

تأثیر نوع و تعداد متغیرهای ورودی در برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی و هدایت هیدرولیکی اشباع

روزبه موذن زاده^{۱*} - بیژن قهرمان^۲ - فریده فتحعلیان^۳ - علی اصغر خوشنود یزدی^۴

تاریخ دریافت: ۸۷/۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۱/۲۲

چکیده

توابع انتقالی خاک را می‌توان ابزاری کارآمد و مفید در برآورد بسیاری از خصوصیات خاک، به ویژه خصوصیات هیدرولیکی این محیط متخلخل دانست. مهمترین ویژگی این توابع، پرهیز از صرف زمان و هزینه‌ایست که معمولاً در روش‌های مستقیم برآورد خصوصیات هیدرولیکی خاک، غیر قابل اجتناب است. Rosetta بسته نرم افزاری است که از توابع انتقالی با ماهیت شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد خصوصیات هیدرولیکی خاک، در قالب چهار مدل مختلف، سود می‌جوید. در این تحقیق تأثیر نوع و تعداد متغیرهای ورودی در این برنامه بر روی برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی و هدایت هیدرولیکی اشباع تعدادی از خاک‌های مناطق شمالی کشور که در دو کلاس بافتی لوم و لوم رسی طبقه بندی شده بودند (USDA)، بررسی شد. از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطا (ME)، نسبت خطای متوسط هندسی (GMER) و نسبت خطای انحراف استاندارد هندسی (GSDER) به منظور ارزیابی مدل‌های برنامه Rosetta استفاده شد. نتایج نشان داد که افزوده شدن وزن مخصوص ظاهری به متغیرهای ورودی توابع انتقالی، در مورد منحنی نگهداشت رطوبتی در هر دو کلاس بافتی منجر به کاهش دقت مدل شده، هر چند این کاهش در هیچکدام از دو کلاس بافتی معنی‌دار نبود. در مورد هدایت هیدرولیکی اشباع نیز، افزوده شدن وزن مخصوص ظاهری، تأثیری مثبت و منفی بر روی مقادیر شاخص‌های آماری RMSE، ME، GMER و GSDER به ترتیب در کلاس بافتی لوم و لوم رسی داشت. همچنین افزوده شدن یک و دو نقطه نگهداشت رطوبتی (میزان رطوبت در پتانسیل‌های ماتریک ۳۳- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال) هرکدام به میزان موثری مقدار ریشه میانگین مربعات در دامنه پتانسیل ماتریک متوسط، ۳۳- تا ۵۰۰- کیلوپاسکال، خصوصاً در ۳۳- کیلوپاسکال را کاهش داد. تمامی مدل‌های توابع انتقالی، چه در مورد هدایت هیدرولیکی اشباع و چه برآورد رطوبت در پتانسیل‌های ماتریک متفاوت، تمایل به کم برآورد این دو خصوصیت داشتند.

واژه‌های کلیدی: توابع انتقالی، خصوصیات هیدرولیکی، منحنی نگهداشت رطوبتی، هدایت هیدرولیکی اشباع، Rosetta، ایران

مقدمه

برخی از قوانین و پدیده‌های حاکم در محیط متخلخل خاک که در شاخه‌های مختلف علوم خاک مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد به خصوصیات این محیط دینامیک و پویا باز می‌گردد. از مهمترین خصوصیات هیدرولیکی خاک، می‌توان به منحنی نگهداشت رطوبتی و هدایت هیدرولیکی اشاره نمود. اکثر مدل‌های شبیه ساز حرکت آب و

انتقال املاح، این خصوصیات را به عنوان ورودی‌های مورد نیاز خود دریافت می‌نمایند. از یک سو اندازه‌گیری مستقیم این خصوصیات معمولاً با صرف زمان و هزینه بسیار همراه است و از طرفی دیگر هر دوی این خصوصیات دارای تغییرات زمانی و مکانی نسبتاً قابل توجهی بوده (۵) و به روش اندازه‌گیری نیز وابسته‌اند (۷ و ۱۵). این موارد محققین علوم خاک را مجاب به استفاده از روش‌های غیر مستقیم نموده است. یکی از این روش‌های غیر مستقیم توابع انتقالی خاک^۱ (PTFs) نامیده می‌شود (۱۹). توابع انتقالی خاک را می‌توان در دو دسته عمده توابع انتقالی کلاسی و پیوسته طبقه‌بندی نمود. در توابع انتقالی کلاسی، خصوصیات هیدرولیکی برای یک کلاس بافتی مشخص، با این فرض که خاک‌های مشابه، خصوصیات هیدرولیکی

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*) نویسنده مسئول: (Email: ro_mo509@stu-mail.um.ac.ir)

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۴- مربی دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه فردوسی مشهد

نتایج نامطلوبی در پیش‌بینی میزان رطوبت در پتانسیل‌های ماتریک پایین منجر خواهد گردید ($RMSE=0.11$). لین و همکاران (۹) از آنجا که تعداد خصوصیات از خاک که به عنوان ورودی‌های توابع انتقالی مطرح می‌شوند را زیاد دانستند، یکی از راههای غلبه بر این مشکل را استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی^۱ دانستند که مزیت آن استفاده از تعداد ورودی‌های کمتری است که بصورت ترکیبات خطی از متغیرهای اصلی بوده و قادر است درصد زیادی از تغییرات نمونه‌ها را توصیف نماید.

واگنر و همکاران (۳۰)، وزن مخصوص ظاهری و میزان ماده آلی را دو پارامتر مهم ورودی در توابع انتقالی به منظور برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی و هدایت هیدرولیکی معرفی نمودند. میناسنی و مک‌برتنی (۱۲) از توابع انتقالی با ماهیت شبکه عصبی مصنوعی در دو سطح متفاوت از داده‌های ورودی، یکی شامل سه متغیر ورودی (ذرات با قطر کمتر از ۲ میکرومتر، ذرات با قطر مابین ۲۰ تا ۲۰۰ میکرومتر و میانگین هندسی قطر ذرات) و دیگری شامل ۴ متغیر ورودی (شامل سه متغیر قبلی و وزن مخصوص ظاهری) به منظور برآورد پارامترهای مدل رطوبتی ون گنوختن استفاده نمودند. آنها دریافتند که مقدار شاخص AIC^۲ در مدلی که از ۴ متغیر ورودی استفاده می‌کند به ازاء تعداد لایه‌های مخفی متفاوت (از ۱ لایه تا ۷ لایه)، در تمامی حالات، کمتر از مدلی است که از ۳ متغیر ورودی استفاده نماید.

از آنجا که در واسنجی برنامه Rosetta از خاکهای قاره آسیا نیز استفاده شده است، هدف اصلی این تحقیق بررسی تأثیر نوع و تعداد متغیرهای ورودی در توابع انتقالی با ماهیت شبکه عصبی مصنوعی در برنامه Rosetta به منظور برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی و هدایت هیدرولیکی اشباع و مقایسه آنها با مقادیر اندازه‌گیری شده در دو کلاس بافتی لوم و لوم رسی از خاکهای کشورمان است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به منظور ارزیابی تأثیر نوع و تعداد متغیرهای ورودی در توابع انتقالی با هدف برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی و هدایت هیدرولیکی اشباع، از برنامه Rosetta استفاده شد. این برنامه از توابع انتقالی با ماهیت شبکه‌های عصبی مصنوعی سود برده و قادر است که پارامترهای مدل رطوبتی ون گنوختن (۱۹۸۰) را به منظور برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی؛ هدایت هیدرولیکی اشباع و پارامترهای مدل ون گنوختن - معلم (۱۹۷۲) را به منظور برآورد هدایت هیدرولیکی غیر اشباع برآورد نماید. همچنین این برنامه در تخمین عدم قطعیت برآوردها از روش بوت استرپ^۳ استفاده می‌نماید.

مشابهی نیز دارند، محاسبه می‌گردد. توابع انتقالی پیوسته، خود به سه دسته توابع فیزیکی - تجربی، نقطه‌ای و پارامتریک تقسیم‌بندی می‌گردند (۱۰). در زمینه بسط و توسعه توابع انتقالی نیز معمولاً از روش‌های رگرسیون خطی و غیر خطی کلاسیک و روش‌های شبکه عصبی مصنوعی سود برده می‌شود (۱۱ و ۲۸).

