

ارزیابی عملکرد چند تابع انتقالی داخلی در برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی

روزبه موذن زاده^{۱*} - بیژن قهرمان^۲ - کامران داوری^۳ - علی اصغر خشنود یزدی^۴

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۸

تاریخ پذیرش: ۸۸/۳/۱۰

چکیده

منحنی نگهداشت رطوبتی یکی از مهمترین ویژگی‌های خاک است که کنش متقابل پتانسیل ماتریک و رطوبت خاک را تبیین می‌نماید. اندازه‌گیری مستقیم رطوبت و پتانسیل ماتریک خاک، معمولاً مستلزم صرف هزینه و زمان زیاد می‌باشد. برای حل این مشکل معمولاً از روش‌های غیر مستقیم در برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی سود جست می‌شود. یکی از این روش‌های غیر مستقیم استفاده از توابع انتقالی خاک است. در این تحقیق سه تابع انتقالی، مدل‌های اول و دوم قربانی و همایی (۱۳۸۱) و مدل سپاسخواه و بندار (۲۰۰۲) که در ایران به دست آمده‌اند، در برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی، در تعدادی از خاک‌های کشورمان مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین تلاش شد که با استفاده از اطلاعات در دسترس، توابع متفاوتی که کارایی بالاتری داشته باشند تهیه شود. بدین جهت ۴۲ نمونه خاک با پراکندگی مکانی از مناطق شمالی کشور، شهرهای آمل، بابل و کرج انتخاب و به دو کلاس بافتی لوم (۲۰ نمونه) و لوم رسی (۲۲ نمونه) تقسیم شدند. در مرحله ارزیابی توابع موجود، تمامی ۴۲ نمونه و در مرحله اشتقاق توابع جدید، ۳۶ نمونه بکار گرفته شدند. شش نمونه باقیمانده (از هر کلاس بافتی، سه نمونه) در اعتبار سنجی توابع جدید مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که در مرحله ارزیابی توابع موجود، مدل‌های اول و دوم قربانی و همایی در برآورد رطوبت در تمام بازه پتانسیل ماتریک یکسان و تقریباً مناسب عمل می‌کنند، حال آنکه تابع سپاسخواه و بندار برآورد مناسبی ندارد. ضمن آنکه برآورد هیچکدام از این روش‌ها در هیچ‌یک از دو کلاس بافتی برتری محسوس بر دیگری نداشت. در مرحله اشتقاق توابع جدید، توابع ارائه شده بسیار معنی‌دار بودند ($p < 0.05$). در مدل‌های ارائه شده جدید، بهبود مدل سپاسخواه و بندار کاملاً مشهود بود.

واژه‌های کلیدی: منحنی نگهداشت رطوبتی خاک، توابع انتقالی خاک

مقدمه

خصوصیات فیزیکی خاک‌ها نقش مهمی در برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی دارد، تلاش‌های متعددی برای برآورد این منحنی به طریق غیرمستقیم صورت پذیرفته که از مهمترین آنها می‌توان به مطالعات بروکس و کوری (۸)، کمپل (۹)، ساکستون و همکاران (۱۷) و هاورکمپ و پارالنج (۱۰) اشاره نمود. توابع انتقالی خاک روابط ریاضی شکلی میان متغیرهای زود یافت خاک نظیر بافت، وزن مخصوص ظاهری و میزان ماده آلی هستند که امکان برآورد خصوصیات دیر یافت خاک را فراهم می‌آورند. از خصوصیات دیر یافت می‌توان به منحنی نگهداشت رطوبتی و هدایت هیدرولیکی اشاره نمود.

توابع انتقالی برآورد کننده منحنی نگهداشت رطوبتی را می‌توان در سه دسته کلی جای داد. دسته اول توابع انتقالی فیزیکی- تجربی هستند که منحنی نگهداشت رطوبتی را صرفاً از روی خواص فیزیکی خاک مشتق می‌کنند. مبدعین این روش را شاید بتوان بلومن (۱۹۸۰) و آریا و پاریس (۱۹۸۱) دانست. مطالعات نشان داده است که مدل آریا و پاریس در کلاس بافتی شن توانسته منحنی رطوبتی را به خوبی برآورد کند، حال آنکه در کلاس‌های بافتی لوم و رس از دقت آن

منحنی نگهداشت رطوبتی، ویژگی مهمی است که علاوه بر بیان رطوبت خاک در پتانسیل‌های ماتریک متفاوت، می‌تواند در تعیین میزان رطوبت قابل دسترس خاک و تنظیم برنامه‌ریزی‌های آبیاری و زهکشی مفید واقع گردد. شاید اولین تلاش‌ها برای اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک را بتوان به ریچاردز در سال ۱۹۲۸ منسوب کرد. خصوصیات هیدرولیکی خاک‌ها به شدت در بعد زمان و مکان تغییر پذیرند و بناچار برای بیان دقیق این ویژگی‌ها می‌بایست تعداد نمونه برداری‌ها را افزایش داد. از طرفی اندازه‌گیری خصوصیات هیدرولیکی منجمله رطوبت خاک به طریق مستقیم اتلاف زیاد زمان و هزینه را به همراه دارد. با توجه به این موارد و پذیرفتن این موضوع که

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(* - نویسنده مسئول: (Email: ro_mo509@stu-mail.um.ac.ir)

۴- مربی آموزشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه فردوسی مشهد

کاسته می‌شود (۲۸). دسته دوم توابع انتقالی نقطه‌ای هستند که میزان رطوبت را در پتانسیل‌های ماتریک خاصی برآورد می‌نمایند که ترجیحاً این دو نقطه، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم هستند. از این دسته توابع می‌توان به توابع راولز و براکنسیک (۱۶) و آهوچا و همکاران (۵) اشاره نمود. بزرگترین عیب این توابع در برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی، تعداد زیاد معادلات مورد نیاز برای تکمیل منحنی مذکور است. دسته سوم توابع انتقالی پارامتریک هستند که پارامترهای بکار رفته در یک مدل چند متغیره که تبیین کننده رابطه $(\theta - h)$ است را برآورد می‌کنند. سه تابع بکار رفته در این تحقیق در این دسته جای می‌گیرند. از مدل‌های تبیین کننده رابطه $(\theta - h)$ هم می‌توان به بروکس و کوری (۱۹۶۴)، گاردنر (۱۹۷۰)، کمپل (۱۹۷۴) و ون‌گونختن (۱۹۸۰) اشاره نمود که آخری کاربرد بیشتری دارد.

شاینوست و همکاران (۱۸) و میناسنی و همکاران (۱۲) از قطر میانه ذرات و انحراف معیار هندسی برای پیش‌بینی منحنی نگهداشت رطوبتی خاک استفاده کردند. میزان ماده آلی و کربن آلی بطور موفقیت آمیزی در تحقیقات راولز و براکنسیک (۱۶) و وستن و همکاران (۲۷) بعنوان متغیرهای ورودی بکار رفتند. راجکائی و وارالیای (۱۴) میزان CaCO_3 را بعنوان دومین متغیر مستقل مهم ورودی در توابع خود برای پیش‌بینی میزان رطوبت در پتانسیل ماتریک $1400 -$ کیلوپاسکال معرفی نمودند. راجکائی و همکاران (۱۵) از مدل چهار پارامتری ون‌گونختن (۱۹۸۰) برای پیش‌بینی منحنی نگهداشت رطوبتی در 305 نمونه از خاکهای کشور مجارستان استفاده کردند. آنها کاربرد یک نقطه نگهداشت رطوبتی بعنوان متغیر ورودی در توابع خود را موثر دانسته و به افزایش 25 درصدی کارایی توابع خود اشاره نمودند.

