بهبود تخمین منحنی مشخصه آب - خاک با استفاده از منحنی دانه‌بندی و چگالی ظاهری خاک

حمیدرضا فولادمند[۱]

چکیده

یک روش برای تخمین منحنی مشخصه آب خاک بر پایه استفاده از منحنی دانه‌بندی و چگالی ظاهری خاک استوار می‌باشد. در این روش، منحنی دانه‌بندی را به چند قطعه بر مبنای اندازه ذرات تقسیم کرده و با توجه به میانگین شعاع ذرات و درصد ذرات بزرگ‌تر از هر اندازه و روابط موجود می‌توان منحنی مشخصه آب خاک را به دست آورد. در این روش از یک پارامتر مقیاس به نام α استفاده می‌شود که می‌تواند مقداری ثابت فرض شود و یا از روش‌های خطی و لجستیک به دست آید. از طرف دیگر، در بسیاری از مواقع منحنی دانه‌بندی خاک مورد نظر به طور کامل وجود ندارد و تنها درصد ذرات رس، سیلت و شن خاک در اختیار می‌باشد. در این صورت، ابتدا منحنی دانه‌بندی خاک تخمین زده شده و سپس منحنی مشخصه آب خاک به دست می‌آید. بر اساس نتایج به دست آمده قبلی استفاده از حد انتهایی شعاع ۹۹۹ میکرومتر برای تخمین منحنی دانه‌بندی مناسب‌تر از شعاع ۱۲۵ میکرومتر می‌باشد. هم‌چنین ضرایبی اصلاحی برای تخمین منحنی دانه‌بندی برای شعاع‌های ۱ تا ۲۰ میکرومتر به دست آمده است. در این پژوهش از اطلاعات درصد ذرات و چگالی ظاهری ۱۹ خاک مختلف از مجموعه آنسودا استفاده گردید و منحنی مشخصه خاک‌های فوق به روش‌های لجستیک و خطی و بر اساس تخمین منحنی دانه‌بندی به روش اولیه و روش اصلاح شده تخمین زده شد و با نتایج اندازه‌گیری شده مقایسه گردید. نتایج نشان داد که در اغلب خاک‌ها استفاده از ترکیب روش لجستیک و منحنی دانه‌بندی اصلاح شده برای تخمین منحنی دانه‌بندی مناسب‌تر از سایر حالت‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: منحنی مشخصه آب خاک، منحنی دانه‌بندی خاک، چگالی ظاهری، روش لجستیک، روش خطی

مقدمه

منحنی مشخصه آب خاک بیانگر تغییرات رطوبت در برابر مکش ماتریک آب خاک می‌باشد. این منحنی در مسایل مربوط به حرکت غیر اشباع آب در خاک کاربرد فراوان دارد و شناسایی رفتار فیزیکی خاک در رطوبت‌های مختلف را آسان‌تر می‌کند. چون اندازه‌گیری منحنی مشخصه آب خاک در آزمایشگاه بسیار وقت‌گیر و پر هزینه می‌باشد، لذا از سال‌ها پیش پژوهندگان در پی به دست آوردن روش‌های کم هزینه‌تر که دارای مبنای ریاضی و فیزیکی هستند، بوده‌اند. از جمله روش‌های فوق می‌توان به روش‌های ارائه شده توسط بروکس و کوری (۴)، کمپل (۵)، هاتسون و کس (۹)، ساکستون و همکاران (۱۲)، شانی و همکاران (۱۴) و ونگنوختن (۱۷) اشاره نمود.

منحنی مشخصه آب خاک توزیع اندازه منافذ خاک را نشان می‌دهد و درجه تراکم و تخلخل خاک (چگالی ظاهری و میزان

۱. مربی آبیاری و زه‌کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.6.3]

آب خاک اشباع) نیز بر شکل این منحنی مؤثر است. آریا و پاریس (۲) با معرفی یک مدل فیزیکی امکان پیش‌بینی منحنی مشخصه آب خاک را از منحنی دانه‌بندی و چگالی ظاهری آن فراهم ساختند. اساس مدل فوق، شباهت ظاهری بین منحنی دانه‌بندی و منحنی مشخصه آب خاک بود. در مدل فوق منحنی دانه بندی خاک به قسمت‌های مختلف تقسیم می‌شود. سپس با استفاده از چگالی ظاهری و روابط جرمی و حجمی خاک و معادله صعود موئینگی، مقادیر رطوبت و مکش ماتریک در قسمت‌های مختلف منحنی دانه‌بندی به دست آمده و منحنی مشخصه آب خاک ترسیم می‌شود. در این مدل از یک پارامتر مقیاس به نام α استفاده شد که بیانگر میزان انحراف شکل منافذ خاک از لوله‌های سیلندری است. مقدار این پارامتر در مطالعه اولیه آریا و پاریس (۲) بین ۱/۳۵ تا ۱/۴ به دست آمد که در نهایت برای کلیه خاک‌ها برابر ۱/۳۸ درنظر گرفته شد. مدل ساده دیگری نیز توسط هاورکمپ و پارلانگ (۸) ارائه و برای خاک‌های با بافت شنی (درشت) آزمایش شد. هم‌چنین تایلر و ویت‌کرافت (۱۶) تجزیه و تحلیل‌هایی روی مقدار پارامتر α مدل آریا و پاریس انجام دادند. تحقیقات بعدی توسط آریا و همکاران (۳) نشان داد که α بین ۱/۱ برای بافت‌های ریز تا ۲/۵ برای بافت‌های درشت تغییر می‌کند. بنابراین α نمی‌تواند برای بافت‌های مختلف خاک یکسان باشد و حتی در قسمت‌های مختلف منحنی دانه بندی یک خاک معین هم ثابت نیست. به همین دلیل، آریا و همکاران (۳) سه روش برای تعیین مقدار α در برخی از بافت‌های خاک ارائه نمودند که در یکی از آنها برای هر بافت خاک α ثابت درنظر گرفته شد و در دو روش دیگر مقدار α از معادله‌های خطی و لجستیک (غیر خطی S شکل) به دست آمد. در روش α ثابت، مقدار α برای بافت‌های شن، لوم شنی، لوم، سیلت لوم و رس به ترتیب برابر ۱/۲۸۵، ۱/۴۵۹، ۱/۳۷۵، ۱/۱۵۰ و ۱/۱۶۰ به دست آمد (۳).

