



دانشگاه گورگان، دانشکده کشاورزی، میناب، گورگان

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد هجدهم، شماره اول، ۱۳۹۰  
www.gau.ac.ir/journals

## تخمین منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از چند روش محاسبه عامل مقیاس‌بندی

\* حمیدرضا فولادمند

استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مرودشت  
تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۲۰

### چکیده

به رابطه بین رطوبت و مکش آب خاک، منحنی مشخصه خاک گفته می‌شود که اندازه‌گیری آن وقت گیر و پرهزینه است. آریا و همکاران (۱۹۹۹) روشی را برای تخمین منحنی مشخصه آب خاک براساس منحنی دانه‌بندی و جرم مخصوص ظاهری خاک ارائه نموده‌اند که در این مدل از عامل مقیاس‌بندی  $\alpha$  استفاده می‌گردد. برای تعیین این عامل از سه روش:  $\alpha$  ثابت، خطی و لجستیک استفاده می‌شود که ضرایب مربوط به هر روش برای برخی از بافت‌های خاک معلوم می‌باشد. در این پژوهش از ۲۰ نمونه خاک مختلف در استان فارس استفاده شد و سه رابطه نمایی، لگاریتمی و توانی (آلفا-۱ تا آلفا-۳) برای تخمین عامل  $\alpha$  براساس رطوبت خاک و یک رابطه پیر منبای روش  $\alpha$  خطی (آلفا-۴) به دست آمد. سپس با استفاده از ۵ نمونه خاک دیگر از استان‌های فارس و بوشهر، منحنی مشخصه هر نمونه خاک از ۸ روش مختلف تخمین زده شد و با مقادیر اندازه‌گیری شده از ترکیب روش‌های ستون آویزان و دستگاه صفحات فشاری مقایسه گردید. این ۸ روش عبارت بودند از: روش‌های لجستیک، خطی، خوشنودیزدی و قهرمان (۲۰۰۴)، رضایی و همکاران (۲۰۰۵) و آلفا-۱ تا آلفا-۴. بررسی نتایج نشان داد که در دو نمونه خاک با بافت‌های رس و لوم رسی سیلتی روش آلفا-۴ و در ۳ نمونه خاک با بافت‌های رس سیلتی، لوم و لوم شنی روش لجستیک مناسب‌تر از سایر روش‌ها بوده است.

واژه‌های کلیدی: منحنی مشخصه آب- خاک، عامل مقیاس‌بندی، روش لجستیک، روش خطی

\* مسئول مکاتبه: hrfoolad@yahoo.com

## مقدمه

به رابطه بین رطوبت و مکش خاک، منحنی مشخصه آب خاک و یا منحنی رطوبتی خاک گفته می‌شود که یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک است و در مسایل مربوط به آبیاری و زه‌کشی، نفوذ، هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک، حرکت نمک‌ها در نیم‌رخ خاک و... نقش دارد. اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و میدانی این منحنی وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد. به همین علت روش‌های زیادی برای تخمین این منحنی براساس سایر ویژگی‌های فیزیکو-شیمیایی خاک‌ها ارایه شده است که بیش‌تر این روش‌ها دارای مبنای فیزیکی و ریاضی هستند.

آریا و پاریس (۱۹۸۱) روشی برای تخمین منحنی مشخصه براساس منحنی دانه‌بندی و جرم مخصوص ظاهری خاک و بر مبنای شباهت ظاهری بین منحنی دانه‌بندی و منحنی مشخصه خاک ارایه نمودند. در این مدل از عامل مقیاس‌بندی  $\alpha$  استفاده شد و این ضریب بین  $1/35$  تا  $1/4$  به دست آمد که در نهایت برای همه خاک‌ها مقداری برابر  $1/38$  در نظر گرفته شد. پژوهش‌های بعدی توسط آریا و همکاران (۱۹۹۹) نشان داد که عامل  $\alpha$  بین  $1/1$  برای بافت‌های ریز تا  $2/5$  برای بافت‌های درشت تغییر می‌کند. بنابراین ضریب  $\alpha$  نمی‌تواند برای بافت‌های مختلف خاک‌ها یکسان باشد و حتی در بخش‌های مختلف منحنی دانه‌بندی یک خاک معین هم ثابت نمی‌باشد. به همین دلیل آریا و همکاران (۱۹۹۹) سه روش:  $\alpha$  ثابت، خطی و لجستیک را برای تعیین مقدار  $\alpha$  در بعضی از بافت‌های خاک ارایه نمودند. از طرف دیگر برای تخمین منحنی مشخصه از روش آریا و همکاران (۱۹۹۹) باید منحنی دانه‌بندی خاک نیز موجود باشد، در حالی که در بسیاری از موارد تنها درصد ذرات رس، سیلت و شن خاک موجود می‌باشد. برای حل این مشکل می‌توان منحنی دانه‌بندی خاک را از روش ارایه شده توسط اسکگرز و همکاران (۲۰۰۱) که به وسیله فولادمند و سپاسخواه (۲۰۰۶) تعدیل یافته است، استفاده نمود.

