نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۹۰، ص. ۱۰۲۴-۱۰۱۶

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No. 5, Nov-Des 2011, p. 1016-1024

# ارزیابی توابع انتقالی و تاثیر ماده آلی در پیش‌بینی رطوبت اشباع خاک

بهزاد قنبریان علویجه[۱*]- عبدالمجید لیاقت[۲]

تاریخ دریافت:۸۹/۲/۵
تاریخ پذیرش:۹۰/۳/۲۴

## چکیده

رطوبت اشباع خاک از جمله پارامترهایی است که اندازه‌گیری آن به‌منظور پیش‌بینی منحنی مشخصه رطوبتی و هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک ضروری می‌باشد. در برخی مطالعات مقدار رطوبت اشباع برابر تخلخل خاک و در موارد دیگر مقدار آن با استفاده از پارامترهای سهل‌الوصول شامل جرم مخصوص ظاهری و داده‌های بافت خاک و توابع انتقالی تخمین زده می‌شود. هدف از انجام این مطالعه ارزیابی روش‌های ارائه شده در منابع در مورد پیش‌بینی رطوبت اشباع خاک می‌باشد. از آنجائی‌که از مقدار ماده آلی خاک به‌عنوان پارامتری موثر بر ساختمان خاک یاد می‌شود، در این تحقیق همچنین تاثیر این پارامتر در پیش‌بینی رطوبت اشباع خاک مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور در حالت اول بدون در نظر گرفتن مقدار ماده آلی روش‌های مختلف مشتمل بر روش تخلخل کل خاک، مدل وریکن و همکاران، مدل مایر و یارویس، مدل شینوست و همکاران مورد ارزیابی قرار گرفتند. در حالت دوم با در نظر گرفتن مقدار اندازه‌گیری شده ماده آلی علاوه بر روش‌های مذکور روش وستن و همکاران و دو مدل خطی و غیرخطی راجکای و همکاران با سایر روش‌ها مقایسه گردید. در حالت اول از ۴۴۳ نمونه خاک و در حالت دوم به دلیل اینکه در برخی نمونه‌ها مقدار ماده آلی خاک اندازه‌گیری نشده بود از ۳۰۹ نمونه خاک مربوط به سه بانک اطلاعاتی کرنلیس و همکاران، UNSODA و GRIZZLY استفاده گردید. نتایج نشان داد که با افزایش ماده آلی رطوبت اشباع خاک نیز افزایش می‌یابد. همچنین مقادیر کمتر RMSE و AIC برای هر دو حالت اول و دوم نشان دادند که دقت مدل وریکن و همکاران در پیش‌بینی رطوبت اشباع خاک از سایر مدل‌ها بیشتر می‌باشد. نتایج همچنین نشان داد که مدل‌هایی که در آن‌ها درصد ماده آلی به‌عنوان پارامتر ورودی مدل در نظر گرفته می‌شود نمی‌توانند با دقت بالاتری نسبت به مدل وریکن و همکاران رطوبت اشباع خاک را پیش‌بینی نمایند.

**واژه‌های کلیدی:** توابع انتقالی، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت اشباع، ماده آلی

## مقدمه

رطوبت اشباع خاک از جمله پارامترهایی است که اندازه‌گیری آن به‌منظور پیش‌بینی منحنی مشخصه رطوبتی و هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک ضروری می‌باشد. در برخی مطالعات فیزیک خاک مقدار رطوبت اشباع برابر تخلخل کل خاک در نظر گرفته می‌شود (۵). در این حالت مقدار رطوبت اشباع از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد (روش تخلخل خاک):

$$\theta_s = \phi = 1 - \frac{BD}{PD} \qquad (۱)$$

که در رابطه فوق $\phi$: تخلخل کل خاک، BD: جرم مخصوص ظاهری خاک و PD: جرم مخصوص واقعی ذرات خاک می‌باشد. در مواردی که مقدار جرم مخصوص واقعی ذرات خاک اندازه‌گیری نشده باشد، از مقدار متوسط ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب استفاده می‌شود (۴).

اما عمدتاً به دلیل خاصیت گلوگاهی[۳] که موجب وقوع پدیده پسماند در خاک می‌شود، مقدار رطوبت اشباع از مقدار تخلخل کل خاک کمتر بوده به‌طوری‌که ویلیامز و همکاران (۱۵) مقدار آن را معادل ۹۳ درصد مقدار تخلخل کل خاک فرض کرده و رابطه زیر را پیشنهاد نمودند:

$$\theta_s = 0.93\phi = 0.93\left(1 - \frac{BD}{PD}\right) \qquad (۲)$$

میناسنی و همکاران (۸) نیز از روش فوق به‌منظور تخمین رطوبت اشباع خاک استفاده نمودند.

در مطالعه‌ای دیگر، پاچپسکی و همکاران (۱۰) مقدار رطوبت

۱و۲- دانشجوی دکتری و استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: (Email: b.ghanbarian@gmail.com

3- Ink bottle

اشباع را معادل ۹۰ درصد تخلخل خاک فرض نمودند. هرچند در مورد خاک‌های متورم شونده مقدار رطوبت اشباع می‌تواند از مقدار تخلخل خاک بیشتر باشد.

علاوه بر روش‌های فوق، توابع انتقالی مختلفی به‌منظور پیش‌بینی رطوبت اشباع بر اساس پارامترهای زودیافتی همچون جرم مخصوص ظاهری خاک و داده‌های بافت خاک همچون درصد ذرات رس، سیلت و شن ارائه شده‌اند.