همان‌گونه که مطرح شد برای تعیین منحنی مشخصه آب خاک، باید منحنی دانه‌بندی خاک موجود باشد. اما ممکن است فقط درصد ذرات رس، سیلت و شن خاک در دسترس باشد. در این‌صورت می‌توان منحنی دانه‌بندی خاک را با استفاده از روش ارائه شده توسط اسکگز و همکاران (۱۵) به دست آورد. این محققان، سیستم آمریکایی طبقه‌بندی ذرات خاک را بر اساس شعاع ذرات خاک (بر حسب میکرومتر) درنظر گرفتند. بر این اساس ارقام ۱، ۲۵، ۵۰، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومتر به ترتیب شعاع‌های متوسط ذرات رس، سیلت، شن خیلی ریز، شن ریز، شن متوسط، شن درشت و شن خیلی درشت می‌باشند. با استفاده از روابط ارائه شده توسط این محققین و در نظر گرفتن حدی انتهایی برای شعاع ذرات خاک، منحنی دانه‌بندی خاک در محدوده شعاع ۱ تا ۱۰۰۰ میکرومتر را می‌توان تخمین زد و از آن برای تخمین منحنی مشخصه آب خاک استفاده نمود. وانگ (۱۰) با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده ۱۳۸۵ خاک در کره، ۹ روش مختلف تخمین منحنی دانه‌بندی از جمله روش اسکگز و همکاران (۱۵) را مورد مقایسه قرار داد. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل فردلاند (۷) مناسب‌تر از سایر مدل‌ها می‌باشد. هم‌چنین نتایج این تحقیق نشان داد که مدل اسکگز و همکاران (۱۵) برای بافت‌های شن، سیلت لوم و لوم رسی سیلتی بهتر از سایر بافت‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده منحنی دانه‌بندی برازش پیدا می‌کند (۱۰).

فولادمند و همکاران (۱) برای تخمین منحنی مشخصه هفت خاک مختلف از روش ارائه شده توسط آریا و همکاران (۳) و بر اساس تخمین منحنی دانه‌بندی به روش اسکگز و همکاران (۱۵) استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از حد انتهایی شعاع ۹۹۹ میکرومتر برای تخمین منحنی مشخصه مناسب‌تر از استفاده از حد انتهایی شعاع ۱۲۵ میکرومتر می‌باشد. هم‌چنین فولادمند و سپاسخواه (۶) با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده منحنی دانه‌بندی ۵۰ خاک مختلف در مجموعه داده آنسودا (UNSODA database)، ضرایبی را برای بهبود تخمین منحنی دانه‌بندی خاک برای خاک‌های با مقدار سیلت کمتر و بیشتر از ۶۰ درصد به دست آوردند.

هدف از این پژوهش بهبود تخمین منحنی مشخصه آب خاک

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.6.3]

جدول۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مورد بررسی

شماره خاک	بافت	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	چگالی ظاهری (g/cm^3)	تخلخل (m^3/m^3)
۱	رس	۵۸/۰	۳۷/۳	۴/۷	۱/۴۵	۰/۴۶۳
۲	رس	۴۵/۰	۳۴/۵	۲۰/۵	۱/۴۲	۰/۴۹۲
۳	رس	۵۷/۰	۳۹/۵	۳/۵	۱/۲۵	۰/۵۵۷
۴	رس	۴۹/۰	۳۴/۵	۱۶/۵	۱/۶۱	۰/۳۹۰
۵	رس	۵۴/۰	۳۵/۵	۱۰/۵	۱/۵۷	۰/۴۰۵
۶	رس	۴۷/۳	۳۸/۹	۱۳/۸	۱/۱۰	۰/۵۵۴
۷	رس	۵۵/۴	۳۴/۰	۱۱/۶	۱/۰۸	۰/۵۶۵
۸	لوم	۲۲/۶	۳۲/۴	۴۵/۰	۱/۳۶	۰/۴۸۴
۹	لوم	۱۵/۷	۴۳/۳	۴۱/۰	۱/۴۶	۰/۴۴۷
۱۰	لوم	۱۸/۶	۲۷/۹	۵۳/۵	۱/۶۲	۰/۴۰۰
۱۱	سیلت لوم	۱۳/۶	۷۳/۴	۱۳/۰	۱/۳۴	۰/۴۹۴
۱۲	سیلت لوم	۹/۰	۷۳/۰	۱۸/۰	۱/۳۵	۰/۴۹۰
۱۳	سیلت لوم	۱۴/۰	۷۶/۷	۹/۳	۱/۵۶	۰/۴۱۶
۱۴	سیلت لوم	۲۱/۹	۵۶/۶	۲۱/۵	۱/۶۲	۰/۳۸۷
۱۵	سیلت لوم	۱۱/۰	۵۳/۰	۳۶/۰	۱/۵۳	۰/۶۲۸
۱۶	لوم شنی	۱۸/۱	۲۶/۹	۵۵/۰	۱/۶۴	۰/۳۴۸
۱۷	لوم شنی	۶/۷	۲۲/۲	۷۱/۱	۱/۵۶	۰/۴۰۰
۱۸	شن	۲/۴	۴/۶	۹۳/۰	۱/۶۷	۰/۳۵۷
۱۹	شن	۱/۵	۳/۰	۹۵/۵	۱/۷۰	۰/۳۷۴

