مقایسه و ارزیابی دو مدل برآورد کننده منحنی رطوبتی از داده‌های توزیع اندازه ذرات خاک

علی عطایی [۱]، معصومه نیکپور [۲]، محمدرضا نیشابوری [۳]، محمود سیفی [۱]
۱- دانشجوی دکتری دانشگاه تبریز ، ۲-هیئت علمی دانشگاه پیام نور کرمان،۳- استاد گروه علوم خاک دانشگاه تبریز

چکیده
با توجه اهمیت منحنی رطوبتی خاک و پرهزینه و زمان‌بر بودن اندازه‌گیری مستقیم آن در آزمایشگاه تا کنون روش‌های مختلفی برای برآورد آن ابداع شده است. در این راستا آریا و پاریس مدلی ارائه دادند که براساس آن، از توزیع اندازه ذرات امکان برآورد منحنی رطوبتی خاک وجود دارد. محمدی و مسکینی (۲۰۱۳) با ادغام مدل محمدی و ونکلوستر (۲۰۱۱) با مدل ونگنوختن (۱۹۸۰)، مدل دیگری در این زمینه ارائه داده‌اند که اساس آن متفاوت با روش ارائه شده توسط آریا- پاریس می‌باشد. هدف این پژوهش بررسی و مقایسه صحت مدل‌های مذکور با استفاده از داده‌های پایگاه داده‌ای UNSODA در کلاس‌های بافتی مختلف می‌باشد. میزان صحت منحنی رطوبتی برآورد شده در ۹۴ نمونه انتخابی با استفاده از آماره‌های صحت سنجی RMSE، NSE، R۲ و ME ارزیابی شد و نتایج نشان داد که دقت مدل محمدی و مسکینی در اکثر کلاس‌های بافتی بیشتر از مدل آریا و همکاران (۱۹۹۹) است.