نمس و راولز (۱۳) کارآمدی تعدادی از خصوصیات توزیع اندازه ذرات^۱ را در برآورد میزان رطوبت خاک در پتانسیل‌های ماتریک $33 -$ و $1500 -$ کیلوپاسکال مورد بررسی قرار دادند. آنها هیچ خصوصیت خاصی را به عنوان یک عامل بسیار موثر در برآورد خصوصیات هیدرولیکی خاک معرفی نمودند. والزاک و همکاران (۲۶) در توابع انتقالی خود از فراوانی ذرات شن $(2 - 0/2)$ میلیمتر، سیلت $(2/0 - 0/2)$ میلیمتر، وزن مخصوص ظاهری و تخلخل کل به دست آمده از روی وزن مخصوص ظاهری استفاده کرده و کارایی آن را در برآورد میزان رطوبت خاک در پتانسیل ماتریک $1500 -$ کیلوپاسکال، برتر از توابع انتقالی راولز و براکنسیک (۱۹۸۵)، گوپتا و لارسون (۱۹۷۹)، وریکن و همکاران (۱۹۸۹) و والزاک (۱۹۸۴) ارزیابی نمودند. اگرچه اکثر توابع انتقالی برای پیش‌بینی خصوصیات هیدرولیکی خاک توسعه یافته‌اند، اما این توابع به پیش‌بینی این مهم خلاصه نشده‌اند. توابع انتقالی برای تخمین خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و

بیولوژیکی خاک نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۱).
مبحث بسط و تعمیم کاربرد توابع انتقالی مشتق شده از روی خاک‌های منطقه‌ای خاص، برای مناطق دیگر هنوز بطور قطعی رد یا تأیید نشده است. توماسلا و هودنت (۲۲) اثر منطقه‌ای بودن خصوصیات توابع انتقالی را با ارزیابی عملکرد ضعیف توابع توسعه یافته برای مناطق معتدل در نواحی گرمسیری (حاره)، خاطر نشان ساختند. توماسلا و همکاران (۲۳) برای برآورد پارامترهای مدل رطوبتی ون‌گونخن (۱۹۸۰) در تعدادی از خاک‌های مناطق حاره کشور برزیل، توابع انتقالی ارائه نمودند که ریشه میانگین مربعات خطا در این توابع به مراتب کمتر از حالتی بود که از همین توابع انتقالی در مناطق معتدل استفاده شد. پذیرفتن اثر منطقه‌ای بودن توابع انتقالی از یک سو و محدود بودن توابع انتقالی توسعه یافته برای برآورد خصوصیات هیدرولیکی خاک‌های کشورمان، بعنوان یک راه حل عمده در صرفه‌جویی زمان و هزینه، از دیگر سو، می‌تواند انگیزه قوی برای محققین جوان علوم خاک برای پرداختن به این مهم باشد.

هدف از این تحقیق ارزیابی عملکرد توابع انتقالی داخلی در برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی و امکان‌سنجی بهبود بخشیدن به عملکرد این توابع در قالب ارائه مدل‌های جدید در تعدادی از خاک‌های کشورمان است.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی توابع انتقالی موجود و ارتقاء عملکرد آنها، 42 نمونه خاک دست نخورده از ناحیه شمال ایران (شهرهای آمل، بابل و کرج) و از عمق صفر تا 30 سانتیمتری انتخاب و به دو گروه کلاس بافتی لوم (20 نمونه) و لوم رسی (22 نمونه) تقسیم شدند. در مورد خصوصیات فیزیکی، بافت خاک به طریقه 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 محاسبه گردیدند (20). از خصوصیات شیمیایی نیز قابلیت هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر، واکنش خاک توسط دستگاه pH متر، کربنات کلسیم و ماده آلی نیز به طریق روش‌های استاندارد و رایج به دست آمدند. در مرحله ارزیابی توابع موجود از تمامی 42 نمونه خاک استفاده شد. در مرحله اشتقاق توابع جدید به منظور بهبود برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی از 36 نمونه خاک استفاده و 6 نمونه باقیمانده (سه نمونه از هر کلاس بافتی) برای اعتبار سنجی توابع جدید مورد استفاده قرار گرفتند. با استفاده از دستگاه صفحات فشاری میزان رطوبت هر نمونه خاک در سه تکرار در پتانسیل‌های ماتریک صفر، 5 ، 33 ، 100 ، 500 و $1500 -$ کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد. خلاصه‌ای از خصوصیات فیزیکی خاکهای بکار رفته در این تحقیق در جدول ۱ آورده شده است.

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

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

* - انحراف استاندارد نمونه‌ها

** - ضریب تغییرات نمونه‌ها

ساختار توابع انتقالی مورد استفاده

از مهمترین توابع انتقالی موجود داخلی به منظور برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی می‌توان به مدل اول و دوم قربانی و همایی (۱۳۸۱) و مدل سپاسخواه و بندار (۲۰۰۲) اشاره کرد. هر سه تابع انتقالی پارامتریک بکار رفته شده در این تحقیق، رابطه و نگونختن (۱۹۸۰) که به صورت معادله (۱) تعریف می‌شود را بعنوان مدل تبیین کننده رابطه $(\theta - h)$ می‌پذیرند.

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

در این رابطه θ میزان رطوبت در پتانسیل ماتریک θ_r ، h رطوبت باقیمانده، θ_s رطوبت اشباع، α (cm⁻¹)، n و m پارامترهایی هستند که شکل منحنی نگهداشت رطوبتی از آنها متاثر می‌شود.

مدل اول قربانی و همایی (GH1)، ۱۳۸۱

در این مدل پارامترهای رابطه و نگونختن (۱۹۸۰) بصورت زیر بیان می‌شوند:

$$\theta_r = 0.0192 + 0.00375 \text{ Clay} \quad (2)$$

$$\theta_s = 0.933 - 0.000707 \text{ Sand} - 0.311 D \quad (3)$$

$$\alpha^* = -531 - 4.67 \text{ Sand} + 550 D \quad (4)$$

$$n = 1.668 - 0.00522 \text{ Sand} \quad (5)$$

Sand و Clay بترتیب درصد میزان رس و شن و D وزن مخصوص ظاهری خاک (gr.cm⁻³) معرفی شده‌اند. علامت ستاره مبین نرمال شدن پارامتر می‌باشد.

مدل دوم قربانی و همایی (GH2)، ۱۳۸۱

در این مدل پارامترهای رابطه و نگونختن (۱۹۸۰) بصورت زیر بیان می‌شوند. تفاوت این مدل با مدل قبلی در استفاده از دو پارامتر فیزیکی مهم میانگین و انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک

$$\sigma_g \text{ و } d_g \text{ می‌باشد.}$$

$$\theta_r = 0.197 - 0.392 d_g^* \quad (6)$$

$$\theta_s = 0.954 - 0.324 D - 0.124 d_g^* \quad (7)$$

$$\alpha^* = -448 - 684 d_g^* + 568 D - 9.18 \sigma_g \quad (8)$$

$$n = 8.539 - 3.673 \sigma_g^* + 0.474 \sigma_g \quad (9)$$

قربانی و همایی (۳) در تحقیق مذکور از ۳۴ نمونه خاک، در دو کلاس میان بافت (لوم شنی، لوم و لوم سیلتی؛ شامل ۲۱ نمونه) و سنگین بافت (لوم رسی و لوم رسی سیلتی؛ شامل ۱۳ نمونه) استفاده نمودند.