وریکن و همکاران (۱۳) بر اساس اطلاعات جرم مخصوص ظاهری و درصد ذرات رس ۱۸۲ نمونه خاک جمع‌آوری شده در کشور بلژیک تابع انتقالی زیر را ارائه نمودند:

$$\theta_s = 0.81 - 0.283BD + 0.001C \qquad (۳)$$

در رابطه فوق C: درصد ذرات رس خاک می‌باشد.

شینوست و همکاران (۱۲) رابطه‌ای مشابه با مدل وریکن و همکاران (۱۳) به شکل زیر ارائه نمودند:

$$\theta_s = 0.85(1 - BD/2.65) + 0.0013C \qquad (۴)$$

مایر و یارویس (۷) مدل زیر را به‌منظور تخمین رطوبت اشباع خاک به شکل زیر ارائه نمودند:

$$\theta_s = 0.2346 + 0.00466S + 0.00882Si + 0.006434C - 0.3028\mathrm{BD} + 1.797\times10^{-5}S^2 - 3.135\times10^{-5}Si^2 \qquad (۵)$$

که در رابطه فوق Si: درصد ذرات سیلت و S: درصد ذرات شن خاک می‌باشد.

علاوه بر درصد ذرات رس، نوع کانی‌های رسی و سطح ویژه ذرات خاک، ماده آلی نیز پارامتری تاثیرگذار بر مقدار آب موجود در خاک و نهایتاً منحنی مشخصه رطوبتی و هدایت هیدرولیکی خاک می‌باشد. در حقیقت از یک سو ماده آلی خاک با قدرت نگه‌دارندگی مانع از حرکت آب خاک شده و هدایت هیدرولیکی خاک را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر با بهبود ساختمان خاک و افزایش مقدار تخلخل خاک سبب افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌شود (۹). نمز و همکاران (۹) این اثر متقابل ماده آلی خاک را برای محدوده وسیعی از نمونه خاک‌های با بافت مختلف مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که نهایتاً با افزایش مقدار ماده آلی خاک هدایت هیدرولیکی اشباع کاهش می‌یابد.

والزاک و همکاران (۱۴) همچنین ادعا نمودند اگرچه ماده آلی خاک در بسیاری از موارد به‌عنوان پارامتر ورودی مدل‌های رگرسیونی به‌منظور تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک به‌کار می‌رود، به دلیل رفتار پیچیده این پارامتر (قدرت نگه‌دارندگی و مانع شدن از حرکت آب از یک سو و بهبود ساختمان خاک از سوی دیگر) مشکل می‌توان رابطه مستقیمی بین مقدار ماده آلی خاک و محتوای رطوبتی خاک برقرار کرد.

از سوی دیگر دکستر (۲) نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی را نقطه‌ای معرفی کرده که منحنی مشخصه رطوبتی را به دو قسمت بافت و ساختمان خاک تقسیم می‌کند و نشان داد که شیب منحنی مشخصه رطوبتی در نقطه عطف به‌عنوان شاخصی از ساختمان خاک با ماده آلی خاک همبستگی بالایی دارد.

علاوه بر روش‌های مذکور برای پیش‌بینی رطوبت اشباع خاک که همگی بر مبنای جرم مخصوص ظاهری و اطلاعات بافت خاک مانند درصد ذرات رس، سیلت و شن می‌باشند، وستن و همکاران (۱۶) مدل رگرسیونی زیر را با استفاده از بانک اطلاعاتی HYPRES ارائه نمودند. در این مدل مقدار ماده آلی خاک نیز به‌عنوان پارامتر ورودی مدل در نظر گرفته شده است.

$$\theta_s = 0.7919 + 0.001691C - 0.29619\mathrm{BD} - 0.000001491Si^2 + 0.0000821\mathrm{OM}^2 + 0.02427C^{-1} + 0.01113Si^{-1} + 0.01472\ln(Si) - 0.0000733\mathrm{OM}\times C - 0.000619\mathrm{BD}\times C - 0.001183\mathrm{BD}\times\mathrm{OM} - 0.0001664Si \qquad (۶)$$

در رابطه فوق OM: درصد ماده آلی خاک می‌باشد.

راجکای و همکاران (۱۱) نیز براساس دو مدل برازش خطی و غیرخطی به‌ترتیب دو تابع انتقالی زیر را به‌منظور پیش‌بینی رطوبت اشباع خاک به شکل زیر ارائه نمودند:

$$\theta_s = \frac{1}{100}\left[\begin{matrix}118.76 - 60.02BD - 0.25OM - 0.0007C^2 - 1.99\ln(C) + 9.78BD^2 \\ -0.04BD\times S + 0.116S/Si + 0.00078BD^2C^2\end{matrix}\right] \qquad (۷)$$

$$\theta_s = \frac{1}{100}\left[\begin{matrix}123.76 - 65.37BD - 0.28OM - 0.000048C^2 - 1.99\ln(C) + 12.46BD^2 \\ -0.054BD\times S + 0.14S/Si + 0.00049BD^2C^2\end{matrix}\right] \qquad (۸)$$

از آنجائی‌که رطوبت اشباع خاک از جمله پارامترهایی است که در پیش‌بینی منحنی مشخصه رطوبتی و هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک استفاده می‌شود و تاکنون مقایسه‌ای بر روی روش‌های ارائه شده در پیش‌بینی رطوبت اشباع خاک صورت نگرفته است، هدف از انجام این مطالعه (الف) ارزیابی روش‌هایی است که به‌منظور پیش‌بینی رطوبت اشباع خاک با استفاده از پارامترهایی نظیر جرم مخصوص ظاهری و داده‌های بافت خاک ارائه شده‌اند و (ب) بررسی تاثیر ماده آلی بر رطوبت اشباع و پیش‌بینی آن می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

در این مطالعه سه بانک اطلاعاتی مختلف شامل بانک‌های اطلاعاتی کرنلیس و همکاران (۱) با ۶۹ نمونه، UNSODA (۶) با ۳۱۵ نمونه و GRIZZLY (۳) با ۵۹ نمونه خاک و در مجموع ۴۴۳ نمونه خاک دست‌نخورده مورد استفاده قرار گرفت.