در رابطه با تخمین منحنی مشخصه براساس روش پیشنهادی آریا و همکاران (۱۹۹۹) پژوهش‌هایی نیز در کشور انجام شده است. رضایی و نیشابوری (۲۰۰۲) با انجام آزمایش‌هایی بر روی تعدادی نمونه خاک از مناطق شمال‌غربی کشور نشان دادند که مقدار  $\alpha$  بین  $1/2$  تا  $1/43$  تغییر می‌کند و رقم میانگین  $1/3$  را برای همه خاک‌ها گزارش نمودند. خوشنودیزدی و قهرمان (۲۰۰۴) با استفاده از تعدادی نمونه خاک در مناطق آمل، بابل و کرج رابطه‌ای برای تخمین مقدار  $\alpha$  به دست آوردند. رضایی و همکاران (۲۰۰۵) نیز با انجام آزمایش بر روی تعدادی نمونه خاک از مناطق شمال‌غربی

کشور، رابطه جدیدی برای تخمین مقدار  $\alpha$  ارایه کردند. فولادمند و همکاران (۲۰۰۴) نیز برای تخمین منحنی مشخصه ۷ نمونه خاک از استان‌های فارس و بوشهر از روش ارایه شده توسط آریا و همکاران (۱۹۹۹) و براساس تخمین منحنی دانه‌بندی به روش اسکگرز و همکاران (۲۰۰۱) استفاده نمودند. نتایج پژوهش‌های فولادمند و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که استفاده از کران انتهایی شعاع ۹۹۹ میکرومتر برای تخمین منحنی مشخصه مناسب‌تر از استفاده از کران انتهایی شعاع ۱۲۵ میکرومتر می‌باشد که به‌وسیله اسکگرز و همکاران (۲۰۰۱) پیشنهاد شده است. سپس در پژوهش دیگری فولادمند (۲۰۰۷) بر روی ۱۹ نمونه خاک مختلف از مجموعه خاک‌های آنسودا<sup>۱</sup> نشان داد که تخمین منحنی مشخصه در بیش‌تر خاک‌ها با استفاده از ترکیب روش لجستیک و تخمین منحنی دانه‌بندی اصلاح شده به‌وسیله فولادمند و سپاسخواه (۲۰۰۶) مناسب‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد. قنبریان علویچه و همکاران (۲۰۰۸) نیز با توجه به رابطه بسیار نزدیک منحنی مشخصه و منحنی دانه‌بندی خاک و با استفاده از هندسه فرکتالی، رابطه‌ای منطقی بین ابعاد فرکتالی این دو منحنی به‌دست آوردند تا براساس آن بتوان با اندازه‌گیری منحنی دانه‌بندی خاک، منحنی مشخصه را به آسانی تخمین زد. رخشنده‌رو و اسلامی حقیقت (۲۰۰۸) نیز برای تخمین منحنی مشخصه با استفاده از منحنی دانه‌بندی به‌جای در نظر گرفتن عددی ثابت برای نسبت پوکی خاک (e)، از نسبت پوکی متغیر (موضعی) برای تخمین منحنی مشخصه خاک استفاده نمودند و نتایج منجر به بهبود تخمین منحنی مشخصه گردید.

برای تخمین منحنی مشخصه خاک بر مبنای روش پیشنهادی آریا و همکاران (۱۹۹۹) از یکی از روش‌های خطی و یا لجستیک برای تعیین عامل مقیاس‌بندی  $\alpha$ ، نیاز به دانستن این ضرایب برای بافت‌های مختلف خاک می‌باشد. آریا و همکاران (۱۹۹۹) این ضرایب را برای بافت‌های شن، لوم، شنی، لوم، سیلت لوم و رس و فولادمند و همکاران (۲۰۰۴) این ضرایب را برای بافت‌های رس سیلتی و لوم رسی سیلتی به‌دست آورده‌اند، ولی این ضرایب برای سایر بافت‌های خاک معلوم نمی‌باشد. از این نظر هدف از این پژوهش ارایه روابطی برای تخمین عامل مقیاس‌بندی  $\alpha$  بدون وابستگی به نوع بافت خاک می‌باشد تا بتوان از روش پیشنهادی آریا و همکاران (۱۹۹۹) منحنی مشخصه خاک را به سهولت تخمین زد. این رابطه‌ها برای ۲۰ نمونه خاک از استان فارس تعیین خواهد شد و بر روی ۵ نمونه خاک دیگر از استان‌های فارس و بوشهر مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

## مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش ۲۰ نمونه خاک با تنوع بافتی به‌طور نسبی مناسب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از مناطق اطراف شهرستان‌های مرودشت و فسا در استان فارس تهیه گردید. سپس منحنی دانه‌بندی هر نمونه خاک با ترکیب روش‌های هیدرومتر و شستشو با الک اندازه‌گیری و بافت هر نمونه خاک براساس طبقه‌بندی آمریکایی (USDA) بر پایه ارقام درصد ذرات رس، سیلت و شن تعیین شد. منحنی مشخصه هر نمونه خاک نیز با ترکیب روش‌های ستون آویزان برای مکش‌های صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر (معادل صفر، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ کیلوپاسکال) و دستگاه صفحات فشاری برای مکش‌های ۳۰، ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال (معادل ۳۰۰، ۱۰۰۰، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد. جرم مخصوص ظاهری هر نمونه خاک نیز با استفاده از استوانه‌های نمونه‌برداری از خاک اندازه‌گیری گردید. برخی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده نمونه‌های خاک به‌کار رفته در این پژوهش در جدول ۱ ارایه شده است.