به روش آریا و همکاران (۳) با استفاده از روش پیشنهادی فولادمند و سپاسخواه (۶) در تخمین منحنی دانه‌بندی خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از داده‌های اندازه‌گیری شده منحنی مشخصه آب خاک، درصد ذرات رس، سیلت و شن، چگالی ظاهری و تخلخل ۱۹ خاک مختلف در مجموعه داده آنسودا استفاده گردید (۱۱). این خاک‌ها مربوط به نقاط مختلف جهان می‌باشند. اطلاعات مربوط به این خاک‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

برای انجام محاسبات لازم، منحنی دانه‌بندی خاک به قسمت‌های مختلفی تقسیم گردید که در هر قسمت میانگین شعاع ذرات و درصد ذرات کوچک‌تر از آن شعاع معلوم است. جزئیات محاسبات توسط فولادمند و همکاران (۱) ارائه شده است. هم‌چنین همانند تحقیق فولادمند و همکاران (۱) از روش‌های خطی و لجستیک برای تعیین ضریب مقیاس α استفاده گردید.

برای تخمین منحنی مشخصه آب خاک، منحنی دانه‌بندی خاک باید موجود باشد. برای تعیین منحنی دانه‌بندی خاک در محدوده شعاع ذرات ۱ تا ۱۰۰۰ میکرومتر با استفاده از درصد ذرات رس، سیلت و شن خاک، از روش ارائه شده توسط

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.6.3]

جدول ۲. ضرایب اصلاحی بهبود تخمین منحنی دانه‌بندی خاک‌های با مقدار سیلت کمتر و بیشتر از ۶۰ درصد (۶)

شعاع (میکرومتر)	ضریب اصلاحی برای سیلت کمتر از ۶۰ درصد	ضریب اصلاحی برای سیلت بیشتر از ۶۰ درصد
۱	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
۱/۵	۰/۹۰۷	۰/۳۹۳
۲/۵	۰/۹۱۹	۰/۳۵۱
۵	۰/۹۴۲	۰/۳۷۷
۱۰	۰/۹۶۲	۰/۴۹۳
۱۵	۰/۹۸۳	۰/۶۸۱
۲۰	۰/۹۹۱	۰/۸۹۱

اسکگز و همکاران (۱۵) می‌توان استفاده نمود. رابطه کلی این روش به صورت معادله زیر می‌باشد (۱۵):

$$W = \frac{1}{1+(cl^{-1}-1)\exp\{-u(R-1)^c\}} \qquad [1]$$

که در آن cl : مقدار نسبی ذرات رس خاک (بر حسب اعشار)، u و c : مقادیری که با استفاده از معادله‌های موجود اصلاح شده بر اساس حد انتهایی شعاع ۹۹۹ میکرومتر به دست می‌آیند (۱ و ۶)، R : شعاع ذرات خاک بر حسب میکرومتر و W : مقدار نسبی ذرات کوچک‌تر از شعاع R می‌باشد. فولادمند و همکاران (۱) نیز از این روش استفاده نمودند، لذا با توجه به نتایج به دست آمده در تحقیق ذکر شده، در تحقیق فعلی تنها از حد انتهایی شعاع ۹۹۹ میکرومتر استفاده شد.

