

## ایجاد توابع انتقالی نقطه‌ای برای برآورد منحنی رطوبتی خاک‌های گچی<sup>۱</sup>

احمد فرخیان فیروزی و مهدی همایی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۸۳/۱۰/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۴/۲/۳

### چکیده

توضیح کمی منحنی رطوبتی خاک برای مطالعه حرکت آب در بخش غیراشباع خاک ضروری است. یکی از روش‌های غیر مستقیم برای تخمین ویژگی‌های دیرپافت خاک همچون منحنی رطوبتی از روی ویژگی‌های زودپافت آن، ایجاد توابع انتقالی است. در مناطق خشک و نیمه خشک، گچ از اجزای مهم تشکیل دهنده خاک‌ها است که بر ویژگی‌های هیدرولیکی آن تأثیر می‌گذارد اما به هنگام تعیین بافت خاک، کل آن از خاک حذف می‌شود. هدف از این پژوهش، اشتقاق توابع انتقالی نقطه‌ای خاک‌های گچی به منظور برآورد نگهداشت رطوبت در پتانسیل‌های ماتریک صفر، ۱۰-، ۳۳-، ۱۰۰-، ۳۰۰-، ۵۰۰- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال از ویژگی‌های زودپافت خاک بوده است. به همین منظور، ۳۵ نمونه خاک دارای ۳/۸ تا ۳۲/۷ درصد گچ، انتخاب شد. توزیع اندازه ذرات به روش پوشش با سولفات باریم، مقدار گچ به روش استون، جرم ویژه ظاهری به روش حجمی، و منحنی رطوبتی با استفاده از دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری گردید. به منظور اشتقاق توابع انتقالی نقطه‌ای، متغیرهای زودپافت به دو گروه تقسیم شدند. گروه اول شامل توزیع اندازه ذرات، جرم ویژه ظاهری و مقدار گچ بود. در گروه دوم، متغیرهای جرم ویژه ظاهری، مقدار گچ، میانگین انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک قرار داشتند. برای اشتقاق توابع، از همبستگی خطی چندگانه به روش گام به گام استفاده شد. با استفاده از این دو گروه متغیر، دو نوع تابع انتقالی نقطه‌ای ایجاد گردید. مقایسه نتایج نشان داد که متغیرهای گروه اول، برآوردی بهتر از نگهداشت رطوبت در پتانسیل‌های ماتریک صفر، ۱۰-، ۳۳-، ۱۰۰-، ۳۰۰-، ۵۰۰- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال ارائه می‌دهند. همچنین مشخص شد که مقدار گچ، دومین عامل برآورد کننده رطوبت در پتانسیل‌های ماتریک مورد بررسی برای خاک‌های گچی است.

### واژه‌های کلیدی

توابع انتقالی خاک، توزیع اندازه ذرات، خاک‌های گچی، منحنی رطوبتی

۱- برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ص. پ.

## مقدمه

توابع انتقالی پیوسته، ویژگی‌های مشخصی از خاک را به عنوان تابعی پیوسته<sup>۱</sup> از یک یا چند متغیر اندازه‌گیری شده، برآورد می‌کنند [۲۵]. برای مثال، این توابع ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را با استفاده از معادلات همبستگی به خصوصیات پایه‌ای خاک مانند توزیع اندازه ذرات، جرم ویژه ظاهری، و مقدار ماده آلی مرتبط می‌نمایند [۲۲].

توابع انتقالی برآوردکننده منحنی رطوبتی را براساس روش برآورد نیز می‌توان تقسیم‌بندی و به سه دسته تقسیم کرد:

**توابع انتقالی فیزیکی - تجربی:** در این نوع توابع، منحنی رطوبتی از خواص فیزیکی خاک مشتق می‌شود. بلومن (Blomen, 1980)، آریا و پاریس (Arya & Paris, 1981)، و آریا و دای رولف (Arya & Dierolf, 1999) با به کارگیری توزیع اندازه ذرات، جرم ویژه ظاهری، و جرم ویژه حقیقی خاک، مدل‌هایی جهت برآورد رطوبت ارائه کرده‌اند. این نوع مدل‌ها توزیع اندازه ذرات خاک را به توزیع خلل و فرج و توزیع خلل و فرج را به میزان رطوبت و رطوبت خاک را به پتانسیل ماتریک متناظر با خود تبدیل می‌کنند و به این ترتیب امکان رسم منحنی رطوبتی از داده‌های فیزیکی خاک فراهم می‌شود [۲۶]. مدل آریا و پاریس (۱۹۸۱) یکی از توابع این گروه است که پژوهشگران زیادی همچون هاورکمپ و پارلانژ (Haverkamp & Parlange, 1986) آن را ارزیابی کرده‌اند. نتایج این مطالعات نشان داد که این تابع، منحنی رطوبتی خاک‌های شنی را به‌خوبی برآورد می‌کند اما برای خاک‌های با بافت لومی و رسی

منحنی رطوبتی از ویژگی‌های بنیادی خاک است که تشریح کمی آن برای مدل‌سازی جریان آب و انتقال توأمان آب و املاح در بخش غیراشباع خاک بسیار مهم است. با وجود پیشرفت‌هایی که در اندازه‌گیری‌های مستقیم این ویژگی دیده می‌شود، این روش‌ها همچنان پرهزینه و زمان‌بر هستند. افزون بر این، به دلیل تغییرپذیری‌های زمانی - مکانی ویژگی‌های خاک، هرگونه اندازه‌گیری مستقیم نیاز به نمونه‌برداری‌های قابل توجهی دارد. در سال‌های اخیر، روش‌های غیرمستقیم مورد توجه پژوهشگران علوم خاک و آب قرار گرفته است. اشتقاق توابع انتقالی خاک، یکی از این روش‌هاست که ویژگی‌های دیرپافت خاک را از روی ویژگی‌های زودپافت آن برآورد می‌کند. این ویژگی‌ها برای مدل‌سازی و مدیریت منابع خاک و آب ضروری‌اند. ویژگی‌های هیدرولیکی خاک مانند منحنی رطوبتی از ویژگی‌های دیرپافت خاک محسوب می‌شوند.

توابع انتقالی بر اساس میزان اطلاعات قابل دسترس به دو دسته توابع انتقالی کلاسی<sup>۱</sup> و پیوسته<sup>۲</sup> تقسیم می‌شوند. توابع انتقالی کلاسی ویژگی‌های هیدرولیکی را برای کلاس‌های بافت مختلف خاک برآورد می‌کنند. این توابع میانگینی از ویژگی‌های هیدرولیکی هر کلاس بافتی خاک را به‌صورت جدول ارائه می‌کند. توابع انتقالی کلاسی را توابع "ساده و ارزان برای استفاده" توصیف می‌کنند زیرا فقط کلاس بافت خاک تعیین می‌شود. اما دقت این توابع، در مقایسه با توابع انتقالی پیوسته، کمتر است (Wosten et al., 1995).

دلیل، استفاده از این توابع در مدل‌های شبیه‌ساز دشوار است. توابعی که گوپتا و لارسون (Gupta & Larson, 1979)، رالز و براکن سیک (Rawls & Brakensiek, 1982)، و آهوچا و همکاران (Ahuja et al., 1984) پیشنهاد کرده‌اند، در گروه توابع انتقالی نقطه‌ای قرار می‌گیرند.

توابع انتقالی پارامتریک: در این روش، ابتدا فرض می‌شود که رابطه بین مقدار رطوبت و پتانسیل ماتریک بر اساس یک مدل هیدرولیکی دارای تعدادی معین پارامتر، مانند مدل وان گنوختن (Van Genuchten, 1980)، قابل توصیف است. سپس، با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه یا شبکه عصبی مصنوعی<sup>۴</sup> پارامترهای موردنظر برآورد می‌شود. این توابع، برخلاف دو نوع دیگر، پارامترهای مربوط به رابطه  $\theta-h-k$  را به طور کامل برآورد می‌کنند.

به دلیل اینکه اندازه‌گیری مستقیم منحنی رطوبتی خاک بسیار گران، پرهزینه، و وقت‌گیر است و از طرفی بانک‌های اطلاعاتی زیادی در این مورد در دسترس است، بیشتر پژوهش‌های انجام شده در مورد توابع انتقالی جهت برآورد این ویژگی صورت گرفته است. نخستین پژوهش در زمینه توابع انتقالی را در سال ۱۹۰۷ بریگس و مک لان (Briggs & MacLan, 1917) انجام دادند که سپس بریگس و شانتز (Briggs & Shantz, 1912) آن را اصلاح کردند. این پژوهشگران ضریب پژمردگی را به صورت تابعی از اندازه ذرات تعریف کردند:

دقت کافی ندارد [۲۶].

توابع انتقالی نقطه‌ای: این توابع نخستین شکل توابع انتقالی هستند که مقدار رطوبت را در پتانسیل‌های معین برآورد می‌کنند. شکل عمومی این توابع به صورت رابطه شماره ۱ ارائه شده است:

$$\theta_h = a \text{ sand} + b \text{ silt} + c \text{ clay} + d \text{ organic matter} + e \text{ dry bulk density} + \dots + x \quad (1)$$

که در آن:

$\theta_h$  مقدار رطوبت در پتانسیل ماتریک  $h$  و  $a$ ،  $b$ ،  $c$  و  $e$  ضرایب همبستگی معادله‌اند. متغیر  $x$  می‌تواند هر یک از ویژگی‌های زودپافت خاک باشد.

مزیت عمده این روش آن است که برآوردی کاملاً صحیح برای نقاطی مشخص از منحنی رطوبتی خاک ارائه می‌دهد. همچنین، با این توابع می‌توان مهمترین ویژگی خاک را مشخص کرد که در برآورد مقدار رطوبت در مکش معین نقش دارد. برای مثال، در برآورد مقدار رطوبت در پتانسیل ماتریک ۱۵۰۰- کیلوپاسکال، سطح ویژه و در نتیجه مقدار رس مهمترین ویژگی است در حالی که مقدار رطوبت در پتانسیل ماتریک ۳۳- کیلوپاسکال به ساختمان خاک و در نتیجه به جرم ویژه ظاهری وابسته است. این توابع به طور عمده مقدار رطوبت را در ظرفیت زراعی (FC)<sup>۱</sup> و نقطه پژمردگی دائم (PWP)<sup>۲</sup> برای تعیین مقدار آب قابل استفاده گیاه (AWC)<sup>۳</sup> مورد نیاز است، برآورد می‌کند. مهم‌ترین ایراد این توابع آن است که برای تعیین منحنی رطوبتی خاک به تعداد زیادی معادله همبستگی نیاز است. به همین

1- Field Capacity

2- Permanent Wilting Point

3- Available Water Capacity

4- Artificial Neural Network

بانک‌های اطلاعاتی، تحقیقاتی جامع صورت گرفت. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعه‌ای اشاره کرد که هال و همکاران (Hall et al., 1977) روی خاک‌های انگلیس انجام دادند. در این مطالعات این محققان، ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم، آب قابل استفاده، و ظرفیت تهویه‌ای خاک به صورت تابعی از کلاس بافتی خاک بیان شده است.

کلاس‌ها و هورنبرگر (Clapp & Horenberger 1978) متوسط پارامترهای تابع منحنی رطوبتی و هدایت هیدرولیکی اشباع را برای کلاس‌های مختلف بافت خاک به دست آوردند. هم‌اکنون بانک‌های اطلاعاتی بزرگی همچون *WISE* [۷]، *UNSODA*، *HYPRES* و *ROSETTA* [۱۹] ایجاد شده‌اند.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، در قسمت شرق اصفهان و شامل اراضی کوهپایه و سجزی است. این منطقه، در موقعیت  $52^{\circ},00'$  تا  $53^{\circ},00'$  طول شرقی و  $32^{\circ},15'$  تا  $33^{\circ},00'$  عرض شمالی قرار گرفته است. به طور کلی، خاک‌های گچی منطقه شرق اصفهان (کوهپایه - سجزی) در زیرگروه‌های بزرگ *Typic Calcigypsis*، *Typic Haplogypsis* و *Gypsi HaploSolid* قرار می‌گیرند. از خاک‌های *Typic Calcigypsis* و *Typic Haplogypsis* منطقه مورد مطالعه، ۶۰ نمونه به طور تصادفی برداشت شد. پس از انتقال آنها به آزمایشگاه، با توجه به تغییرات مقدار گچ ( $3/8$  تا  $32/7$  درصد)، ۳۵ نمونه خاک از بین آنها انتخاب گردید. مقدار گچ نمونه خاک‌ها به روش استون، توزیع

$$PWP = \frac{0.01 \text{ Sand} \pm 0.12 \text{ Silt} + 0.57 \text{ Clay}}{1 \pm 0.025} \quad (2)$$

در مطالعه این محققان، اندازه قطر ذرات شن، سیلت، و رس به ترتیب ۵۰ تا ۲۰۰۰ میکرومتر، ۵ تا ۵۰ میکرومتر، و کمتر از ۵ میکرومتر در نظر گرفته شد. پس از تعریف ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم توسط ویمیر و هندریکسون (Veihmeyer & Hendrikson, 1927)، طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰ تلاش شد تا رابطه بین توزیع اندازه ذرات، جرم ویژه ظاهری، و مقدار ماده آلی با مقدار رطوبت در ظرفیت زراعی ( $-33kPa$ )، نقطه پژمردگی دائم (*PWP*) و مقدار آب قابل استفاده (*AWC*) به دست آید. در تحقیقات استریک (Strik, 1957)، مقدار رطوبت در نقطه پژمردگی دائم برای خاک‌های دارای کمتر از ۶۰ درصد رس به صورت رابطه شماره ۳ برآورد شد:

$$PWP = \frac{2}{5} \text{ Clay} \quad (3)$$

طی دهه ۶۰ میلادی مقالاتی متعدد برای تخمین رطوبت قابل استفاده، ظرفیت زراعی، و نقطه پژمردگی دائم ارائه شد (سالتر و همکاران (Salter et al., 1966)، سالتر و ویلیامز (Salter & Williams 1965a, 1965b, 1969). در این پژوهش‌ها، رابطه بین کلاس‌های بافتی خاک و مقدار آب قابل استفاده بیان شده است که امروزه تحت عنوان توابع کلاسی شناخته شده‌اند. همچنین با استفاده از توزیع اندازه ذرات خاک، آب قابل استفاده برآورد شد که در واقع همان توابع انتقالی پیوسته است. در دهه هفتاد میلادی با استفاده از

$$a = 0.01 \sum_{i=1}^n f_i \ln M_i \quad (6)$$

$$b^2 = 0.01 \sum_{i=1}^n f_i \ln^2 M_i - a^2 \quad (7)$$

در روابط فوق، ضریب ۰/۰۱ برای تبدیل درصد ذرات به جزء آنها،  $n$  تعداد گروه‌های ذرات خاک،  $f_i$  درصد جرم ذراتی است که قطر آنها کمتر از  $M_i$  است.  $M_i$  نیز میانگین حسابی دو محدوده متوالی اندازه ذرات است.

میانگین، حداقل، و حداکثر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

اندازه ذرات به روش پوشش با سولفات باریم [۱۲]، جرم ویژه ظاهری به روش حجمی، و منحنی رطوبتی با استفاده از دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد. گچ موجود در نمونه‌های خاک با شستشو با آب مقطر حذف شد. میانگین هندسی قطر ذرات ( $d_g$ )<sup>۱</sup> و انحراف معیار هندسی قطر ذرات ( $\sigma_g$ )<sup>۲</sup> با استفاده از روابط شیرازی و بورسما (Shirazi & Boeisma, 1984) محاسبه شد:

$$d_g = \exp(a) \quad (4)$$

$$\sigma_g = \exp(b) \quad (5)$$

که  $a$  و  $b$  از روابط زیر به دست می‌آیند:

جدول شماره ۱- میانگین، دامنه تغییرات و انحراف معیار ویژگی‌های اندازه‌گیری شده نمونه‌های خاک

متغیر	تعداد	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
جرم ویژه ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	۳۵	۱/۲۹۰۶	۰/۹۰	۱/۶۵	۰/۱۸۳۰
شن (درصد)	۳۵	۵۳/۳۷	۵/۰۰	۷۷/۰۰	۱۸/۱۶
سیلت (درصد)	۳۵	۲۴/۴۳	۸/۰۰	۴۴/۰۰	۱۰/۰۶
رس (درصد)	۳۵	۲۲/۲۰	۸/۰۰	۵۶/۰۰	۱۰/۱۴
گچ (درصد)	۳۵	۱۲/۰۰	۳/۸۰	۳۲/۷۰	۸/۰۴
میانگین هندسی قطر ذرات (میلی متر)	۳۵	۰/۱۲۵۴	۰/۰۰۵۰	۰/۲۹۲۹	۰/۰۸۵۴
انحراف معیار هندسی قطر ذرات (-)	۳۵	۱۴/۵۴۸	۷/۲۵۵	۱۹/۷۵۹	۲/۶۱۱

## نتایج و بحث

همبستگی‌های ساده بین متغیرهای بیان شده نشان می‌دهد که هر یک از متغیرهای وابسته با بیش از یک متغیر مستقل، همبستگی معنی‌داری دارد. بنابراین، استفاده از یک مدل چندمتغیره که برآوردی دقیق‌تر ارائه می‌کند ضرورت یافت. این عمل، از طریق همبستگی خطی چندگانه به روش گام به گام صورت گرفت و توابعی حاصل آمد که چگونگی اشتقاق وانواع آنها در زیر بررسی می‌شود.

همبستگی‌های خطی بین مقادیر رطوبت خاک در پتانسیل‌های ماتریک صفر، -۱۰، -۳۳، -۱۰۰، -۳۰۰، -۵۰۰ و -۱۵۰۰ کیلوپاسکال با ویژگی‌های جرم ویژه ظاهری، فراوانی نسبی ذرات، درصد گچ، میانگین هندسی و انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک به دست آمد. ضریب همبستگی بین این متغیرها در جدول شماره ۲ ارائه شده است. بررسی

1- Geometric Mean of Particle Diameter

2- Geometric Standard Deviation of Particle Diameter

جدول شماره ۲- ضرایب همبستگی ساده بین متغیرهای مستقل و مقادیر رطوبت در پتانسیل‌های مختلف

داده	$\theta$	$\theta_{10 \text{ Kpa}}$	$\theta_{33 \text{ Kpa}}$	$\theta_{100 \text{ Kpa}}$	$\theta_{300 \text{ Kpa}}$	$\theta_{500 \text{ Kpa}}$	$\theta_{1500 \text{ Kpa}}$	AWC
B.d		۰/۵۲۳**	۰/۴۹۲**	۰/۴۵۰**	۰/۴۲۷**	۰/۴۰۵**	۰/۳۶۶*	۰/۴۲۰*
Sand		-۰/۸۳۰**	-۰/۷۶۴**	۰/۶۸۳**	-۰/۴۶۵**	-۰/۵۸۶**	-۰/۵۵۳**	۰/۶۶۳**
Silt		۰/۸۰۲**	۰/۶۹۲**	۰/۶۱۷**	۰/۵۲۴**	۰/۴۲۸*	۰/۳۸۴*	۰/۶۹۵*
Clay		۰/۶۸۹**	۰/۶۸۰**	۰/۶۰۹**	۰/۶۳۶**	۰/۶۲۴**	۰/۶۱۱**	۰/۴۹۵**
ln (Gypsum)		-۰/۲۰۸ns	-۰/۱۹۴ns	۰/۱۱۱ns	۰/۰۸۲ns	۰/۱۹۰ns	۰/۱۵۳ns	-۰/۲۶۰ns
$d_g$		-۰/۷۵۲**	-۰/۶۷۰**	-۰/۵۷۵**	-۰/۵۱۲**	-۰/۴۳۷**	-۰/۳۹۶*	-۰/۶۵۴**
$\sigma_g$		۰/۰۵۰ns	۰/۰۳۳ns	-۰/۳۹ns	-۰/۰۶۴ns	-۰/۰۹۳ns	-۰/۱۲۲ns	-۰/۱۴۷ns

ns، \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

فراوانی نسبی هر یک از ذرات رس، شن، و لای به تنهایی همبستگی خطی قوی با هم نشان داد. به همین دلیل به هنگام اشتقاق توابع از نسبت لای به رس به جای استفاده از قدرمطلق یکایک آنها استفاده شد. پس از نرمال کردن توزیع داده‌ها و تصحیح همراستایی چندگانه بین متغیرهای مستقل، با استفاده از همبستگی خطی چندگانه به روش گام به گام، متغیرها گزینش و وارد مدل شدند. به منظور اشتقاق توابع انتقالی، متغیرهای مستقل به دو گروه تقسیم شدند. گروه اول شامل فراوانی نسبی ذرات خاک (شن و نسبت لای به رس)، جرم ویژه ظاهری، و درصد گچ بود. جرم ویژه ظاهری، درصد گچ، میانگین هندسی، و انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک در گروه دوم قرار گرفتند. بر اساس نوع متغیر مستقل (گروه اول یا دوم) دو نوع تابع انتقالی نقطه‌ای به دست آمد که به طور جداگانه بررسی می‌شوند.

نخست، نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. زیرا آزمون‌های فرض بر پایه نرمال بودن توزیع داده‌ها بنیان شده است و غیرنرمال بودن داده‌ها این آزمون‌ها را غیرمعتبر می‌کند. آزمون نرمال بودن<sup>۱</sup> با استفاده از نرم‌افزار (MiniTab Ryan & Joiner, 1994) برای کلی Z داده‌ها انجام شد. این آزمون، توزیع داده‌های مربوط به مقدار گچ را غیرنرمال نشان داد. بنابراین، تبدیل‌های زیر برای نرمال شدن توزیع این داده‌ها صورت گرفت:

$$Gypsum^* = \ln(Gypsum) \quad (8)$$

که در آن  $Gypsum^*$  بیانگر کمیت تبدیل شده  $Gypsum$  است. در تجزیه همبستگی، شکل نرمال این متغیر به کار گرفته شد.

در همبستگی خطی چندگانه، اگر بین متغیرهای مستقل رابطه خطی قوی مشاهده شود همراستایی چندگانه<sup>۲</sup> به وجود می‌آید. داده‌های مربوط به

## - توابع انتقالی نقطه‌ای نوع اول

این نوع توابع با استفاده از فراوانی نسبی ذرات، درصد گچ و جرم ویژه ظاهری، مقادیر رطوبت خاک در پتانسیل ماتریک معینی را برآورد می‌کنند. توابع ایجاد شده مربوط به این گروه در جدول شماره ۳ ارائه شده‌اند. این جدول نشان می‌دهد که فراوانی نسبی شن و درصد گچ به عنوان مهم‌ترین متغیرها به ترتیب اهمیت در کلیه توابع وارد شده‌اند. در مورد تابع برآورد کننده مقدار رطوبت قابل استفاده، تنها متغیر وارد شده به مدل، درصد شن است. کلیه این توابع در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. ضریب تبیین تعدیل شده ( $R^2_{adj}$ ) در جدول شماره ۳ بیان‌کننده میزان تغییرات متغیر وابسته به وسیله متغیرهای مستقل است.

در پتانسیل‌های ماتریک کم (۱۰- و ۳۳- کیلوپاسکال)، جرم ویژه ظاهری برآوردی مناسب از مقدار رطوبت خاک داشته است. زیرا نگهداشت رطوبت در مکش‌های کم تحت تأثیر خلل و فرج درشت خاک یا به عبارتی ساختمان آن است. بنابراین، جرم ویژه ظاهری که نمایانگر ساختمان خاک است وارد مدل شده است. در پتانسیل‌های ماتریک زیاد، مانند ۵۰۰- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال، درصد شن خاک با ضریب منفی وارد مدل شده است زیرا با افزایش مقدار شن، سطح ویژه خاک برای نگهداشت رطوبت کاهش می‌یابد. شکل شماره ۱ همبستگی بین رطوبت‌های اندازه‌گیری و برآورد شده با استفاده از توابع انتقالی نوع اول را نشان می‌دهد.

## - توابع انتقالی نقطه‌ای نوع دوم

این گروه از توابع با استفاده از متغیرهای درصد

گچ خاک، جرم ویژه ظاهری، و میانگین هندسی و انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک، نقاطی معین از منحنی رطوبتی شامل پتانسیل‌های ماتریک صفر، ۱۰-، ۳۳-، ۱۰۰-، ۳۰۰-، ۵۰۰- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال را برآورد می‌کنند. در این توابع، به جای "فراوانی نسبی ذرات" از میانگین هندسی و انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک به عنوان شاخص‌های کمی بیان‌کننده توزیع تخلخل خاک استفاده شده است. توابع نتیجه شده در جدول شماره ۴ ارائه شده‌اند. بررسی این توابع نشان می‌دهد که در اغلب آنها، مقدار گچ و میانگین هندسی قطر ذرات مهم‌ترین متغیرهای برآورد کننده رطوبت خاک هستند. شکل شماره ۲ همبستگی بین رطوبت‌های اندازه‌گیری و برآورد شده با استفاده از توابع انتقالی نوع دوم را نشان می‌دهد.

مقایسه ضریب تبیین تعدیل شده توابع انتقالی نقطه‌ای نوع اول و دوم نشان می‌دهد که  $R^2_{adj}$  در اغلب توابع نوع اول بیشتر از توابع نوع دوم است. این موضوع نشان می‌دهد که در خاک‌های گچی مورد مطالعه، با استفاده از فراوانی نسبی ذرات خاک می‌توان برآوردی بهتر از مقدار رطوبت به دست آورد. زیرا در خاک‌های گچی مورد مطالعه، ذرات گچ بیشتر در اندازه شن ظاهر شده‌اند، در نتیجه میزان یکنواختی ذرات خاک افزایش یافته است. بنابراین، اثر  $d_g$  و به ویژه  $\sigma_g$  که بیان‌کننده درجه یکنواختی ذرات خاک هستند، کمتر شده است.

کلیه توابع انتقالی (نوع اول و دوم) به دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهند که مقدار گچ از مهم‌ترین عوامل برآورد کننده رطوبت در پتانسیل‌های ماتریک صفر، ۳۳-، ۱۰۰-، ۳۰۰-، ۵۰۰- و ۱۵۰۰-

کیلوپاسکال در خاک‌های گچی است. به منظور بررسی اثر گچ بر نگهداشت رطوبت در خاک، آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که نگهداشت رطوبت در کلیه پتانسیل‌های ماتریک اندازه‌گیری شده (۱۰، -۳۳، -۱۰۰، -۳۰۰، -۵۰۰ و -۱۵۰۰ کیلو پاسکال) پیش از حذف گچ و پس از آن تفاوتی معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) با یکدیگر ندارند. با توجه به اینکه کم‌ترین مقدار گچ در نمونه خاک‌های مورد مطالعه ۳/۸ درصد بوده است، توصیه می‌شود که به هنگام اشتقاق توابع انتقالی برای خاک‌های گچی با بیش از این مقدار، درصد گچ متغیری مستقل در نظر گرفته شود.

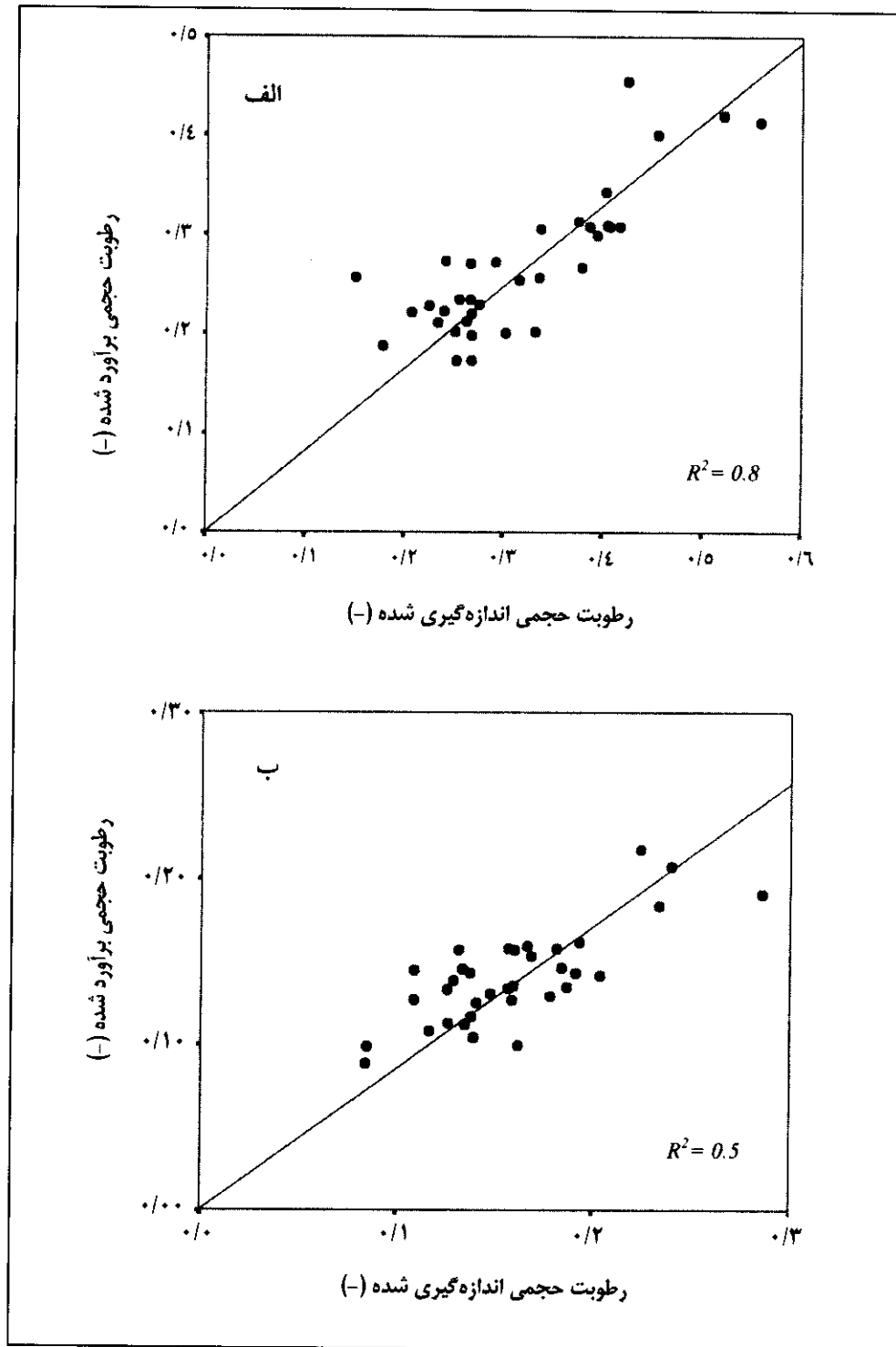
جدول شماره ۳- توابع انتقالی نقطه‌ای اشتقاق یافته نوع اول

شماره تابع	تابع	$R^2_{adj}$
۱	$\theta_s = 0.325 - 3/3 \times 10^{-7} Sand + 3/450 \times 10^{-7} * Gypsum + 3/748 \times 10^{-7} \left( \frac{Silt}{Clay} \right) + 9/116 \times 10^{-7} B.d$	۰/۷۳
۲	$\theta_{10Kpa} = 0.290 - 3/81 \times 10^{-7} Sand + 0/149 B.d + 3/409 \times 10^{-7} \left( \frac{Silt}{Clay} \right)$	۰/۷۷
۳	$\theta_{33kPa} = 0.214 - 3/22 \times 10^{-7} Sand + 3/148 \times 10^{-7} Gypsum* + 0/103 B.d$	۰/۶۹
۴	$\theta_{100Kpa} = 0.222 - 2/43 \times 10^{-7} Sand + 2/877 \times 10^{-7} Gypsum*$	۰/۵۴
۵	$\theta_{300Kpa} = 0.214 - 2/18 \times 10^{-7} Sand + 3/245 \times 10^{-7} Gypsum*$	۰/۵۷
۶	$\theta_{500Kpa} = 0/181 - 1/98 \times 10^{-7} Sand + 3/681 \times 10^{-7} Gypsum*$	۰/۵۶
۷	$\theta_{1500Kpa} = 0/156 - 1/71 \times 10^{-7} Sand + 3/039 \times 10^{-7} Gypsum*$	۰/۴۷
۸	$AWC = 0/210 - 1/83 \times 10^{-7} Sand$	۰/۴۲

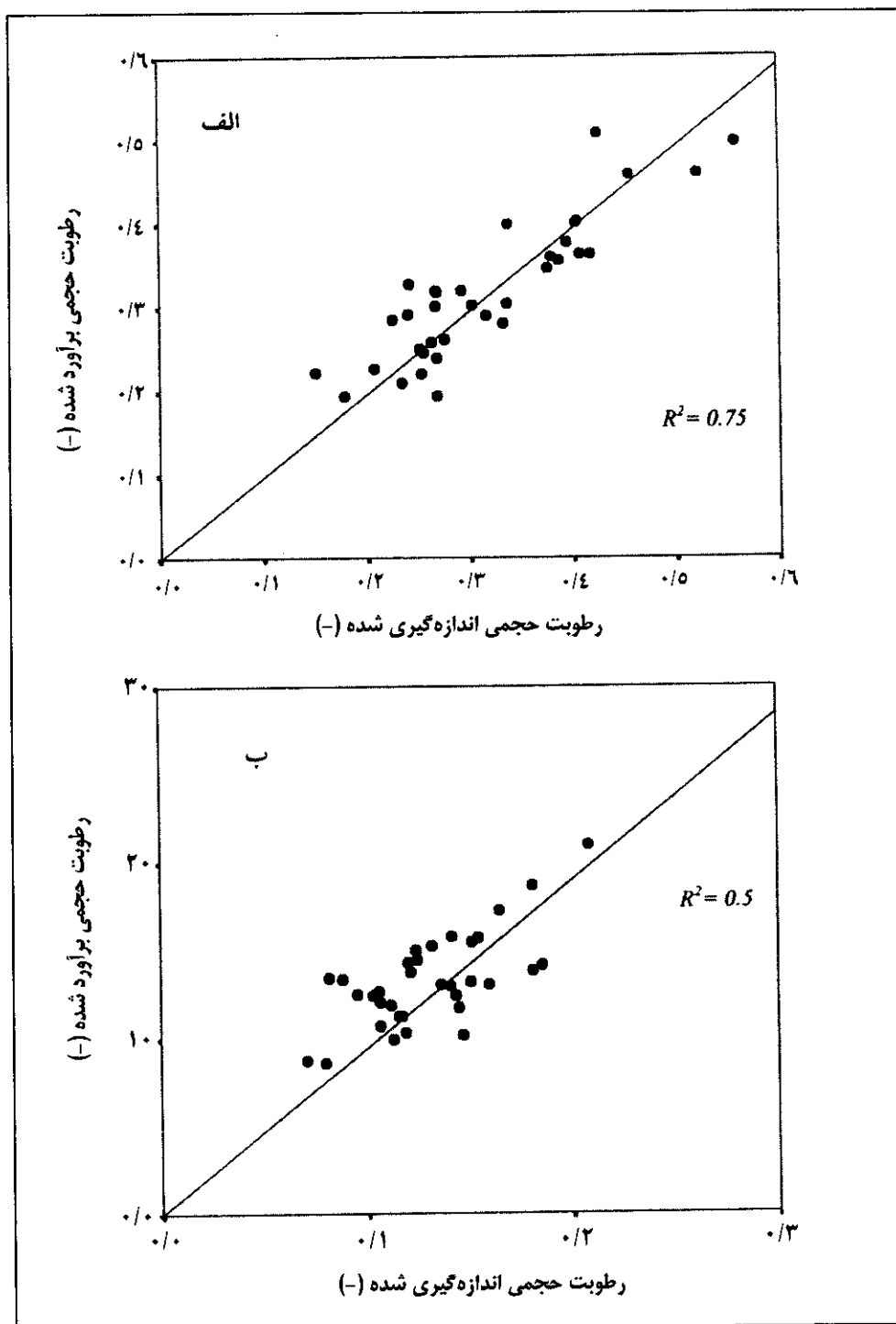
جدول شماره ۴- توابع انتقالی نقطه‌ای اشتقاق یافته نوع دوم

شماره تابع	تابع	$R^2_{adj}$
۱	$\theta_s = 0.367 - 0/822 dg + 4/338 \times 10^{-7} Gypsum* + 0/101 B.d - 7/48 \times 10^{-7} \sigma_g$	۰/۶۸
۲	$\theta_{10Kpa} = 0/271 - 1/09 dg + 0/160 B.d + 3/759 \times 10^{-7} Gypsum* - 7/97 \times 10^{-7} \sigma_g$	۰/۷۶
۳	$\theta_{33Kpa} = 0/910 \times 10^{-7} - 0/776 dg + 0/139 B.d + 4/098 Gypsum*$	۰/۶۴
۴	$\theta_{100Kpa} = 0/872 \times 10^{-7} + 0/447 dg + 3/317 \times 10^{-7} Gypsum* + 9/325 \times 10^{-7} B.d$	۰/۵۲
۵	$\theta_{300Kpa} = 0/574 \times 10^{-7} + 0/392 dg + 3/562 \times 10^{-7} Gypsum* + 8/023 \times 10^{-7} B.d$	۰/۵۰
۶	$\theta_{500Kpa} = 2/078 \times 10^{-7} + 0/352 dg + 3/938 \times 10^{-7} Gypsum* + 7/197 \times 10^{-7} B.d$	۰/۵۰
۷	$\theta_{1500Kpa} = 0/184 - 0/380 dg + 3/083 \times 10^{-7} Gypsum* - 4/97 \times 10^{-7} \sigma_g$	۰/۳۸
۸	$AWC = 0/411 \times 10^{-7} - 0/346 \times 10^{-7} dg + 7/927 \times 10^{-7} B.d$	۰/۴۸





شکل شماره ۱- همبستگی رطوبت‌های اندازه‌گیری و برآورد شده با استفاده از توابع انتقالی نوع اول: (الف) برای پتانسیل ماتریک ۱۰- کیلوپاسکال، (ب) ۱۵۰۰- کیلوپاسکال



شکل شماره ۲- همبستگی رطوبت‌های اندازه‌گیری و برآورد شده با استفاده از توابع انتقالی نوع دوم: (الف) برای پتانسیل ماتریک ۱۰- کیلوپاسکال، (ب) ۱۵۰۰- کیلوپاسکال

## مراجع

- 1- 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.
- 2- Arya, L. M., and Dierolf. T. S. 1999. Predication soil moisture characteristics from particle size distribution. An improved method to calculate pore radii from particle radii. In: Van Genuchten M. Th., Leij, F. J. and Lund L. J. (Eds). *Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*, Riverside, California, 11-13 Oct. 1989. 115-124.
- 3- Arya, L. M., and Paris J. F. 1981. A physicoempirical model to predict soil moisture characteristics from particle-size distribution and bulk density data. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 45, 1023-1030.
- 4- Bloemen, G. W. 1980. Calculation of hydraulic conductivities of soils from texture and organic matter content. *Z. Pflanzernernaehr Bodenkd.*, 143(5), 581-615.
- 5- Briggs, L. J., and McLane J. W. 1907. The moisture equivalent of soils. *USDA Bureau of Soils Bulletin* 45, 1-23.
- 6- Briggs, L. J., and Shantz H. L. 1912. The wilting coefficient and its indirect measurement. *Botanical Gazette* 53, 20- 3.
- 7- Brooks, R. H. and Corey A. T. 1964. *Hydraulic Properties of Porous Media*. Hdrology Paper No. 3 Colorado State Univ. Fort Collins, CO.
- 8- Clapp, R. B., and Horenberger G. M. 1978. Empirical equation for some soil hydraulic properties. *Water Resour. Res.* 14, 601-604.
- 9- Gupta, S. C., and Larson W. E. 1979. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter content, and bulk density. *Water Resour. Res.* 15, 1633-1635.
- 10- Hall, D. G. M., Reeve M. J., Thamasson, A. J. and Wright, V. F. 1977. *Water retention, porosity and density of field soils*. *Soils Surve. Tech. Monogr.* 9, 74 Harpewnden Rothamsted Experimental Station. UK.
- 11- Haverkamp, R., and Parlange J. Y. 1986. Predicting the water retention curve from particle size distribution: 1. Sandy soils without organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 142, 325- 339.
- 12- Hesse, P. R. 1979. Particle size distribution in gypsic soils. *Plant and Soil.* 44, 241-247.

- 13-Rawls, W. J., and Brakensiek, D. L. 1982. Estimating soil water retention from soil water properties. *Trans. ASAE*. 108 (IR2), 166-171.
- 14-Ryan, B. F., and Joiner, B. L. 1994. *Minitab Handbook*. Durbuy press. 483 pp.
- 15-Salter, P. J., and Williams, J. B. 1965a. The influence of texture on the moisture characteristics of soils: I. A critical comparison for determining the available water capacity and moisture characteristics curve of a soil. *J. of Soil Sci.* 16, 1-15.
- 16-Salter, P. J., and Williams, J. B. 1965b. The influence of texture on the moisture characteristics of soils: II. Available water capacity and moisture release characteristics. *J. of Soil Sci.* 16, 310– 317.
- 17-Salter, P. J., and Williams, J. B. 1969. The influence of texture on the moisture characteristics of soils: V. Relationships between particle-size composition and moisture contents at the upper and lower limits of available water. *J. of Soil Sci.* 20, 126– 131.
- 18-Salter, P. J., Berry, G. and Williams, J. B. 1966. The influence of texture on the moisture characteristics of soils: III. Quantitative relationships between particle size, composition and available water capacity. *J. of Soil Sci.* 17, 93– 98.
- 19-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
- 20-Shirazi, M. A., and Boersma, L. 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 142-147.
- 21-Strik, G. B. 1957. Physical properties of soil of the lower Burdekin valley, North Queensland. CSIRO Division of Soil Divisional Report 1/57. CSIRO. Australia.
- 22-Van Alphen, B. J., Booltink, H. W. G. and Bouma, J. 2001. Combining pedotransfer functions with physical measurements to improve the estimation of soil hydraulic properties. *Geoderma.* 103, 133-147.
- 23-Van Genuchten, M. Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 892- 898.
- 24-Veihmeyer, F. J., Hendrikson, A. H. 1927. Soil moisture condition in relation to cultivation and plant growth. *Plant Physio.* 2, 71-82.

- 
- 25- Wosten, J. H. M., Finke, P. A. and Janes, M. J. W. 1995. Comparison of class and continuous pedotransfer functions to generate soil hydraulic characteristics. *Geoderma*. 66, 227-237.
- 26- Wosten, J. H. M., Pachepsky, Ya. A. and Rawls, W. J. 2001. Pedotransfer functions: Bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *J. Hydrol.* 251, 123-150.

## **Predicting Water Retention Curve of Gypsiferous Soils Using the Derived Point Pedotransfer Functions**

**A. Farrokhian Firuzi and M. Homaei**

The parametric description of the soil water retention curve is crucial to study water movement and solute transport in the unsaturated soil. Despite the progresses made on direct measurement of the hydraulic properties, the majority of these techniques remained relatively time consuming and costly. Further, due to inherent temporal and spatial variability of these hydraulic characteristics in the field conditions, large number of samples is required to properly characterize area of land. An alternative was then, the use of so-called Pedotransfer Functions (PTFs) that enabled to estimate difficult soil characteristics from easily obtainable soil properties. In arid and semi-arid areas, gypsum is a major solid component of the soil that influences the soil hydraulic properties. The objective of this study was to derive some Pedotransfer Functions to predict the water retention curve of some Gypsiferous soils. Consequently, 35 soil samples with gypsum content ranging from 3.8 to 32.7 percent were collected. The gypsum content was measured by Acetone method, the bulk density by volumetric method, the particle size distribution by covering the particles with Barium Sulfate. The soil water retention curve was obtained, using pressure plates apparatus. The easily obtainable variables were grouped into two groups (i) particle size distribution, bulk density and gypsum content, (ii) bulk density, gypsum content, geometric mean and geometric standard deviation of particle diameter. The stepwise linear regression method was used to derive the PTFs. Two types of point PTF functions were derived, using these variables. Comparison of the results indicated that the first group of variables had better prediction of water retention than the second group. The gypsum content appeared to be the second dominant parameter to predict the water retention at 0, -33, -100, -300, -500 and -1500 kPa.

**Key words:** Gypsiferous Soils, Particle Size Distribution, Pedotransfer Functions, Retention Curve