مدل سپاسخواه و بندار (SB)، ۲۰۰۲

روابط ارائه شده در این مدل به صورت زیر بیان شده‌اند:

$$\theta_r = 0.263 \text{ Silt} + 0.374 \text{ Clay} + 2.583 \text{ OM} - 11.18 D \quad (10)$$

$$m = 0.4 + 0.0099 \theta_p + 0.03556 \text{ OM} - 0.1874 D + 0.1566 \text{ Log (Sand)} \quad (11)$$

$$h_p = -2835.6 - 89.3 \text{ OM} + 2919.1 D + 242.7 \text{ Log (Sand)} - 7270.7 \text{ Log (D)} \quad (12)$$

در این مدل، پارامتر θ_s به کمک وزن مخصوص ظاهری بدست می‌آید. θ_p میزان رطوبت در نقطه عطف منحنی نگهداشت رطوبتی است که از رابطه $\theta_p = (\theta_s + \theta_r) / 2$ قابل محاسبه می‌باشد. درصد مواد آلی با OM نشان داده شده و سایر پارامترها مشابه روابط قبلی تعریف می‌شوند. پارامتر α نیز به کمک رابطه ۱۳ قابل محاسبه است. این دو محقق نیز در تحقیق خود از ۵۴ نمونه خاک از استانهای فارس (لوم رسی و رسی سیلتی) و خراسان (لوم شنی، لوم، لوم سیلتی، لوم رسی و رسی شنی) استفاده نمودند.

$$\alpha = 1 / h_p (2^{1/m} - 1)^{1-m} \quad (13)$$

علاوه بر این توابع، توابع دیگری نظیر مدل میرخانی و خداوردیلو (۴) و مدل فرخیان فیروزی و همایی (۲) نیز در منابع موجود است که مدل اول بدلیل معرفی نشدن شکل نرمال شده پارامتر میانگین

برای درک بهتر عملکرد هر کدام از مدل‌ها، از رسم مقادیر اندازه‌گیری در برابر مقادیر برآورد شده نیز استفاده شد.

هندسی قطر ذرات و مدل دوم بدلیل استفاده از میزان گچ و عدم اندازه‌گیری این خصوصیت در نمونه‌های بکار رفته در این تحقیق، کنار گذاشته شدند.

مدل‌های پیشنهادی به منظور بهبود در برآورد منحنی

نگهداشت رطوبتی

همانگونه که در قسمت نتایج خواهیم دید، عملکرد مدل‌های موجود در برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی چندان مناسب نبوده است. لذا مدل‌های رگرسیونی جدیدی ارائه گردید تا بتواند برآورد مناسبتری از این خصوصیت مهم خاک داشته باشد. بدین منظور پارامترهای مدل رطوبتی ون گنوختن (۱۹۸۰) با استفاده از نرم افزار RETC (۲۴) بدست آمدند. با استفاده از تکنیک پیشرو و پسرو، بهترین مدل‌های رگرسیونی انتخاب شدند. از آنجا که پایه و اساس مدل‌های قربانی و همایی (۳) و سپاسخواه و بندار (۱۹) متفاوت است (توابع انتقالی برای بیان پارامترهای متفاوت)، لذا مدل‌های جدید پیشنهادی نیز برای هر روش متفاوت است که در ادامه تحت عنوان مدل‌های اصلاح شده- قربانی و همایی (M-GH) و اصلاح شده- سپاسخواه و بندار (M-SB) از آن نام برده خواهد شد.

نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد توابع موجود

در این مرحله عملکرد هر سه مدل مورد بحث در برآورد رطوبت خاک در پتانسیل‌های ماتریک متفاوت بررسی شد که نتایج آن در شکل ۱ نمایش داده شده است.

ارزیابی مدل‌ها

به منظور ارزیابی نتایج مدل‌ها، 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 ۱۴ تا ۱۷ قابل محاسبه‌اند، استفاده شد.

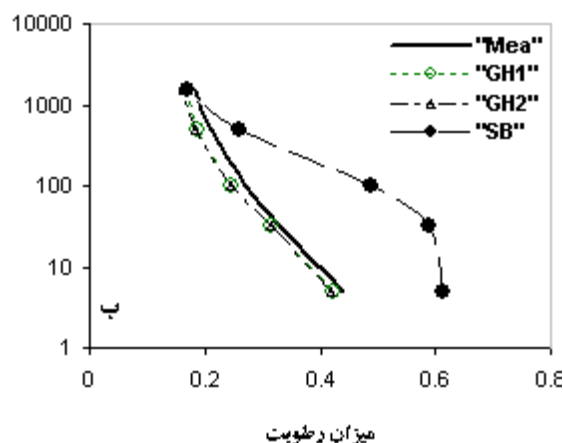
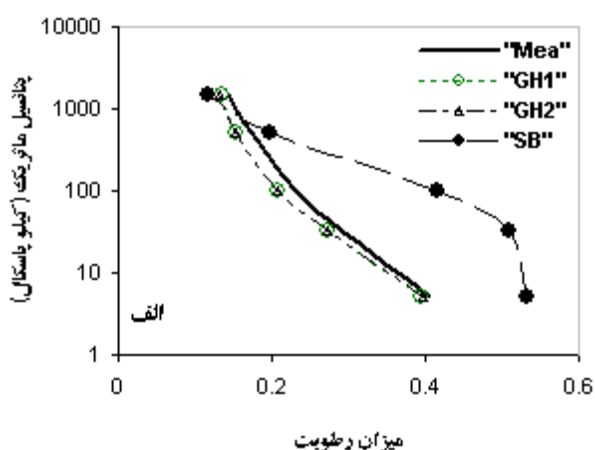
$$RMSE = \left[n^{-1} \sum_1^n (\phi_{pre} - \phi_{mea})^2 \right]^{0.5} \quad (14)$$

$$ME = \left[n^{-1} \sum_1^n (\phi_{mea} - \phi_{pre}) \right] \quad (15)$$

$$GMER = \exp \left[n^{-1} \sum_{i=1}^n \ln(\varepsilon_i) \right] \quad (16)$$

$$GSDER = \exp \left[\left((n-1)^{-1} \sum_{i=1}^n [\ln(\varepsilon_i) - \ln(GMER)]^2 \right)^{1/2} \right] \quad (17)$$

در این روابط ϕ_{pre} و ϕ_{mea} به ترتیب بیانگر رطوبت 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 (ع ۲۱ و ۲۵). در این تحقیق



(شکل ۱) - منحنی نگهداشت رطوبتی حاصل از توابع انتقالی موجود، Mea (مقادیر اندازه‌گیری شده)، GH1 (مدل اول قربانی و همایی)، GH2 (مدل دوم قربانی و همایی)، SB (مدل سپاسخواه و بندار)؛ الف (لوم) و ب (لوم رسی)

سپاسخواه و بندار با بیش برآورد میزان رطوبت در تمام دامنه پتانسیل ماتریک به کار رفته در این تحقیق مواجه هستند (تنها در پتانسیل ماتریک ۱۵۰۰- کیلوپاسکال است که مدل سپاسخواه و بندار در هر دو کلاس بافتی میزان رطوبت را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌نماید).

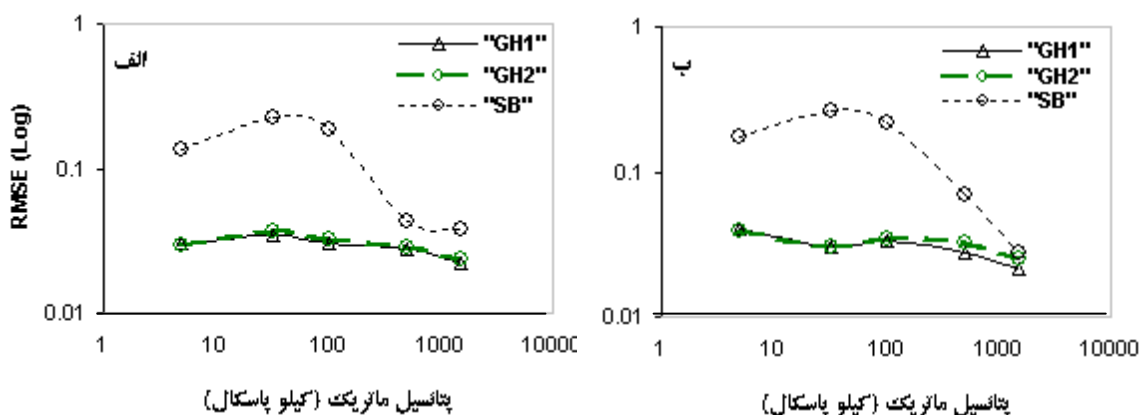
برای تحلیل دقیقتر نتایج برآورد رطوبت به کمک توابع انتقالی مورد بحث، روند تغییرات ریشه میانگین مربعات خطا را در پتانسیل‌های ماتریک متفاوت بررسی نمودیم که نتایج حاصل از آن در شکل ۲ نمایش داده شده است. همانگونه که از شکل ۲ پیداست، یک بهبود بسیار تدریجی در عملکرد دو مدل اول و دوم قربانی و همایی با افزایش پتانسیل ماتریک دیده می‌شود. این شکل نیز تاییدی دیگر بر یکسان بودن دقت مدل‌های اول و دوم قربانی و همایی است. با این حال رفتار دو مدل مذکور تنها در پتانسیل‌های ماتریک ۵۰۰- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال و در کلاس بافتی لوم رسی قابل تمایز است. در مورد مدل سپاسخواه و بندار روند تغییرات متغیر است، به‌طوری‌که با افزایش پتانسیل ماتریک تا حدود ۸۰- کیلوپاسکال دقت عملکرد این تابع کاهش، از حدود ۸۰- تا ۸۰۰- کیلوپاسکال عملکرد بهبود و مجدداً با افزایش پتانسیل ماتریک تا حدود ۱۵۰۰- کیلوپاسکال در کلاس بافتی لوم، ضعف در عملکرد و در کلاس بافتی لوم رسی، بهبود در عملکرد را شاهد هستیم.

شکل ۱ نشان دهنده این موضوع است که در مرحله ارزیابی توابع موجود، دو مدل قربانی و همایی به مراتب بهتر از مدل سپاسخواه و بندار در برآورد میزان رطوبت خاک عمل کرده‌اند. در ضمن میان دو مدل اول و دوم قربانی و همایی تفاوت چندانی مشاهده نمی‌گردد. این بدان معنی است که استفاده از خصوصیات فیزیکی خاک نظیر میانگین و انحراف معیار هندسی قطر ذرات نتوانسته‌اند که توانایی مدل دوم قربانی و همایی را در برآورد رطوبت در مورد خاک‌های به کار رفته در این تحقیق بهبود ببخشند. این در حالی است که این دو محقق، مدل دوم خود را که در آن از دو متغیر نام برده استفاده شده بود، در تحقیق خود کارآتر معرفی نمودند. برای ارزیابی دقیقتر عملکرد هر کدام از روش‌ها، از شاخصه‌های آماری که قبلاً به آنها اشاره شد استفاده کردیم. نتایج حاصل در جدول ۲ آورده شده است.

مقادیر جدول ۲ نیز از نزدیکی برآورد در مدل‌های اول و دوم قربانی و همایی و عملکرد نامناسب مدل سپاسخواه و بندار حکایت می‌کند. با کمی تأمل در نتایج جدول ۲ می‌توان دریافت که عملکرد هر سه مدل در کلاس بافتی لوم در قیاس با کلاس بافتی لوم رسی تا حدودی بهتر بوده است. این نتیجه با توجه به تعداد زیاد نمونه‌های کلاس بافتی لوم در خاک‌هایی که توابع انتقالی مذکور از روی آنها توسعه یافته‌اند، قابل توجیه و استدلال می‌باشد. نکته دیگر در مورد توابع انتقالی مورد بحث آنکه در هر دو کلاس بافتی لوم و لوم رسی، مدل‌های اول و دوم قربانی و همایی هر دو با کم برآورد و مدل

(جدول ۲) - مقادیر شاخص‌های RMSE, ME, GMER و GSDER برای سه تابع انتقالی مورد بحث، در دو کلاس بافتی لوم و لوم رسی

| کلاس بافتی لوم رسی | | | | کلاس بافتی لوم | | | | مدل تابع انتقالی |
|--------------------|---------|-------|--------|----------------|--------|-------|-------|------------------------|
| RMSE | ME | GMER | GSDER | RMSE | ME | GMER | GSDER | |
| ۰/۰۵۵ | ۰/۰۴۳۸ | ۰/۸۹۴ | ۱/۱۲ | ۰/۰۴ | ۰/۰۲۸ | ۰/۹۱۴ | ۱/۰۹۶ | مدل اول قربانی و همایی |
| ۰/۰۵۶ | ۰/۰۴۵۶ | ۰/۸۸۲ | ۱/۱۱۹۶ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۲۸۵ | ۰/۹۰۹ | ۱/۰۹۶ | مدل دوم قربانی و همایی |
| ۰/۱۲۵۵ | -۰/۱۱۳۴ | ۱/۳۰۶ | ۱/۳۴۸ | ۰/۱۰۴ | -۰/۰۸ | ۱/۲۵ | ۱/۳۹۵ | مدل سپاسخواه و بندار |



(شکل ۲) - روند تغییرات ریشه میانگین مربعات خطا برای مدل اول قربانی و همایی (GH1)، مدل دوم قربانی و همایی (GH2) و مدل سپاسخواه و بندار (SB) در پتانسیل‌های ماتریک متفاوت. الف) کلاس بافتی لوم و ب) کلاس بافتی لوم رسی

در شکل‌های ۳ و ۴ نیز مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده رطوبت به کمک هر سه تابع انتقالی در پتانسیل‌های متفاوت در دو کلاس بافتی لوم و لوم رسی قابل مشاهده‌اند. همانگونه که از شکل ۳ پیداست، هیچکدام از مدل‌های اول و دوم قربانی و همایی در پتانسیل ماتریک صفر برآورد مناسبی از رطوبت ارائه نمی‌کنند، این در حالی است که برآورد حاصل از مدل سپاسخواه و بندار دقیقاً روی خط ۱:۱ قرار می‌گیرد. البته باید توجه داشت که دلیل این امر آنست که در مدل سپاسخواه و بندار برای پارامتر θ_s به کار رفته در مدل رطوبتی ون‌گونختن (۱۹۸۰)، هیچ رابطه‌ای ارائه نشده، حال آنکه در هر دو مدل قربانی و همایی یکی از توابع انتقالی به بیان این پارامتر اختصاص می‌یابد. در پتانسیل‌های ماتریک ۳۳- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال، دقت هر سه مدل به یکباره بهبود چشمگیری از خود نشان می‌دهد. این موضوع در مورد مدل سپاسخواه و بندار و در پتانسیل ماتریک ۱۵۰۰- کیلوپاسکال بیشتر مشهود است. اگرچه این مدل در پتانسیل ماتریک ۳۳- کیلوپاسکال اصلاً برآورد خوبی ندارد. کم برآورد در مدل‌های اول و دوم قربانی و همایی و بیش برآورد در مدل سپاسخواه و بندار در پتانسیل‌های ماتریک ۱۰۰- و ۵۰۰- کیلوپاسکال در شکل ۴ کاملاً مشهود است. کمترین مقادیر RMSE و ME که بیانگر توانایی بیشتر مدل است، در این تحقیق در هر سه تابع انتقالی در اکثر حالات (به جز مدل اول قربانی و همایی در کلاس بافتی لوم رسی، مدل دوم قربانی و همایی و مدل سپاسخواه و بندار در کلاس بافتی لوم و صرفنظر از پتانسیل ماتریک صفر در مدل سپاسخواه و بندار به دلیلی که قبلاً توضیح داده شد) در دو پتانسیل ماتریک ۳۳- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال به‌وقوع پیوست. ترابی و قهرمان (۱) در مطالعه عملکرد چندین تابع انتقالی منجمله مدل‌های اول و دوم قربانی و همایی (۳) به منظور برآورد منحنی رطوبتی تعدادی از خاکهای محوطه پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، به قابلیت بالای این دو مدل اشاره کردند. آنها دقت این دو مدل را در

پتانسیل‌های ماتریک بیشتر، بهتر گزارش کردند. علاوه بر این تفاوت عملکرد دو مدل مذکور را ناچیز دانستند. هر سه این نتایج با نتایج حاصل از این تحقیق همخوانی دارد. شاید در این مورد خاص بتوان یکسان بودن پتانسیل ماهوی خاکهای ایران و بطور خاص، این دو منطقه را، دلیل این تشابه دانست. عمده خاک‌های بکار رفته در پژوهش آنها مربوط به دو کلاس بافتی لوم و لوم سیلتی بودند. توجه به این نکته ضروری است که همیشه این دلیل موجه و قابل استناد نیست.