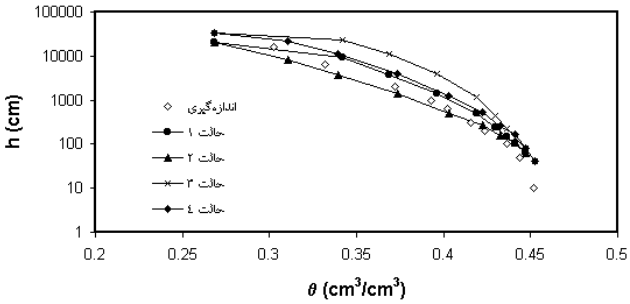
از آنجا که مدل اسکگز و همکاران (۱۵) برای خاک‌های با مقدار سیلت تقریباً بیشتر از ۷۰ درصد جوابگو نمی‌باشد لذا فولادمند و سپاسخواه (۶) با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده منحنی دانه‌بندی ۵۰ خاک مختلف مجموعه داده آنسودا ضرایبی را برای بهبود تخمین منحنی دانه‌بندی برای خاک‌های با مقدار سیلت کمتر و بیشتر از ۶۰ درصد به دست آوردند. بر اساس اطلاعات موجود، منحنی دانه‌بندی در شعاع‌های ۱، ۱/۵، ۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ میکرومتر تخمین زده شده است (۱۱). اما ضرایب اصلاحی تنها برای ذرات کوچک‌تر از سیلت (شعاع‌های ۱، ۱/۵، ۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میکرومتر) به کار رفت که برای خاک‌های با مقدار سیلت کمتر و بیشتر از ۶۰ درصد در جدول ۲ ارائه شده است (۶). ضرایب فوق برای شعاع‌های ذرات ۱ تا ۲۰ میکرومتر در مقدار W به دست آمده از معادله ۱ ضرب می‌شود تا روش تخمین منحنی دانه‌بندی بهبود یابد. سپس نتایج به دست آمده برای تخمین منحنی مشخصه در کلیه شعاع‌ها (۱ تا ۱۰۰۰ میکرومتر) به کار رفت. در پایان منحنی مشخصه خاک‌ها در چهار حالت ممکن شامل ترکیب روش‌های خطی و لجستیک برای تعیین ضریب مقیاس α و کاربرد روش اسکگز و همکاران (۱۵) و روش اصلاح شده فولادمند و سپاسخواه (۶) برای تخمین منحنی دانه‌بندی، تخمین زده شده و با داده‌های اندازه‌گیری شده منحنی مشخصه خاک‌ها مقایسه شد.

نتایج

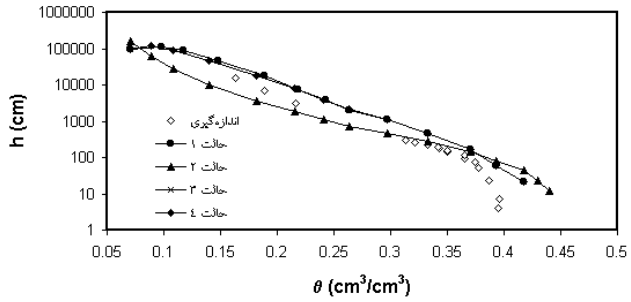
نتایج به دست آمده به عنوان نمونه برای خاک شماره ۱ (بافت رس)، خاک شماره ۹ (بافت لوم)، خاک شماره ۱۲ (بافت سیلت لوم با مقدار سیلت بیشتر از ۶۰ درصد)، خاک شماره ۱۵ (بافت سیلت لوم با مقدار سیلت کمتر از ۶۰ درصد)، خاک شماره ۱۶ (بافت لوم شنی) و خاک شماره ۱۸ (بافت شن) در شکل‌های ۱ تا ۶ ارائه شده است. در این شکل‌ها حالت‌های ۱ تا ۴ به ترتیب بیانگر ترکیب روش خطی و روش اسکگز و همکاران (۱۵)،

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

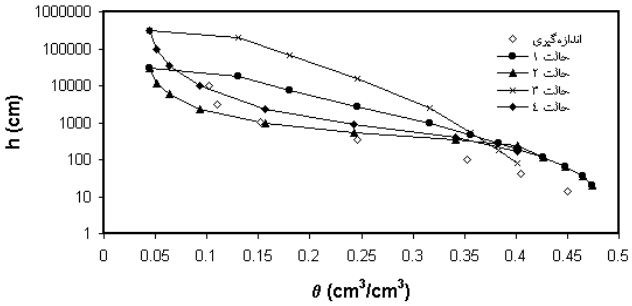
[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.6.3]



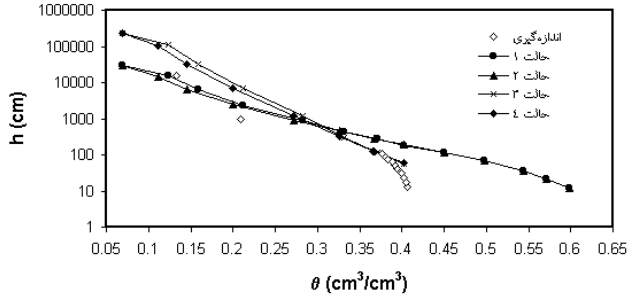
شکل ۱. منحنی مشخصه آب خاک برای چهار حالت مختلف و مقایسه با منحنی اندازه‌گیری شده در خاک شماره ۱ (بافت رس)



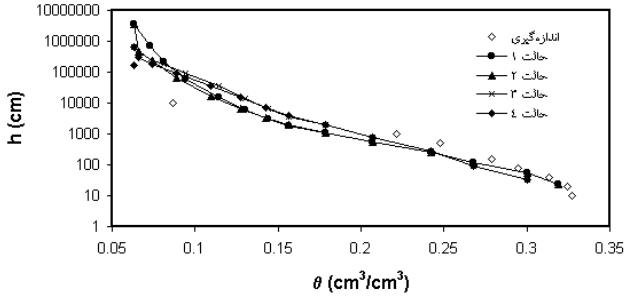
شکل ۲. منحنی مشخصه آب خاک برای چهار حالت مختلف و مقایسه با منحنی اندازه‌گیری شده در خاک شماره ۹ (بافت لوم)



