارند. روش لوجستیک در این نمونه خاک‌ها ریشه میانگین مربعات خطای کمتری را نسبت به روش خطی داشت. در نمونه خاک‌های با بافت لوم شنی، نتایج بدست آمده مشابه نمونه خاک‌های با بافت شنی لوم بود. روش ثابت و خطی به ترتیب بیشترین و کمترین

پارامتر در سطح ۹۵ درصد معنی دار نمی باشد، ولی با این حال دارای چند نکته می باشد. طبق شکل فوق، مقدار پارامتر α در نمونه خاک های با بافت شنی بیشتر از لوم می باشد. در نمونه خاک های با بافت شنی رابطه معنی - داری (در سطح ۹۵ درصد) بین مقدار شن و α مشاهده نمی شود. تحلیل رگرسیونی بین این دو پارامتر نیز رابطه ریاضی با ضریب همبستگی مناسب ارائه نداد.

شکل (۳) رابطه بین پارامتر تجربی α را با مقدار رطوبت خاک نشان می دهد. در این بررسی نیز تعداد ۹۶ نمونه استفاده شده است به طوری که در هر نمونه خاک نیز هفت مقدار مختلف رطوبت اندازه گیری شده مورد ارزیابی قرار گرفت و در مجموع ۶۷۲ داده برای بررسی رابطه بین رطوبت و پارامتر مقیاس α به کار گرفته شد. مقدار ضریب همبستگی در رابطه بین مقدار رطوبت حجمی خاک و ضریب α (۰/۴۵) بیش از مقدار آن در رابطه مقدار شن و ضریب α (۰/۲۵) بود. مطابق نمودار بدست آمده، تقریباً در یک روند کلی، با افزایش میزان رطوبت خاک مقدار ضریب α نیز افزایش می یابد. ضریب

همبستگی بدست آمده ۰/۴۵ می باشد که در سطح ۹۵ درصد معنی دار بود و همچنین این مقدار در مقایسه با مقدار ضریب همبستگی بدست آمده (۰/۱۳) توسط Carlos و همکاران (۲۰۰۵) افزایش یافته است. رابطه بین رطوبت خاک و مقدار پارامتر α در محدوده های مختلف رطوبتی متفاوت می باشد. طبق نمودار بدست آمده، در رطوبت های کمتر از ۰/۲، نوسانات مقدار ضریب α کمتر بوده و به مقدار ثابتی میل می کند ولی در رطوبت های بالای ۰/۲، تغییرات این پارامتر بیشتر می باشد. رابطه بین رطوبت خاک و مقدار پارامتر α در بافت های مختلف خاک متفاوت می باشد. به همین منظور، تغییرات پارامتر α با میزان رطوبت خاک در بافت های مختلف و به تفکیک مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۴) نتایج این بررسی را نشان می دهد. در نمونه خاک های با بافت شنی با افزایش میزان رطوبت خاک، افزایش چشمگیری در مقدار α وجود نداشت و رابطه همبستگی مناسبی بین تغییرات رطوبت و α بدست نیامد.

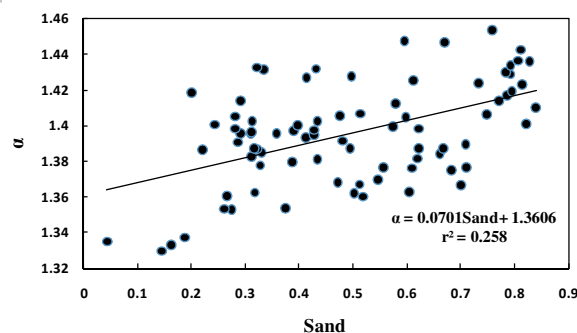
شکل (۳) رابطه بین پارامتر تجربی α را با مقدار رطوبت خاک نشان می دهد. در این بررسی نیز تعداد ۹۶ نمونه استفاده شده است به طوری که در هر نمونه خاک نیز هفت مقدار مختلف رطوبت اندازه گیری شده مورد ارزیابی قرار گرفت و در مجموع ۶۷۲ داده برای بررسی رابطه بین رطوبت و پارامتر مقیاس α به کار گرفته شد. مقدار ضریب همبستگی در رابطه بین مقدار رطوبت حجمی خاک و ضریب α (۰/۴۵) بیش از مقدار آن در رابطه مقدار شن و ضریب α (۰/۲۵) بود. مطابق نمودار بدست آمده، تقریباً در یک روند کلی، با افزایش میزان رطوبت خاک مقدار ضریب α نیز افزایش می یابد. ضریب