ارایه مدلی جدید به منظور برآورد مناسبتر منحنی نگهداشت رطوبتی

نتایج ارزیابی توابع انتقالی مورد بحث در برآورد منحنی نگهداشت رطوبتی خاکهای مورد استفاده در این تحقیق، به خصوص در مدل سپاسخواه و بندار، انگیزه‌ای برای ارائه مدلی جدید به منظور برآورد بهتر این منحنی به منظور برنامه‌ریزی دقیقتر در زنجیره خاک-آب-اتمسفر- گیاه بود. بدین منظور از ۴۲ نمونه خاک مورد استفاده، ۳۶ نمونه برای استخراج توابع جدید و ۶ نمونه باقیمانده (از هر کلاس بافتی، سه نمونه) برای اعتبار سنجی مدل‌های پیشنهادی بکار رفتند. مدل‌های ارائه شده که برآوردکننده پارامترهای مدل رطوبتی ون‌گونختن (۱۹۸۰) هستند، به صورت معادلات ۱۸ تا ۲۴ ارائه شده است. تمامی معادلات بسیار معنی‌دار بودند ($P < 0.05$). مجدداً این موضوع یادآوری می‌شود که پایه و اساس مدل‌های قربانی و همایی و سپاسخواه و بندار متفاوت بوده و لذا مدل‌های پیشنهادی نیز در هر دو مدل، متفاوت‌اند.

مدل اصلاح شده قربانی و همایی

$$\theta_r = -0.0578 + 0.112 D + 4.65 d_g - 2.83 d_g^{0.5} + 0.133 \sigma_g^{0.5} + 0.0118 OM - 0.137 (Clay / Silt), R^2 = 0.825 \quad (18)$$

$$\theta_s = 0.602 + 0.25 D + 5.66 d_g - 3.36 d_g^{0.5} + 0.0311 OM, R^2 = 0.736 \quad (19)$$

$$\ln(\alpha^*) = 0.338 + 0.527 pH - 1.44 (Clay / Silt), R^2 = 0.35 \quad (20)$$

$$n = 7.66 + 0.0486 Sand + 0.247 d_g - 7.8 d_g^{0.5} + 0.247 \sigma_g - 2.6 \sigma_g^{0.5}, R^2 = 0.44 \quad (21)$$

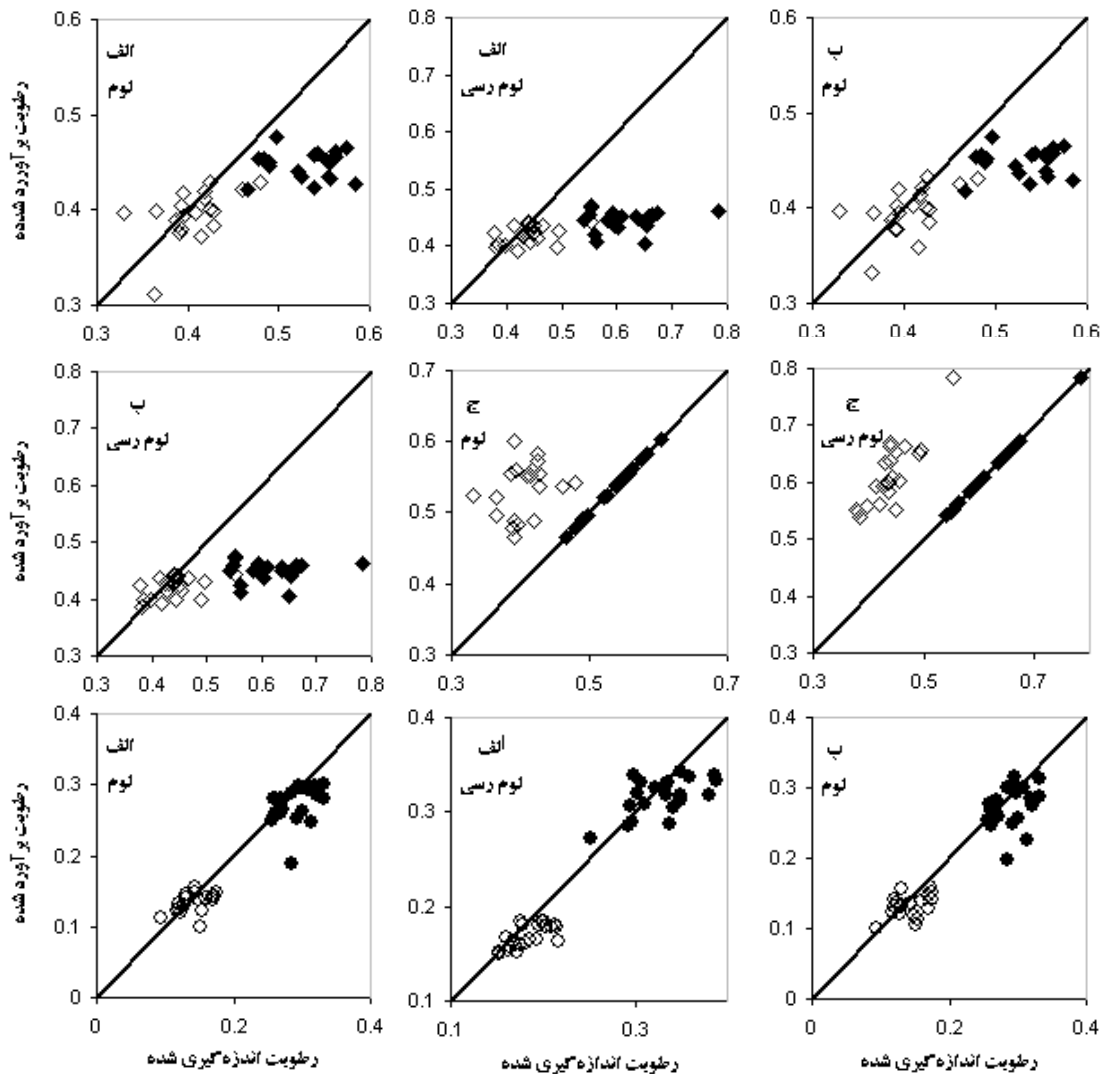
مدل اصلاح شده سپاسخواه و بندار

تمامی پارامترهای این معادلات در مدل اولیه سپاسخواه و بندار تعریف شده‌اند. در توضیح مقادیر ضریب تبیین برخی از معادلات اصلاح شده قربانی و همایی و سپاسخواه و بندار، باید متذکر شد که اگر چه مقدار آن در مورد برخی از معادلات، نسبتاً پایین است، ولی

دلیل استفاده از $\ln(\alpha^*)$ در معادله ۲۰، نرمال نمودن پارامتر α^* است که در مدل قربانی و همایی به کار رفته است. نرمال نبودن داده‌ها آزمونهای فرض را غیر معتبر می‌سازد (۳). پارامترهای این روابط مشابه مدل اولیه قربانی و همایی تعریف می‌شوند.

همایی (۳) در مورد پارامتر n به ترتیب $۱۳/۲$ و $۲۳/۳$ درصد گزارش شدند که آنها نیز مقادیر اندکی دارند. میرخانی و خداوردیلو (۴) نیز در تحقیق خود برای پارامترهای α و n به ترتیب ضرایب تبیین $۳۹/۲$ و $۳۰/۹$ درصد را گزارش کردند.

مقادیر مذکور به مراتب از مقادیر مشابه که در مورد مدل‌های اصلی قربانی و همایی (۱۳۸۱) و سپاسخواه و بندگان (۲۰۰۲)، در مورد خاکهای به کار رفته در این تحقیق به دست آمدند، بیشترند. لازم به توضیح است که ضرایب تبیین در مدل‌های اصلی اول و دوم قربانی و



(شکل ۳) - مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده رطوبت در پتانسیل ماتریک صفر (لوزی تو پر) و ۵- (لوزی تو خالی)؛ ۳۳- (دوایر تو پر) و ۱۵۰۰- (دوایر تو خالی) کیلوپاسکال در دو کلاس بافتی لوم و لوم رسی؛ مدل اول قربانی و همایی (الف)، مدل دوم قربانی و همایی (ب) و مدل سپاسخواه و بندگان (ج)

$$m = 3.08 + 0.0221 \text{ Sand} - 3.54 d_g^{0.5} + 0.109 \sigma_g - 1.16 \sigma_g^{0.5}, R^2 = 0.4 \quad (۲۲)$$

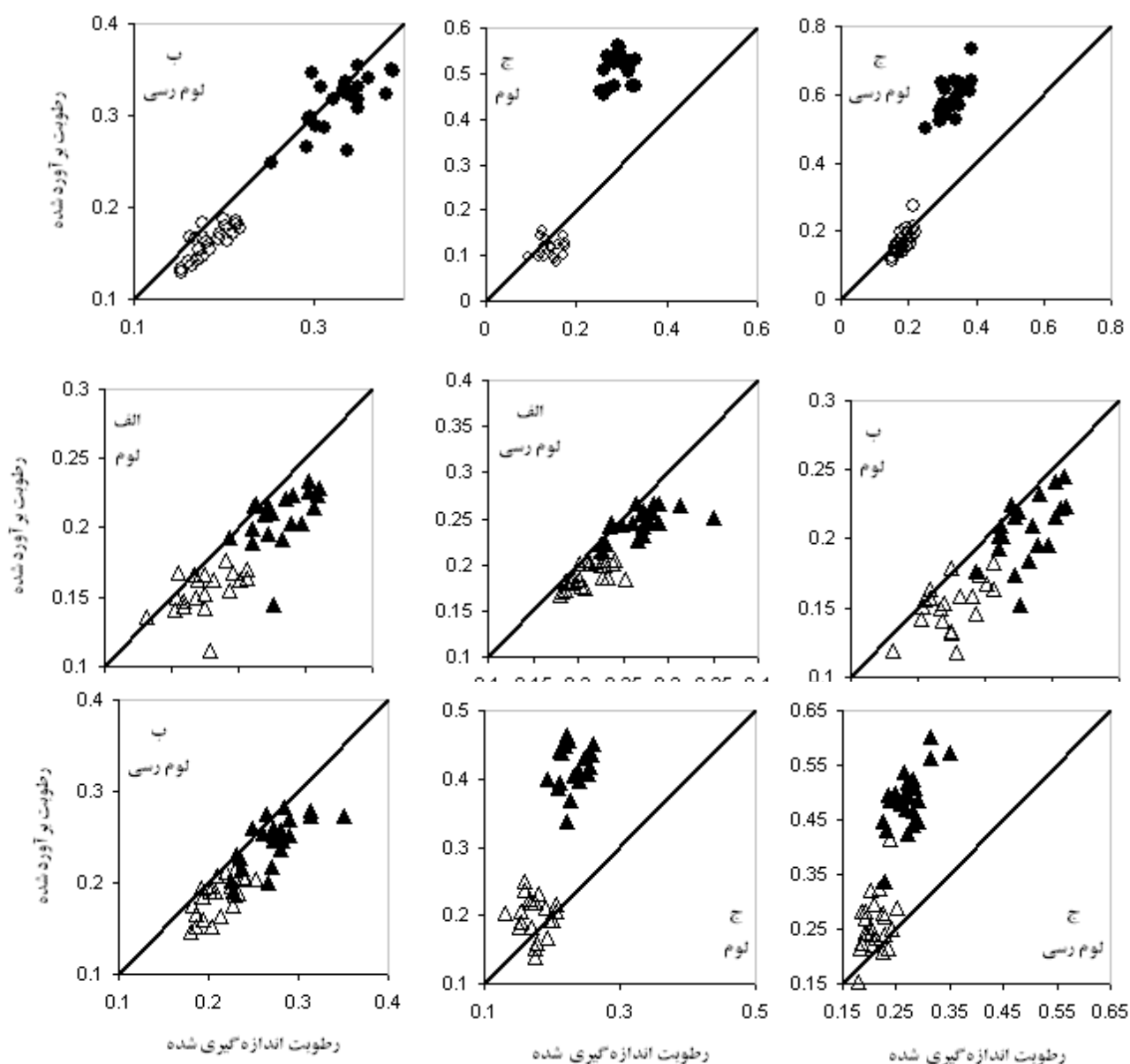
$$\theta_r = 0.0733 + 0.00537 \text{ Clay} + 0.0506 \text{ OM} - 0.16 d_g^{0.5} - 0.00217 \sigma_g - 0.00153 \text{ Clay} \cdot \text{OM}, R^2 = 0.816 \quad (۲۳)$$

$$(1/h_p) = 1.12 - 2.95 \theta_r + 1.27 d_g + 0.176 \sigma_g^{0.5} + 2.7 \text{ Log}(\theta_p), R^2 = 0.25 \quad (۲۴)$$

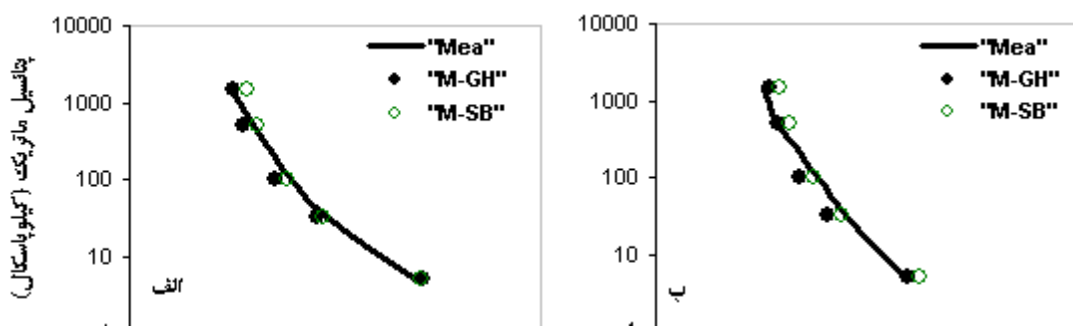
ارزیابی مدل‌های پیشنهادی

مدل‌های پیشنهادی اصلاح شده قربانی و همایی (M-GH) و سپاسخواه و بندار (M-SB) بر روی ۶ نمونه خاکی که در بسط این توابع از آنها استفاده نشده بود، مورد اعتبار سنجی و ارزیابی قرار

گرفتند. منحنی نگهداشت رطوبتی بر اساس مدل‌های پیشنهادی در دو کلاس بافتی لوم و لوم رسی رسم گردید که نتایج آن در شکل ۵ نشان داده شده است.



(شکل ۴) - مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده رطوبت در پتانسیل ماتریک ۳۳- (دوایر تو پر) و ۱۵۰۰- (دوایر تو خالی)؛ ۱۰۰- (مثلث تو پر) و ۵۰۰- (مثلث تو خالی) کیلوپاسکال در دو کلاس بافتی لوم و لوم رسی؛ مدل اول قربانی و همایی (الف)، مدل دوم قربانی و همایی (ب) و مدل سپاسخواه و بندار (ج)



(شکل ۵) - منحنی‌های نگهداشت رطوبتی به کمک Mea (مقادیر اندازه‌گیری شده)، M-GH (مدل اصلاح شده قربانی و همایی) و M-SB (مدل اصلاح شده سپاسخواه و بندار) در (الف) کلاس بافتی لوم و (ب) کلاس بافتی لوم رسی

(جدول ۳) - مقادیر RMSE، ME، GMER و GSDER در مدل‌های پیشنهادی در دو کلاس بافتی لوم و لوم رسی

| کلاس بافتی لوم رسی | | | | کلاس بافتی لوم | | | | مدل |
|--------------------|-------|-------|-------|----------------|--------|-------|-------|--------------------------------|
| RMSE | ME | GMER | GSDER | RMSE | ME | GMER | GSDER | |
| ۰/۰۴ | ۰/۰۱۶ | ۰/۹۶۹ | ۱/۰۷۷ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۰۸ | ۰/۹۶۳ | ۱/۱ | مدل اصلاح شده قربانی و همایی |
| ۰/۰۲۹ | -۰/۰۱ | ۱/۰۴۵ | ۱/۰۸۶ | ۰/۰۲۳ | -۰/۰۰۵ | ۱/۰۲۷ | ۱/۰۸۴ | مدل اصلاح شده سپاسخواه و بندار |

بورگسن و شاپ (۷) محدوده تغییرات RMSE را در پتانسیل ماتریک ۱۵۰۰ کیلوپاسکال در توابع پارامتریک خود ۰/۰۳۱ تا ۰/۰۴۵ گزارش کردند، در حالیکه در شرایط مشابه در مدل پیشنهادی ما این محدوده از ۰/۰۲۳ در کلاس بافتی لوم تا ۰/۰۴ در کلاس بافتی لوم رسی تغییر کرد (جدول ۳). برای ارزیابی دقیقتر مدل‌های پیشنهادی در برآورد رطوبت، تغییرات ریشه میانگین مربعات خطا در پتانسیل‌های ماتریک مختلف مورد بررسی قرار گرفت که نتیجه آن در شکل ۶ نشان داده شده است.

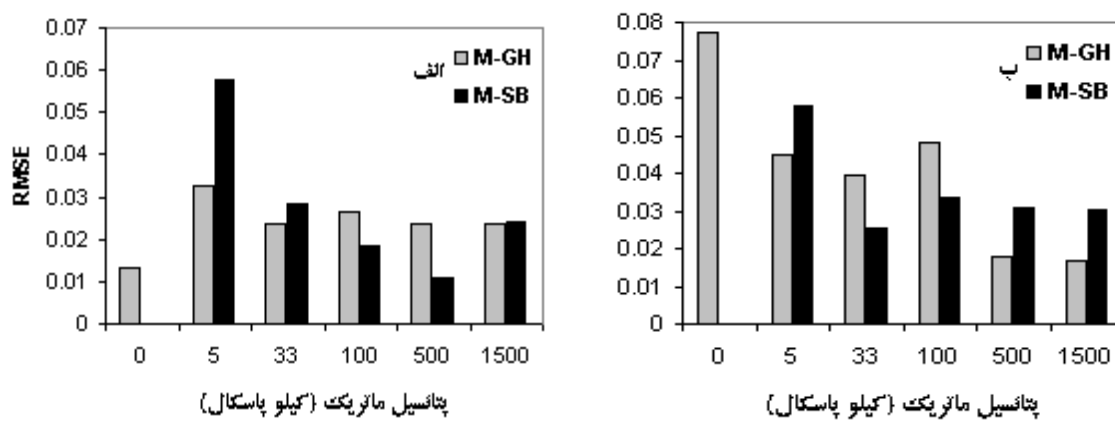
با توجه به شکل ۵ می‌توان یک بهبود نسبی در عملکرد مدل اصلاحی پیشنهادی قربانی و همایی در کلاس بافتی لوم رسی را انتظار داشت (به جز پتانسیل ماتریک ۱۰۰- کیلوپاسکال). همین مدل در کلاس بافتی لوم تقریباً مستقل از پتانسیل ماتریک و تقریباً بسیار خوب ($RMSE=0/023$) عمل می‌کند که عملکرد یکنواخت و خوب در تمام دامنه پتانسیل ماتریک به کار رفته در این تحقیق می‌تواند حسن بزرگی برای این مدل به شمار رود. در مدل اصلاحی پیشنهادی سپاسخواه و بندار، در کلاس بافتی لوم با افزایش پتانسیل ماتریک تا حدود ۵۰۰- کیلوپاسکال دقت در برآورد رطوبت افزایش می‌یابد ولی در پتانسیل ماتریک ۱۵۰۰- مجدداً مقداری افزایش خطا (افزایش RMSE) در برآورد رطوبت دیده می‌شود. نکته جالب یکسان بودن عملکرد دو مدل اصلاحی پیشنهادی در پتانسیل ماتریک ۱۵۰۰- کیلوپاسکال در کلاس بافتی لوم است که بر حسب مهیا بودن خصوصیات به کار رفته در هر کدام از مدل‌های مذکور، استفاده از هر کدام در برآورد رطوبت در همین پتانسیل ماتریک، بلا مانع می‌سازد.

همانگونه که از شکل ۵ پیداست مدل‌های پیشنهادی خصوصاً مدل اصلاحی پیشنهادی برای مدل سپاسخواه و بندار (M-SB) توانسته بهبود چشمگیری در برآورد رطوبت از خود نشان دهد. مقادیر RMSE، ME، GMER و GSDER در مورد مدل‌های پیشنهادی نیز محاسبه گردیده که نتایج آن برای کلاس‌های بافتی لوم و لوم رسی در جدول ۳ قابل مشاهده است. مقایسه نتایج جداول ۲ و ۳ حاکی از بهبود برآورد رطوبت به کمک مدل‌های پیشنهادی خصوصاً در مدل سپاسخواه و بندار است. مقادیر RMSE و ME در مدل اصلاحی پیشنهادی قربانی و همایی در قیاس با مقادیر اولیه (نتایج جدول ۲)، در کلاس لوم بترتیب ۴۴ و ۷۱ درصد و در کلاس لوم رسی ۲۷ و ۶۴ درصد کاهش از خود نشان دادند. تغییرات مقادیر GMER و GSDER تقریباً قابل ملاحظه نبود. مقادیر RMSE، ME، GMER و GSDER در مدل اصلاحی پیشنهادی سپاسخواه و بندار نیز در مقایسه با مقادیر اولیه (نتایج جدول ۲) در کلاس بافتی لوم بترتیب ۷۷، ۹۴، ۱۷ و ۲۲ درصد و در کلاس بافتی لوم رسی بترتیب ۷۷، ۹۱، ۲۰ و ۱۹ درصد کاهش از خود نشان دادند. این بدان معنی است که دقت مدل اصلاحی پیشنهادی سپاسخواه و بندار تقریباً مستقل از کلاس بافتی خاک می‌باشد؛ در حالیکه بهبود دقت در مدل اصلاحی پیشنهادی قربانی و همایی در کلاس بافتی لوم بیش از کلاس بافتی لوم رسی است. نتایج کسب شده از مدل‌های پیشنهادی به مراتب بهتر از نتایج حاصل از توابع انتقالی توماسلا و همکاران (۲۳) به منظور تخمین پارامترهای مدل رطوبتی ون گنوختن (۱۹۸۰) بود که منجر به مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا به میزان ۳/۷۸ تا ۵/۸۴ در مناطق حاره برزیل و ۹/۰۸ تا ۱۰/۴۴ در مناطق معتدله شد.

نتیجه گیری

دامنه پتانسیل ماتریک مورد استفاده در این تحقیق، در کلاس بافتی لوم رسی و برای مدل اصلاحی پیشنهادی قربانی و همایی در پتانسیل ماتریک صفر و برای مدل اصلاحی پیشنهادی سپاسخواه و بندار در پتانسیل ماتریک ۳۳- کیلوپاسکال بیشتر محسوس بود. ضمناً برای اولین بار در توابع انتقالی موجود داخلی، کاربرد یکی از خصوصیات شیمیایی خاک، یعنی pH مورد آزمایش قرار گرفت که موثر بودن یا نبودن آن منوط به تحقیقات بیشتر در خاکهای مختلف مناطق دیگر است. مقادیر اندازه‌گیری شده و برآوردی رطوبت به کمک مدل‌های پیشنهادی (هر دو مدل)، با اطمینان ۹۵ درصد، اختلاف معنی داری نداشتند.

در این تحقیق عملکرد هر دو مدل توابع انتقالی قربانی و همایی (۱۳۸۱) و سپاسخواه و بندار (۲۰۰۲) در برآورد میزان رطوبت تعدادی از خاک‌های مناطق کرج، آمل و بابل ارزیابی شد. نتایج مدل اول تا حدودی مناسب ولی نتایج مدل دوم اصلاً مناسب نبود. هیچ تفاوت محسوسی در دو مدل قربانی و همایی در هر دو کلاس بافتی لوم و لوم رسی مشاهده نشد، ضمن آنکه عملکرد ضعیف مدل سپاسخواه و بندار مختص به هر دو کلاس بافتی بود. مدل‌های اصلاحی قربانی و همایی و سپاسخواه و بندار، بهبود در برآورد میزان رطوبت در هر دو کلاس بافتی لوم و لوم رسی را به همراه داشتند. این بهبود در کل



(شکل ۶) - تغییرات RMSE در مدل‌های پیشنهادی، M-GH (مدل اصلاح شده قربانی و همایی) و M-SB (مدل اصلاح شده سپاسخواه و بندار) در پتانسیل‌های ماتریک متفاوت در کلاس لوم (الف) و لوم رسی (ب)

منابع

- ۱- ترابی فارسانی ن. و قهرمان ب. ۱۳۸۶. مقایسه چند تابع انتقالی متداول برای برآورد منحنی رطوبتی خاک در چند خاک در ایران. مجله آبیاری و زهکشی ایران ۲ (۱): ۴۵-۵۵.
- ۲- فرخیان فیروزی ا. و همایی م. ۱۳۸۴. ایجاد توابع انتقالی نقطه ای برای برآورد منحنی رطوبتی خاک های گچی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی ۶ (۲۴): ۱۴۲-۱۲۹.
- ۳- قربانی دشتکی ش. و همایی م. ۱۳۸۱. برآورد پارامتریک توابع هیدرولیکی بخش غیر اشباع خاک با استفاده از توابع انتقالی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی ۳ (۱۲): ۱۵-۱.
- ۴- میرخانی ر. و خداوردیلو ح. ۱۳۸۵. تاثیر میانگین و انحراف معیار هندسی بافت خاک در برآورد ضرایب رطوبتی خاک. مجله علوم خاک و آب ۲۰ (۱): ۵۴-۶۳.
- 5- Ahuja L.R., Nasy J.W., and Williams R.D. 1984. Scaling to characterize soil water properties and infiltration modeling. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:970-973.
- 6- Baker L. 2008. Development of class pedotransfer functions of soil water retention-A refinement. Geoderma, 144: 225-230.
- 7- Børgesen C.D., and Schaap M.G. 2005. Point and parameter pedotransfer function for water retention predictions for Danish soils. Geoderma 127: 154-167.
- 8- Brooks R.H., and Corey A.T. 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrology Paper No. 3 Colorado State Univ., Fort Collins, CO. USA.
- 9- Campbell G.S. 1974. A simple method for determining unsaturated hydraulic conductivity from moisture retention data. Soil Sci. 117: 311-314.

- 10- Haverkamp R., and Parlange J.Y. 1986. Predicting the water- retention curve from particle size distribution. *Soil Sci.* 142:325-339.
- 11- McBratney A.B., Minasny B., Cattle S.R., Vervoot R.W. 2002. From pedotransfer to soil inference systems. *Geoderma* 109:41-73.
- 12- 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.
- 13- Nemes A., and Rawls W. 2006. Evaluation of different representations of the particle size distribution to predict soil water retention. *Geoderma* 132: 47-58.
- 14- Rajkai K., and Varallyay G. 1992. Estimating soil water retention from simpler properties by regression techniques. In: van Genuchten, M.Th., F.J. Leij and L.J. Lund. (Eds.). *Methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils*, Riverside, California, 11-13 October 1998, pp. 417-426.
- 15- 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.
- 16- Rawls, W. J., and Brakensiek, D.L. 1982. Estimation soil water retention from soil water properties. *Trans. ASAE.*, 108 (IR2):166-171.
- 17- Saxton K.E., Rawls W.J., Romberger J.S., and Papendick R.I. 1986. Estimating generalized soil water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1031-1036.
- 18- 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.
- 19- Sepaskhah A.R., and Bondar H. 2002. Estimating van Genuchten soil water retention curve from some soil physical properties. *Iran Agric. Res.*, 21:105-118.
- 20- Shirazi M.A., Boersma L., and Hart J.W. 1988. A unifying quantitative analysis of soil texture: improvement of precision and extension of scale. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 181-190.
- 21- 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.
- 22- Tomasella, J., and Hodnett, M.G. 1998. Estimating soil water retention characteristic from limited data in Brazilian Amazonia. *Soil Sci.* 163:190-202.
- 23- Tomasella J., Hodnett M. G., and Rossato L. 2000. Pedotransfer function for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:327-338.
- 24- van Genuchten M.Th., Leij F.J., and Yates S.R. 1991. *The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils*. Office of research and development U. S. environmental protection agency ADA, Oklahoma.
- 25- 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.
- 26- Walczak R.T., Moreno F., Sławin'ski C., Fernandez E., and Arrue J.L. 2006. Modeling of soil water retention curve using soil solid phase parameters. *J. Hydrol.* 329: 527-533.
- 27- Wosten 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.
- 28- Wosten 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.

Performance Evaluation of Some Internal Pedotransfer Functions to Prediction Soil Moisture Retention Curve

R. Moazenzadeh^{1*} - B. Ghahraman² - K. Davary³ - A. A. Khoshnood Yazdi⁴

Abstract

Soil moisture retention curve (SMRC) is an important soil property which expresses reaction between matric potential and moisture of soil. Direct measurement of soil matric potential and moisture is labour- and time-consuming. In order to prevail this problem, indirect methods are used for SMRC prediction. Pedotransfer functions (PTFs) are one of these indirect methods. This study was carried out to evaluate three internal pedotransfer functions, first and second models of Ghorbani and Homaei (1381) and Sepaskhah and Bondar (2002) derived in Iran, to predict SMRC in some Iranian soils. Also we tried to develop new different PTFs with better performance using the available information. Therefore 42 soil samples with spatial distribution from northern region of Iran, Amol, Babol and Karaj were selected and divided in Loam (20 samples) and Clay Loam (22 samples) texture classes. In evaluation of all existing PTFs, all 42 soil samples, and in developing new PTFs, 36 soil samples were used. The remaining six samples (three samples in each texture class) were used for validation of the new developed PTFs. In evaluation of the existing PTFs, results showed that the first and second models of Ghorbani and Homaei had alike and appropriate prediction of moisture in whole range of matric potential, whereas Sepaskhah and Bondar did not show an appropriate prediction. By the way, none of these PTFs had noticeable preference in specific texture classes in comparison with the others. New developed PTFs were highly significant ($p < 0.05$). Among the new developed models, improvement was evident in Sepaskhah and Bondar Models.

Key words: Soil Moisture Retention Curve, Soil Pedotransfer Functions

1,2,3- PhD student, Associate prof., and Assistant prof., Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad
(*-Corresponding author, Email: ro_mo509@stu-mail.um.ac.ir)

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