در توابع انتقالی، مسئله بسط و تعمیم توابع توسعه یافته برای منطقه‌ای خاص به مناطق دیگر و نوع و تعداد متغیرهای مستقل ورودی در این توابع از اهمیت خاصی برخوردار است (۴، ۶ و ۸). وستن و همکاران (۳۲) یکی از مهمترین مسائلی که باید درباره توابع انتقالی مورد بحث و بررسی قرار گیرد را، تعداد و نوع ورودی اینگونه توابع معرفی کردند. از مهمترین خصوصیات خاک که عموماً در بسط و توسعه توابع انتقالی مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توان به توزیع اندازه ذرات (بافت خاک)، وزن مخصوص ظاهری، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و یک یا چند نقطه نگهداشت رطوبتی خاک اشاره نمود. توزیع اندازه ذرات تقریباً در تمامی توابع انتقالی مشاهده شده است (۱۶ و ۳۱). مطالعات متعددی بر روی تعداد ورودی‌های توابع انتقالی به منظور پیش‌بینی خصوصیات هیدرولیکی صورت پذیرفته است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات راولز و همکاران (۱۸)، شاپ و بوتن (۲۱) و وریکن و همکاران (۲۹) اشاره نمود. میناسنی و همکاران (۱۳) و شاینوست و همکاران (۲۴) از متوسط و انحراف استاندارد هندسی قطر ذرات برای پیش‌بینی منحنی نگهداشت رطوبتی و میشرا و همکاران (۱۴) از همین خصوصیات برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع در توابع خود سود جستند.

بورگسن و شاپ (۳) از ۸ تابع انتقالی نقطه‌ای (M_1 تا M_8) برای برآورد رطوبت در پتانسیل‌های ماتریک -1 ، -10 ، -100 و -1500 کیلوپاسکال و ۹ تابع انتقالی برای برآورد پارامترهای مدل رطوبتی ون گنوختن (P_1 تا P_9) استفاده کردند که تفاوت این توابع در ورودی‌های این مدل‌ها بود. توزیع اندازه ذرات از منظر طبقه بندی ۳ و ۷ گانه، وزن مخصوص ظاهری، افق خاک و میزان ماده آلی خاک در توابع انتقالی نقطه‌ای و همین ویژگیها، بعلاوه میزان رطوبت در پتانسیل‌های ماتریک -1 ، -10 ، -100 و -1500 کیلوپاسکال ورودی‌های توابع انتقالی پارامتریک را تشکیل می‌دادند. نتایج بیانگر آن بود که حذف پارامتر وزن مخصوص ظاهری در مدل‌های M_2 و M_6 منجر به افزایش ریشه میانگین مربعات باقیمانده (RMSE) می‌گردد. این دو محقق همچنین دریافتند که تأثیر استفاده از یک نقطه نگهداشت رطوبتی (θ_{10}) در ورودی توابع بیشتر از هنگامی است که از بیش از یک نقطه نگهداشت رطوبتی در این توابع استفاده شود. وستن و همکاران (۳۲) در مقایسه ۲۱ تابع انتقالی برای پیش‌بینی میزان رطوبت در پتانسیل‌های ماتریک -33 و -1500 کیلوپاسکال به این نتیجه رسیدند که استفاده تنها از بافت خاک به

1- Principal Component Analysis
2- Akaike Information Criterion
1- Bootstrap

$$ME = \left[n^{-1} \sum_1^n (\phi_{mea} - \phi_{pre}) \right] \quad (۳)$$

$$GMER = \exp \left[n^{-1} \sum_{i=1}^n \text{Ln} (\varepsilon_i) \right] \quad (۴)$$

$$GSDER = \exp \left[\left((n-1)^{-1} \sum_{i=1}^n [\text{Ln} (\varepsilon_i) - \text{Ln} (GMER)]^2 \right)^{1/2} \right] \quad (۵)$$

در این روابط ϕ_{pre} و ϕ_{mea} به ترتیب بیانگر پارامتر (رطوبت یا هدایت هیدرولیکی اشباع) اندازه‌گیری و برآورد شده و ε نسبت خطا که از تقسیم ϕ_{pre} به ϕ_{mea} به دست می‌آید. n نیز تعداد کل مشاهدات است. بهترین مدل، مدلی است که کمترین مقادیر RMSE و ME (مقادیر نزدیک به صفر) را داشته و به علاوه دارای GMER نزدیک به یک و GSDER اندکی (نزدیک به یک) باشد (۲۷ و ۳۰). در این تحقیق همچنین از رسم مقادیر اندازه‌گیری در برابر مقادیر برآورد شده (هم نقاط نگهداشت رطوبتی و هم هدایت هیدرولیکی اشباع) و آماره t (t-statistical) نیز استفاده شد. خلاصه‌ای از خصوصیات فیزیکی خاکهای بکار رفته در این تحقیق در جدول ۱ آورده شده است.

نتایج و بحث

منحنی نگهداشت رطوبتی

بسته به مدل انتخابی از برنامه Rosetta، متغیرهای ورودی شامل فراوانی نسبی ذرات، وزن مخصوص ظاهری و یک یا دو نقطه نگهداشت رطوبتی به صورت مجزا وارد مدل شده و پارامترهای مدل رطوبتی ون گنوختن، برآورد شدند. به کمک این مدل میزان رطوبت در ۶ پتانسیل ماتریک انتخابی (صفر، ۵، ۳۳، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال) برآورد گردیده و متوسط مقادیر آن در هر مدل با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده مقایسه گردید که نتایج آن در شکل ۱ نشان داده شده است.

با نگاهی به شکل ۱، صرف نظر از عملکرد مناسب یا نامناسب هر کدام از مدل‌ها (با توجه به نوع ورودی آنها)، متفاوت بودن رفتار مدل‌ها در پتانسیل‌های ماتریک متوسط (خصوصاً ۳۳ و ۱۰۰ کیلوپاسکال) در برآورد میزان رطوبت بیشتر مشهود است. این امر شاید بیانگر حساسیت کمتر برنامه Rosetta در تمایز قائل شدن میان نوع و تعداد متغیرهای ورودی در پتانسیل‌های ماتریک بسیار کم و بسیار زیاد در قیاس با دامنه متوسط پتانسیل ماتریک در برآورد میزان رطوبت باشد. نکته دیگری که از شکل ۱ استدلال می‌شود آنست که اضافه شدن وزن مخصوص ظاهری در متغیرهای ورودی توابع انتقالی در مدل SSCBD، در هر دو کلاس بافتی لوم و لوم رسی، منجر به کاهش دقت مدل مربوطه شده است، اگرچه که این کاهش دقت در

مدل رطوبتی ون گنوختن (۱۹۸۰) که در این تحقیق به منظور برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی از آن استفاده شده است، به شکل رابطه ۱ قابل توصیف است:

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left[1 + |\alpha h|^n \right]^{-m} \quad (۱)$$

در این رابطه θ میزان رطوبت در پتانسیل ماتریک θ_s و θ_r به ترتیب مقادیر رطوبت باقیمانده و رطوبت اشباع ($cm^3 \cdot cm^{-3}$) و α (cm^{-1})، n و m پارامترهایی هستند که شکل منحنی نگهداشت رطوبتی را از خود متاثر می‌سازند. تعداد ۴۲ نمونه خاک دست نخورده از ناحیه شمال ایران (شهرهای آمل، بابل و کرج) و از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری انتخاب شد (۱). نمونه‌ها به دو گروه کلاس بافتی لوم (۲۰ نمونه) و لوم رسی (۲۲ نمونه) تقسیم شدند. در مورد خصوصیات فیزیکی، بافت خاک به طبقه هیدرومتری بایکاس، وزن مخصوص ظاهری با روش کلوخه و پارافین، میانگین هندسی قطر ذرات (d_g) و انحراف معیار هندسی (σ_g) با استفاده از روابط شیرازی و بورسما (۲۵) محاسبه گردیدند. از خصوصیات شیمیایی نیز قابلیت هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر، واکنش خاک توسط دستگاه pH متر، کربنات کلسیم و مواد آلی نیز به کمک روش‌های استاندارد مربوطه به دست آمدند. هدایت هیدرولیکی اشباع نیز در آزمایشگاه و با استفاده از بار ثابت به دست آمد. همچنین با استفاده از دستگاه صفحات فشاری، میزان رطوبت هر نمونه خاک در سه تکرار در پتانسیل‌های ماتریک صفر، ۵، ۳۳، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد.