شکل ۳- رابطه α با رطوبت حجمی نمونه خاک های مورد مطالعه

محدوده تغییرات α بین ۱/۳ تا ۱/۴۵ و در رطوبت های، شکل ۳- رابطه α با رطوبت حجمی نمونه خاک های مورد مطالعه

در این نمونه خاک ها نیز مشابه نمونه خاک های لوم شنی تغییرات مقدار α در رطوبت های بالای ۰/۲ قابل توجه بود. در نمونه خاک های با بافت سیلتی لوم و در رطوبت های کمتر از ۰/۲ روند مشخصی بین تغییرات رطوبتی خاک با α وجود نداشت، ولی در رطوبت های بالای ۰/۲ با افزایش رطوبت، مقدار α نیز افزایش یافت. بیشترین محدوده تغییرات α مربوط به این دسته بافت خاک می -



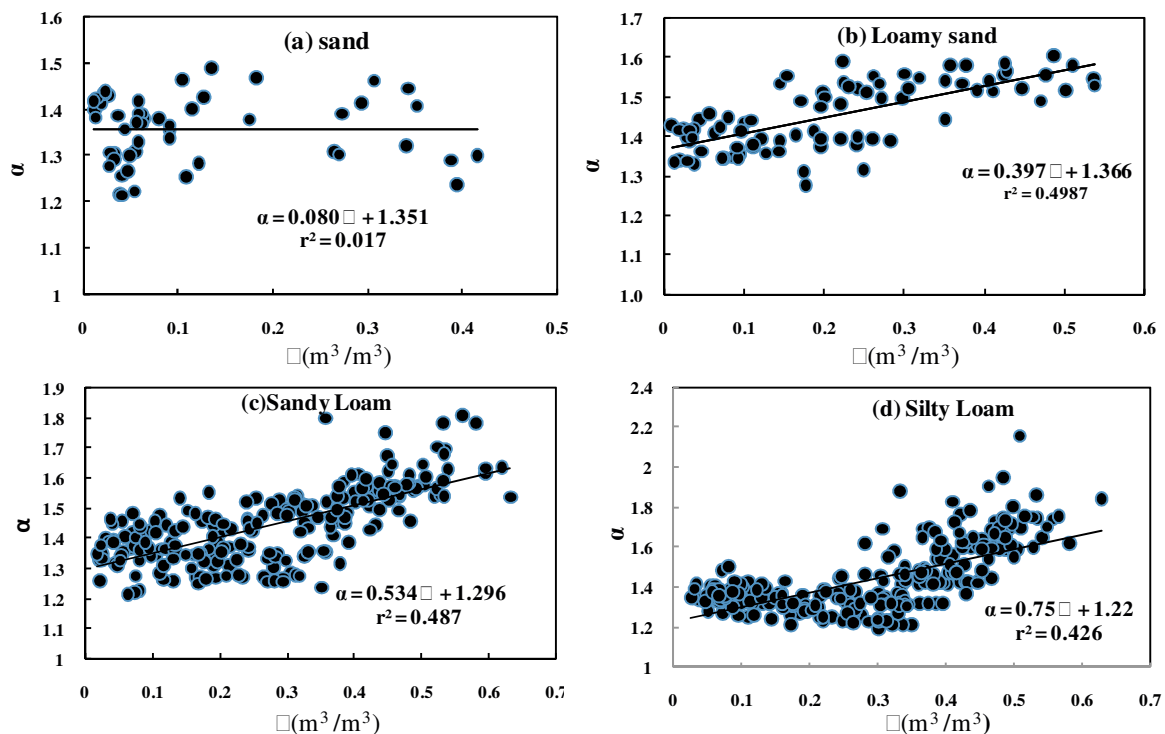
محدوده تغییرات α در رطوبت های مختلف ۱/۲۵ تا

شکل ۲- تغییرات پارامتر α با مقدار شن نمونه خاک ها

۱/۱۵ در نظر گرفت. در نمونه خاک های بررسی شده در دسته لوم شنی با افزایش رطوبت خاک مقدار α نیز افزایش می یابد. در رطوبت های کمتر از ۰/۲ محدوده تغییرات α بین ۱/۲۵ تا ۱/۴۵ و در رطوبت های بالای ۰/۲ محدوده تغییرات α بین ۱/۲۵ تا ۱/۷۵ بود.

نمونه خاک های با بافت شنی لومی با افزایش رطوبت مقدار α نیز افزایش یافت. در رطوبت های کمتر از ۰/۲

شد، به طوری که تغییرات α بین ۱/۲ تا ۲/۱ مشاهده شد. مطالعات پیشین نیز بیانگر تغییرات بیشتر پارامتر مقیاس با افزایش میزان رس خاک می‌باشند.



شکل ۴- رابطه بین رطوبت و پارامتر مقیاس α برای بافت‌های مختلف خاک (a) خاک شنی (b) خاک لوم شنی (c) خاک لوم شنی (d) خاک سیلتی لوم

مقادیر مکش خاک نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده گردید. نتایج بررسی تغییرات α با مقدار شن نمونه خاک-ها نیز نشان داد، رابطه معنی‌داری بین میزان شن و ضریب تجربی α وجود نداشته است. همچنین، نتایج بررسی تغییرات پارامتر α با میزان رطوبت حجمی خاک نشان داد، تقریباً در اکثر نمونه‌ها با افزایش رطوبت خاک از مقدار ۰/۲ به بالا، مقدار ضریب α افزایش می‌یابد

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد، در نمونه خاک‌های بافت شنی و سیلتی لوم روش خطی و در نمونه خاک‌های بافت شن لومی و لوم شنی روش استفاده از مقدار ثابت توصیه شده توسط Arya و همکاران (۱۹۹۹) بهترین عملکرد را در پیش بینی منحنی مشخصه آب خاک ارائه داده است. مطابق نتایج بدست آمده، در اکثر نمونه خاک-ها، روش‌های تخمین ضریب α منجر به برآورد بیشینه

فهرست منابع:

1. ya, L.M. and J.F. Paris. 1981. A physico-empirical model to predict the soil
2. moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density. Soil Science of Society American Journal, 45:1023-1030.
3. Arya, L.M., F.J. Leij, M. Th. Van Genuchten and P.J. Shouse. 1999. Scaling parameter to predict the soil water characteristic from particle-size distribution data. Soil Science of Society American Journal, 63: 510-519.

4. Arya, L.M. and T.S. Dierolf. 1992. Predicting soil moisture characteristics from particle-size distributions: An improved method to calculate pore radius from particle radius. *Soil Science of Society American Journal*, 56:115-124.
5. Basile, A. and G. D'Urso. 1997. Experimental corrections of simplified methods for predicting water retention curves in clay-loamy soils from particle-size determination. *Soil Technology*, 10:261-272.
6. Carlos, M.P.V., M.F. Iossi, J.M. Naime, A. Macedo, J.M. Reichert, D.J. Reinert and M. Cooper. 2005. Validation of the Arya and Paris water retention model for Brazilian soils. *Soil Science of Society American Journal*, 69:577-583.
7. Fuladmand, H. 2007. Improved estimation of water retention curve - soil bulk density and soil grading curve. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 11(4): 63-72 (In Farsi).
8. Jauhiainen, M. 2004. Relationships of particle size distribution curve, Soil water retention curve and unsaturated hydraulic conductivity and their implications on water balance of forested and agricultural hillslopes, Ph.D Thesis, Helsinki University of Technology, Helsinki/Finland.
9. Saxton, K.E., W.J. Rawls, J.S. Romberger and R.I. Papendick. 1986. Estimating soil water characteristics from texture. *Soil Science of Society American Journal*, 50: 1031-1036.
10. Tyler, S.W. and S.W. Wheatcraft. 1989. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation. *Soil Science of Society American Journal*, 53:987-996.
11. Van Genuchten, M. Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science of Society American Journal*, 44:892-898.
12. Wosten, J.H.M, A. Lilly, A. Nemes and C. Le Bas. 1999. Development and use of a dataBase of hydraulic properties of European soils. *Geoderma*, 90:169-185.
13. Wosten, J.H.M. 1997. Pedotransfer functions to evaluate soil quality. In: Gregorich, E.G., Carter, M.R.Zeds., soil quality for crop production and Ecosystem Health. *Developments in Soil Science*, vol. 25, Elsevier, Amsterdam, pp. 221-245.
14. Wosten, J.H.M., P.A. Finke and M.J.W. Janes. 1995. Comparison of class and continuous pedotransfer functions to generate soil hydraulic characteristics. *Geoderma*, 66:227-237.