مقدار مکش آب خاک در بخش‌های مختلف منحنی دانه‌بندی براساس روش پیشنهادی آریا و همکاران (۱۹۹۹) از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

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

که در آن،  $h_i$ : مکش آب خاک در بخش  $i$  ام منحنی دانه‌بندی بر حسب سانتی‌متر،  $R_i$ : میانگین اندازه شعاع ذرات خاک در بخش  $i$  ام منحنی دانه‌بندی بر حسب سانتی‌متر،  $e$ : نسبت پوکی خاک،  $n_i$ : تعداد کل ذرات کروی شکل خاک در بخش  $i$  ام منحنی دانه‌بندی بر حسب یک بر گرم،  $\alpha_i$ : عامل مقیاس‌بندی در بخش  $i$  ام منحنی دانه‌بندی می‌باشد.

رابطه (۱) با انتقال مقدار  $\alpha_i$  به‌سمت چپ به‌صورت رابطه زیر تبدیل می‌شود:

$$\alpha_i = 1 - \frac{\log \left( \frac{0.18^2}{h_i^2 R_i^2 e} \right)}{\log n_i} \quad (2)$$

جدول ۱- ویژگی های ۲۰ نمونه خاک به کار رفته در این پژوهش برای به دست آوردن رابطه های آلفا- ۱ تا آلفا- ۴.

$H_i$	$\alpha_{1i}$ (یک بر متر)	$\theta_i^*$ (دترمکعب بر مترمکعب)	رطوبت حجمی اشباع (دترمکعب بر مترمکعب)	جرم مخصوص ظاهری خاک (دترمکعب بر مترمکعب)	بافت نمونه های خاک	شبن (درصد)	سیلت (درصد)	رسی (درصد)
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۱۸/۱	رسی سیلتی	۸	۵۰	۴۲
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۱۸/۱	سیلت لوم	۱۸	۵۶	۳۶
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۳۴/۱	رسی سیلتی	۴	۵۰	۴۶
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۳۹/۱	لوم رسی سیلتی	۸	۶۲	۳۰
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۳۴/۱	لوم رسی سیلتی	۱۲	۵۶	۳۲
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۳۰/۱	لوم رسی سیلتی	۱۰	۶۱	۲۹
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۳۴/۱	لوم رسی سیلتی	۷	۵۳	۳۹
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۳۴/۱	لوم رسی سیلتی	۶	۶۰	۳۴
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۵۵/۱	شبن لومی	۸۰	۶۱	۴
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۶۰/۱	لوم شنی	۱۳	۳۰	۷
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۸۷/۱	لوم شنی	۱۳	۷۱	۹
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۱۶/۱	شبن لومی	۶۹	۸۱	۱۱
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۸۸/۱	سیلت لوم	۶۱	۱۵	۱۱
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۱۳/۱	شبن لومی	۷۸	۷۱	۶
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۳۳/۱	لوم	۳۱	۵۰	۱۸
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۵۳/۱	سیلت لوم	۲۰	۶۵	۱۴
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۷۱/۱	لوم رسی سیلتی	۱۲	۷۵	۱۳
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۷۱/۱	لوم رسی سیلتی	۷۱	۳۵	۷۸
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۸۳/۱	سیلت لوم	۱۱	۵۵	۳۴
۱۸/۱	۳۸/۰	۰۸۳/۰	۷۱/۱	۱۳/۱	سیلت لوم	۱۸	۵۵	۲۸

\*ضریب های رابطه ونگوختن (۱۹۸۰).

در این پژوهش برای هر نمونه خاک، مقدار رطوبت حجمی نمونه خاک در هر بخش از منحنی دانه‌بندی از رابطه‌های زیر تعیین گردید (آریا و همکاران، ۱۹۹۹):

$$V_{vi} = \frac{W_i}{\rho_s} e \quad (3)$$

$$\theta_i = \rho_b \sum_{j=1}^i V_{vj} \quad (4)$$

که در آن‌ها،  $V_{vi}$ : حجم خلل و فرج خاک در واحد جرم در بخش  $i$  ام منحنی دانه‌بندی بر حسب سانتی‌متر مکعب بر گرم،  $W_i$ : جرم ذرات جامد خاک در واحد جرم در بخش  $i$  ام منحنی دانه‌بندی بر حسب گرم بر گرم،  $\rho_s$ : جرم مخصوص واقعی خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب،  $\theta_i$ : مقدار رطوبت حجمی آب خاک در بخش  $i$  ام منحنی دانه‌بندی بر حسب مترمکعب بر مترمکعب،  $\rho_b$ : جرم مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد.

بنابراین با استفاده از رابطه (۴) در هر بخش از منحنی دانه‌بندی مقدار رطوبت حجمی خاک تعیین گردید و سپس با استفاده از ضرایب رابطه ونگنوختن (۱۹۸۰) برای هر نمونه خاک (که در جدول ۱ ارائه شده است)، مقدار مکش آب خاک در هر بخش از منحنی دانه‌بندی خاک تعیین شد و پس از آن با استفاده از رابطه (۲) مقدار  $\alpha_i$  در هر بخش از منحنی دانه‌بندی خاک محاسبه گردید. با این اقدام برای هر نمونه خاک به‌ازای هر میزان  $\theta_i$  مقداری برای  $\alpha_i$  به‌دست آمد. پس از آن بین همه مقادیر  $\theta_i$  و  $\alpha_i$  های همه نمونه‌های خاک سه رابطه نمایی، لگاریتمی و توانی برقرار گردید که در ادامه به‌نام روش‌های آلفا-۱ تا آلفا-۳ معرفی شده‌اند.