در این تحقیق چهار سطح متفاوت از ورودی‌ها به توابع انتقالی، در برنامه Rosetta، در نظر گرفته شد. این ورودی‌ها بترتیب با SSC (شامل میزان شن، سیلت و رس)، SSCBD (شامل میزان شن، سیلت، رس و وزن مخصوص ظاهری)، SSCBDTH33 (شامل میزان شن، سیلت، رس، وزن مخصوص ظاهری و میزان رطوبت در پتانسیل ماتریک ۳۳- کیلوپاسکال) و SSCBDTH331500 (شامل میزان شن، سیلت، رس، وزن مخصوص ظاهری و میزان رطوبت در پتانسیل‌های ماتریک ۳۳- و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال) نشان داده شدند. در قسمت نتایج، دقت این چهار مدل در برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی و هدایت هیدرولیکی اشباع مقایسه شده است.

ارزیابی مدل‌ها

به منظور ارزیابی نتایج، از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطا (ME)، نسبت خطای متوسط هندسی (GMER)، نسبت خطای انحراف استاندارد هندسی (GSDER) که بترتیب از روابط ۲ تا ۵ قابل محاسبه‌اند، استفاده شد.

$$RMSE = \left[n^{-1} \sum_1^n (\phi_{pre} - \phi_{mea})^2 \right]^{0.5} \quad (۲)$$

مدل رطوبتی ون گنوختن شده است. در ادامه، هر کدام از مدل‌ها با شاخصه‌های آماری که در قسمت مواد و روش‌ها به آنها اشاره شد، با یکدیگر مقایسه شدند که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

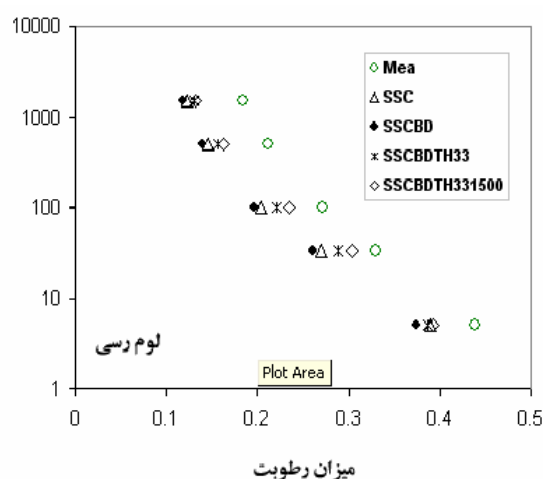
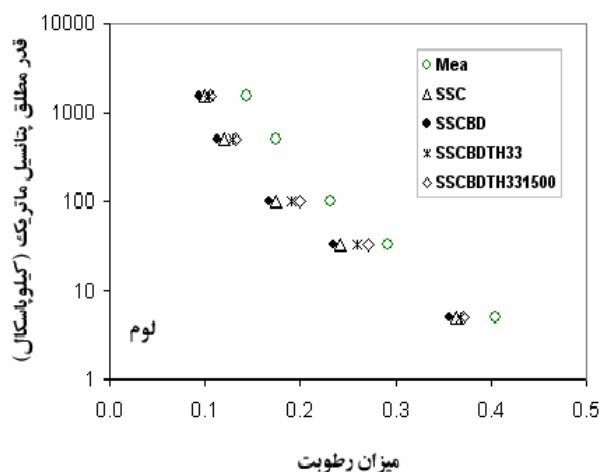
دو مدل معنی دار نبود. این در حالیست که شاپ و لیچ (۲۰) با مطالعه پایگاه داده‌ای UNSODA، نشان دادند که اضافه شدن وزن مخصوص ظاهری به متغیرهای ورودی باعث کاهش هرچند اندک ریشه میانگین مربعات باقیمانده‌ها (RMSE) در برآورد پارامترهای

(جدول ۱) - خلاصه‌ای از مهمترین خصوصیات نمونه خاک‌های به کار رفته در این تحقیق

| فاکتور | شن (%) | سیلت (%) | رس (%) | ماده آلی (%) | وزن مخصوص ظاهری (gr.cm ⁻³) | هدایت اشباع (cm.h ⁻¹) | میزان رطوبت در پتانسیل‌های ماتریک متفاوت (کیلوپاسکال) | | | | | |
|--------|--------|----------|--------|--------------|--|-----------------------------------|---|-------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | | | | ۰ | -۵ | -۳۳ | -۱۰۰ | -۵۰۰ | -۱۵۰۰ |
| Max | ۵۰ | ۵۰ | ۳۷/۲ | ۲/۸۵ | ۱/۶۳ | ۴/۹ | -۰/۷۸۵ | -۰/۵۵ | ۰/۳۸۹ | -۰/۳۵۱ | -۰/۲۵۲ | -۰/۲۱۷ |
| Min | ۲۵/۲ | ۳۷/۲ | ۱۴ | -۰/۲۴ | ۱/۳۷ | -۰/۶۹ | -۰/۴۶۶ | -۰/۳۳ | ۰/۲۵۲ | -۰/۱۹۳ | -۰/۱۳۲ | -۰/۰۹۵ |
| Mean | ۳۸/۱۷ | ۳۴/۴ | ۲۷/۳۶ | ۱/۴۵ | ۱/۴۷ | ۲/۴۴ | -۰/۵۷۶ | -۰/۴۲ | ۰/۳۱۲ | -۰/۲۵۲ | -۰/۱۹۴ | -۰/۱۶۴ |
| SD* | ۷ | ۴/۸۴ | ۶/۰۹ | ۰/۷ | ۰/۰۴۷ | ۱/۰۱ | -۰/۰۶۳ | -۰/۰۴ | ۰/۰۳۵ | -۰/۰۳۲ | -۰/۰۲۷ | -۰/۰۲۹ |
| CV** | ۰/۱۸ | ۰/۱۴ | -۰/۲۲ | -۰/۴۸ | ۰/۰۳۲ | ۰/۴۱ | -۰/۱۱ | -۰/۰۹ | -۰/۱۱۴ | -۰/۱۲۸ | -۰/۱۴۱ | -۰/۱۸ |

* انحراف استاندارد داده‌ها

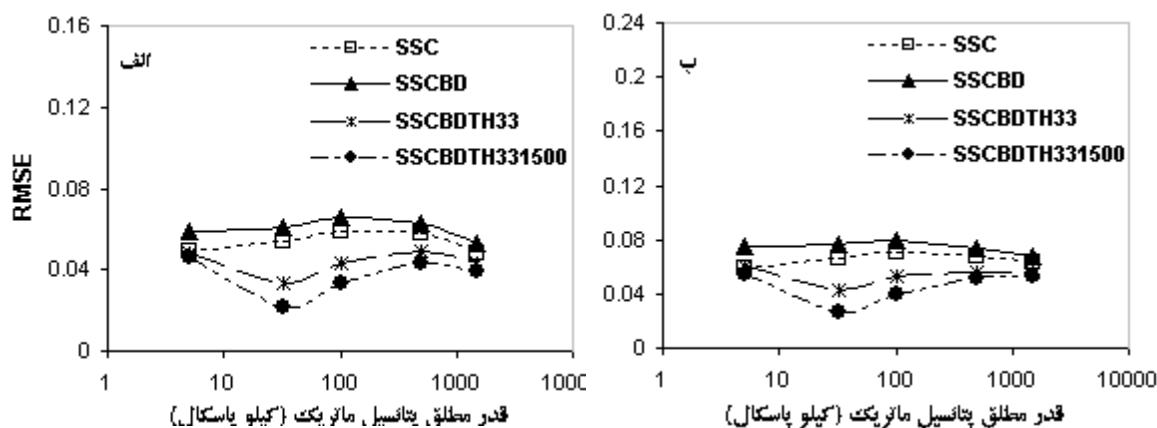
** ضریب تغییرات داده‌ها



(شکل ۱) - مقادیر اندازه‌گیری (Mea) و متوسط مقادیر برآورد شده رطوبت به ازاء ورودی‌های متفاوت در برنامه Rosetta