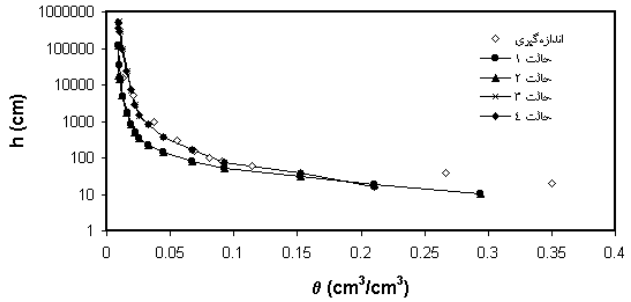
شکل ۳. منحنی مشخصه آب خاک برای چهار حالت مختلف و مقایسه با منحنی اندازه‌گیری شده در خاک شماره ۱۲ (بافت سیلت لوم با مقدار سیلت بیشتر از ۶۰ درصد)



شکل ۴. منحنی مشخصه آب خاک برای چهار حالت مختلف و مقایسه با منحنی اندازه‌گیری شده در خاک شماره ۱۵ (بافت سیلت لوم با مقدار سیلت کمتر از ۶۰ درصد)



شکل ۵. منحنی مشخصه آب خاک برای چهار حالت مختلف و مقایسه با منحنی اندازه‌گیری شده در خاک شماره ۱۶ (بافت لوم شنی)



شکل ۶. منحنی مشخصه آب خاک برای چهار حالت مختلف و مقایسه با منحنی اندازه‌گیری شده در خاک شماره ۱۸ (بافت شن)

روش خطی و روش فولادمند و سپاسخواه (۶)، روش لجستیک و روش اسـککز و همکـاران (۱۵) و روش لجـستیک و روش فولادمند و سپاسخواه (۶) می‌باشند. θ و h نیز به ترتیب بیـانگر رطوبت حجمی و مکش ماتریک خاک می‌باشند.

برای مقایسه نتایج حاصل از چهار روش مختلف تخمین در مکش‌های اندازه‌گیری شده، رطوبت حجمی خاک‌های مختلـف محاسبه گردید. سپس خطای استاندارد تخمین به کمـک معادلـه زیر محاسبه شد (۱۳):

$$SE = \sqrt{\frac{1}{N_p - 1} \times \Sigma(\theta_m - \theta_p)^2} \qquad [۲]$$

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.6.3]

جدول۳. مقادیر خطای استاندارد برای رطوبت حجمی خاک در حالت‌های مختلف تخمین منحنی مشخصه آب خاک‌ها

شماره خاک	بافت	حالت ۱	حالت ۲	حالت ۳	حالت ۴
۱	رس	۰/۰۲۳	۰/۰۲۲	۰/۰۲۴	۰/۰۱۹
۲	رس	۰/۰۷۲	۰/۰۸۲	۰/۰۵۷	۰/۰۶۵
۳	رس	۰/۰۲۶	/۰۲۸	۰/۰۲۶	۰/۰۲۳
۴	رس	۰/۰۱۱	۰/۰۰۵	۰/۰۲۲	۰/۰۱۴
۵	رس	۰/۰۱۱	/۰۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۰۸
۶	رس	۰/۰۵۰	۰/۰۵۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۴
۷	رس	۰/۰۶۱	۰/۰۷۱	۰/۰۵۱	۰/۰۵۸
۸	لوم	۰/۰۳۶	۰/۰۳۴	۰/۰۴۲	۰/۰۴۱
۹	لوم	۰/۰۲۷	۰/۰۲۶	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳
۱۰	لوم	۰/۰۱۹	/۰۱۷	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲
۱۱	سیلت لوم	۰/۱۱۲	۰/۰۴۲	۰/۱۲۴	۰/۰۵۴
۱۲	سیلت لوم	۰/۰۹۶	۰/۰۴۶	۰/۱۱۰	۰/۰۶۱
۱۳	سیلت لوم	۰/۰۴۸	/۰۵۷۰	۰/۰۵۳	۰/۰۵۱
۱۴	سیلت لوم	۰/۰۲۴	۰/۰۲۸	۰/۰۲۳	۰/۰۲۵
۱۵	سیلت لوم	۰/۰۹۶	۰/۰۹۵	۰/۰۷۴	۰/۰۷۲
۱۶	لوم شنی	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۳۸	۰/۰۳۹
۱۷	لوم شنی	۰/۰۶۳	۰/۰۶۱	۰/۰۶۲	۰/۰۶۱
۱۸	شن	۰/۰۷۷	۰/۰۷۶	۰/۰۹۰	۰/۰۹۰
۱۹	شن	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۷	۰/۰۶۶

که در آن N_P : تعداد جفت‌های اندازه‌گیری شده رطوبت حجمی و مکش ماتریک خاک و θ_m و θ_p : به ترتیب مقادیر رطوبت حجمی خاک اندازه‌گیری شده در آزمایش و تخمین زده شده بر حسب متر مکعب بر متر مکعب می‌باشند. مقادیر خطای استاندارد برای رطوبت حجمی خاک‌ها و حالت‌های مختلف تخمین منحنی مشخصه در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر کمتر خطای استاندارد نشان دهنده دقت بالاتر نتایج حاصل از تخمین می‌باشد.