در حالت اول تمامی نمونه خاک‌ها به‌منظور پیش‌بینی رطوبت اشباع خاک استفاده شدند. سپس با استفاده از روش‌های مختلف شامل روش تخلخل خاک، مدل ویلیامز و همکاران (۱۵)، مدل پاچپسکی و همکاران (۱۰)، مدل وریکن و همکاران (۱۳)، مدل

شینوست و همکاران (۱۲) و مدل مایر و یارویس (۷) مقادیر رطوبت اشباع برای ۴۴۳ نمونه خاک تخمین زده شده و نهایتاً با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شدند. در اندک مواردی که مقدار جرم مخصوص حقیقی ذرات اندازه‌گیری نشده بود، مقدار متوسط ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب در نظر گرفته شد. در حالت دوم از آنجایی‌که مقدار ماده آلی تنها برای ۶۷، ۱۹۹ و ۴۳ نمونه از بانک‌های اطلاعاتی کرنلیس و همکاران، UNSODA و GRIZZLY موجود بود، در مجموع ۳۰۹ نمونه خاک به‌منظور بررسی تاثیر مقدار ماده آلی بر پیش‌بینی رطوبت اشباع خاک استفاده شدند. در این حالت علاوه بر روش‌های استفاده شده در حالت اول، روش وستن و همکاران (۱۶) و دو روش خطی و غیرخطی راجکای و همکاران (۱۱) نیز به‌منظور تخمین رطوبت اشباع خاک مورد ارزیابی قرار گرفتند و نتایج با مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت اشباع مقایسه شدند. شکل ۱ توزیع نمونه خاک‌های استفاده شده در حالت‌های اول و دوم را در مثلث بافت خاک نشان می‌دهد.

به‌منظور بررسی تاثیر ماده آلی بر رطوبت اشباع در خاک‌های با بافت مختلف، ۳۰۹ نمونه خاک براساس درصد ذرات شن به چهار گروه تقسیم شدند. گروه اول نمونه خاک‌هایی با درصد شن کمتر از ۲۵، گروه دوم نمونه خاک‌هایی با درصد شن ۵۰-۲۵، گروه سوم نمونه خاک‌هایی با درصد شن ۷۵-۵۰ و گروه چهارم نمونه خاک‌هایی با درصد شن ۱۰۰-۷۵ را شامل می‌شود.

از آنجایی‌که تعداد پارامترهای ورودی هر مدل متفاوت می‌باشد، علاوه بر پارامتر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) از ضریب آکائیک برای ارزیابی روش‌های مختلف در پیش‌بینی رطوبت اشباع خاک استفاده گردید:

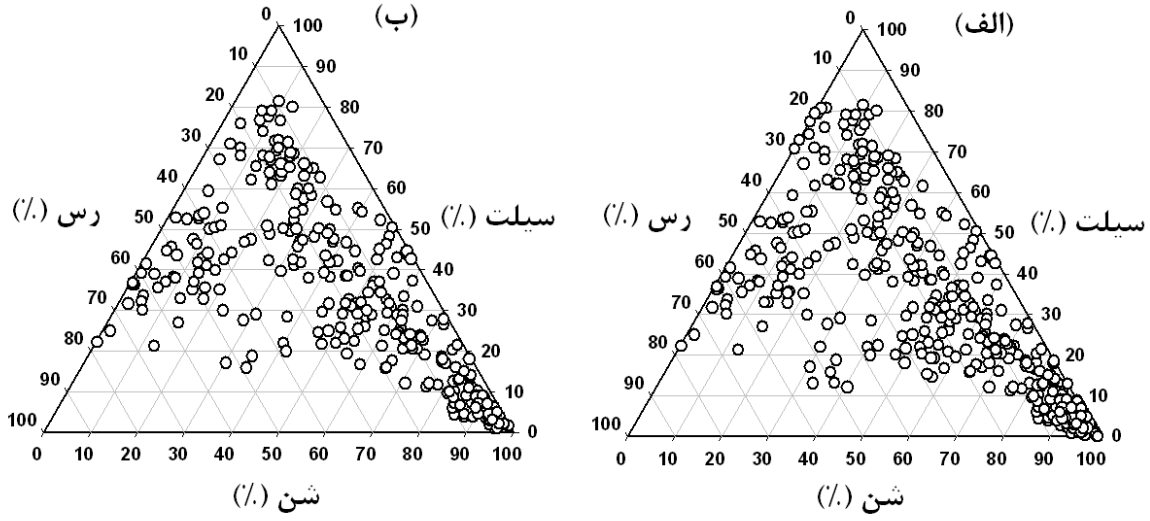
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(O_i - P_i\right)^2}{n}} \qquad (۹)$$