(جدول ۲) - متوسط مقادیر شاخص‌های آماری برای مدل‌های مختلف در دو کلاس بافتی لوم و لوم رسی

| مدل | لوم | | | |
|---------------|---------|---------|---------|--------|
| | RMSE | ME | GMER | GSDER |
| SSC | -۰/۰۶۶۴ | -۰/۰۶۲۱ | -۰/۷۷۲۸ | ۱/۰۹۰۳ |
| SSCBD | -۰/۰۷۳۹ | -۰/۰۶۹۵ | -۰/۷۴۴۵ | ۱/۰۹۰۳ |
| SSCBDTH33 | -۰/۰۵۹ | -۰/۰۵۴۷ | -۰/۸۰۷۲ | ۱/۰۷۸۷ |
| SSCBDTH331500 | -۰/۰۵۳۴ | -۰/۰۴۹۹ | -۰/۸۲۵۳ | ۱/۰۵۵۳ |
| مدل | لوم رسی | | | |
| | RMSE | ME | GMER | GSDER |
| SSC | -۰/۰۸۵۵ | -۰/۰۸۰۵ | -۰/۷۵۶۷ | ۱/۰۸۳۴ |
| SSCBD | -۰/۰۹۶۶ | -۰/۰۹۰۹ | -۰/۷۲۶۹ | ۱/۰۹۵۵ |
| SSCBDTH33 | -۰/۰۷۸۷ | -۰/۰۷۴۷ | -۰/۷۸۵۴ | ۱/۰۶۹۳ |
| SSCBDTH331500 | -۰/۰۷۱ | -۰/۰۶۷۳ | -۰/۸۰۸۶ | ۱/۰۵۹۲ |



شکل ۲- روند تغییرات شاخص RMSE در مدل‌های مختلف در برابر تغییرات پتانسیل ماتریک (الف لوم؛ ب لوم رسی

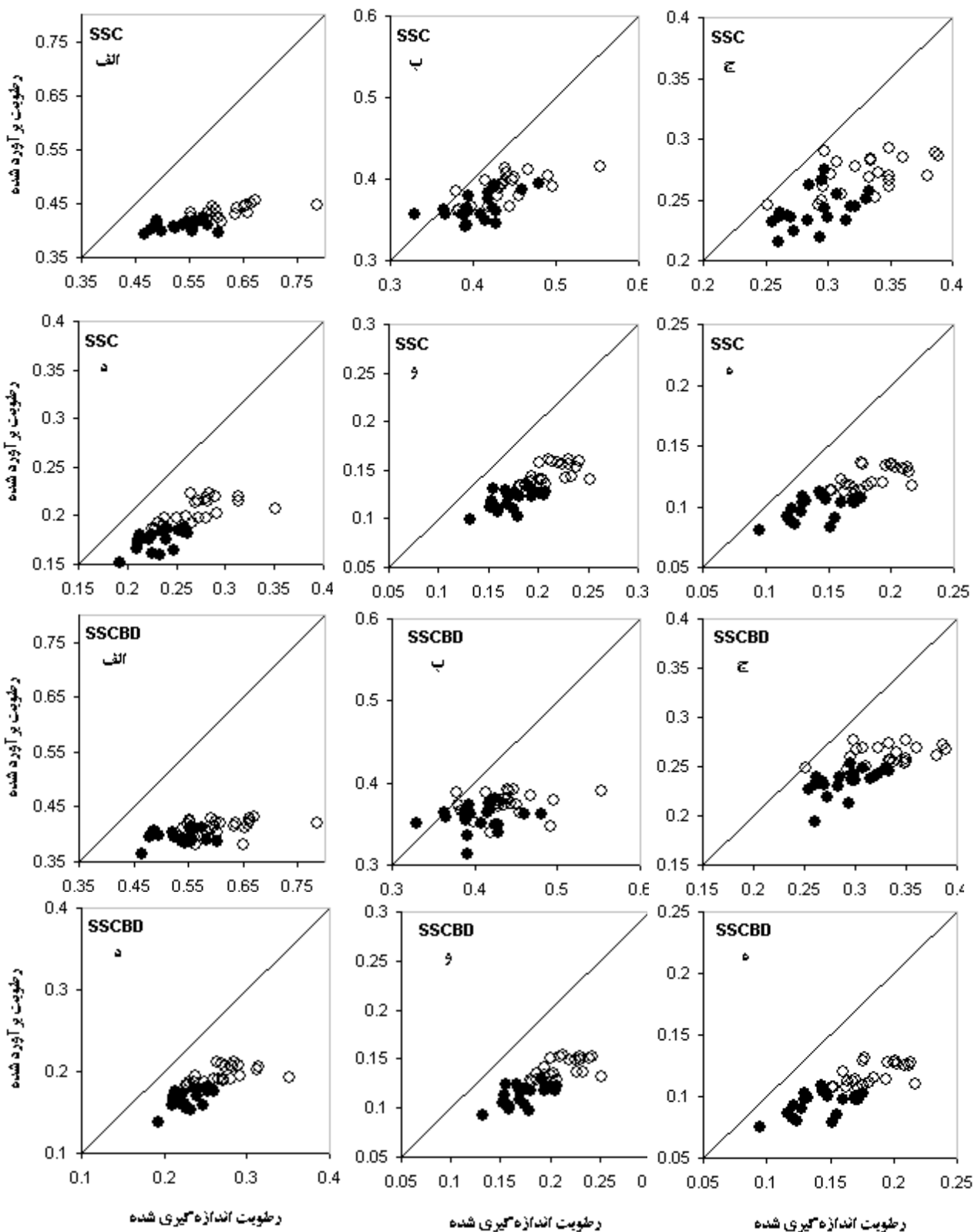
در شکل‌های ۳ و ۴ نیز مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده رطوبت در شش پتانسیل ماتریک استفاده شده در این تحقیق، برای تمامی مدل‌ها و در هر دو کلاس بافتی نشان داده شده‌اند. آنچه در مورد تمامی مدل‌ها صدق می‌نمود تمایل به کم برآورد نمودن میزان رطوبت خاک، تقریباً در تمامی دامنه پتانسیل ماتریک بود. این موضوع از روی شکل ۱ و مقادیر مثبت شاخص ME در جدول ۲ نیز قابل استنباط است. هیچ کدام از مدل‌ها در پتانسیل ماتریک صفر (حالت اشباع) نتایج قابل قبولی ارائه نکردند، ضمن آنکه تقریباً عملکرد یکسانی داشتند. این موضوع نیز در شکل ۲ و با توجه به انطباق مقادیر RMSE هر چهار مدل بر روی هم تایید می‌گردد. نتایج شکل‌های ۲ و ۴ نیز در تایید مطالب ذکر شده، نشان داد که اضافه شدن یک و خصوصاً دو نقطه نگهداشت رطوبتی در ورودی‌های توابع انتقالی به طور محسوسی عملکرد توابع را در برآورد رطوبت خاک بهبود می‌بخشد. این بهبود عملکرد در مدل SSCBDTH331500 در پتانسیل‌های ماتریک ۳۳- و ۱۰۰- کیلوپاسکال و در مدل SSCBDTH33 در پتانسیل ماتریک ۳۳- کیلوپاسکال به اوج خود رسید. در مورد شکل‌های ۳ و ۴ یادآوری این نکته ضروری است که مدلی را می‌توان بهترین دانست که هر دو شرط تجمع بیشتر نقاط در نزدیکی هم (ضریب تبیین بالاتر، مثلاً پتانسیل ماتریک صفر در مدل SSC) و هم پراکنش نقاط در امتداد و یا در بهترین حالت روی خط ۱:۱ (ضرایب رگرسیونی مناسب، مثلاً پتانسیل ماتریک ۳۳- در مدل SSCBDTH331500) را به طور توأم داشته باشد. حذف هر کدام از این شروط کارایی مدل را به نسبت تحت تأثیر قرار خواهد داد. در ادامه و در جدول ۳ نیز نتایج حاصل از آماره t (t-statistical) که مقایسه‌ای میان معنی‌داری و یا عدم معنی‌داری ضرایب خط رگرسیونی میان مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده $(\theta_{pre} = a + b\theta_{mea})$ با بهترین حالت ممکن ($a = 0, b = 1$) است، آمده‌اند.