واژگان کلیدی: آماره صحت سنجی، توزیع اندازه ذرات، برآورد منحنی رطوبتی

مقدمه
ویژگی‌های هیدرولیکی غیراشباع خاک موضوعات مهم مورد بررسی در بخش‌های مختلف علوم خاک و هیدرولوژی می‌باشد. هزینه بالای اندازه‌گیری ویژگی‌های هیدرولیکی غیر اشباع خاک، باعث علاقه‌مندی به استفاده ابزار و علوم جدید مکانیک خاک در اقدامات مهندسی ژئوتکنیک گردیده است. از آنجایی که منحنی رطوبتی ضرورتا یک منحنی توزیع اندازه منافذ است و حضور آن در مدل‌های هدایت هیدرولیکی (که برمبنای توزیع اندازه منافذ می‌باشند،) به عنوان یک ورودی اولیه، ضروری می‌باشد، صحت و دقت منحنی رطوبتی از اهمیت بالایی برخوردار است (فردلاند و همکاران ۲۰۰۲). در این راستا آریا و پاریس (۱۹۸۱) مدلی ارائه دادند که بر اساس آن، از توزیع اندازه ذرات امکان برآورد منحنی رطوبتی خاک وجود داشت. بعد از آن مدل‌های متنوعی در این زمینه ارائه شده که از جمله آن‌ها می‌توان به مدل‌های هاورکمپ و پارلانق (۱۹۸۶)، فردلاند و همکاران (۱۹۹۷)، زوآنگ و همکاران (۲۰۰۱)، فردلاند و همکاران (۲۰۰۲)، مدل لوگ‌نرمال هانگ و چوی (۲۰۰۶)، و روش‌های مختلف فراکتالی که عمده آن‌ها توسط قنبریان و هانت (۲۰۱۲) جمع‌بندی شده است، اشاره نمود. کارهای فراوان انجام شده در این زمینه اهمیت این موضوع را نشان می‌دهد که در صورت برآورد دقیق منحنی رطوبتی از توزیع اندازه ذرات، بسیاری از مشکلات موجود در زمینه انتقال آب و مدیریت آب در مزرعه برطرف خواهد شد.
یکی از مدل‌های تجربی - فیزیکی مدل آریا-پاریس می‌باشد. اساس مدل آریا پاریس شباهت بسیار نزدیک بین شکل دو منحنی توزیع اندازه ذرات و منحنی رطوبتی خاک می‌باشد. در این مدل اندازه منافذ که مرتبط با حجم منافذ است از مقیاس گذاری طول منافذ تعیین می‌گردد. از آنجایی که ذرات به صورت کُره‌هایی برابر با اندازه نرمال بیان می‌گردند، آریا-پاریس، طول منافذ را برای بخش‌هایی از PSD با جمع قطر ذرات کروی در هر بخش برآورد کردند. طول منافذ به دست آمده برمبنای ذرات کروی به طول منافذ واقعی با استفاده از پارامتر مقیاسی تبدیل می‌شود (محمدی و مسکینی ۲۰۱۳). آریا و همکاران (۱۹۹۹) با بررسی پارامتر مقیاسی روش‌های مختلفی برای محاسبه آن ارائه دادند. ضعف‌های بیان شده برای این مدل عبارتند از مشکل بودن برآورد رطوبت در مکش‌های خاص، استفاده از پارامتر مقیاس گذاری تجربی، فرض هندسه منافذ به صورت لوله‌های موئین متمرکز[۱۱۳]، و نادیده گرفتن آب جذب سطحی شده در بخش خشک منحنی رطوبتی (محمدی و مسکینی؛ ۲۰۱۳).
محمدی و ونکولستر (۲۰۱۱) یک مدل جدیدی ارائه دادند که روش آن متفاوت با روش ارائه شده توسط آریا- پاریس می‌باشد. ذرات به صورت ذرات کروی با اندازه یکسان و آرایش مکعبی درنظر گرفته شده اند. حجم منافذ در هر بخ ش با استفاده از چگالی ظاهری و چگالی ذرات خاک اندازه‌گیری شده در خاک طبیعی محاسبه می‌شود. مجموع حجم منافذ تقسیم بر حجم کل در مرز بالایی بخش‌های جرمی پیوسته، رطوبت حجمی را به دست می‌دهد. شعاع منافذ معادل برای هر بخش محاسبه می‌شود و با استفاده از معادله کاپیلاری به مکش خاک تبدیل می‌گردد. فرض بر این است که توزیع اندازه ذرات یک پایه فیزیکی را در روش تخمین ارائه می‌دهد؛ اما این محدودیت را نیز دارد که چگالی داخل تخلخل خاک را در نظر نمی‌گیرد. به عبارت دیگر ساختار خاک در نظر گرفته نمی‌شود. مدل پیشنهادی تلاش می‌کند تا از طریق استفاده از فاکتور آرایش دسته بندی را برای اندازه‌های منحصر به فرد مختلف تخلخل خاک را وارد مدل کند.

[۱۱۳] bundle of cylindrical capillaries

مدل دیگر ارائه شده در این زمینه مدل محمدی و مسکینی در سال ۲۰۱۳ می‌باشد که مدل محمدی و ونکولستر (۲۰۱۱) را با مدل ونگنوختن (۱۹۸۰) ترکیب کرده و رابطه نهایی زیر را ارائه دادند. این عمل باعث بهبود کارایی مدل شده است.

$$\frac{P_i - w_r}{1 - w_r} = \left[\frac{1}{1+\left(a\frac{0.543\times10^{-4}}{R_i}\xi\right)^n}\right]^m \quad (1)$$

در این رابطه Pi درصد تجمعی وزن ذرات، Wr رطوبت باقیمانده خاک، n ، و m پارامترهای برآوردی می‌باشد. ضریب مربوط به شرایط جورشودگی[۱۱۴] می‌باشد. آن‌ها اثبات کردند که می‌توان را از رابطه زیر و از و با استفاده از نسبت پوکی (e) به دست آورد:

$$\xi = \frac{1.9099}{1+e} \quad (2)$$

با توجه به اینکه در نتایج توزیع اندازه ذرات Pi و Ri گزارش می‌شود، با برآورد پارامترهای n،m ، و Wr و قرار دادن آن‌ها در معادله ونگنوختن می‌توان برای هر مکش، درصد رطوبت را محاسبه کرد. یکی از مزیت‌های اصلی این روش برآورد منحنی رطوبتی به صورت پیوسته می‌باشد که می‌توان از آن در معادلات هدایت هیدرولیکی و انتقال آب در خاک استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای بررسی و مقایسه میزان صحت مدل‌های آریا و همکاران (۱۹۹۹) و محمدی و مسکینی (۲۰۱۳) در کلاس‌های بافتی مختلف، از داده‌های موجود در بانک داده‌ای UNSODA استفاده شد. به این منظور ۹۴ نمونه خاک دارای داده‌های مربوط به منحنی رطوبتی و توزیع اندازه ذرات بودند، انتخاب شدند. انتخاب نمونه‌ها به صورتی بود که تا حد ممکن توزیع نمونه‌ها در کلاس‌های بافتی یکسان باشد. در مرحله بعد با استفاده از دو مدل بحث شده (آریا و همکاران (۱۹۹۹) و محمدی و مسکینی (۲۰۱۳)) از داده‌های توزیع اندازه ذرات برای برآورد منحنی رطوبتی استفاده شد. در مدل آریا و همکاران (۱۹۹۹) برای فاکتور مقیاس بندی (ضریب) در هر کلاس بافتی از یک مقدار ثابت استفاده شد. مقدار در کلاس‌های بافتی شنی، لوم شنی، لوم، لوم سیلتی و رس به ترتیب برابر ۲۸۵/۱، ۴۵۹/۱، ۳۷۵/۱، ۱۵/۱ و ۱۶/۱ و در سایر کلاس‌های بافتی برابر ۳۸/۱ در نظر گرفته شد (آریا و همکاران، ۱۹۹۹). برای برآورد پارامترهای معادله مدل محمدی و مسکینی (۲۰۱۳)، از نرم افزار مطلب استفاده شد. پس از برآورد منحنی رطوبتی، برای ارزیابی دقت مدل‌ها ۴ آماره صحت سنجی ضریب تبیین (R^2)، NSE[۱۱۵]، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (ME) محاسبه گردید (کراوئس و همکاران؛ ۲۰۰۵).

نتایج و بحث

در جدول ۱ میانگین آماره‌های صحت سنجی برای هر کلاس بافتی آمده است.

جدول ۱- میانگین آماره‌های صحت سنجی برآورد منحنی رطوبتی در کلاس‌های بافت خاک

مدل		آریا و همکاران (۱۹۹۹)				محمدی و مسکینی (۲۰۱۳)			
کلاس بافتی	تعداد	ME	RMSE	NSE	R^2	ME	RMSE	NSE	R^2
شنی	۱۱	۰۳۹/۰	۰۵/۰	۷۶۱/۰	۸۷۵/۰	۰۳۲/۰	۰۴۵/۰	۸۱۱/۰	۹۰۲/۰
شن لومی	۱۱	۰۴/۰	۰۵۱/۰	۶۴۶/۰	۸۷۸/۰	۰۳۱/۰	۰۳۹/۰	۸۱۷/۰	۹۳۷/۰
لوم شنی	۱۱	۰۳۲/۰	۰۳۸/۰	۶۴۱/۰	۹۱۳/۰	۰۳۱/۰	۰۳۸/۰	۵۴۵/۰	۹۲۶/۰
لوم	۱۰	۰۲۷/۰	۰۳۳/۰	۷۲۴/۰	۹۴۳/۰	۰۳۶/۰	۰۴۴/۰	۴۰۶/۰	۹۴۹/۰
لوم سیلتی	۱۱	۰۳/۰	۰۴/۰	۵۴۶/۰	۹۴۵/۰	۰۳۶/۰	۰۳۶/۰	۸/۰	۹۳۹/۰
لوم رس شنی	۱۰	۰۵۷/۰	۰۶۹/۰	-۵۸۸/۰	۸۸۹/۰	۰۳۴/۰	۰۴/۰	۰۶۱/۰-	۸۴/۰
لوم رسی	۹	۰۴۴/۰	۰۵/۰	-۳۸۰/۰	۸۹۸/۰	۰۳۷/۰	۰۴۵/۰	۱۱۰/۱-	۹۳۸/۰
رس شنی	۳	۱۲۸/۰	۱۳۶/۰	۸۳۵/۱۴-	۴۹/۰	۰۴۶/۰	۰۵۸/۰	۹۱۶/۱-	۵۰۸/۰
رسی	۱۱	۰۴/۰	۰۴۶/۰	-۴۴۸/۰	۹۵/۰	۰۴/۰	۰۴۹/۰	۲۳۵/۰	۹۵۳/۰