مقادیر میانگین α در قسمت‌های مختلف منحنی دانه‌بندی خاک‌ها و حالت‌های چهارگانه تخمین منحنی مشخصه در جدول ۴ ارائه شده است. در این جدول میانگین α به دست آمده از چهار حالت مختلف نیز مشاهده می‌شود.

بحث

نتایج جداول ۳ و ۴ نشان داد که:

۱- از هفت خاک دارای بافت رس (خاک‌های شماره ۱ تا ۷)، مقدار خطای استاندارد شش خاک به روش لجستیک کمتر از روش خطی بود. در سه خاک از شش خاک فوق روش اصلاح شده تخمین منحنی دانه‌بندی (۶) و در سه خاک دیگر روش اولیه تخمین منحنی دانه‌بندی (۱۵) دارای خطای استاندارد کمتری بود. از طرف دیگر روش آریا و همکاران (۳) برای مکش‌های کم آب خاک قابل به

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.6.3]

جدول۴. میانگین α به دست آمده برای حالت‌های مختلف تخمین منحنی مشخصه آب خاک‌ها

شماره خاک	بافت	حالت ۱	حالت ۲	حالت ۳	حالت ۴	میانگین
۱	رس	۱/۱۱۵	۱/۱۱۸	۱/۱۷۸	۱/۱۸۴	۱/۱۴۹
۲	رس	۱/۱۱۶	۱/۱۱۶	۱/۱۸۲	۱/۱۸۴	۱/۱۵۰
۳	رس	۱/۱۱۶	۱/۱۲۰	۱/۱۹۱	۱/۲۰۰	۱/۱۵۷
۴	رس	۱/۱۱۰	۱/۱۱۱	۱/۱۷۹	۱/۱۸۲	۱/۱۴۶
۵	رس	۱/۱۰۸	۱/۱۰۹	۱/۱۹۱	۱/۱۹۵	۱/۱۵۱
۶	رس	۱/۱۰۵	۱/۱۰۶	۱/۱۹۷	۱/۲۰۰	۱/۱۵۲
۷	رس	۱/۱۰۳	۱/۱۰۵	۱/۱۹۳	۱/۱۹۷	۱/۱۴۹
۸	لوم	۱/۳۲۰	۱/۳۲۰	۱/۴۳۹	۱/۴۴۲	۱/۳۸۰
۹	لوم	۱/۳۳۶	۱/۳۳۶	۱/۴۳۶	۱/۴۳۷	۱/۳۸۶
۱۰	لوم	۱/۳۲۹	۱/۳۲۹	۱/۴۱۵	۱/۴۱۸	۱/۳۷۳
۱۱	سیلت لوم	۱/۱۶۳	۱/۱۶۳	۱/۳۳۵	۱/۳۰۸	۱/۲۴۲
۱۲	سیلت لوم	۱/۱۶۷	۱/۱۶۸	۱/۳۰۰	۱/۳۲۱	۱/۲۳۹
۱۳	سیلت لوم	۱/۱۷۵	۱/۱۷۸	۱/۳۲۹	۱/۳۲۳	۱/۲۵۱
۱۴	سیلت لوم	۱/۱۶۸	۱/۱۶۸	۱/۲۹۲	۱/۲۹۷	۱/۲۳۲
۱۵	سیلت لوم	۱/۲۰۱	۱/۲۰۱	۱/۲۷۹	۱/۲۸۲	۱/۲۴۱
۱۶	لوم شنی	۱/۴۴۲	۱/۴۴۲	۱/۴۹۸	۱/۵۰۲	۱/۴۷۱
۱۷	لوم شنی	۱/۴۵۳	۱/۴۵۳	۱/۴۷۷	۱/۴۷۹	۱/۴۶۵
۱۸	شن	۱/۲۳۷	۱/۲۳۶	۱/۴۷۷	۱/۴۸۲	۱/۳۵۸
۱۹	شن	۱/۲۳۵	۱/۲۳۴	۱/۴۵۸	۱/۴۶۱	۱/۳۴۷

کارگیری نیست. فولادمند و همکاران (۱) نیز گزارش نمودند که از مدل فوق در مکش‌های کمتر از ۱۰ سانتی‌متر نمی‌توان استفاده نمود. در خاک‌های شماره ۶ و ۷ که در آن روش اولیه تخمین منحنی دانه‌بندی (۱۵) دارای خطای استاندارد کمتری بود، مکش‌های ۲، ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر در داده‌های اندازه‌گیری شده وجود داشت، لذا می‌توان روش ترکیبی لجستیک و اصلاح شده تخمین منحنی دانه‌بندی (۶) را برای تخمین منحنی مشخصه این بافت توصیه نمود. لازم به ذکر است که بر خلاف نتایج این تحقیق، نتایج تحقیقات فولادمند و همکاران (۱) نشان داد که در تنها خاک با بافت رس، استفاده از روش خطی مناسب‌تر از روش لجستیک می‌باشد.

۲- از سه خاک دارای بافت لوم (خاک‌های شماره ۸ تا ۱۰)، خطای استاندارد دو خاک به روش لجستیک کمتر از روش خطی بود. در هر دو خاک فوق مقدار خطای استاندارد روش اصلاح شده تخمین منحنی دانه‌بندی (۶) و روش اولیه تخمین منحنی دانه‌بندی (۱۵) برابر بود. لذا در این بافت می‌توان از روش لجستیک با ترکیب روش‌های اولیه و یا اصلاح شده تخمین منحنی دانه‌بندی استفاده نمود. هم‌چنین نتایج تحقیقات فولادمند و همکاران (۱) نشان داد که برای بافت لوم، استفاده از روش لجستیک مناسب‌تر از روش خطی می‌باشد.