نتایج جدول ۲ حکایت از برتری عملکرد هر چهار مدل توابع انتقالی در هر چهار شاخص آماری استفاده شده در این تحقیق، به استثناء مدل‌های SSC و SSCBDTH33 در مورد شاخص GSDER، در کلاس بافتی لوم نسبت به کلاس بافتی لوم رسی دارند. به علاوه عملکرد ضعیفتر مدل SSCBD در قیاس با سایر مدل‌ها نیز در نتایج این جدول مشهود است. شاپ و لیچ (۲۰)، بهترین و بدترین میزان RMSR را در تحقیق خود برای مدل‌های SSCBDTH1033 و SSCBDTH331500، به ترتیب ۰/۱۰۷ و ۰/۰۷۳ گزارش نمودند. از آنجا که منحنی نگهداشت رطوبتی رابطه میان پتانسیل ماتریک و رطوبت خاک را بیان می‌کند و در جدول ۲ نیز عملکرد مدل‌ها صرفنظر از پتانسیل ماتریک بررسی شده (بطور متوسط)، به منظور تحلیل دقیقتر، تأثیر هر کدام از مدل‌ها بر روی RMSE، به عنوان نمونه، در قبال تغییرات پتانسیل ماتریک بررسی شد که نتایج آن در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل ۲ صرفنظر از عملکرد بهتر تمامی مدل‌ها در کلاس بافتی لوم، نشان می‌دهد که هر چهار تابع انتقالی مورد استفاده، در هر دو کلاس بافتی خاک، روند تغییراتی تقریباً یکسانی داشته‌اند. این شکل بازگو کننده این موضوع است که عملکرد دو مدل SSC و SSCBD خصوصاً در کلاس بافتی لوم رسی، مستقل از میزان پتانسیل ماتریک بوده است. همچنین این شکل نشان می‌دهد که افزودن یک یا دو نقطه نگهداشت رطوبتی به ورودی‌های توابع انتقالی (مدل‌های SSCBDTH33 و SSCBDTH331500)، توانسته به میزان قابل توجهی، پیش‌بینی توابع را بهبود بخشد. این نتیجه مشابه با نتیجه تحقیق راجکایی و همکاران (۱۷) است که با مطالعه بر روی ۳۰۵ نمونه خاک از کشور مجارستان دریافتند که اضافه نمودن یک نقطه نگهداشت رطوبتی به متغیرهای ورودی منجر به بهبود ۲۵ درصدی دقت توابع می‌گردد. شاپ و همکاران (۲۳) در تحقیقی مشابه تأثیر افزوده شدن وزن مخصوص ظاهری به متغیرهای ورودی بر روی کاهش RMSE را تنها در بازه پتانسیل ماتریک صفر تا ۳۳- کیلو پاسکال گزارش نمودند.

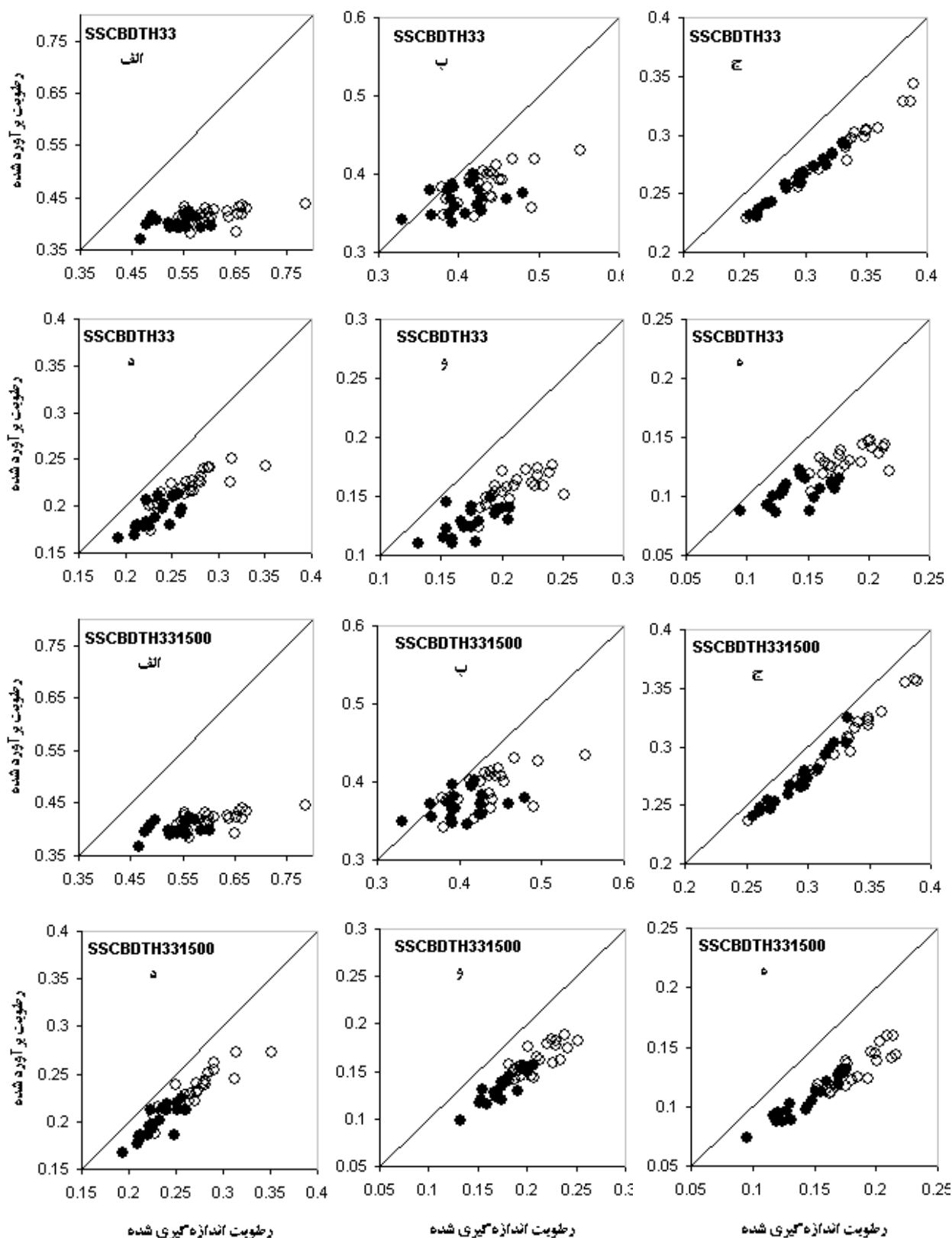
(جدول ۳) - نتایج حاصل از آماره ۴ برای هر چهار مدل، در پتانسیلهای ماتریک متفاوت و در دو کلاس بافتی لوم و لوم رسی.

| | پتانسیل ماتریک (کیلوپاسکال) | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------------|--------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|--------------------|-------|
| | -۵ | | -۳۳ | | -۱۰۰ | | -۵۰۰ | | -۱۵۰۰ | | a | b |
| | a | b | a | b | a | b | a | b | a | b | | |
| SSC | ۰/۳۸ ^{ns} | -۰/۵* | -۰/۴۹ ^{ns} | -۰/۲۶* | -۰/۸* | -۰/۳۱* | -۰/۷* | -۰/۶۷ ^{ns} | -۰/۲۲* | -۰/۳۲* | ۰/۳۸ ^{ns} | ۰/۲۲* |
| SSCBD | ۰/۳۷ ^{ns} | -۰/۵* | -۰/۳۳ ^{ns} | -۰/۱۴* | -۰/۹* | -۰/۳۵* | -۰/۶* | -۰/۶۳ ^{ns} | -۰/۲۳* | -۰/۳۳* | ۰/۳۷ ^{ns} | ۰/۲۳* |
| SSCBDT33 | ۰/۳۷ ^{ns} | -۰/۵* | -۰/۴۹ ^{ns} | -۰/۳* | -۰/۵ ^{ns} | -۰/۵۸* | -۰/۶* | -۰/۶* | -۰/۲۷* | -۰/۲۸* | ۰/۳۷ ^{ns} | ۰/۲۸* |
| SSCBDT331500 | ۰/۳۳ ^{ns} | -۰/۱۱* | -۰/۴۹ ^{ns} | -۰/۸۸* | -۰/۴ ^{ns} | -۰/۷* | -۰/۰۳ ^{ns} | -۰/۰۳ ^{ns} | -۰/۲۴* | -۰/۶۸* | ۰/۳۳ ^{ns} | ۰/۶۸* |
| کلاس بافتی لوم رسی | | | | | | | | | | | | |
| | پتانسیل ماتریک (کیلوپاسکال) | | | | | | | | | | | |
| | -۵ | | -۳۳ | | -۱۰۰ | | -۵۰۰ | | -۱۵۰۰ | | a | b |
| | a | b | a | b | a | b | a | b | a | b | | |
| SSC | ۰/۳۳ ^{ns} | -۰/۱۷* | -۰/۲۷ ^{ns} | -۰/۲۴* | -۰/۴ ^{ns} | -۰/۲۵* | -۰/۹* | -۰/۲۷* | -۰/۲۶* | -۰/۲۶* | ۰/۳۳ ^{ns} | ۰/۲۶* |
| SSCBD | ۰/۳۸ ^{ns} | -۰/۵* | -۰/۲۵ ^{ns} | -۰/۶* | -۰/۱۵ ^{ns} | -۰/۱۵* | -۰/۹ ^{ns} | -۰/۲۴* | -۰/۲۴* | -۰/۲۴* | ۰/۳۸ ^{ns} | ۰/۲۴* |
| SSCBDT33 | ۰/۳۵ ^{ns} | -۰/۷* | -۰/۳۳ ^{ns} | -۰/۳۶* | -۰/۹* | -۰/۴۶* | -۰/۸* | -۰/۲۹* | -۰/۲۹* | -۰/۲۹* | ۰/۳۵ ^{ns} | ۰/۲۹* |
| SSCBDT331500 | ۰/۳۳ ^{ns} | -۰/۱۴* | -۰/۲* | -۰/۳۳ ^{ns} | -۰/۹۱ ^{ns} | -۰/۶۲* | -۰/۴ ^{ns} | -۰/۵۷* | -۰/۱۳ ^{ns} | -۰/۶۳* | ۰/۳۳ ^{ns} | ۰/۶۳* |