$$AIC = n\ln\left(\frac{ESS}{n}\right) + 2q \qquad (۱۰)$$

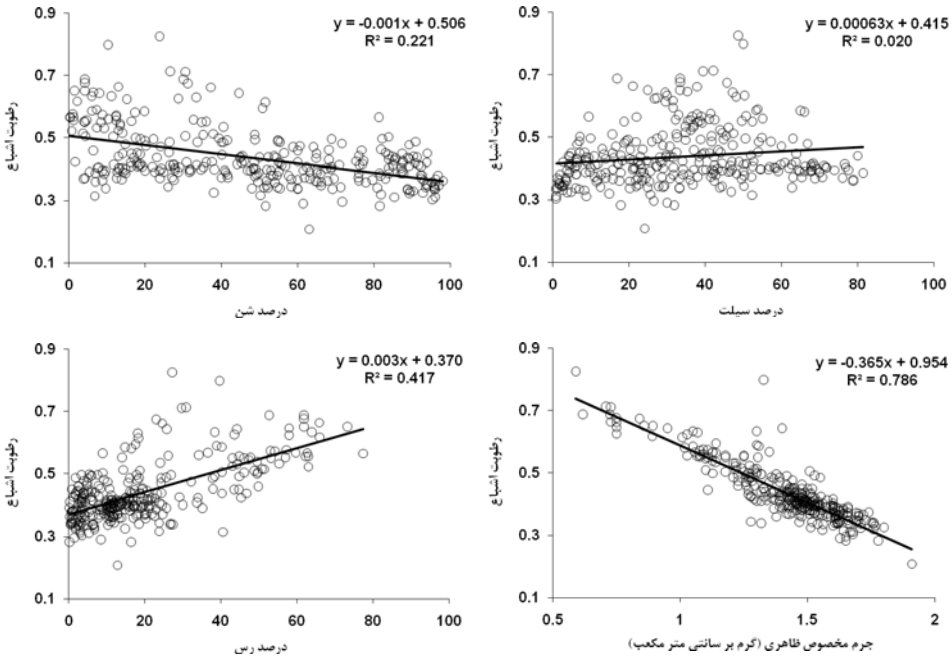
که در آن، $O_i$: مقدار اندازه‌گیری شده، $P_i$: مقدار پیش‌بینی شده، $n$: تعداد داده‌ها، ESS: مجموع مربعات خطا و q: تعداد پارامترهای ورودی مدل می‌باشد. هر چه میزان ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) کمتر و همچنین ضریب آکائیک کوچک‌تر (منفی‌تر) باشد دقت مدل بیشتر خواهد بود. علاوه بر دو پارامتر آماری ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب آکائیک، از برازش خط مستقیم و آزمون آماری در سطح ۹۵٪ برای ارزیابی روش‌های مختلف استفاده گردید.

## نتایج و بحث

دامنه تغییرات پارامترهای مختلف همچون رطوبت اشباع، درصد ذرات شن، درصد ذرات سیلت، درصد ذرات رس و همچنین جرم مخصوص ظاهری برای ۴۴۳ نمونه خاک در شکل ۲ ارائه شده است. شکل ۲ همچنین تغییرات رطوبت اشباع در مقابل سایر پارامترها مانند درصد ذرات شن، سیلت و رس و جرم مخصوص ظاهری خاک را نشان می‌دهد.




**شکل ۱- توزیع نمونه خاک‌های استفاده شده در مثلث بافت خاک برای حالت اول (الف) و حالت دوم (ب) بر اساس استاندارد USDA**




**شکل ۲- تغییرات رطوبت اشباع خاک در مقابل پارامترهای مختلف برای ٤٤٣ نمونه خاک مورد مطالعه**

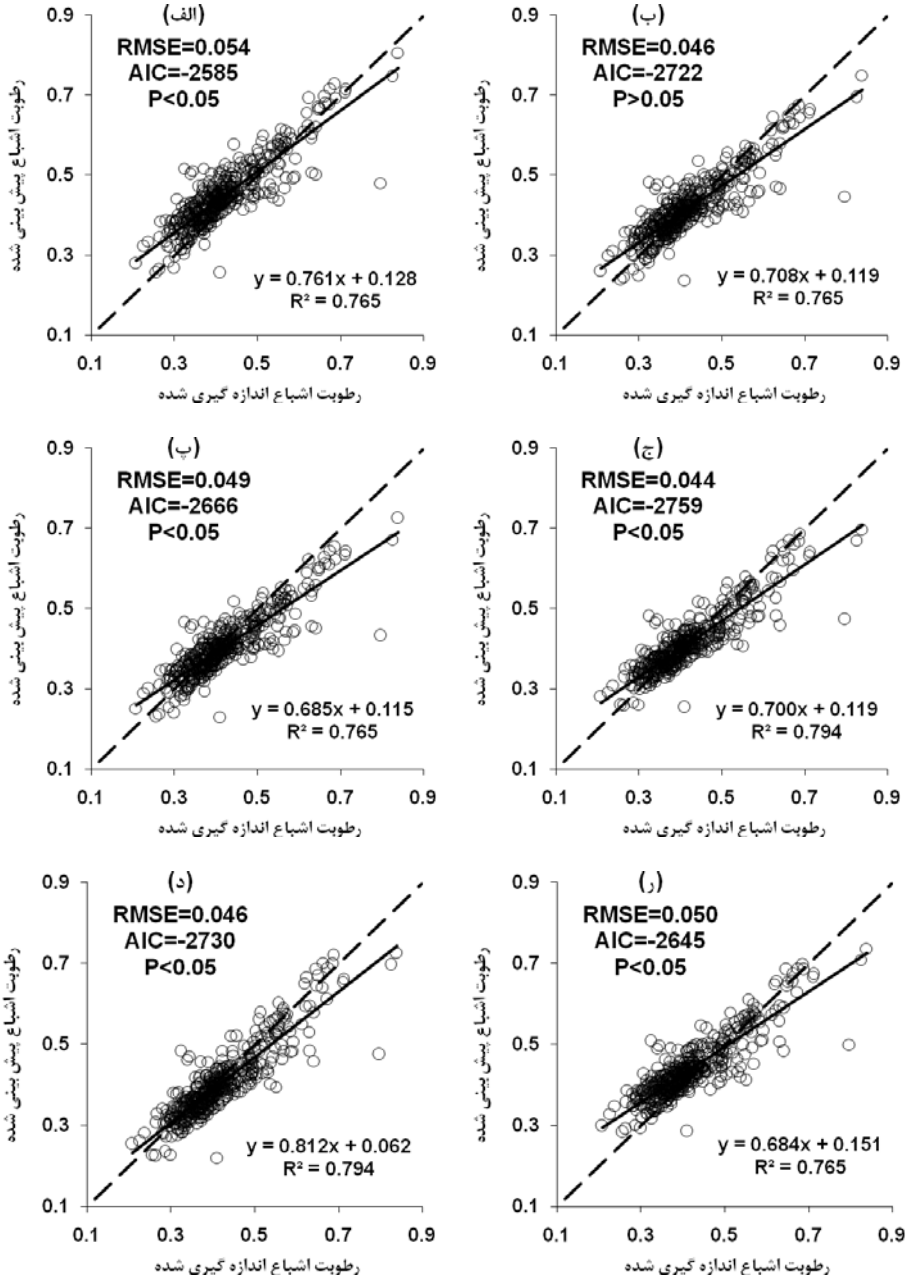
همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش درصد ذرات شن و با کاهش درصد ذرات رس مقدار رطوبت اشباع خاک کاهش می‌یابد. هرچند در تغییرات رطوبت اشباع نسبت به درصد ذرات سیلت روند خاصی مشاهده نمی‌شود (شیب خط برازش یافته و ضریب همبستگی نزدیک به صفر می‌باشد). از سوی دیگر با افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک و تراکم بیشتر نمونه رطوبت اشباع خاک کاهش می‌یابد. در این حالت ضریب همبستگی $R^2$ برابر ۰/۷۸ نشان می‌دهد که ۷۸ درصد تغییرات رطوبت اشباع توسط پارامتر جرم مخصوص ظاهری خاک بیان می‌شود.

برای حالت اول و بدون در نظر گرفتن ماده آلی، نتایج مقایسه روش‌های مختلف در پیش‌بینی رطوبت اشباع خاک با مقادیر اندازه‌گیری شده در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود در تمامی روش‌ها به غیر از روش ویلیامز و همکاران (۱۵) اختلاف آماری معنی‌داری بین متوسط مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده در سطح ۹۵٪ وجود دارد ($P<0.05$). پارامترهای آماری RMSE و AIC همچنین شیب خط برازش یافته و ضریب همبستگی $R^2$ در شکل ۳ ارائه شده‌اند. مقادیر حداقل و حداکثر پارامتر RMSE به‌ترتیب برابر ۰/۰۴۴ و ۰/۰۵۴ ($m^3. m^{-3}$) برای مدل وریکن و همکاران (۱۳) و روش تخلخل کل خاک به‌دست آمد. مقادیر AIC به‌دست آمده موید نتایج به‌دست آمده می‌باشد. با وجود اینکه مقادیر محاسبه شده RMSE و AIC نشان می‌دهند که مدل وریکن و همکاران (۱۳) با دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها رطوبت اشباع خاک را پیش‌بینی می‌نماید، شیب خط برازش یافته در مدل وریکن و همکاران (۱۳) از مقادیر شیب خط برازش یافته در مدل‌های تخلخل کل، ویلیامز و همکاران (۱۵) و شینوست و همکاران (۱۲) کمتر می‌باشد. بنابراین به صرف استفاده از تحلیل خط رگرسیونی مشتمل بر شیب خط و ضریب همبستگی به‌منظور مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده کافی نبوده و استفاده از پارامترهای آماری خطا ضروری به نظر می‌رسد.

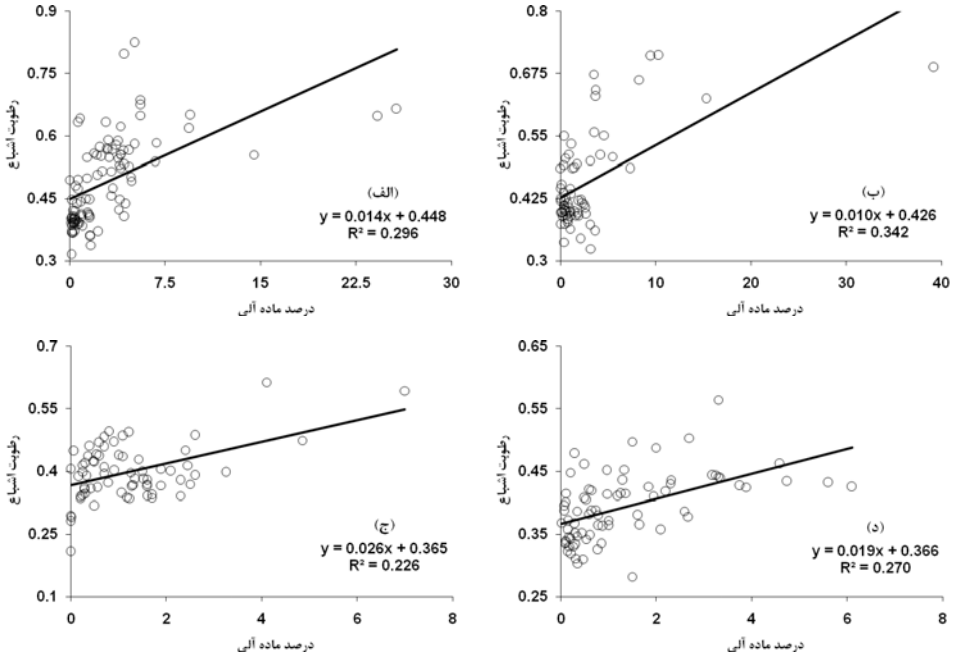
مقادیر RMSE و AIC محاسبه شده نشان می‌دهند که بعد از مدل وریکن و همکاران (۱۳)، روش شینوست و همکاران (۱۲) و مدل ویلیامز و همکاران (۱۵) دارای دقتی مشابه برای پیش‌بینی رطوبت اشباع خاک هستند (RMSE=0.046). این در حالیست که در روش ویلیامز و همکاران (۱۵) رطوبت اشباع با استفاده از جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک تخمین زده می‌شود. در حالی‌که در مدل شینوست و همکاران (۱۲) علاوه بر جرم مخصوص ظاهری از اطلاعات بافت خاک همچون درصد ذرات رس خاک نیز استفاده می‌گردد.

شکل ۴ تغییرات رطوبت اشباع را در مقابل درصد ماده آلی خاک برای ۳۰۹ نمونه خاک و چهار گروه با درصد شن ۲۵-۰، ۵۰-۲۵، ۷۵-۵۰ و ۱۰۰-۷۵ نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود برای تمامی چهار گروه، در حالت کلی با افزایش درصد ماده آلی مقدار رطوبت اشباع خاک نیز افزایش می‌یابد. مقدار مثبت شیب خط معادلات برازش داده شده مؤید این مطلب می‌باشد. در حالت کلی برای ۳۰۹ نمونه خاک نیز خط مستقیمی با شیب ۰/۰۱۴ و ضریب همبستگی ۰/۳۱ به‌دست آمد.

برای حالت دوم و با در نظر گرفتن ماده آلی، نتایج مقایسه روش‌های مختلف در پیش‌بینی رطوبت اشباع خاک با مقادیر اندازه‌گیری شده در شکل ۵ نشان داده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که مدل وریکن و همکاران (۱۳) با مقدار RMSE برابر با ۰/۰۴۲ ($m^3.m^{-3}$) و ضریب AIC برابر ۱۹۵۳- از دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار می‌باشد. این در حالیست که شیب خط برازش یافته در مدل وریکن و همکاران (۱۳) از مقادیر شیب خط برازش یافته به مدل‌های تخلخل کل و شینوست و همکاران (۱۲) کمتر می‌باشد.




**شکل ۳- مقایسه رطوبت اشباع پیش‌بینی شده توسط روش (الف) تخلخل خاک، (ب) ویلیامز و همکاران، (پ) پاچپسکی و همکاران، (ج) وریکن و همکاران، (د) شینوست و همکاران و (ر) مایر و یارویس با مقادیر اندازه‌گیری شده**




**شکل ٤- تغییرات رطوبت اشباع خاک در مقابل درصد ماده آلی برای نمونه خاک با (الف) درصد شن کمتر از ۲۵، (ب) درصد شن ۵۰-۲۵، (ج) درصد شن ۷۵-۵۰ و (د) درصد شن ۱۰۰-۷۵**

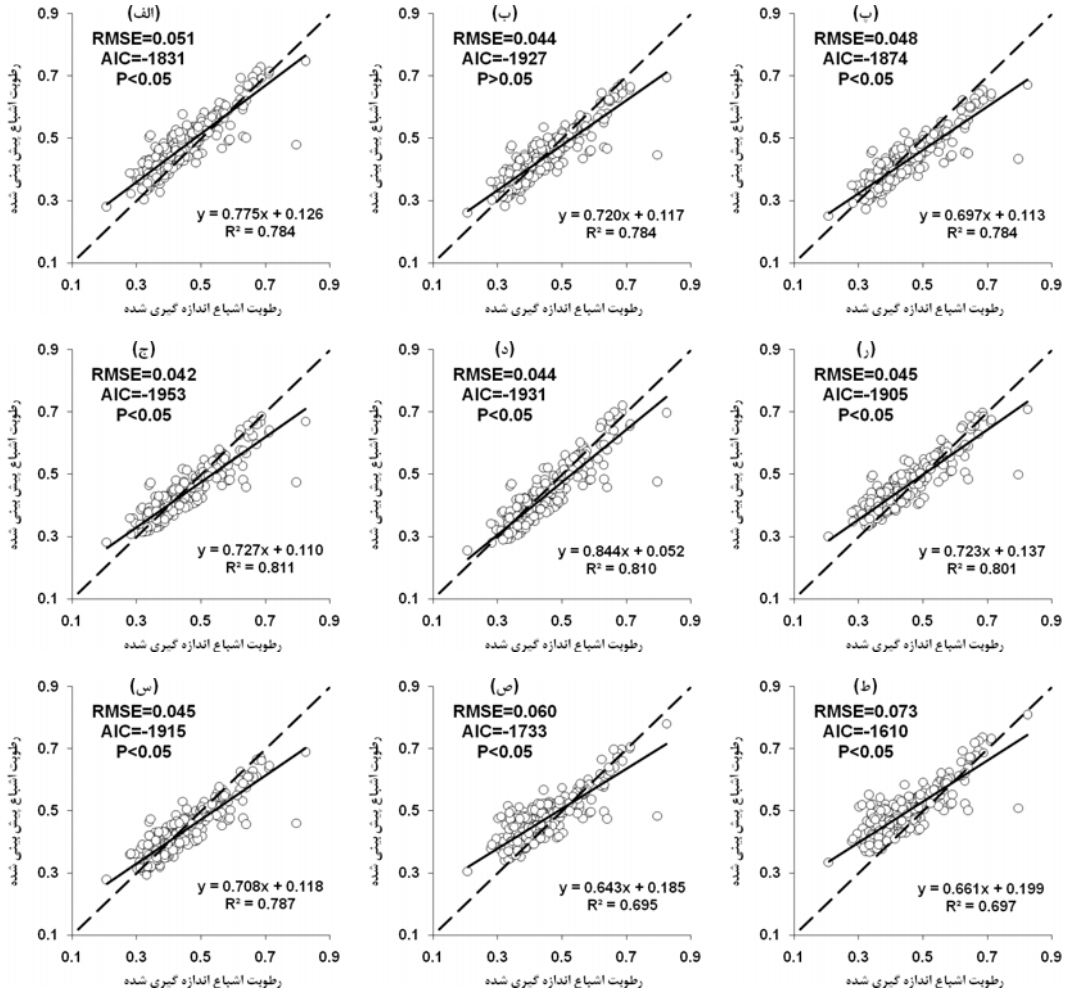
پارامترهای آماری محاسبه شده RMSE و AIC در شکل ۵ نشان می‌دهند که بعد از مدل وریکن و همکاران (۱۳)، مدل شینوست و همکاران (۱۲) و مدل ویلیامز و همکاران (۱۵) با مقدار خطای مشابه با دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها رطوبت اشباع خاک را پیش‌بینی می‌نمایند. برای این حالت (حالت دوم) کمترین دقت مربوط به مدل غیرخطی راجکای و همکاران (۱۱) با مقدار RMSE و AIC به‌ترتیب برابر با ۰/۰۷۳ ($m^3.m^{-3}$) و ۱۶۱۰- می‌باشد.

مقادیر AIC و RMSE ارائه شده در شکل ۵ همچنین نشان می‌دهند که مدل‌های ارائه شده توسط وستن و همکاران (۱۶) و راجکای و همکاران (۱۱) که در آن‌ها ماده آلی خاک به‌عنوان پارامتر ورودی مدل در نظر گرفته می‌شود نمی‌توانند بهتر از مدل‌های وریکن و همکاران (۱۳)، شینوست و همکاران (۱۲) و ویلیامز و همکاران (۱۵) رطوبت اشباع خاک را پیش‌بینی نماید. همچنین همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود در تمامی روش‌ها به غیر از روش ویلیامز و همکاران (۱۵) اختلاف آماری معنی‌داری بین متوسط مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده در سطح ۹۵٪ وجود دارد ($P<0.05$).

مقایسه مدل‌های مختلف در تخمین رطوبت اشباع (شکل ۵) خاطر نشان می‌سازد که دقت دو مدل برازش خطی و غیرخطی راجکای و همکاران (۱۱) از سایر مدل‌ها کمتر می‌باشد. همچنین پارامترهای آماری محاسبه شده RMSE و AIC در شکل (۵-ص و ط) نشان می‌دهد که مدل برازش خطی راجکای و همکاران (۱۱) با دقت بالاتری نسبت به مدل برازش غیرخطی، رطوبت اشباع خاک را پیش‌بینی می‌نماید. مقدار ضریب آکائیک برای مدل خطی و غیرخطی راجکای و همکاران (۱۱) به‌ترتیب برابر ۱۷۳۳- و ۱۶۱۰- به‌دست آمد. این نتایج با نتایج به‌دست آمده توسط راجکای و همکاران (۱۱) مبنی بر بالاتر بودن راندمان تخمین مدل برازش غیرخطی نسبت به مدل برازش خطی مغایرت دارد.

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه روش‌های مختلف به‌منظور تخمین رطوبت اشباع خاک به‌عنوان پارامتری ضروری در پیش‌بینی منحنی مشخصه رطوبتی و هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک در دو حالت مختلف بدون حضور ماده آلی و با در نظر گرفتن ماده آلی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش ماده آلی خاک رطوبت اشباع نیز افزایش می‌یابد. نتایج همچنین نشان داد که بهترین مدل به‌منظور پیش‌بینی رطوبت اشباع خاک برای هر دو حالت اول و دوم، مدل وریکن و همکاران (۱۳) بوده و مدل‌هایی که یکی از پارامترهای ورودی آن‌ها ماده آلی است با دقتی کمتر از مدل وریکن و همکاران (۱۳) رطوبت اشباع خاک را پیش‌بینی می‌نمایند.




**شکل ۵- مقایسه رطوبت اشباع پیش‌بینی شده توسط روش (الف) تخلخل خاک، (ب) ویلیامز و همکاران، (پ) پاچپسکی و همکاران، (ج) وریکن و همکاران، (د) شینوست و همکاران، (ر) مایر و یارویس، (س) وستن و همکاران، (ص) خطی راجکای و همکاران و (ط) غیرخطی راجکای و همکاران با مقادیر اندازه‌گیری شده**

## منابع


1- Cornelis W.M., Ronsyn J., Van Meirvenne M., and Hartmann R. 2001. Evaluation of pedotransfer functions for predicting the soil moisture retention curve. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 638-648.
2- Dexter A.R. 2004. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma 120: 201-214.
3- Haverkamp R., Zammit C., Boubkraoui F., Rajkai K., Arrúe J.L., and Heckmann N. 1997. GRIZZLY, Grenoble soil catalogue: Soil survey of fi eld data and description of particle-size, soil water retention and hydraulic conductivity functions. Laboratoire d'Etude des Transferts en Hydrologie et en Environnement, Grenoble, France.
4- Hillel D. 2004. Introduction to environmental soil physics. Elsevier Academic Press. 494 pp.
5- Kirkham M.B. 2005. Principles of soil and plant water relations. Elsevier Academic Press. 500 pp.
6- Leij F.J., Alves W.J., Van Genuchten M.Th., and Williams J.R. 1996. Unsaturated soil hydraulic database, UNSODA 1.0 user's manual. Rep. EPA/600/R96/095. USEPA, Ada, OK.
7- Mayr T., and Jarvis N.J. 1999. Pedotransfer functions to estimate soil water retention parameters for a modified

Brooks-Corey type model. Geoderma, 91: 1-9.
8- Minasny B., McBratney A.B., and Bristow K.L. 1999. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water/retention curves. Geoderma, 93: 225-253.
9- Nemes A., Rawls W.J., and Pachepsky Ya.A. 2005. The influence of organic matter on the estimation of saturated hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 69: 1330-1337.
10- Pachepsky Y.A., Timlin D.J., and Ahuja L.R. 1999. Estimating saturated soil hydraulic conductivity using water retention data and neural networks. Soil Sci. 164: 552-560.
11- Rajkai K., Kabos S., and Van Genuchten M.Th. 2004. Estimating the water retention curve from soil properties: comparison of linear, nonlinear and concomitant variable methods. Soil Till. Res. 79: 145-152.
12- Scheinost A.C., Sinowski W., and Auerswald K. 1997. Regionalization of soil water retention curves in a highly variable soilscape: I. Developing a new pedotransfer function. Geoderma, 78: 129-143.
13- Vereecken H., Feyen J., Maes J., and Darius P. 1989. Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density, and carbon content. Soil Sci. 148: 389-403.
14- Walczak R., Witkowska-Walczak B., and Sławiński C. 2004. Pedotransfer studies in Poland. In: Development of pedotransfer functions in soil hydrology (Eds Ya.A. Pachepsky, W.J. Rawls). Developments in Soil Science, Vol. 30:449-463.
15- Williams J., Ross P.J., and Bristow K.L. 1992. Prediction of the Campbell water retention function from texture, structure and organic matter. In: (Eds M.Th. van Genuchten, F.J. Leij, L.J. Lund). Proceedings of an International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils. University of California, Riverside, CA, pp. 427-442.
16- Wösten J.H.M, Lilly A., Nemes A., and Le Bas C. 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. Geoderma, 90: 169-185.

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No. 5, Nov-Des 2011, p. 1016-1024

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۹۰، ص. ۱۰۲۴-۱۰۱۶

# Evaluation of Pedotransfer Functions and Effect of Organic Matter in Prediction of Soil Saturated Water Content

**B. Ghanbarian Alavijeh[1*]- A. Liaghat[2]**
Received:25-4-2010
Accepted:14-6-2011

## Abstract

Saturated water content is one of the important parameters which its measurement is necessary in estimation of soil water retention and unsaturated hydraulic conductivity curves. In several researches, saturated water content is assumed to be equal to soil total porosity. In some others, its value is estimated by pedotransfer functions using readily available parameters, such as bulk density and soil textural data. The objective of this study is to evaluate different presented methods in the literature in estimation of saturated water content. Since soil organic matter is considered as an effective parameter on the soil structure, in this study its influence in the estimation of saturated water content is studied. For this purpose, in the first case without considering the value of organic matter, different methods such as soil total porosity, Vereecken et al., Mayr and Jarvis, and Scheinost et al., were evaluated. In the second case, the measurement of organic matter was used in prediction of saturated water content. Then beside the other methods mentioned above, Wösten et al. model as well as two linear and nonlinear models of Rajkai et al. were evaluated as well. In the first and second cases 443 and 309 soil samples from three data bases e.g., Cornelis et al., UNSODA and GRIZZLY were used, respectively. The results showed that when organic matter increased, saturated water content increased as well. In the first and second cases, the smaller values of RMSE and AIC showed that the Vereecken et al. model predicted saturated water content more accurately than the other methods. The obtained results also indicated that models in which organic matter is considered as an input parameter could not estimate saturated water content as accurately as Vereecken et al. model estimated.

**Keywords:** Bulk density, Organic matter, Pedotransfer functions, Saturated water content

1,2- PhD Student and Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Agriculture and Natural Resources (Karaj), University of Tehran
(*-Corresponding Author Email: b.ghanbarian@gmail.com)