۳- از سه خاک دارای بافت سیلت لوم با مقدار سیلت بیشتر از ۶۰ درصد (خاک‌های شماره ۱۱ تا ۱۳)، خطای

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.6.3]

استاندارد هر سه خاک به روش خطی کمتر از روش لجستیک بود. هم‌چنین در دو خاک از سه خاک فوق روش اصلاح شده تخمین منحنی دانه‌بندی (۶) نسبت به روش اولیه تخمین منحنی دانه‌بندی (۱۵) دارای خطای استاندارد کمتری بود. لذا می‌توان روش ترکیبی خطی و اصلاح شده تخمین منحنی دانه‌بندی (۶) را برای تخمین منحنی مشخصه این بافت (با مقدار سیلت بیشتر از ۶۰ درصد) توصیه نمود.

۴- از دو خاک دارای بافت سیلت لوم با مقدار سیلت کمتر از ۶۰ درصد (خاک‌های شماره ۱۴ و ۱۵)، خطای استاندارد هر دو خاک به روش لجستیک کمتر از روش خطی بود. در یک خاک از دو خاک فوق روش اصلاح شده تخمین منحنی دانه‌بندی (۶) نسبت به روش اولیه تخمین منحنی دانه‌بندی (۱۵) دارای خطای استاندارد کمتری بود ولی در خاک دیگر عکس این حالت مشاهده شد. لذا در این بافت (با مقدار سیلت کمتر از ۶۰ درصد) می‌توان از روش لجستیک با ترکیب روش‌های اولیه و یا اصلاح شده تخمین منحنی دانه‌بندی استفاده نمود.

۵- از دو خاک دارای بافت لوم شنی (خاک‌های شماره ۱۶ و ۱۷)، خطای استاندارد یک خاک به روش لجستیک کمتر از روش خطی بود و در خاک دیگر خطای استاندارد دو روش برابر بود. هم‌چنین در یک خاک از دو خاک فوق روش اصلاح شده تخمین منحنی دانه‌بندی (۶) نسبت به روش اولیه تخمین منحنی دانه‌بندی (۱۵) دارای مقدار خطای استاندارد کمتری بود ولی در خاک دیگر عکس این حالت مشاهده شد. لذا می‌توان روش ترکیبی لجستیک و اصلاح شده تخمین منحنی دانه‌بندی (۶) را برای تخمین منحنی مشخصه این بافت توصیه نمود. هم‌چنین نتایج تحقیقات فولادمند و همکاران (۱) نشان داد که در بافت لوم شنی، استفاده از روش لجستیک مناسب‌تر از روش خطی می‌باشد.

۶- از دو خاک دارای بافت شن (خاک‌های شماره ۱۸ و ۱۹)، مقدار خطای استاندارد هر دو خاک به روش خطی کمتر از روش لجستیک بود. هم‌چنین خطای استاندارد یک خاک به روش اصلاح شده تخمین منحنی دانه‌بندی (۶) کمتر از روش اولیه تخمین منحنی دانه‌بندی (۱۵) بود ولی در خاک دیگر خطای استاندارد دو روش برابر شد. لذا می‌توان روش ترکیبی خطی و اصلاح شده تخمین منحنی دانه‌بندی (۶) را برای تخمین منحنی مشخصه این بافت توصیه نمود.

۷- چنانچه قبلاً نیز اشاره گردید این مدل برای مکش‌های کمتر از ۱۰ سانتی‌متر قابل کاربرد نمی‌باشد. هم‌چنین از شرایط اصلاح شده تخمین منحنی دانه‌بندی می‌توان برای بافت‌های رس، لوم، سیلت لوم با مقدار سیلت کمتر و بیشتر از ۶۰ درصد، لوم شنی و شن استفاده نمود. برای بررسی کاربرد شرایط اصلاح شده برای سایر بافت‌ها به انجام تحقیقات مشابه دیگری نیاز می‌باشد. هم‌چنین از این مدل برای خاک‌های با بافت‌های ذکر شده در ایران نیز می‌توان استفاده نمود.

۸- در تمام خاک‌ها مقدار α به دست آمده از روش لجستیک بیشتر از مقدار α به دست آمده از روش خطی بود.

۹- برای حالت لجستیک در تمام خاک‌ها به استثنای دو خاک با بافت سیلت لوم با مقدار سیلت بیشتر از ۶۰ درصد (خاک‌های شماره ۱۱ و ۱۳)، مقدار α به دست آمده از روش اصلاح شده تخمین منحنی دانه‌بندی (۶) بیشتر از مقدار α به دست آمده از روش اولیه تخمین منحنی دانه‌بندی (۱۵) شد.

۱۰- برای حالت خطی در تمام خاک‌ها به استثنای دو خاک با بافت شن (خاک‌های شماره ۱۸ و ۱۹)، مقدار α به دست آمده از روش اصلاح شده تخمین منحنی دانه‌بندی (۶) مساوی و یا بزرگ‌تر از مقدار α به دست آمده از روش اولیه تخمین منحنی دانه‌بندی (۱۵) بود، اما در دو خاک با بافت شن (خاک‌های شماره ۱۸ و ۱۹) عکس این موضوع اتفاق افتاد.