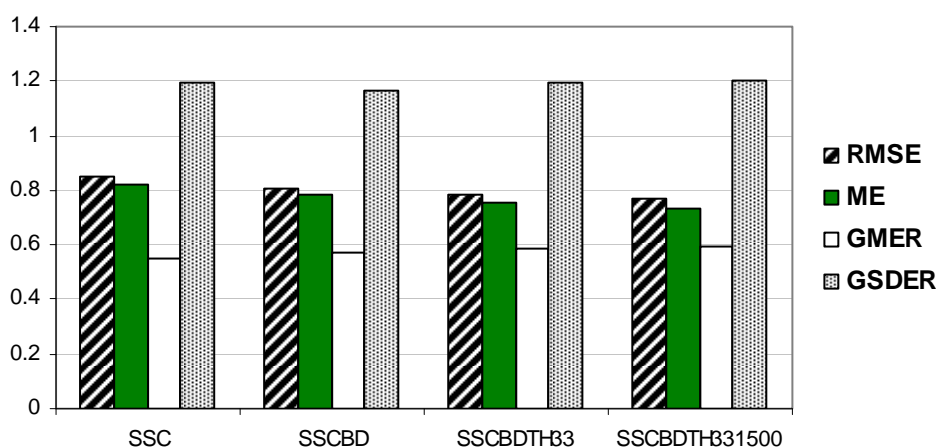
ns اختلاف معنی داری میان a یا صفر و b یا یک وجود ندارد.
* اختلاف معنی داری میان a، b یا صفر و با یک وجود دارد (سطح ۵ درصد).



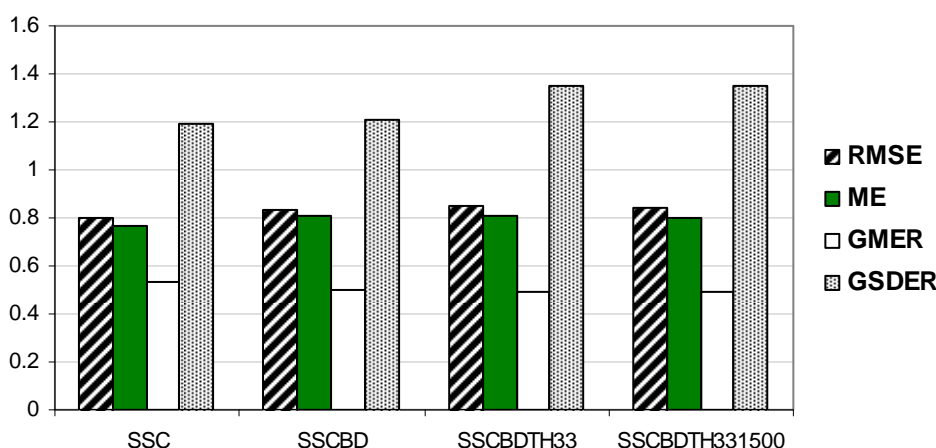
(شکل ۳) - مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده رطوبت نسبت به خط ۱:۱ در دو مدل SSC و SSCBD، کلاس بافتی لوم (دوایر تو پر) و لوم رسی (دوایر تو خالی) در پتانسیل‌های ماتریک الف) صفر؛ ب) ۵-؛ ج) ۳۳-؛ د) ۱۰۰-؛ و) ۵۰۰-؛ ه) ۱۵۰۰- کیلو پاسکال



(شکل ۴) - مقادیر اندازه گیری و برآورد شده رطوبت نسبت به خط ۱:۱ در دو مدل SSCBDTH33 و SSCBDTH331500، کلاس بافتی لوم (دوایر توپر) و لوم رسی (دوایر تو خالی) در پتانسیل‌های ماتریک الف (صفر؛ ب) -۵؛ ج) -۳۳؛ د) -۱۰۰؛ و) -۵۰۰؛ ه) -۱۵۰۰ کیلو پاسکال



شکل ۵- مقادیر شاخص‌های RMSE، ME، GMER و GSDER برای هدایت هیدرولیکی اشباع در کلاس لوم



شکل ۶- مقادیر شاخص‌های RMSE، ME، GMER و GSDER برای هدایت هیدرولیکی اشباع در کلاس لوم رسی

هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری و برآورد شده در هر دو کلاس بافتی و در چهار مدل مورد استفاده، به‌دست آمدند که نتایج آن در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده برای هدایت هیدرولیکی اشباع (شکل‌های ۵ و ۶)، با توجه به اینکه مقادیر شاخص‌های آماری، مشابه با منحنی نگهداشت رطوبتی، از نظم خاصی تبعیت نمی‌نمایند، شرایط کمی پیچیده بنظر می‌رسد. نکته بسیار مهمی که در مورد هدایت هیدرولیکی اشباع قابل بیان است آن است که اضافه شدن وزن مخصوص ظاهری به متغیرهای ورودی توابع انتقالی (مدل SSCBD) در کلاس بافتی لوم، بر روی هر چهار شاخص آماری مورد بحث، اثر مثبت داشت (یعنی باعث کاهش در RMSE، ME و GSDER شده و GMER را به یک نزدیک نمود) ولی در کلاس بافتی لوم رسی همانند منحنی نگهداشت بالعکس عمل نمود.

نتایج جدول ۳، در تایید نتایج شکل ۲، نشان می‌دهد که اگر چه افزوده شدن یک یا دو نقطه نگهداشت رطوبتی به ورودی‌های توابع انتقالی (مدل‌های SSCBDTH33 و SSCBDTH331500) منجر به کاهش ریشه میانگین مربعات خطا شده ولی این موضوع تنها در پتانسیل ماتریک ۳۳- کیلوپاسکال موجب از بین رفتن معنی‌داری اختلاف میان a با صفر و b با یک شده است.

هدایت هیدرولیکی اشباع

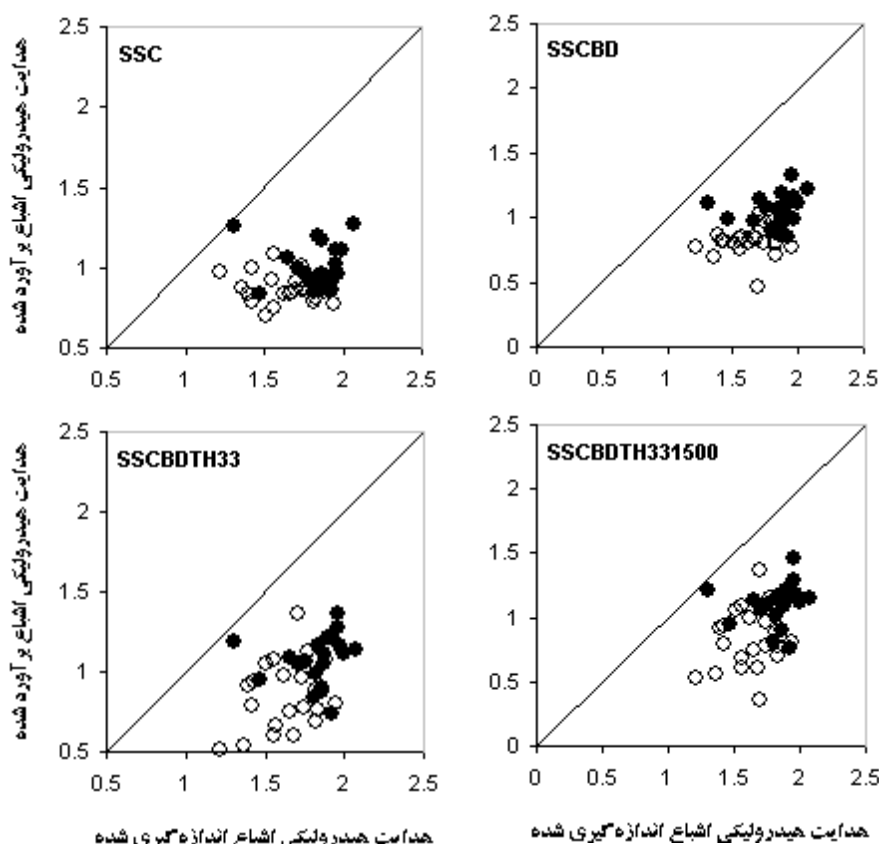
در مورد هدایت هیدرولیکی اشباع نیز بسته به اینکه کدام یک از مدل‌ها (بسته به نوع متغیرهای ورودی مورد استفاده) انتخاب گردند، هدایت هیدرولیکی اشباع متغیر خواهد بود. در اینجا نیز برای ارزیابی نتایج به دست آمده از برنامه Rosetta، از همان روش‌هایی که در مورد منحنی نگهداشت رطوبتی استفاده شده بود، سود جستیم. مقادیر چهار شاخص آماری RMSE، ME، GMER و GSDER در مورد

