اشتقاق توابع انتقالی در خاک‌های آهکی شمال گرمسار

الهام مطلبی

استادیار، دانشکده کشاورزی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران، e27_motallebi@yahoo.com

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۶ *تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۶*

To derive PTFs in calcareous soils north of Garmsar

Elham Moltallebi

Assistant Professor, Agriculture college, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran, e27_motallebi@yahoo.com

Received: March 2017 *Accepted: April 2017*

چکیده

معمولاً حرکت آب در خاک و در منطقه ریشه گیاه در شرایطی رخ می‌دهد که خاک حالت غیراشباع دارد. از جمله خواص این بخش می‌توان به منحنی رطوبتی خاک اشاره کرد که برای کمی کردن آن از روش‌های مستقیم و غیرمستقیم استفاده می‌شود. اندازه‌گیری مستقیم این ویژگی وقت‌گیر و هزینه بر می‌باشد، بنابراین روش‌های غیرمستقیم مانند استفاده از توابع انتقالی خاک یا PTFs مورد توجه قرارگرفته است. در این پژوهش تلاش شده است با در نظر گرفتن ذرات آهک به عنوان جزء مستقل در خاک منحنی رطوبتی خاک با استفاده از توابع انتقالی تعیین گردد. به همین منظور، ۵۰ نمونه خاک از خاک‌های آهکی شهرستان گرمسار به صورت تصادفی انتخاب گردید. فراوانی نسبی ذرات خاک، جرم ویژه ظاهری و درصد آهک به عنوان ویژگی‌های زودیافت و منحنی رطوبتی در مکش‌های ۰، ۳۳، ۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال به عنوان ویژگی‌های دیریافت مدنظر قرارگرفتند. نتایج حاصله نشان داد که مقدار آهک به عنوان مهم‌ترین پارامتر مستقل در توابع انتقالی خاکهای آهکی بیشترین تأثیر را در مکش‌های بیش از ۳۰۰ کیلوپاسکال ونیز بر مقدار رطوبت باقی مانده خاک می‌گذارد.

کلمات کلیدی: توابع انتقالی خاک، خاک‌های آهکی گرمسار، منحنی رطوبتی خاک.

Abstract

Usually water movement in the soil and in the plant root zone occurs when the soil is unsaturated mode. Among the properties of the soil water retention curve can be noted that the direct and indirect techniques used for quantifying it. Direct measurements of these properties is time-consuming and costly, so indirect methods such as the use of Pedo Transfer functions or PTFs soil is considered. The objective of this study was determined effect of lime in water retention curve with the use of PTFs. Consequently, chosen 50 limy soil samples randomly from Garmsar. Particle size distribution, bulk density and calcium carbonate were used to establish PTFs at tensions of 0, 33, 50, 100, 300, 500 and 1500 kPa. The results indicated that the lime content appeared to be the most important dominant parameters to predict the water retention curve in PTFs. It also indicated that soil with lime increases water retention at matric potentials of 300, 500, and 1500 kPa.

Keywords: Garmsar Calcareous soils, Pedo-Transfer functions, Soil retention curve

فصلنامه زیست شناسی سلولی و مولکولی گیاهی
سال ۱۳۹۵، دوره ۱۱، شماره ۱ و ۲، صص ۱۲-۵

مقدمه و کلیات

استفاده مطلوب و پایدار از منابع تولید (آب و خاک) در شرایطی امکان پذیر می‌شود که اطلاعات ملی از ویژگیهای آن‌ها بدست آید. ویژگیهای خاک‌ها از مواد مادری و نیز انباشته‌ها و تغییرات ثانویه آنها ناشی می‌شود. در مناطق خشک و نیمه خشک، کمبود آب و تبخیر زیاد همواره باعث انباشته شدن مواد در خاک می‌شود. آهک یکی از عمده‌ترین مواد انباشته شده در خاکهای این نواحی از جمله ایران است که به منظور تعیین اثرات آن در خاک، لازم است برخی ویژگیهای این خاکها مورد بررسی قرارگیرد. از جمله این ویژگی‌ها، خواص هیدرولیکی و پارامترهای مربوط به آن است که رطوبت و هدایت هیدرولیکی خاک در پتانسیل‌های ماتریک مختلف را بیان کرده و ویژگی‌های نظیر توزیع اندازه منافذ، تخلخل کل، زهکشی، تهویه و نفوذ سطحی را نشان می‌دهند. برای تعیین این ویژگی‌ها از روش‌های مستقیم و غیرمستقیم استفاده می‌گردد. اندازه‌گیری مستقیم آنها هم در مزرعه و هم در آزمایشگاه مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی بوده و به دلیل تغییرپذیری زمانی و مکانی، نمونه‌برداری‌های فراوانی را می‌طلبد. بنابراین روش‌های غیرمستقیم که ارزان، سریع و قابل دسترس می‌باشند، در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. یکی از روش‌های غیرمستقیم، استفاده از نمون‌های رگرسیونی موسوم به توابع انتقالی خاک یا PTFs می‌باشند. توابع انتقالی، توابعی هستند که تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را با استفاده از خصوصیات مختلف پایه‌ای و اطلاعات موجود خاک ممکن می‌سازند. در حالت کلی، این توابع برآورد کننده ویژگی‌های دیریافت خاک از ویژگی‌های زودیافت آن می‌باشند که این برآورد توسط معادلات رگرسیونی صورت می‌گیرد. توابع انتقالی خاک بر اساس اینکه چگونه پی ریزی شده‌اند، تقسیم بندی می‌شوند. توابعی که بر اساس کلاس بافت خاک گروه بندی شده‌اند توابع انتقالی کلاسی و توابعی که با استفاده از فراوانی نسبی ذرات خاک ویا سایر اطلاعات پایه‌ای مانند جرم ویژه‌ی ظاهری پایه گذاری شده‌اند، توابع انتقالی پیوسته نام دارند (Wosten et al, 2001 و Wosten, 1997). استفاده از این توابع امروزه کاربرد زیادی دارد بنابراین محققین تلاش می‌نمایند توابعی با دقت بالاتر و قابلیت کاربرد بیشتر اشتقاق نمایند. هر چند که ایجاد PTFs در مقایسه با اندازه گیری مستقیم بسیار ساده است اما انتخاب متغیرهای ورودی و ترجیح آنها نسبت به یکدیگر از چالشهای اساسی در توسعه توابع انتقالی است (Wosten et al., 2001). پیش بینی صحیح این توابع وابسته به مجموعه داده‌هایی است که برای اشتقاق آنها استفاده می‌شود (Schaap and Leij, 1998b). تا کنون پارامترهای متعددی برای تخمین منحنی رطوبتی از PTF ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند که عبارتند از: بافت خاک، ماده آلی، جرم مخصوص ظاهری خاک، شکل و اندازه خاک دانه‌ها و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک. واضح است که یک PTF ایجاد شده مناسب برای تمامی خاک‌ها نمی‌باشد. بنابراین نیاز به یافتن فرمولهایی که مطابق ویژگی‌های پدولوژیکی یک منطقه باشند ضروری به نظر می‌رسد (Ghorbani Dashtaki et al,2010). دهه ۹۰ میلادی را می‌توان اوج کاربرد توابع انتقالی دانست که همراه با پیشرفتهای چشمگیر در استفاده از این توابع بوده است. پس از دهه ۹۰ کاربرد توابع انتقالی که از آمریکا و اروپا شروع شده بود به آمریکای جنوبی، استرالیا و دیگر نقاط دنیا از جمله ایران کشیده شد. از

جمله مطالعاتی که در این زمینه در ایران صورت گرفته است، می‌توان به پژوهش انجام شده توسط قربانی و همایی (۱۳۸۱) اشاره کرد که توابع انتقالی برای برآورد منحنی رطوبتی و پارامترهای معادلات وان‌گنوختن و وان‌گنوختن ـ معلم را تعیین نمودند. خداوردیلو و همایی (۱۳۸۱) نیز طی پژوهشی بر روی ۲۷ نمونه از سری خاک‌های آهکی منطقه کرج با بافت لوم نشان دادند که توابع انتقالی خاک در برآورد رطوبت‌های معادل در مکش‌های صفر، ۱۰، ۳۳، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال کارآمد بوده‌اند. همچنین، در این پژوهش نقش آهک بر ویژگی‌های رطوبتی خاک مورد بررسی قرار گرفت. همایی و فرخیان فیروزی (۲۰۰۸) توابع انتقالی نقطه‌ای و پارامتریک را برای خاک‌های گچی بدست آورده و نقش گچ در ویژگی‌های رطوبتی خاک را معین نمودند (Homaee and FarrokhianFirouzi, 2008). با اینکه بکار بردن توابع انتقالی در سالهای اخیر مورد توجه دانشمندان علوم خاک قرار گرفته و نتایج قابل توجهی نیز حاصل گردیده است، لیکن بررسی تأثیر آهک به عنوان جزئی مستقل در خاک با استفاده از این توابع چندان مورد توجه واقع نشده است از این رو در این پژوهش ذرات آهک به عنوان اجزاء واقعی خاک در نظر گرفته شده و تعیین میزان نقش آنها در خاک با استفاده از توابع انتقالی خاک، مد نظر است.

فرآیند پژوهش

تعداد ۵۰ نمونه خاک و ۵۰ نمونه کلوخه از عمق ۲۵ سانتی متری به صورت تصادفی و مرکب از سری خاک‌های استان سمنان، شهرستان گرمسار جمع‌آوری و مورد مطالعه قرار گرفت. منطقه مورد مطالعه بخشی از شهرستان گرمسار است که در شمال شرقی این شهر در موقعیت ۳۵ و ۱۳ درجه عرض شمالی و ۵۲ و ۱۹ درجه طول شرقی به مساحت ۳۳ هزار هکتار واقع شده است. از نظر تیپ اراضی این منطقه جزء دشت‌های آبرفتی دامنه‌ای می‌باشد که در مطالعات نیمه تفصیلی تحت عنوان آبرفت‌های رودخانه‌ای بادبزنی شکل سنگریزه‌دار بیان شده است. خاک‌های این منطقه در راسته خاک‌های مناطق خشک (Aridisols) واقع شده‌اند. پس از آماده سازی نمونه‌های خاک در آزمایشگاه و جداسازی ذرات کوچکتر از ۲ میلی متر، فراوانی نسبی ذرات خاک به روش هیدرومتری، جرم ویژه ظاهری کلوخه‌های نمونه‌برداری شده به روش پارافین و درصد کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید تعیین گردید. منحنی مشخصه رطوبتی خاک در پتانسیل‌های ماتریک صفر، ۳۳-، ۵۰-، ۱۰۰-، ۳۰۰-، ۵۰۰-و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال با استفاده از دستگاه صفحات فشاری به دست آمد. برای برآورد پارامترهای معادله منحنی رطوبتی از نرم‌افزار کامپیوتری RETC (Van Genuchten *et al*,1991) استفاده شد. به منظور پردازش داده‌ها، نخست نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. وجود یا عدم وجود همراستایی چند گانه با استفاده از برنامه MiniTab (and Ryan Joiner، 1994) مشخص گردید. پس از نرمال کردن توزیع داده‌ها، با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه به روش بهترین زیرمجموعه، متغیرها گزینش و وارد مدل شدند. برای ارزیابی اعتبار توابع، از تحلیل خطاهای باقیمانده و اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده استفاده می‌شود. آماره‌های لازم برای این کار، حداکثر خطا (ME)، میانگین ریشه دوم خطا (RMSE)، ضریب تبیین (CD)، کارآیی مدل‌سازی (EF) و ضریب باقیمانده (CRM) هستند. حداقل

مقدار ME، RMSE و CD صفر است. حداکثر مقدار EF برابر یک می‌باشد. EF و CRM می‌توانند مقادیری منفی داشته باشند. مقدار زیاد ME نشانگر بدترین حالت کارکرد مدل است، در حالیکه مقدار زیاد RMSE نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد مدل در مقایسه با مشاهدات (اندازه‌گیری‌ها) چقدر است. آمارهٔ CD نسبت پراکندگی را بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد. مقدار آمارهٔ EF، مقادیر پیش‌بینی‌ها را با میانگین اندازه‌گیری‌ها مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF بیانگر آن است که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، برآورد بهتر از مقادیر پیش‌بینی شده، دارد. آمارهٔ CRM نشانگر تمایل مدل برای برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها است. چنانچه تمام مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی این آماره‌ها برابر با ME=0، MSE=0، CD=۱، EF=0 و CRM=0 خواهد شد.

نتایج و بحث

پس از تعیین فراوانی نسبی ذرات خاک، کلاس بافتی هر یک از نمونه‌ها بدست آمد. این خاک‌ها در گروه-های بافتی Loam، Silty loam، Silty clay loam و Sandy loam قرارداشتند. جدول (۱) برخی ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده ۱۰ نمونه خاک معرف را نشان می‌دهد. در جدول (۲) میانگین، دامنه تغییرات و انحراف معیار ویژگی‌های اندازه‌گیری شده نمونه‌های خاک ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که تغییرات مقدار آهک از ۱۷/۷۵ تا ۳۹ درصد و جرم ویژه ظاهری از ۱/۲۲ تا ۱/۴۹ گرم برسانتی‌متر مکعب در نوسان است. بر پایه این نتایج، تغییرات مقدار شن از ۸/۸۰ تا ۵۶/۱۰ درصد، سیلت ۲۸/۲۰ تا ۶۸/۲۰ درصد و رس ۱۳ تا ۲۷ درصد بوده است. توابع انتقالی نقطه‌ای مقادیر رطوبت را در پتانسیل‌های ماتریک معین (۰، ۳۳-، ۵۰-، ۱۰۰-، ۳۰۰-، ۵۰۰- و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال) با استفاده از فراوانی نسبی ذرات، درصد کربنات کلسیم و جرم ویژه ظاهری برآورد می‌کنند. این توابع در جدول (۳) ارائه شده‌اند. همچنین، توابع پارامتریک با استفاده از متغیرهای مستقل فراوانی نسبی ذرات، جرم ویژه ظاهری و درصد کربنات کلسیم پارامترهای نمون وان گنوختن (۱۹۸۰) را برآورد می‌کنند. این توابع نیز در جدول (۳) ارائه شده‌اند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج ارائه شده در جدول (۳) نشان می‌دهند که در تمامی توابع بدست آمده (بجز تابع شماره ۸) درصد کربنات کلسیم با علامت مثبت وارد شده است. این موضوع نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت این عامل بر میزان رطوبت خاک و نقش آن در ویژگیهای رطوبتی خاک می‌باشد. می‌توان گفت در خاکهایی با درصد آهک زیاد و بافت متوسط، کربنات کلسیم اصلی‌ترین عامل کنترل کننده ویژگی‌های رطوبتی خاک است. توابع نقطه‌ای بدست آمده در حضور آهک با توجه به R^2 های بدست آمده در سطح ۱٪، معنی دار شدند که نشان دهنده تأثیر زیاد آهک بر منحنی رطوبتی است. برپایه توابع بدست آمده، آهک افزون بر نقش داشتن در مقدار رطوبت خاک در مکشهای مختلف، بر پارامترهای مربوط به منحنی رطوبتی نیز تأثیر می‌گذارد. تأثیر آهک بر این پارامترها به نقش آن در ساختمان خاک باز می‌گردد. بر این مبنا، در تابع برآورد کننده α(تابع شماره ۸) آهک به عنوان عامل مؤثر در ایجاد خاکدانه‌ها و جرم ویژه ظاهری به عنوان عامل مؤثر در طرز قرار گیری خاکدانه‌ها، نقش دارند. بنابراین، در تعیین توابع انتقالی خاک، باید همه

عوامل مؤثر بر پارامترهای رطوبتی تعیین و وارد مدل شوند، تا توابعی قابل قبول و کاربردی ارائه گردد. شکل (۱) همبستگی بین مقادیر رطوبتی اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از توابع نقطه‌ای را نشان می‌دهد. با توجه به این روابط می‌توان استفاده از توابع نقطه‌ای بدست آمده در حضور آهک را توصیه نمود. برای مقایسه منحنی‌های رطوبتی خاک، شش نمونه بطور تصادفی انتخاب و منحنی‌های رطوبتی حاصل از داده‌های اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از توابع نقطه‌ای با هم مقایسه گردیدند. نتایج این مقایسه‌ها در شکل (۲) ارائه شده‌اند. به این کار اصطلاحاً آزمون دقت گویند. نتایج بدست آمده نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین داده‌های اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از توابع نقطه‌ای وجود دارد. به منظور سنجش اعتبار توابع بدست آمده، مقادیر آماره‌های CRM، EF، CD، RMSE و ME برای اندازه‌گیری‌ها و پیش‌بینی‌ها محاسبه شد. این مقادیر در جدول (۴) نشان داده شده‌اند. با توجه به جدول (۴) می‌توان گفت که تمامی توابع ارائه شده از اعتبار کافی و مناسب برخوردار بوده و می‌توان از آنها برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی خاک استفاده کرد. با توجه به این موضوع می‌توان گفت که در خاکهای مورد آزمایش، آهک بیشترین تأثیر خود را در مکشهای زیاد می‌گذارد و در این مکش‌ها بیشتر از سایر نقاط، منحنی رطوبتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ۱۰ نمونه خاک معرف

نمونه	مواد خنثی شونده (٪)	جرم ویژه ظاهری (g/cm^3)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	کلاس بافتی
۱	۲۵/۷۵۰	۱/۳۸۹	۳۰/۸	۵۴/۲	۱۵/۰	Loam
۲	۳۸/۲۵۰	۱/۴۵۳	۱۸/۸	۶۸/۲	۱۳/۰	Silt loam
۳	۲۷/۰۰۰	۱/۳۸۰	۲۶/۸	۵۰/۲	۲۳/۰	Silt loam
۴	۳۹/۰۰۰	۱/۳۰۹	۳۶/۸	۴۰/۲	۲۳/۰	Loam
۵	۲۴/۷۵۰	۱/۴۵۸	۲۰/۸	۶۰/۲	۱۹/۰	Silt loam
۶	۲۹/۰۰۰	۱/۲۲۲	۸/۸	۵۲/۲	۳۹/۰	Silty clay loam
۷	۱۹/۷۵۰	۱/۴۹۷	۵۶/۸	۲۸/۲	۱۵/۰	Sandy loam
۸	۲۶/۰۰۰	۱/۴۰۷	۱۶/۸	۵۶/۲	۲۷/۰	Silt loam
۹	۱۷/۷۵۰	۱/۳۴۰	۱۲/۸	۶۲/۲	۲۵/۰	Silt loam
۱۰	۲۶/۵۰۰	۱/۲۷۴	۳۴/۸	۴۴/۲	۲۱/۰	Loam

جدول ۲- میانگین، دامنه تغییرات و انحراف معیار متغیرهای اندازه‌گیری شده نمونه‌های خاک معرف

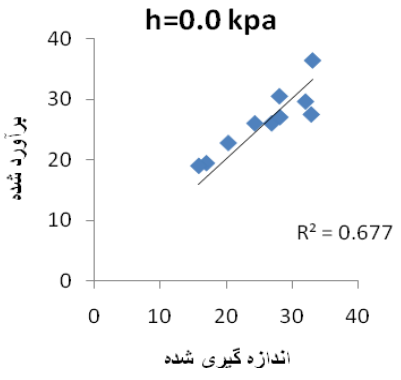
متغیر	تعداد نمونه	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
جرم ویژه ظاهری (g/cm^3)	۵۰	۱/۴۰	۱/۲۲	۱/۴۹	۰/۰۹
درصد شن	۵۰	۲۶/۴۰	۸/۸۰	۵۶/۱۰	۱۴/۱۳
درصد سیلت	۵۰	۵۱/۶۰	۲۸/۲۰	۶۸/۲۰	۱۱/۶۶
درصد رس	۵۰	۲۲/۰۰	۱۳/۰۰	۲۷/۰۰	۷/۵۶
درصد مواد خنثی‌شونده	۵۰	۲۷/۴۰	۱۷/۷۵	۳۹/۰۰	۶/۸۲

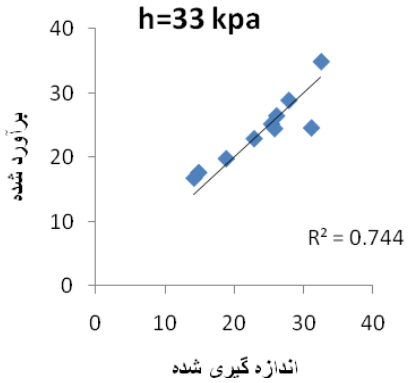
جدول ۳- توابع انتقالی ایجاد شدهٔ نقطه‌ای و پارامتریک

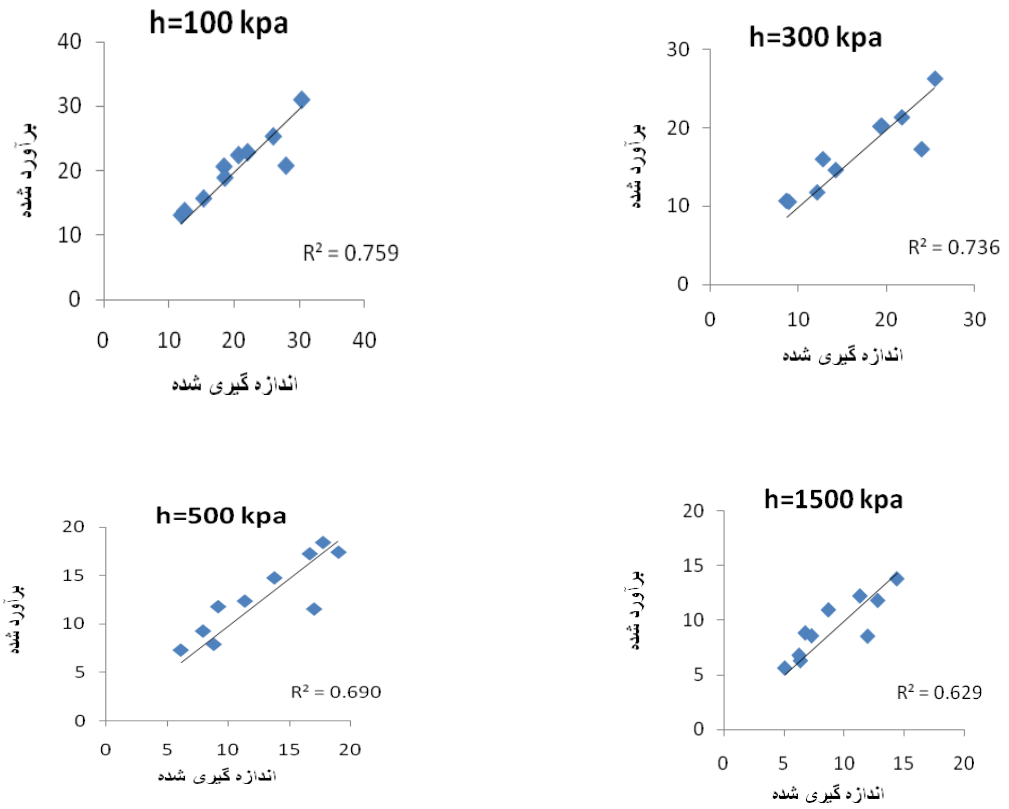
شماره تابع	متغیرهای وابسته	توابع انتقالی ایجاد شده با آهک	R^2
۱	θs	86.4+0.191%TNV-27.4BD-0.238Sand-0.935Clay	۰/۶۴
۲	θ_{V33}	96.1+0.282%TNV-37.5BD-0.244Sand-0.99Clay	۰/۷۳
۳	θ_{V50}	99.3+0.222%TNV-40.1BD-0.231Sand-0.977Clay	۰/۷۱
۴	θ_{V100}	92.7+0.268%TNV-37.6BD-0.225Sand-1.01Clay	۰/۷۵
۵	θ_{V300}	91.6+0.303%TNV-42.5BD-0.166Sand-0.931Clay	۰/۷۲
۶	θ_{V500}	94.9+0.082%TNV-45.9BD-0.103Sand-0.845Clay	۰/۶۹
۷	θ_{V1500}	56.8+0.105%TNV-26.6BD-0.073Sand-0.541Clay	۰/۶۲
۸	α	-0.005-0.004%TNV+0.005BD	۰/۲۵
۹	n	1.23+0.0036%TNV+0.125BD-0.002Sand-0.002Clay	۰/۲۹

جدول ۴- آماره‌های محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار توابع اشتقاق یافتهٔ نقطه‌ای

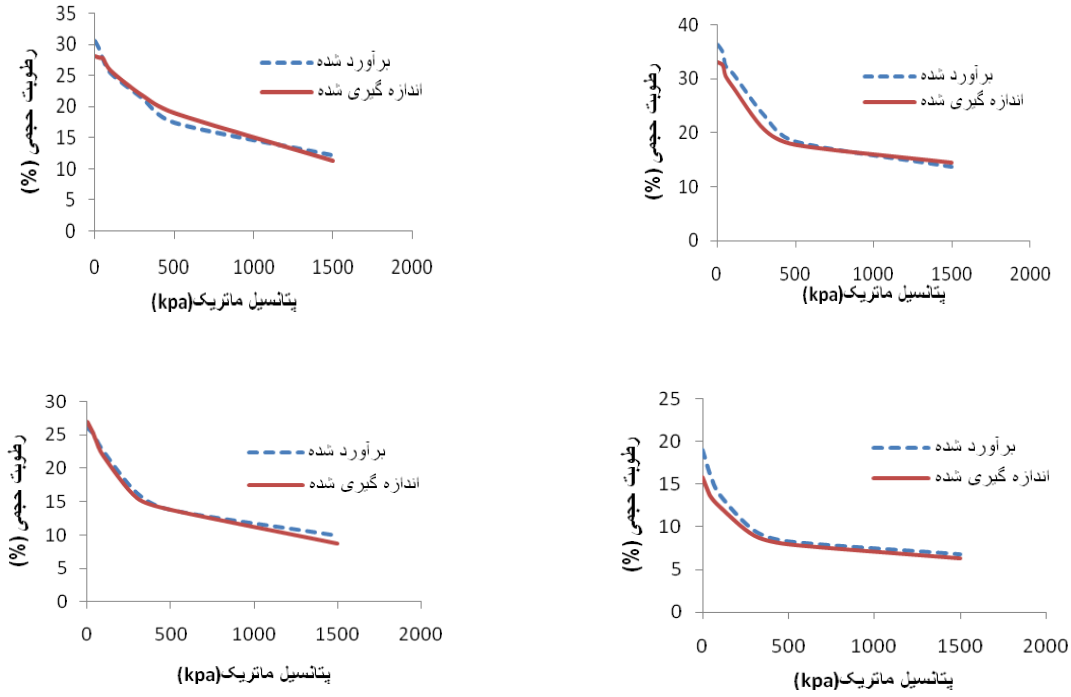
شماره تابع	نوع تابع	ME	RMSE	CD	EF	CRM
۱	θs	۰/۱۰۴۴	۳/۵۷۹۴	۱/۵۴۳۲	۰/۶۴۳۷	-۰/۰۰۳۹
۲	θ_{V33}	۰/۱۱۰۵	۳/۱۰۴۹	۱/۵۰۰۴	۰/۶۶۲۲	-۰/۰۰۴۶
۳	θ_{V50}	۰/۰۳۲۹	۳/۱۰۰۶	۱/۴۰۸۵	۰/۷۰۵۷	-۰/۰۰۱۸
۴	θ_{V100}	۰/۱۱۲۴	۲/۹۲۸۳	۱/۳۱۱۵	۰/۷۵۸۸	۰/۷۶۹۶
۵	θ_{V300}	۰/۰۰۶۷	۳/۰۱۹۹	۱/۳۷۸۳	۰/۷۲۱۴	۰/۰۰۰۰
۶	θ_{V500}	۰/۰۷۹۰	۲/۵۱۰۲	۱/۴۳۲۷	۰/۶۹۱۱	۰/۰۰۵۴
۷	θ_{V1500}	۰/۰۰۸۳	۲/۰۱۸۴	۱/۶۰۲۱	۰/۶۰۹۴	۰/۸۹۹۹

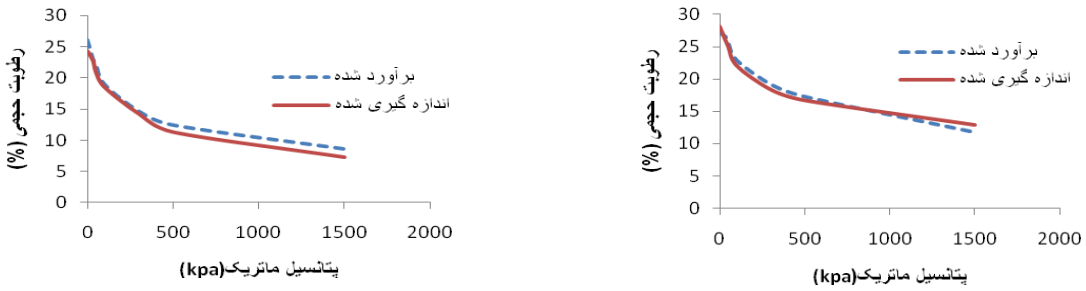






شکل ۱- همبستگی بین مقادیر رطوبتی اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از توابع نقطه‌ای





شکل ۲- آزمون دقت: مقایسه منحنی‌های رطوبتی اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از توابع نقطه‌ای

منابع

۱- خداوردیلو، ح. همایی، م و ش، محمودی. ۱۳۸۱. تأثیر کربنات کلسیم بر منحنی رطوبتی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک. مجله علوم کشاورزی. شماره ۱. ص ۷۷-۸۸.

۲- قربانی، ش و همایی، م. ۱۳۸۱. برآورد پارامتریک ویژگی‌های هیدرولیکی خاک‌های گچی با استفاده از توابع انتقالی. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران.

3- GhorbaniDashtaki,sh, M.Homaee and H.khodaverdeloo.2010. Derivation and validation of pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a variety of soil data. 26, 68-74.

4-Homaee, M., A. Farrokhian Firouzi.2008. Deriving point and parametric pedotransfer functions of some Jypsiferous soils.. 46:219-227.

5-Ryan, B. F. and B. L. Joiner. 1994. MiniTab. Handbook. Durbuy press. 483 pp.

6-Schaap, M. G. and F. J. Leij. 1998. Data base related accuracy and uncertainty of pedotransfer functions. Soil Sci. Soc. Am. J. 163: 765-779.

7-Van Genuchten, M. Th. F. J. Leij. and S. R. Yates. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic function of unsaturated soils. EPA/600/2-91/065, US salinity laboratory, USDA-ARS, Riverside, CA. 85 pp.

8-Wosten, J. H. M. 1997. Pedotransfer functions to evaluation soil quality. In: Gregorich, E. G. and M. R. Carter (eds.). 1997. Soil quality for crop production and ecosystem health. Soil Sci. 25.

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