۱۱- مقدار میانگین α به دست آمده برای کلیه خاک‌های با

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.6.3]

بافت رس، لوم، سیلت لوم، لوم شنی و شن به ترتیب برابر ۱/۱۵۱، ۱/۳۸۰، ۱/۲۴۱، ۱/۴۶۸ و ۱/۳۵۳ به دست آمد. در این رابطه آریا و همکاران (۳) مقدار α ثابت برای بافت‌های رس، لوم، سیلت لوم، لوم شنی و شن را به ترتیب برابر ۱/۱۶۰، ۱/۳۷۵، ۱/۱۵۰، ۱/۴۵۹ و ۱/۲۸۵ به دست آوردند. فولادمند و همکاران (۱) نیز مقدار میانگین α برای بافت‌های رس، لوم و لوم شنی را به ترتیب برابر ۱/۱۵۹، ۱/۳۹۲ و ۱/۴۹۴ گزارش کردند. بنابراین برای بافت‌های رس و لوم نتایج سه تحقیق همخوانی مناسبی با یکدیگر دارد. اما در بافت شن نتایج دو تحقیق با یکدیگر اختلاف قابل توجهی دارند. در بافت لوم شنی نتایج به دست آمده در این تحقیق با مقدار α ثابت به دست آمده به وسیله آریا و همکاران (۳) همخوانی مناسبی دارد، اما در بافت سیلت لوم این نتایج همخوانی مناسبی با یکدیگر ندارند.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که برای تخمین منحنی مشخصه آب خاک در اغلب خاک‌های مورد استفاده می‌توان ترکیب روش لجستیک و منحنی دانه‌بندی اصلاح شده را به کار برد. مدل ارائه شده در این تحقیق برای مکش‌های کمتر از ۱۰ سانتی‌متر قابل کاربرد نمی‌باشد. در تمام خاک‌ها مقدار α به دست آمده از روش لجستیک بیشتر از مقدار α به دست آمده از روش خطی بود. در بافت‌های رس، لوم و لوم شنی مفادیر α به دست آمده در این تحقیق با نتایج به دست آمده در تحقیقات انجام شده قبلی همخوانی مناسبی داشت، اما مفادیر α به دست آمده در بافت‌های شن و سیلت لوم در این تحقیق با تحقیقات گذشته اختلاف قابل توجهی داشت. هم‌چنین توصیه می‌شود برای بررسی مقادیر α و کاربرد این مدل برای بافت‌های به کار رفته در این تحقیق و سایر بافت‌های خاک در دیگر نقاط ایران تحقیقاتی مشابه انجام شود.

منابع مورد استفاده

۱. فولادمند، ح. ر.، ع. ر. سپاسخواه و ج. نیازی. ۱۳۸۳. تخمین منحنی مشخصه آب خاک با استفاده از منحنی دانه‌بندی و چگالی ظاهری خاک. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۸(۳): ۱-۱۳.

2. Arya, L. M. and J. F. Paris. 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.
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 Sci. Soc. Am. J. 63: 510-519.
4. Brooks, R. H. and A. T. Corey. 1964. Hydraulic properties of porous media. Colorado State University, Hydrology Paper No. 3, Fort Collins, USA.
5. Campbell, G. S. 1974. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. Soil Sci. 117: 311-314.
6. Fooladmand, H. R. and A. R. Sepaskhah. 2006. Improved estimation of the soil particle-size distribution from textural data. Biosys. Eng. 94: 133-138.
7. Fredlund, M. D., D. G. Fredlund and G. W. Wilson. 2000. An equation to represent grain-size distribution. Can. Geotech. J. 37: 817-827.
8. Haverkamp, R. and J. Y. Parlange. 1986. Predicting the water retention curve from particle-size distribution: I. Sandy soils without organic matter. Soil Sci. 142: 325-339.
9. Hutson, J. L. and A. Cass. 1987. A retentivity function for use in soil water simulation models. J. Soil Sci. 38:105-113.
10. Hwang, S. I. 2004. Effect of texture on the performance of soil particle-size distribution models. Geoderma 123: 363-371.
11. Leij, F. J., W. J. Alves, M. Th. Van Genuchten, J. R. Williams. 1996. The UNSODA unsaturated soil hydraulic database user's manual. Version 1.0. Tech. Rep. EPA/600/R-96/095. U.S. EPA, Cincinnati, OH.
12. Saxton, K. E., W. J. Rawls, J. S. Romberger and R. I. Papendick. 1986. Estimating generalized soil water characteristics from texture. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 1031-1036.
13. Schuh, W. M., R. L. Cline and M. D. Sweeney. 1988. Comparison of a laboratory procedure and a textural model

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.6.3]

for predicting in situ soil water retention. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 1218-1227.
14. Shani, U., R. J. Hanks, E. Bresler and C. A. S. Oliveira. 1987. Field method for estimating hydraulic conductivity and matric potential-water content relations. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 298-302.
15. Skaggs, T. H., L. M. Arya, P. J. Shouse and B. P. Mohanty. 2001. Estimating particle-size distribution from limited soil texture data. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 1038-1044.
16. Tyler, S. W. and S. W. Wheatcraft. 1989. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 987-996.
17. 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.6.3]