جدول ۴- نتایج حاصل از آماره t (t-statistical) در مورد هدایت هیدرولیکی اشباع

| مدل | کلاس لوم | | کلاس لوم رسی | |
|---------------|----------|---------|---------------------|--------|
| | a | b | a | b |
| SSC | ۱/۰۴* | -۰/۰۲* | ۱/۰۳ ^{ns} | -۰/۰۹* |
| SSCBD | -۰/۸۵۸* | -۰/۱۰۲* | ۰/۶۱۹* | ۰/۱۲۷* |
| SSCBDTH33 | -۰/۸۵۱* | -۰/۱۲۲* | ۰/۳۳۸ ^{ns} | ۰/۳* |
| SSCBDTH331500 | -۰/۸۶۴* | -۰/۱۲۴* | ۰/۳۶۵ ^{ns} | ۰/۲۹* |

ns : اختلاف معنی‌داری میان a با صفر و b با یک وجود ندارد.

* : اختلاف معنی‌داری میان a با صفر و b با یک وجود دارد (سطح ۵ درصد).



شکل ۷- مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتیمتر در روز) در مدل‌های چهارگانه؛ کلاس بافتی لوم (دوایر تو پر) و کلاس بافتی لوم رسی (دوایر تو خالی)

روی مقادیر هر چهار شاخص آماری دیده نشد و ثاباً عملکرد توابعی که از نقاط نگهداشت رطوبتی استفاده می‌نمودند، نسبت به دو مدل SSC و SSCBD که از هیچ نقطه نگهداشت رطوبتی استفاده نمی‌کردند، اگر چه به صورت بسیار ناچیز، ولی ضعیفتر بود. نتایجی که در مورد کلاس بافتی لوم در مورد تأثیر یک یا دو نقطه نگهداشت رطوبتی در عملکرد توابع انتقالی به منظور برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع به دست آمد با نتایج تحقیقات راولز و همکاران (۱۸)، آهوجا و

اثرات نامبرده شده حاصل از افزودن وزن مخصوص ظاهری در هر دو کلاس بافتی برخلاف منحنی نگهداشت رطوبتی، معنی دار بود. افزودن یک یا دو نقطه نگهداشت رطوبتی (مدل‌های SSCBDTH33 و SSCBDTH331500) در کلاس بافتی لوم موجب بهبود مقادیر هر سه شاخص RMSE، ME و GMER گردید در حالیکه در کلاس بافتی لوم رسی اولاً تفاوت محسوسی میان تأثیر افزودن یک یا دو نقطه نگهداشت رطوبتی به متغیرهای ورودی بر

(۲۰) نیز در تحقیقی مشابه در مورد هدایت هیدرولیکی اشباع گزارش نمودند که میزان تأثیر یک یا دو نقطه نگهداشت رطوبتی (میزان رطوبت در پتانسیل های ماتریک ۱۰- و ۳۳- کیلوپاسکال) تقریباً به یک اندازه بر عملکرد برآورد موثر است.

نتیجه گیری

در این تحقیق از مدل های چهار گانه توابع انتقالی با ماهیت شبکه عصبی مصنوعی به منظور ارزیابی عملکرد آنها در برآورد میزان رطوبت در شش پتانسیل صفر، ۵-، ۳۳-، ۱۰۰-، ۵۰۰- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال و برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع استفاده شد. تفاوت این توابع تنها در نوع و تعداد متغیرهای ورودی به لایه های ورودی شبکه عصبی از نوع پیش خور بود که به ترتیب با SSC، SSCBD، SSCBD33 و SSCBDTH331500 نشان داده شدند. متفاوت بودن عملکرد مدل های چهار گانه توابع انتقالی مذکور در پتانسیل های ماتریک ۳۳- و ۱۰۰- کیلوپاسکال در برآورد میزان رطوبت بیشتر مشهود بود، به طوری که در پتانسیل های ماتریک اندک و خیلی زیاد (۵- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال) مدل ها نسبتاً عملکرد یکسانی داشتند. نتایج مدل های متفاوت توابع انتقالی در پتانسیل ماتریک صفر اصلاً رضایت بخش نبود. اضافه شدن یک یا دو نقطه نگهداشت رطوبتی در ورودی توابع انتقالی، در برآورد میزان رطوبت، منجر به بهبود مقادیر شاخص های آماری در هر دو کلاس بافتی شد. افزودن یک یا دو نقطه نگهداشت رطوبتی در مورد هدایت هیدرولیکی اشباع و در کلاس بافتی لوم منجر به بهبود شاخص های RMSE، ME و GMER شد، در حالیکه در کلاس بافتی لوم رسی، اولاً تفاوت محسوسی میان اضافه شدن یک یا دو نقطه نگهداشت رطوبتی دیده نشد و ثانیاً افزوده شدن آنها به متغیرهای ورودی بر روی مقادیر شاخص های RMSE، GMER و GSDER، اثر منفی گذاشت. نتایج حکایت از برتری مدل SSCBDTH331500 در برآورد میزان رطوبت در تمام دامنه پتانسیل ماتریک مورد استفاده در این تحقیق داشت، در حالیکه در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع تقریباً تفاوت معنی داری میان مدل ها دیده نشد و انتخاب هر کدام از مدل ها بسته به شرایط و در دسترس بودن مشخصات خاک، بلامانع خواهد بود.

همکاران (۲) و شاپ و همکاران (۲۲) همخوانی داشت. شاپ و لیج (۲۰) در تحقیقی مشابه نشان دادند که استفاده از یک نقطه نگهداشت رطوبتی (رطوبت در پتانسیل ماتریک ۳۳- کیلوپاسکال) تأثیر بیشتری در قیاس با استفاده از دو نقطه نگهداشت رطوبتی در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خواهد داشت. آنها نقطه دوم نگهداشت رطوبتی خود را میزان رطوبت در پتانسیل ماتریک ۱۰- کیلوپاسکال در نظر گرفته بودند. در شکل ۷ نیز مقادیر هدایت هیدرولیکی اندازه گیری شده و برآوردی در هر کدام از چهار مدل در برابر هم ترسیم شده اند. نکته مشترکی که در این شکل و شکل های ۳ و ۴ مشاهده می شود تمایل برنامه Rosetta در هر چهار مدل توابع انتقالی خود به کم برآورد میزان رطوبت و هدایت هیدرولیکی اشباع است که در صورت استفاده از این توابع حتماً بایستی ضریبی اصلاحی به منظور رفع این کم برآورد مد نظر قرار گیرد. در جدول ۴ نیز نتایج حاصل از آماره t میان مقادیر اندازه گیری و برآورد شده هدایت هیدرولیکی اشباع در هر چهار مدل آمده است.