[۱۱۴] packing

[۱۱۵] Nash-Sutcliffe efficiency

								۰
سیلت رسی	۳	۰۱۸/۰	۰۲۱/۰	۴۹۹/۰	۸۶۳/۰	۰۱۹/۰	۰۲۴/۰	۵۳۸/۰	۸۵۶/۰
لوم رس سیلتی	۴	۰۵۳/۰	۰۶۲/۰	۰۸۱/۰	۸۵۶/۰	۰۳۳/۰	۰۳۸/۰	۴۵۱/۰	۸۸۴/۰
جمع بندی	۹۴	۰۴۶/۰	۰۵۴/۰	-۳۹۶/۱	۸۶۴/۰	۰۳۴/۰	۰۴۱/۰	۰۹۵/۰	۸۷۶/۰

آماره‌های گوناگون بر خطاهای رفتاری متفاوت تأکید دارند که کارایی مدل را از جوانب مختلفی بررسی می‌کنند. ضریب تبیین، نشان می‌دهد که چه مقدار از پراکندگی مشاهداتی توسط تخمین، قابل توضیح است. اگر یک مدل به صورت سیستماتیک بیش برآورد یا کم برآورد داشته باشد، باوجودی که تمام برآوردها اشتباه است، ولی R۲ نزدیک به یک خواهد بود (کراوئس و همکاران؛ ۲۰۰۵). در مقابل RMSE جذر میانگین مربع تفاوت پارامتر برآورد شده را با مقدار اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. همچنین مقادیر NSE کمتر از یک نشان می‌دهد که مقادیر متوسط داده‌های مشاهداتی می‌تواند پیش‌بینی کننده بهتری نسبت به مدل باشد (کراوئس و همکاران؛ ۲۰۰۵). نتایج نیز گویای این امر است؛ به این نحو که به عنوان مثال در بافت رسی ضریب تبیین ۰/۹۵ می‌باشد؛ یعنی شکل منحنی رطوبتی به خوبی توسط مدل‌ها برآورد شده است، اما مقادیر سایر آماره‌ها نشان می‌دهد که برآورد مدل با خطای بیشتری همراه است و نقاط برآوردی از نقاط مشاهده‌ای فاصله زیادی دارد؛ هرچند روند تغییرات نقاط برآوردی نسبت به هم مشابه روند تغییرات نقاط مشاهده‌ای است.

دو مدل بسته به ساختار و فرضیاتی که دارند، در خاک‌های مختلف، نتایج متفاوتی ارائه می‌دهند. نتیجه کلی نشان می‌دهد که مدل محمدی و مسکینی (۲۰۱۳) نتایج قابل‌قبول‌تری نسبت به مدل آریا و همکاران (۱۹۹۹) ارائه می‌دهد. چرا که در شش کلاس از ۱۱ کلاس بافتی بررسی شده، R۲ و NSE بالاتر و RMSE و ME پایین تری دارد. در کلاس‌های بافتی لوم شنی، لوم سیلتی و رسی نتایج هر دو مدل تقریبا مشابه می‌باشد و در کلاس‌های بافتی لوم و سیلت رسی مدل آریا و همکاران (۱۹۹۹) بهتر عمل می‌کند. در این بین، در چهار کلاس بافتی، مقدار NSE منفی به دست آمده است. این نشان می‌دهد که هر دو این مدل‌ها در این کلاس‌های بافتی کارایی لازم را برای برآورد منحنی رطوبتی ندارند. از آنجایی که در یک کلاس بافتی دامنه وسیعی از اندازه ذرات قرار می‌گیرند، این امکان نیز وجود دارد که در برخی نواحی از یک کلاس بافتی مدل بهتر جواب دهد. مثلا می‌توان به ناحیه دوگانه[۱۱۶] از مثلث بافت خاک (دکانداپا و همکاران، ۲۰۰۸) اشاره داشت که این چهار کلاس بافتی تقریبا در این قسمت واقع شده اند.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که برآورد منحنی رطوبتی از داده‌های توزیع اندازه ذرات امری امکان‌پذیر می‌باشد در بسیاری از موارد می‌توان بجای اندازه‌گیری مستقیم با استفاده از مدل‌ها آن را برآورد نمود. در مقایسه بین دو مدل آریا و همکاران (۱۹۹۹) و محمدی و مسکینی (۲۰۱۳)، مدل محمدی و مسکینی در بیشتر کلاس‌های بافتی قابلیت بهتری در تخمین منحنی رطوبتی دارد.

منابع

Arya L.M., Leij F.J., Van Genuchten M.T. and Shouse P.J. ۱۹۹۹. Scaling parameter to predict the soil water characteristic from particle-size distribution data. Soil Sci. Soc .Am. J, ۶۳: ۵۱۰-۵۱۹.

De Condappa D., Galle S,. Dewandel B. and Haverkamp R. ۲۰۰۸. Bimodal zone of the soil textural triangle: common in tropical and subtropical regions. Soil Science Society of America Journal, ۷۲: ۳۳-۴۰.

Fredlund MD., Wilson GW. and Fredlund DG.. ۲۰۰۲. Use of the grain-size distribution for estimation of the soil-water characteristic curve. Can Geotech J, ۳۹: ۱۱۰۳-۱۷.

Ghanbarian-Alavijeh B. and Hunt A.G. ۲۰۱۲. Estimation of soil-water retention from particle-size distribution: fractal approaches. Soil Science, ۱۷۷: ۳۲۱-۳۲۶.

Haverkamp R. and Parlance J.Y. ۱۹۸۶. Prediction the water retention curve from particle size distribution: ۱. Sandy soils without organic matter. Soil science, ۱۴۲: P ۳۲۵-۳۳۹.

Hwang S.I. and. Choi S.I. ۲۰۰۶. Use of a lognormal distribution model for estimating soil water retention curves from particle-size distribution data. Journal of Hydrology, ۳۲۳: ۳۲۵-۳۳۴.

Krause P., Boyle D. and B se F. ۲۰۰۵. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. Advances in Geosciences, ۵: ۸۹-۹۷.

Mohammadi M.H. and M. ۲۰۱۱. Analysis of flow rate dependency of solute transport in an undisturbed inceptisol. Vadose Zone J, ۱۰: ۳۹۴-۴۰۲.

Mohammadi, M.H. and Meskini-Vishkaee F. ۲۰۱۳. Predicting Soil Moisture Characteristic Curves from Continuous Particle-Size Distribution Data. Pedosphere, ۲۳: ۷۰-۸۰.

[۱۱۶] Bimodal zone

Zhuang J., Jin, Y. and Miyazaki T. ۲۰۰۱. Estimating water retention characteristic from soil particle-size distribution using a non-similar media concept. Soil Science, ۱۶۶:۳۰۸-۳۲۱.

Abstract

Measurement of the SWCC in the laboratory and in the field is relatively time consuming and expensive. Therefore, several models have been proposed to predict SWCC from GSD. In this context, a model is produced by Arya and Paris that accordingly soil moisture curve can be estimated from particle size distribution. Mohammadi and Meskini (۲۰۱۳) merged Mohammadi & Vanclooster model (۲۰۱۱) with van Genuchten model (۱۹۸۰) then another model in this context proposed that its base is different with the proposed method by Arya and Paris. The aim of this study was to compare the accuracy of these models using data from UNSODA database in different Soil texture classes. Accuracy of soil moisture curve estimated in ۹۴ soil samples was assessed using validation statistics such as R۲, NSE, RMSE and ME. The results showed that Accuracy of Mohammadi & Meskini model in majority of textural class is more than Arya and Paris model (۱۹۹۹).