از سوی دیگر روش خطی برای تعیین مقدار  $\alpha$  براساس رابطه‌های زیر می‌باشد (آریا و همکاران، ۱۹۹۹):

$$N_i = \sqrt[3]{\frac{h_{mi}}{\rho_s R_i}} W_i e \quad (5)$$

$$\log N_i = a + b \log \frac{W_i}{R_i} \quad (6)$$

که در آن‌ها،  $N_i$ : تعداد کل ذرات کروی‌شکل واقعی خاک در بخش  $i$  ام منحنی دانه‌بندی خاک بر حسب یک بر گرم،  $h_{mi}$ : مکش آب خاک اندازه‌گیری شده از منحنی مشخصه موجود در بخش  $i$  ام منحنی دانه‌بندی خاک بر حسب سانتی‌متر می‌باشد.

ضرایب a و b رابطه (۶) برای بافت‌های مختلف خاک به دست آمده است (آریا و همکاران، ۱۹۹۹؛ فولادمند و همکاران، ۲۰۰۴). ولی در این پژوهش با توجه به اندازه‌گیری همه عامل‌های رابطه‌های (۵) و (۶) برای ۲۰ نمونه خاک مورد آزمایش، یک رابطه خطی مانند رابطه (۶) برای تخمین مقدار  $\alpha$  به دست آمد که در ادامه به نام روش آلفا-۴ معرفی شده است.

خوشنودیزدی و قهرمان (۲۰۰۴) نیز براساس روش خطی، رابطه زیر را برای تخمین مقدار  $\alpha$  به دست آوردند:

$$\log N_i = -0.331 + 1/136 \log \frac{W_i}{R_i^r} \quad (7)$$

همچنین رضایی و همکاران (۲۰۰۵) براساس روش خطی، رابطه زیر را برای تخمین مقدار  $\alpha$  به دست آوردند:

$$\log N_i = \left( \log \frac{3}{\varepsilon \pi \rho_s} \right) + \left[ (1/0.156 e^{-0.953}) \log \frac{W_i}{R_i^r} \right] \quad (8)$$

در رابطه بالا،  $e$  نسبت پوکی خاک می‌باشد.

برای ارزیابی نتایج تخمین منحنی مشخصه براساس روش‌های مختلف محاسبه عامل مقیاس‌بندی  $\alpha$  از ۵ نمونه خاک دیگر از استان‌های فارس و بوشهر که دارای اندازه‌گیری منحنی مشخصه خاک بودند استفاده شد (کشمیری‌پور و نیازی، ۲۰۰۰). مشخصات این نمونه‌های خاک در جدول ۲ ارائه شده است. از آنجایی که این نمونه‌های خاک تنها دارای اطلاعات معلوم مقادیر درصد ذرات رس، سیلت و شن بودند، از این نظر در ابتدا منحنی دانه‌بندی این ۵ نمونه خاک از روش فولادمند و سپاسخواه (۲۰۰۶) تخمین زده شد. سپس منحنی مشخصه هر یک از این ۵ نمونه خاک، با ۸ روش مختلف تخمین زده شد و نتایج برای هر نمونه خاک با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه گردید. این ۸ روش شامل روش‌های لجستیک و خطی با ضرایب معلوم برای هر بافت که جزئیات کامل این دو روش به وسیله فولادمند و همکاران (۲۰۰۴) ارائه شده است، روش خوشنودیزدی و قهرمان (رابطه ۷)، روش رضایی و همکاران (رابطه ۸) و روش‌های آلفا-۱ تا آلفا-۴ می‌باشند.

جدول ۲- ویژگی‌های ۵ نمونه خاک به کار رفته برای ارزیابی تخمین منحنی مشخصه خاک (کشمیری پور و نیازی، ۲۰۰۰).

رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	رطوبت حجمی اشباع (مترمکعب بر متر مکعب)
۵۳/۲	۳۸/۲	۸/۶	رس	۱/۶۵	۰/۴۲۵
۴۹/۲	۴۲/۲	۸/۶	رس سیلتی	۱/۷۲	۰/۴۱۱
۳۶/۶	۴۵/۴	۱۸/۰	لوم رسی سیلتی	۱/۳۳	۰/۴۵۵
۱۶/۷	۱۵/۷	۶۷/۶	لوم شنی	۱/۴۱	۰/۳۳۲
۲۰/۶	۴۳/۴	۳۶/۰	لوم	۱/۶۰	۰/۳۶۵

### نتایج

روابط به دست آمده برای تخمین مقدار  $\alpha$  که به ترتیب به نام روش‌های آلفا-۱ تا آلفا-۴ در نظر گرفته شده‌اند به صورت زیر می‌باشند.

$$\alpha_i = 1/1125 + 1/17434 \exp\left(\frac{-\theta_i}{0/0746}\right) \quad (9)$$

$$\alpha_i = -0/3421 \ln(\theta_i) + 0/7228 \quad (10)$$

$$\alpha_i = 0/8395 \theta_i^{-0/2012} \quad (11)$$

$$\log N_i = -3/1421 + 1/5013 \log \frac{W_i}{R_i^r} \quad (12)$$

ضریب تبیین  $R^2$  رابطه‌های (۹) تا (۱۲) به ترتیب برابر با ۰/۵۱، ۰/۴۸، ۰/۴۸ و ۰/۷۲ بوده است و چنانچه مشاهده می‌شود ضریب تبیین  $R^2$  رابطه‌های (۹) تا (۱۱) به طور نسبی کم می‌باشند.

برای مقایسه نتایج به دست آمده از ۸ روش مختلف تخمین در مرحله ارزیابی بر روی ۵ نمونه خاک استان‌های فارس و بوشهر (کشمیری پور و نیازی، ۲۰۰۰)، در مکش‌های اندازه‌گیری شده هر نمونه از خاک‌ها، رطوبت حجمی نمونه‌ها محاسبه شد. سپس خطای استاندارد (SE) تخمینی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:



$$SE = \sqrt{\frac{I}{N_p - 1} \times \Sigma(\theta_m - \theta_p)^2} \quad (13)$$

که در آن،  $N_p$ : تعداد جفت‌های اندازه‌گیری شده رطوبت حجمی و مکش ماتریک خاک،  $\theta_m$  و  $\theta_p$ : به ترتیب مقادیر رطوبت حجمی خاک اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده برحسب مترمکعب بر مترمکعب می‌باشند.

مقادیر خطای استاندارد (SE) برای رطوبت‌های حجمی خاک و روش‌های مختلف تخمین منحنی مشخصه در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر کم‌تر خطای استاندارد نشان‌دهنده دقت بیش‌تر نتایج به‌دست آمده از تخمین می‌باشد. به‌طوری‌که در این جدول مشاهده می‌شود در ۲ نمونه خاک با بافت‌های رس و لوم رسی سیلتی روش آلفا-۴ و در ۳ نمونه خاک با بافت‌های رس سیلتی، لوم و لوم شنی روش لجستیک مناسب‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد. چنان‌چه مشاهده می‌شود روش یکسانی برای همه بافت‌های خاک مناسب نمی‌باشد. در شکل ۱ نیز منحنی‌های مشخصه اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده از بهترین روش ممکن برای خاک‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۳- مقادیر خطای استاندارد برای رطوبت‌های حجمی خاک در روش‌های مختلف تخمین منحنی مشخصه خاک‌های مختلف.

بافت خاک	لجستیک	خطی	و قهرمان (۲۰۰۴)	رضایی و همکاران (۲۰۰۵)	آلفا-۱	آلفا-۲	آلفا-۳	آلفا-۴
رس	۰/۰۲۷	۰/۰۴۷	۰/۰۲۹	۰/۰۸۰	۰/۰۵۳	۰/۰۵۱	۰/۰۵۱	۰/۰۲۴
رس سیلتی	۰/۰۱۴	۰/۰۶۲	۰/۰۵۷	۰/۰۷۲	۰/۰۶۸	۰/۰۶۰	۰/۰۶۲	۰/۰۲۶
لوم رسی سیلتی	۰/۰۳۳	۰/۰۴۴	۰/۰۵۷	۰/۰۵۹	۰/۰۴۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۵	۰/۰۱۴
لوم شنی	۰/۰۴۷	۰/۰۶۹	۰/۱۱۴	۰/۱۱۸	۰/۰۶۶	۰/۰۶۷	۰/۰۶۹	۰/۱۰۴
لوم	۰/۰۵۱	۰/۰۹۲	۰/۱۳۸	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۹۰	۰/۰۹۴	۰/۱۰۵

## بحث

نتایج جدول ۳ نشان داد که:

۱- در نمونه خاک با بافت رس، روش آلفا- ۴ مناسب‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد. روش آلفا- ۴ (رابطه ۱۲) در واقع همان روش خطی است که ضرایب آن با توجه به ۲۰ نمونه خاک مورد استفاده برای استان فارس به‌دست آمده است. همچنین روش لجستیک با توجه به ضرایب ارایه شده توسط آریا و همکاران (۱۹۹۹) در اولویت دوم قرار دارد. بنابراین روش خطی با ضرایب ارایه شده توسط آریا و همکاران (۱۹۹۹) برای این نوع خاک‌ها مناسب نمی‌باشد. گرچه پژوهش‌های فولادمند و همکاران (۲۰۰۴) برای همین نوع خاک بدون استفاده از روش تعدیل‌یافته تخمین منحنی دانه‌بندی خاک ارایه شده توسط فولادمند و سپاسخواه (۲۰۰۶) نشان داد که استفاده از روش خطی مناسب‌تر از روش لجستیک می‌باشد، ولی از سوی دیگر نتایج پژوهش‌های فولادمند (۲۰۰۷) با کاربرد روش تعدیل‌یافته تخمین منحنی دانه‌بندی خاک ارایه شده توسط فولادمند و سپاسخواه (۲۰۰۶) برای ۷ نمونه خاک با بافت رس از مجموعه نمونه‌های خاک آنسودا نشان داد که استفاده از روش لجستیک مناسب‌تر از روش خطی می‌باشد. همچنین روش خوشنودیزی و قهرمان (رابطه ۷) گرچه برای مناطق شمالی کشور به‌دست آمده است، ولی برای خاک با بافت رس به‌کار رفته در این پژوهش در اولویت سوم قرار دارد.

۲- در نمونه خاک با بافت لوم رسی سیلتی، روش آلفا- ۴ مناسب‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد. روش آلفا- ۲ (رابطه ۱۰) نیز در اولویت دوم قرار دارد. همچنین روش لجستیک با توجه به ضرایب ارایه شده توسط آریا و همکاران (۱۹۹۹) در اولویت سوم قرار دارد. بنابراین روش خطی با ضرایب ارایه شده توسط آریا و همکاران (۱۹۹۹) برای این نوع خاک مناسب نمی‌باشد. گرچه پژوهش‌های فولادمند و همکاران (۲۰۰۴) برای همین نوع خاک بدون استفاده از روش تعدیل‌یافته تخمین منحنی دانه‌بندی خاک ارایه شده توسط فولادمند و سپاسخواه (۲۰۰۶) نشان داد که استفاده از روش خطی مناسب‌تر از روش لجستیک می‌باشد.

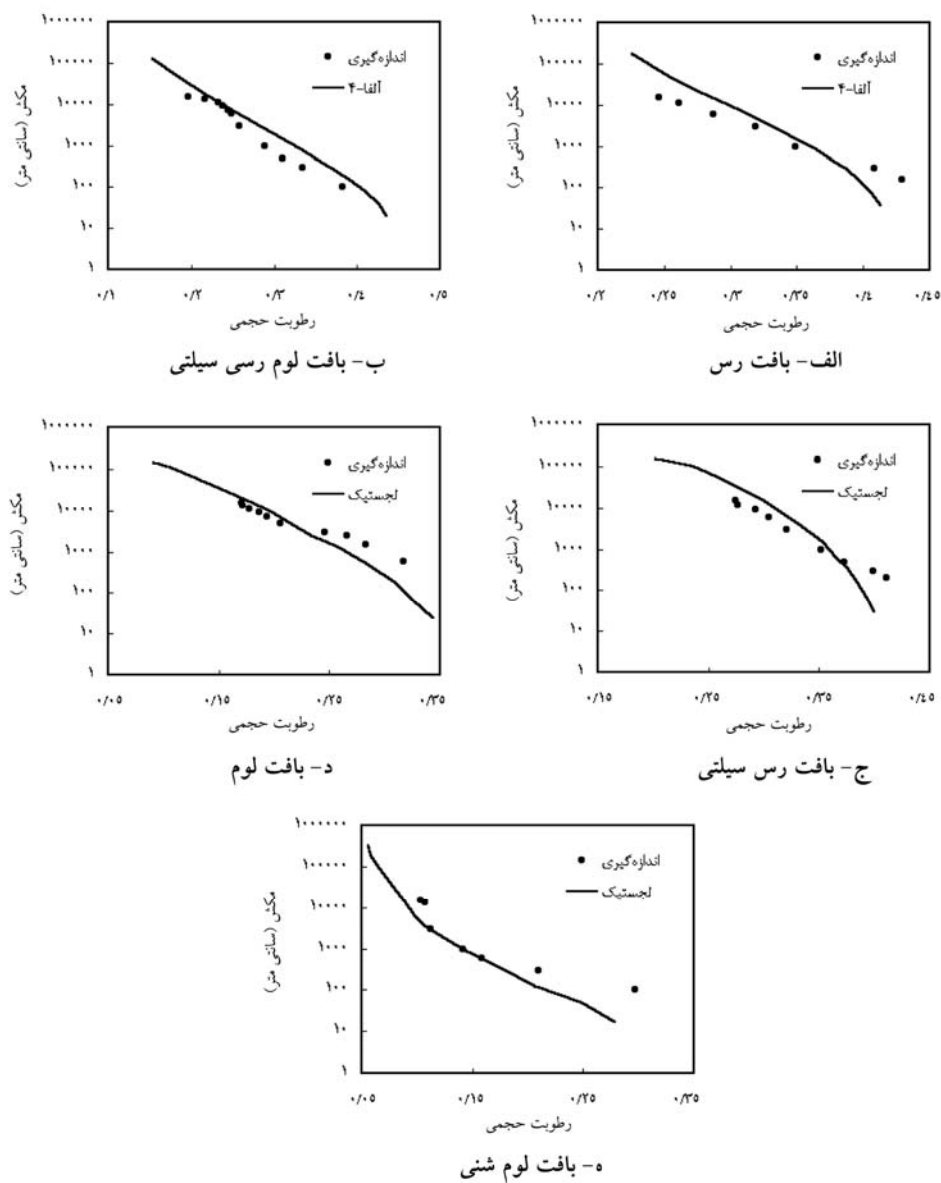
۳- در نمونه خاک با بافت رس سیلتی، روش لجستیک با توجه به ضرایب ارایه شده توسط آریا و همکاران (۱۹۹۹) مناسب‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد. بنابراین روش خطی با ضرایب ارایه شده به‌وسیله آریا و همکاران (۱۹۹۹) برای این نوع بافت خاک مناسب نمی‌باشد، هر چند پژوهش‌های

فولادمند و همکاران (۲۰۰۴) برای همین نوع خاک بدون استفاده از روش تعدیل یافته تخمین منحنی دانه بندی خاک ارایه شده توسط فولادمند و سپاسخواه (۲۰۰۶) نشان داد که استفاده از روش خطی مناسب تر از روش لجستیک می باشد. روش آلفا- ۴ نیز در اولویت دوم قرار دارد. همچنین روش خوشنودیزدی و قهرمان (۲۰۰۴) نیز در اولویت سوم قرار دارد.

۴- در نمونه خاک با بافت لوم، روش لجستیک با توجه به ضرایب ارایه شده توسط آریا و همکاران (۱۹۹۹) مناسب تر از سایر روش ها می باشد و روش خطی با ضرایب ارایه شده به وسیله آریا و همکاران (۱۹۹۹) در اولویت سوم قرار دارد. پژوهش های فولادمند و همکاران (۲۰۰۴) نیز برای همین نوع خاک بدون استفاده از روش تعدیل یافته تخمین منحنی دانه بندی خاک ارایه شده توسط فولادمند و سپاسخواه (۲۰۰۶) نشان داد که استفاده از روش لجستیک مناسب تر از روش خطی است. همچنین پژوهش های فولادمند (۲۰۰۷) با کاربرد روش تعدیل یافته تخمین منحنی دانه بندی خاک ارایه شده توسط فولادمند و سپاسخواه (۲۰۰۶) برای سه نوع خاک با بافت لوم از مجموعه نمونه های خاک آنسودا نشان داد که استفاده از روش لجستیک مناسب تر از روش خطی می باشد. روش آلفا- ۲ نیز برای این نوع خاک در اولویت دوم قرار دارد.

۵- در نمونه خاک با بافت لوم شنی، روش لجستیک با توجه به ضرایب ارایه شده توسط آریا و همکاران (۱۹۹۹) مناسب تر از سایر روش ها می باشد و روش خطی با ضرایب ارایه شده به وسیله آریا و همکاران (۱۹۹۹) برای این نوع خاک مناسب نمی باشد. پژوهش های فولادمند و همکاران (۲۰۰۴) نیز برای همین نوع خاک بدون استفاده از روش تعدیل یافته تخمین منحنی دانه بندی خاک ارایه شده توسط فولادمند و سپاسخواه (۲۰۰۶) نشان داد که استفاده از روش لجستیک مناسب تر از روش خطی است. همچنین پژوهش های فولادمند (۲۰۰۷) با کاربرد روش تعدیل یافته تخمین منحنی دانه بندی خاک ارایه شده توسط فولادمند و سپاسخواه (۲۰۰۶) برای دو نوع خاک با بافت لوم شنی از مجموعه نمونه های خاک آنسودا نشان داد که استفاده از روش لجستیک مناسب تر از روش خطی می باشد. روش های آلفا- ۱ و آلفا- ۲ نیز برای این نوع خاک در اولویت های دوم و سوم قرار دارند.

۶- روش خوشنودیزدی و قهرمان (۲۰۰۴) تنها برای دو نوع بافت رس و رس سیلتی در اولویت سوم قرار گرفت، در صورتی که روش رضایی و همکاران (۲۰۰۵) برای هیچ کدام از نمونه های خاک مناسب نمی باشد.



شکل ۱- منحنی مشخصه اندازه‌گیری و تخمین زده شده از بهترین روش ممکن برای ۵ نمونه خاک مختلف.

## نتیجه گیری

گرچه هدف اصلی از انجام این پژوهش به دست آوردن رابطه‌ای مناسب برای محاسبه عامل مقیاس‌بندی  $\alpha$  برای استفاده از روش آریا و همکاران (۱۹۹۹) برای تخمین منحنی مشخصه خاک بود، ولی نتایج این پژوهش نشان داد که تنها در دو نوع بافت رس و لوم رسی سیلتی استفاده از روش آلفا- $\epsilon$  (رابطه ۱۲) که در واقع همان روش خطی است که ضرایب آن با توجه به ۲۰ نمونه خاک مورد استفاده برای استان فارس به دست آمده است، مناسب می‌باشد. در همین دو نوع خاک روش لجستیک با توجه به ضرایب ارایه شده توسط آریا و همکاران (۱۹۹۹) در اولویت‌های دوم و سوم قرار دارد. در نمونه‌های خاک با بافت‌های رس سیلتی، لوم و لوم شنی نیز روش لجستیک با توجه به ضرایب ارایه شده توسط آریا و همکاران (۱۹۹۹) مناسب‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد. به‌طورکلی در ۵ نمونه خاک مورد ارزیابی قرار گرفته به ترتیب روش‌های لجستیک، آلفا- $\epsilon$  و آلفا- $\epsilon$  در اولویت‌های اول تا سوم قرار دارند. ولی به‌طورکلی رابطه‌های آلفا- $\epsilon$  تا آلفا- $\epsilon$  ۳ چندان مناسب نمی‌باشند که این موضوع با ضریب تبیین  $R^2$  کم این رابطه‌ها (به ترتیب برابر ۰/۵۱، ۰/۴۸ و ۰/۴۸) مطابقت دارد. بنابراین مناسب‌ترین روش برای تخمین منحنی مشخصه خاک استفاده از روش لجستیک با توجه به ضرایب ارایه شده توسط آریا و همکاران (۱۹۹۹) و همچنین کاربرد روش فولادمند و سپاسخواه (۲۰۰۶) برای تخمین منحنی دانه‌بندی خاک می‌باشد. گرچه توسط پژوهشگران کشور روابطی برای تخمین عامل مقیاس‌بندی  $\alpha$  ارایه شده است، ولی لازم است تا این پژوهش‌های به‌صورت گسترده‌تری در کل سطح کشور و با نمونه‌های خاک بسیار بیش‌تری با تنوع بافتی کامل‌تری انجام شود تا شاید بتوان رابطه‌ای برای کل کشور ارایه داد، زیرا نتایج این پژوهش ممکن است برای دیگر نقاط کشور قابل استفاده نباشد، هم‌چنان‌که نتایج پژوهش‌های خوشنودیزدی و قهرمان (۲۰۰۴) و رضایی و همکاران (۲۰۰۵) برای ۵ نمونه خاک مورد استفاده در این پژوهش مناسب نمی‌باشد.

## منابع

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

3. Fooladmand, H.R. 2007. Improvement in estimation of soil-moisture characteristic curve based on soil particle size distribution and bulk density. Isfahan, J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 11: 41. 63-73. (In Persian)
4. Fooladmand, H.R., and Sepaskhah, A.R. 2006. Improved estimation of the soil particle-size distribution from textural data. Biosys. Engin. 94: 133-138.
5. Fooladmand, H.R., Sepaskhah, A.R., and Niazi, J. 2004. Estimating soil-moisture characteristic curve based on soil particle size distribution curve and bulk density. Isfahan, J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 8: 1. 1-13. (In Persian)
6. Ghanbarian-Alavijeh, B., Liaghat, A.M., Shorafa, M., and Moghimi-Araghi, S. 2008. Prediction of soil water retention curve using soil particle-size distribution. Karaj, J. Agric. Engin. Res. 9: 1. 63-80. (In Persian)
7. Keshmiripour, B., and Niazi, J. 2000. Evaluation and comparison of three methods for determining soil moisture characteristic curve and unsaturated soil hydraulic conductivity in five soils of Fars and Boushehr province. Fars Agricultural Research and Education Organization, Agricultural Engineering and Soil and Water Research Departments, Iran, 21p. (In Persian)
8. Khoshnood Yazdi, A.A., and Ghahreman, B. 2004. Investigation of relationships between soil texture and scaling parameter to predict soil water content. Karaj, J. Agric. Engin. Res. 5: 20. 17-34. (In Persian)
9. Rakhshandehroo, Gh., and Eslami Haghighat, A. 2008. Evaluating soil-water characteristic curve based on local porosity theory. Isfahan, Water and Wastewater, 66: 67-76. (In Persian)
10. Rezaei, A., and Neyshabouri, M.R. 2002. Estimating of soil water characteristic curve using soil particle-size distribution, soil bulk and particle densities. Tabriz, J. Agric. Sci. 12: 3. 29-37. (In Persian)
11. Rezaei, H., Neyshabouri, M.R., and Sepaskhah, A.R. 2005. Evaluation of soil moisture simulating models based on particle size distribution in nine soil texture class. Tabriz, J. Agric. Sci. 15: 2. 119-130. (In Persian)
12. Skaggs, T.H., Arya, L.M., Shouse, P.J., and Mohanty, B.P. 2001. Estimating particle-size distribution from limited soil texture data. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 1038-1044.
13. Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892-898.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(1), 2011*  
[www.gau.ac.ir/journals](http://www.gau.ac.ir/journals)

## **Estimation of soil-moisture characteristic curve using some methods for calculating scaling parameter**

**\*H.R. Fooladmand**

Assistant Prof., Dept. of Irrigation and Drainage, Islamic Azad University,  
Marvdasht Branch

Received: 2009/08/17; Accepted: 2010/12/11

### **Abstract**

The relationship between soil moisture and soil suction is called soil moisture characteristic curve, and its measurement is time-consuming and expensive. Arya et al., (1999) have derived a model for estimating soil-moisture characteristic curve based on soil particle size distribution curve and bulk density, which contains scaling parameter  $\alpha$ . There are three methods for determining  $\alpha$  which contain constant  $\alpha$ , linear and logistic methods with available coefficients for some soil textures. In this study, 20 soil samples were selected from Fars province and three equations with exponential, logarithmic and power trend (Alfa-1 to Alfa-3) were derived for estimating  $\alpha$  based on soil moisture content, and another equation with linear method (Alfa-4) was obtained. Then by using another 5 soil data sets in Fars and Boushehr provinces, the measured soil-moisture characteristic curves by combination of hanging column and pressure plate, were compared with estimated soil-moisture characteristic curve through eight different methods. These methods were: logistic, linear, Khoshnood Yazdi and Ghahraman (2004), Rezaei et al. (2005), and Alfa-1 to Alfa-4. The results indicated that the Alfa-4 method was appropriate for clay and silty clay loam textures, and the logistic method was appropriate for silty clay, loam and sandy loam textures.

**Keywords:** Soil- moisture characteristic curve, Scaling parameter, Logistic method, Linear method

---

\* Corresponding Author; Email: [hrfoolad@yahoo.com](mailto:hrfoolad@yahoo.com)