نتایج حاصل از جدول ۴ در تایید شکل ۷ نشان دهنده آنست که برنامه Rosetta در قالب هیچ کدام از مدل های توابع انتقالی خود نتوانسته برآورد مناسبی از هدایت هیدرولیکی اشباع در کلاس های بافتی لوم و لوم رسی داشته باشد. شکل ۷ نشان می دهد که اگر چه استفاده کردن از وزن مخصوص ظاهری (مدل SSCBD) توانسته به مقداری ضرایب خط رگرسیونی و ضریب تبیین را نسبت به مدل SSC بهبود بخشد، ولی این بهبود منجر به از بین رفتن اختلاف معنی دار این ضرایب با مقادیر بهینه شان نشده است (جدول ۴ را نگاه کنید). سوبراج و همکاران (۲۶) در تحقیق خود مبنی بر مقایسه مدل های SSC و SSCBD از توابع انتقالی با ماهیت شبکه عصبی برنامه Rosetta و تابع انتقالی ژابرو (۱۹۹۲)، نیز دقیقاً به این موضوع اشاره داشتند که اگر چه افزوده شدن وزن مخصوص ظاهری، نسبت به عدم وجود آن در متغیرهای ورودی توابع انتقالی، عملکرد را بهبود می بخشد، ولی تأثیر آن اندک است. ضمناً آنها نیز به کم برآورد مدل های SSC و SSCBD در مورد هدایت هیدرولیکی اشباع اشاره داشتند. نکته دیگر آنکه اضافه شدن یک یا دو نقطه نگهداشت رطوبتی به یک اندازه در بهبود ضرایب خط رگرسیونی و ضریب تبیین، که تنها منجر به حذف معنی داری اختلاف میان عرض از میدا خط رگرسیونی (a) با مقدار بهینه اش شده، موثر بودند. شاپ و لیج

منابع

- ۱- خوشنود یزدی، ع. ا. ۱۳۷۰. برآورد منحنی رطوبتی خاک از روی خصوصیات فیزیکی در برخی از خاک های ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران. ۱۴۰ صفحه.
- 2- Ahuja L.R., Cassel D.K., Bruce R.R., and Barnes B.B. 1989. Evaluation of spatial distribution of hydraulic conductivity using effective porosity data. Soil Sci., 148: 404-411.
- 3- Børgesen C.D., and Schaap M.G. 2005. Point and parameter pedotransfer functions for water retention predictions

- for Danish soils. *Geoderma*, 127: 154-167.
- 4- 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.
 - 5- Hills R.G., Hudson D.B., and Wierenga P.J. 1992. Spatial variability at the Las Cruces Trench site. In: van Genuchten, M.Th., Leij, F.J. (Eds.), *Proceeding of the International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*. Riverside, California, USA, pp. 529-538.
 - 6- Hodnett M.G., and Tomasella J. 2002. Marked differences between van Genuchten soil water-retention parameters for temperate and tropical soils: a new water-retention pedotransfer function developed for tropical soils. *Geoderma*, 108: 155-180.
 - 7- Lee D.M., Reynolds W.E., Elrich D.E., and Clothiers B.E. 1985. A comparison of three field methods for measuring saturated hydraulic conductivity. *Can. J. Soil Sci.* 65: 563-573.
 - 8- Li Y., Chen D., White R.E., Zhu A., and Zhang J. 2007. Estimating soil hydraulic properties of Fengqiu county soils in the North China Plain using pedotransfer functions. *Geoderma*, 138: 261-271.
 - 9- Lin H.S., McInnes K.J., Wilding L.P., and Hallmark C.T. 1999. Effect of soil morphology on hydraulic properties, II. Hydraulic pedotransfer functions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 955-961.
 - 10- Manyame C., Morgan C.L., Heilman J.L., Fatondji D., Gerard B., and Payne W.A. 2007. Modeling hydraulic properties of sandy soils of Niger using pedotransfer functions. *Geoderma*, 141: 407-415.
 - 11- Merdun, H., Cinar, O., Meral, R., and Apan, M. 2006. Comparison of artificial neural network and regression pedotransfer functions for prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil Till. Res.* 90: 108-116.
 - 12- Minasny B., and McBratney A.B. 2002. The *Neuro-m* Method for Fitting Neural Network Parametric Pedotransfer Functions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 352-361.
 - 13- 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.
 - 14- Mishra S., Parker J.C., and Singhal N.S. 1989. Estimating of soil hydraulic properties and their uncertainty from particle size distribution data. *J. Hydrol.* 108: 1-18.
 - 15- Paige G.B., and Hillel D. 1993. Comparison of three methods for assessing soil hydraulic properties. *Soil Sci.*, 155: 175-189.
 - 16- Rajkai K., and Varallyay G. 1992. Estimating soil water retention from simpler properties by regression techniques. In: van Genuchten, M.Th., Leij, F.J., Lund, L.J. (Eds.), *Methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils*. *Proceeding of the International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*. Riverside, California, USA, pp. 417-426.
 - 17- 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.
 - 18- Rawls W.J., Brakensiek D.L., and Saxton K.E. 1982. Estimation of soil water properties. *Trans. ASAE*, 25:1316-1320.
 - 19- Santra P., and Das, B.S. 2008. Pedotransfer functions for soil hydraulic properties developed from a hilly watershed of Eastern India. *Geoderma*, 136:439-448.
 - 20- Schaap M. G., and Leij F.J. 1998. Using neural network to predict soil water retention and soil hydraulic conductivity. *Soil Till. Res.* 47: 37-42.
 - 21- Schaap M.G., and Bouten W. 1996. Modelling water retention curves of sandy soils using neural networks. *Water Resour. Res.*, 32:3033-3040.
 - 22- Schaap M.G., Leij F.J., and van Genuchten M.Th. 1998. Neural network analysis for hierarchical prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:847-855.
 - 23- Schaap M.G., Leij F.J., and van Genuchten M.Th. 2001. Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *J. Hydrol.*, 251:163-176.
 - 24- Scheinost A.C., Sinowski W., and Auerswald K. 1997. Regionalization of soil water retention curves in highly variable soilscape, I. Developing a new pedotransfer function. *Geoderma*, 78: 129-143.
 - 25- Shirazi M.A., and Boersma L. 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:142-147.
 - 26- Sobieraj J.A., Elsenbeer H., and Vertessy R.A. 2001. Pedotransfer functions for estimating saturated hydraulic conductivity: implications for modeling storm flow generation. *J. Hydrol*, 251:202-220.
 - 27- Tietje O., and Hennings V. 1996. Accuracy of the saturated hydraulic conductivity prediction by pedo-transfer functions compared to the variability within FAO textural classes. *Geoderma*, 69:71-84.
 - 28- Tomasella J., Pachepsky Ya., Crestana S., and Rawls W.J. 2003. Comparison of two techniques to develop pedotransfer functions for water retention. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1085-1092.
 - 29- Vereecken H., Maes J., Feyen J., and Darius P. 1989. Estimating the soil moisture retention characteristics from texture, bulk density and carbon content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 148(6):389-403.
 - 30- Wagner, B., Tarnawski, V.R., Hennings, V., Muller, U., Wessolek, G., and Plagge, R. 2001. Evaluation of

pedotransfer function for unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set. *Geoderma*, 102:275-297.

31- 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.

32- Wösten J.H.M., Pachepsky Ya.A., and Rawls W.A. 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *J. Hydrol.* 251:123-150.

Effect of type and number of input variables on moisture retention curve and saturated hydraulic conductivity prediction

R. Moazenzadeh^{1*} - B. Ghahraman² - F. Fathalian³ - A. A. Khoshnood Yazdi⁴

Abstract

Pedotransfer functions (PTF_S) are useful means of prediction many properties of the soil, and especially the hydraulic characteristics of this porous media. The main advantages of this functions, as compare to conventional methods used to directly estimate soil hydraulic properties, is that they are not time-cost consuming. Different approaches such as classic linear and non linear regressions, artificial neural networks and regressions tree are being employed to develop the PTF_S. Rosetta is a software package to predict soil hydraulic properties making use of artificial neural networks- based PTF_S. In the present study, the impacts of the type and count of input variables to this software, on the prediction of the moisture retention curve and saturated hydraulic conductivity were evaluated in some soils from northern region of Iran, classed as of Loam and Clay Loam textures (USDA). Our results indicated that addition of bulk density as input variable decreased the performance of moisture retention curve prediction in both textural classes. Addition of bulk density showed on RMSE, ME, GMER and GSDER a positive and negative effect in Loam and Clay Loam textures, respectively. Addition of one or two moisture retention point(s) (the moisture content at matric potential of -33 and -1500 kpa) significantly decreased the RMSE at the medium range of matric potential (i.e. -33 to -500 kpa) and especially at -33 kpa. All of the studied PTF_S tended to underestimate both saturated hydraulic conductivity and moisture content at different matric potential.

Key words: Pedotransfer Functions, Hydraulic properties, Moisture retention curve, Saturated hydraulic conductivity, Rosetta, Iran

1- PhD student, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad

*- (Corresponding author, Email: ro_mo509@stu-mail.um.ac.ir)

2- Associate Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad

3- Former Graduate student, Water Engineering Department, Shahrekord University

4- Lecturer of Shirvan College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad