

## بررسی تأثیر زئولیت بر ضرایب مدل‌های منحنی رطوبتی خاک در دو بافت شنی و لومی

رضا قضاوی، ابراهیم امیدوار و حدیثه جیحونی نایینی<sup>\*۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۲۴)

### چکیده

یکی از عناصر مهم در آبیاری مکانیزه، اطلاع از رابطه بین نیروی مکش (نیروی ماتریک) و رطوبت خاک است که به منحنی رطوبتی موسوم است. شکل و ضرایب این منحنی تحت تأثیر بافت و ساختار خاک بوده و با اصلاح ساختار خاک می‌تواند تغییر کند. مهم‌ترین اهداف این مطالعه عبارتند از بررسی اثر استفاده از زئولیت بر ظرفیت نگهداری آب و ضرایب مدل‌های منحنی رطوبتی دو بافت خاک شنی و لومی و تأثیر استفاده از زئولیت بر شکل و ضرایب منحنی رطوبتی خاک بر اساس مدل‌های مختلف ارائه شده که برخی از آنها تاکنون در ایران استفاده نشده است، زئولیت در سطوح مصرف (۲، ۵ و ۱۰ درصد) به خاک‌ها اضافه شد. رطوبت هر خاک در مکش‌های مختلف در ۱۲ نقطه با استفاده از دستگاه دیکاگون تعیین شد. ضرایب منحنی رطوبتی خاک با استفاده از نرم‌افزار و برآزش شش مدل بروکس و کوری (Brooks and Corey)، کاسوگی (Kosugi)، دارنر (Durner)، فردلاندو-زینگ (Fredlund and Xing)، ون‌گنوختن (VanGenuchten) و سکی (Seki) به دست آمد. نتایج نشان داد که در تمامی مدل‌ها مقدار پارامتر  $\theta_r$  و  $\theta_s$  با کاربرد زئولیت و افزایش سطح استفاده افزایش می‌یابد. ظرفیت نگهداشت آب نیز با کاربرد زئولیت افزایش می‌یابد. سایر نتایج نشان داد که بهترین مدل برای تخمین منحنی رطوبتی خاک‌های لومی و شنی مدل دارنر است و ضعیف‌ترین مدل‌ها در خاک لومی مدل بروکس و کوری و مدل کاسوگی و در خاک شنی مدل بروکس و کوری و مدل ون-گنوختن هستند.

واژه‌های کلیدی: زئولیت، منحنی رطوبتی خاک، نگهداری آب در خاک و  $SWRC$  ۳/۰.

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: hadiseh.jeyhoni@gmail.com

## مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند اغلب نقاط ایران، آب مهم‌ترین عامل محدودکننده توسعه کشاورزی است. مدیریت منابع آب و استفاده از روش‌های نوین آبیاری می‌تواند باعث افزایش راندمان و کاهش میزان آب مصرفی در بخش کشاورزی شود. یکی از عناصر مهم در آبیاری مکانیزه، اطلاع از رابطه بین نیروی مکش (نیروی ماتریک) و رطوبت خاک است که به منحنی رطوبتی موسوم است. این منحنی در آبیاری و زهکشی بسیار مهم است، زیرا تأثیر ساختمان خاک، تخلخل، توزیع اندازه خلل و فرج و جذب سطحی را بر حالت آب در خاک بیان می‌کند. حالت آب در خاک و تغییرات آن در پروفیل خاک، تعیین‌کننده جهت حرکت آب در خاک است و در میزان حرکت آب در خاک و جذب آن به وسیله گیاه مؤثر است (۴) از این منحنی در پیش‌بینی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک و مسائل مربوط به حرکت آب در خاک چه در حالت اشباع و چه در حالت غیراشباع استفاده فراوانی می‌شود. همچنین از روی این منحنی می‌توان به چگونگی نگهداری آب در خاک پی برده و مقدار آب قابل ذخیره در خاک را در هر پتانسیل به‌دست آورد. منحنی رطوبتی از ویژگی‌های بنیادی خاک است که شکل آن می‌تواند تحت تأثیر شرایط خاک و مواد افزودنی به خاک شکل آن تغییر کند و تشریح کمی تغییرات آن برای مدل‌سازی جریان آب و انتقال توأمان آب و املاح در بخش غیراشباع خاک بسیار مهم است (۱۵). افزودن مواد اصلاحی به خاک برای افزایش کارایی مصرف آب و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک یکی از مهم‌ترین راه‌های مقابله با کمبود آب به‌شمار می‌رود (۲۰). از جمله این مواد اصلاحی سوپرجاذب‌ها هستند که در بعضی منابع به آنها هیدروژل نیز گفته می‌شود. سوپرجاذب‌ها پلیمرهای آب‌دوستی هستند که توانایی جذب مقدار زیادی آب یا محلول آبی را دارند. بر اساس تعادل ترمودینامیکی، در حالتی که پتانسیل شیمیایی آب در محیط بیش از هیدروژل باشد، نفوذ آب از محیط به داخل این مواد صورت گرفته و موجب تورم این پلیمرها تا چندین برابر حجم اولیه خواهد شد و در حالتی

که پتانسیل شیمیایی آب در هیدروژل بالاتر از محیط باشد، نفوذ آب از هیدروژل به سمت محیط اطراف انجام می‌گیرد (۱۸). از جمله این سوپرجاذب‌ها می‌توان به کانی‌های زئولیت اشاره کرد. زئولیت‌ها کانی‌های طبیعی هستند که به‌عنوان اصلاح‌کننده به خاک اضافه می‌شوند. این مواد جاذب رطوبت بوده و با در اختیار گذاشتن تدریجی آب جذب‌شده و املاح به خاک، نقش مهمی در حاصلخیزی خاک و جلوگیری از هدررفت آب دارند. استفاده از زئولیت می‌تواند منحنی رطوبتی خاک را تغییر داده و سبب افزایش نگهداری رطوبت خاک شود (۲۶).

مدل‌های زیادی برای برآورد منحنی‌های رطوبتی وجود دارند که شناخت بهترین منحنی برای هر خاک در شرایط مختلف می‌تواند باعث افزایش دقت در برآورد شرایط رطوبتی خاک شود. از طرفی نمایش منحنی رطوبتی به‌وسیله تابع ریاضی از فوایدی برخوردار است. از جمله این که می‌توان از تابع مذکور برای تخمین رطوبت و حرکت املاح در خاک با استفاده از مدل‌های حرکت املاح استفاده کرد (۲۳). مدلی باید توجه داشت که عوامل مؤثر بر شکل منحنی، ضرایب مدل یا تابع منحنی رطوبتی به‌ویژه ضرایب شکل را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند (۲۲). با توجه به اهمیت و کاربرد منحنی‌های رطوبتی خاک، مطالعات متعددی در زمینه تعیین بهترین منحنی و کاربرد سوپرجاذب‌ها و اثرات آن روی ضرایب و شکل منحنی‌های رطوبتی خاک در ایران و جهان انجام شده است. کرنلیس و همکاران، طی مطالعه‌ای در زمینه منحنی‌های رطوبتی، نتیجه گرفتند که مدل وریختن و همکاران بهترین پیش‌بینی را در بین سایر مدل‌ها ارائه کرده است. مانیام و همکاران، طی مطالعه‌ای عملکرد دو مدل منحنی رطوبتی ون‌گونوختن و کمبل را در خاک‌های شنی نیجریه با هم مقایسه کردند. آنها دریافتند که دقت مدل کمبل از مدل ون‌گونوختن برای نمونه‌های خاک با درصد شن بالاتر، بیشتر بود. این پژوهش نشان می‌دهد که همیشه مدل دارای پارامترهای بیشتر لزوماً دارای کارایی بیشتر نیست. ترابی فارسانی و قهرمان، مطالعه‌ای تحت عنوان مقایسه چند تابع انتقالی متداول برای برآورد منحنی رطوبتی در چند

همچنین با بررسی شاخص‌های آماری در مدل‌های کاربردی نرم‌افزار RETC، مدل ون‌گنوختن بهترین شبیه‌سازی برای مقادیر رطوبتی آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده توسط مدل را نشان داد. خالق‌پناه و همکاران، مطالعه‌ای با عنوان تخمین منحنی رطوبتی تعدادی از خاک‌های شور و شور و سدیمی با استفاده از توابع انتقالی انجام دادند. به‌طور کلی یافته‌های این پژوهش نشان داد که با استفاده از توابع انتقالی می‌توان نقاط مختلف منحنی رطوبتی خاک و پارامترهای معادله ون‌گنوختن را به‌میزان قابل قبولی تخمین زد.

اگرچه نتایج مطالعات متعددی نشان داده است که سوپرچاذب زئولیت باعث افزایش ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک می‌شود (۱، ۲، ۳، ۹، ۱۱، ۱۲ و ۲۵) ولی کمتر مطالعه‌ای به بررسی تأثیر استفاده از سوپرچاذب‌ها بر شکل و ضرایب منحنی‌های رطوبتی خاک پرداخته است. یاسودا و همکاران تغییر نگهداری آب در اثر اضافه کردن زئولیت به خاک شنی را بررسی کردند. آنها با استفاده برآزش مدل ون‌گنوختن (۱۹۸۵) به منحنی رطوبتی به افزایش مقدار رطوبت قابل دسترس پی بردند. بیگی هرچگانی و حق‌شناس گرگابی، مطالعه‌ای را به‌منظور بررسی اثر متقابل زئولیت میانه و پلیمر ۲۰۰ بر ظرفیت نگهداری آب و ضرایب مدل منحنی رطوبتی در یک بافت خاک سبک انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن زئولیت و یا پلیمر طراوات ۲۰۰ به بافت شنی باعث افزایش نگهداشت آب در مکش‌های مختلف و افزایش آب قابل استفاده می‌شود و همچنین تغییر ضرایب شکل در مدل منحنی رطوبتی در پاسخ به افزودن هم‌زمان زئولیت و پلیمر طراوات ۲۰۰ نشان‌دهنده اثرهای جمع‌پذیر و تشدید می‌باشد. تحقیقی دیگر با توجه به بررسی سوابق پژوهشی مشخص شد که محققان بیشتر از سوپرچاذب‌های زئولیت و ۲۰۰ در تحقیقات خود استفاده کرده‌اند و غالب خاک‌هایی که پژوهشگران منحنی‌های رطوبتی آنها را به‌دست آورده‌اند خاک‌هایی با بافت‌های لومی و لومی‌رسی بوده‌اند و کمتر تأثیرات سوپرچاذب‌ها را روی بافت‌های دیگر بررسی کرده‌اند.

خاک در ایران انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که هر دو مدل قربانی دشتکی و همایی، به‌ویژه در مکش‌های بالا، عملکرد خوبی داشتند. ولی رفتار مدل‌های فرخیان فیروزی و همایی نامناسب بود. بنابراین نیاز به تهیه توابع انتقالی مناسب برای خاک‌های آهکی و گچی ایران احساس می‌شود. قنبریان و همکاران، در تحقیقی مدل فرکتالی پرفکت برای تخمین منحنی مشخصه رطوبتی در شش بافت خاک را بررسی و نتایج به‌دست آمده را با نتایج حاصل از مدل‌های تجربی بروکز و کوری، کمپل و مدل ون‌گنوختن مقایسه کردند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مدل کمپل کمترین دقت را در پیش‌بینی منحنی مشخصه رطوبتی خاک دارا بوده و پیش‌بینی‌های این مدل تنها برای خاک‌ها با بافت درشت مانند لوم شنی از دقت کافی برخوردار است و به‌طور کلی مدل پرفکت برای بافت‌های مختلف خاک در مقابل سایر مدل‌های تجربی از خطای کمتری برخوردار بود. زارعی و همکاران، مطالعه‌ای با عنوان تخمین تبخیر غیرماندگار از سطح خاک بی‌پوشش بر مبنای مدل‌های متفاوت منحنی رطوبتی خاک انجام دادند. هدف آنها مقایسه سه راه‌حل تحلیلی برای برآورد میزان تبخیر از سطح خاک است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که پیش‌بینی تبخیر به کمک مدل ون‌گنوختن بهتر از مدل بروکز-کوری بوده و استفاده از مدل بروکز و کوری نیز نتایج بهتری نسبت به مدل کمپل ارائه می‌کند. نبی‌زاده و بیگی هرچگانی، مطالعه‌ای در زمینه مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف منحنی مشخصه رطوبتی و انتخاب مدل‌های مناسب در خاک‌های لردگان انجام دادند. طبق نتایج حاصل از این پژوهش در مجموع مدل ون‌گنوختن به‌عنوان بهترین و مدل بروکز-کوری به‌عنوان ضعیف‌ترین مدل برگزیده شدند. یری-شلمزاری و برومندنسب، در تحقیقی تأثیر استفاده از سوپرچاذب ۳۰۰ بر ضریب آبگذری اشباع، میزان رطوبت قابل استفاده، تخلخل کل و منحنی مشخصه رطوبتی خاک در خاک سیلتی لوم را ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش حاکی از افزایش ۱/۶۸ برابری ضریب آبگذری اشباع خاک در سطح ۳/۰ درصد وزنی نسبت به تیمار شاهد بود.

دیکاگون (مدل WP4C ساخت کشور آمریکا) استفاده شد. به این منظور نمونه‌های خاک به حالت اشباع رسید و پس از تهیه عصاره اشباع میزان رطوبت خاک با استفاده از دیکاگون در پتانسیل‌های متفاوت و برای ۱۲ نقطه تهیه شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون قرار گرفت و نقطه آخر از طریق وزنی تعیین شد. پس از اضافه کردن سطوح مختلف سوپرجاذب به خاک مجدداً عصاره اشباع خاک تهیه و منحنی رطوبتی خاک برای هر خاکی با استفاده از شش مدل رایج (بروکس و کوری، فردلان‌دوزینگ، کاسوگی، دارنر، سکی و ون‌گنوختن) تهیه شد.

### آماده‌سازی خاک و بستر آزمایش

در این تحقیق دو نمونه خاک با بافت‌های متفاوت (لومی و شنی) برداشت شده از دو منطقه شهر کاشان پس از انتقال به آزمایشگاه در معرض هوا، خشک شد. سپس خاک‌ها با استفاده از الک دو میلی‌متر (مش ۱۰) الک شدند. سوپرجاذب مورد نظر (زئولیت) نیز با استفاده از الک ۰/۵ میلی‌متر (مش ۳۵) الک شد. سطوح مختلف مصرف سوپرجاذب زئولیت با توجه به درصد از حجم کل خاک و سطوح به‌کار رفته در سوابق پژوهشی (۱، ۲، ۱۱ و ۲۲) و نیز با توجه به اقتصادی بودن افزایش زئولیت به خاک در سطوح صفر (بدون استفاده از سوپرجاذب)، ۲، ۵ و ۱۰ درصد وزنی انتخاب شدند. خاک‌های مخلوط شده با سوپرجاذب‌ها زئولیت در چهار سطح درون ظرف‌های آزمایشگاهی ریخته و سپس گل اشباع تهیه شد.

### اندازه‌گیری و محاسبه منحنی رطوبتی خاک

پس از تهیه عصاره اشباع از خاک تیمار شده بوسیله زئولیت و خاک شاهد (۰، ۲، ۵ و ۱۰ درصد) درصد وزنی رطوبت و پتانسیل در ۱۲ نقطه در مکش‌های ۰ تا ۴۵۱۳/۵ بار و با سه تکرار اندازه‌گیری شد. برای این منظور ابتدا نمونه‌های خاک به مدت ۲۴ ساعت با آب مقطر اشباع شدند. سپس در روز بعد

در مطالعات انجام شده بیشتر از مدل‌های ون‌گنوختن (۱۹۸۰) و کمپل (۱۹۷۴) برای رسم منحنی‌های رطوبتی خاک‌ها استفاده شده است. نتایج غالب کار پژوهشگران بر تأثیر سوپرجاذب‌ها روی خاک‌های مختلف، این‌گونه بوده است که با اضافه شدن سوپرجاذب‌ها به خاک‌های متفاوت ظرفیت نگهداشت آب در خاک‌ها افزایش یافته و خاک، آب موجود در خود را آهسته‌تر از دست می‌دهد. اگرچه تحقیقات متعددی در مورد اثر سوپرجاذب‌ها بر تخلخل خاک و افزایش توان نگهداشت رطوبت خاک در ایران و جهان انجام شده است؛ ولی بر اساس بررسی‌های انجام شده و مرور منابع، کمتر مطالعه‌ای روی اثر سوپرجاذب‌ها بر منحنی‌های رطوبتی خاک‌ها صورت گرفته است. مهم‌ترین اهداف این مطالعه عبارتند از بررسی اثر زئولیت بر ظرفیت نگهداری آب و ضرایب مدل‌های منحنی رطوبتی دو بافت خاک شنی و لومی، تأثیر استفاده از زئولیت بر شکل و ضرایب منحنی رطوبتی خاک بر اساس مدل‌های مختلف ارائه شده که برخی از آنها تاکنون در ایران استفاده نشده است و بررسی کارایی دستگاه دیکاگون به‌منظور رسم منحنی‌های رطوبتی خاک به‌عنوان یک روش سریع و دقیق است که در نهایت می‌توان از نتایج این پژوهش در زمینه‌های علمی متفاوتی مانند آبیاری و زهکشی، حفاظت خاک و ... استفاده کرد.

### مواد و روش‌ها

#### خاک و زئولیت مورد استفاده

در این مطالعه برای بررسی اثر زئولیت بر منحنی‌های رطوبتی خاک از دو نوع خاک با بافت‌های شنی و لومی استفاده شد. جدول (۱) برخی خصوصیات اولیه دو بافت خاک مورد مطالعه و جدول ۲ برخی از ویژگی‌های زئولیت استفاده شده (زئولیت سمنان) را نشان می‌دهد.

#### روش انجام پژوهش

در این مطالعه به‌منظور تهیه منحنی رطوبتی خاک از دستگاه

جدول ۱. برخی ویژگی‌های اولیه دو بافت خاک مورد مطالعه

بافت خاک	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	چگالی ظاهری (gr/m <sup>3</sup> )	EC (ms)	pH
لومی	۲۴/۱۶	۳۸	۳۷/۸۴	۱/۱۲۵	۷/۱۱	۷/۶۲
شنی	۶/۱۶	۴	۸۹/۸۴	۱/۳۲۶	۰/۲۷۳	۷/۹۴

جدول ۲. برخی ویژگی‌های سوپرجاذب مورد مطالعه

مواد تشکیل دهنده	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>4</sub>	L.O.I
(%)	۶۸/۹۵	۱۱/۷۴	۰/۹۷	۴/۸۳	۰/۷۹	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۰۶۸	۱۰/۷۲

### تعیین مناسب‌ترین مدل برآورد منحنی رطوبتی خاک

برای تعیین مناسب‌ترین مدل برآورد منحنی رطوبتی خاک از معیارهای  $R^2$  و ضریب آکائیک استفاده شد. ضریب تبیین ( $R^2$ )، مجذور ضریب همبستگی است که میزان نزدیکی داده‌های شبیه‌سازی شد و مشاهده شده را نشان می‌دهد و با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود. مقدار آن از صفر تا ۱+ متغیر است که هر چه به ۱+ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده برازش بهتر مدل و مقدار ۱+، نشان‌دهنده شبیه‌سازی کامل داده است. (۱۶ و ۲۱)

$$R^2 = \frac{\left[ N \left( \sum_{i=1}^N \theta_m \theta_p \right) - \sum_{i=1}^N \theta_m \sum_{i=1}^N \theta_p \right]}{\sqrt{\left[ N \left( \sum_{i=1}^N \theta_m^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^N \theta_m \right)^2 \right]} \times \sqrt{\left[ N \left( \sum_{i=1}^N \theta_p^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^N \theta_p \right)^2 \right]}} \quad (1)$$

ضریب آکائیک (AIC)، معیار اطلاعات آکائیک است که در سال ۱۹۷۴ توسط آکائیک ارائه شد و با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. (۸)

$$AIC = N \ln \left( \frac{\sum (\theta_p - \theta_m)^2}{N} \right) + 2q \quad (2)$$

معیارهای  $R^2$  و ضریب آکائیک برای تمامی مدل‌ها در تمامی بافت‌ها و سطوح مختلف سوپرجاذب محاسبه شد. سپس با استفاده از  $R^2$  و ضریب آکائیک به مدل‌ها در بافت‌ها و سطوح مختلف سوپرجاذب‌ها رتبه‌هایی از یک تا شش داده شد. بدین صورت که به هر مدلی که بهترین  $R^2$  و ضریب آکائیک را داشت رتبه

نمونه‌ها در ۱۲ نوبت داخل دستگاه دیکاگون قرار داده شد تا دستگاه پتانسیل ماتریک نمونه‌ها را در سطوح مختلف رطوبتی قرائت کند. بعد از قرائت دستگاه در هر بار نمونه‌ها از دستگاه خارج و بلافاصله وزن شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون کاملاً خشک و وزن نهایی آنها نیز اندازه‌گیری شد.

این اندازه‌گیری‌ها در طی یک شبانه‌روز سه بار به فاصله زمانی تقریباً ۹ ساعت و ۳۰ دقیقه از یکدیگر انجام می‌شدند تا در طی چهار روز ۱۲ نقطه مشاهداتی به دست بیایند.

### مدل‌های برآورد منحنی رطوبتی خاک

به منظور بررسی اثر کاربرد ژئولیت بر شکل و ضرایب منحنی رطوبتی خاک از شش مدل بروکس و کوری، کاسوگی، فردلاندر و-زینگ، دارنر، سکی و ون‌گنوختن استفاده شد. ضرایب شش مدل مذکور با برازش هر مدل به داده‌های آزمایشی هر تکرار از هر تیمار با استفاده از نرم‌افزار ۳/۰ SWRC به دست آمد. این نرم‌افزار توسط دورادو-نتو و همکاران (۲۰۰۱) با هدف تخمین پارامترهای ۱۲ مدل منحنی رطوبتی خاک با استفاده از روش حداقل مربعات و الگوریتم نیوتون-رافسون توسعه یافته است و از اینترنت قابل دانلود است (http://purl.org/net/swrc) (۱۴). جدول ۳ رابطه‌های شش مدل برآورد منحنی‌های رطوبتی خاک را نشان می‌دهد.

جدول ۳. رابطه‌های شش مدل برآورد منحنی‌های رطوبتی خاک

رابطه	شماره رابطه	نام مدل
$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left(1 + (\alpha\psi)^n\right)} \left(1 - \frac{1}{n}\right)$	۳	ون‌گنوختن
$s_e = Q \left[ \frac{\text{Ln}\left(\frac{h}{h_m}\right)}{\sigma} \right]$	۴	کاسوگی
$s_e = W_1 \left[ \frac{1}{1 + (\alpha_1 h)^{n_1}} \right]^{m_1} + (1 - W_1) \left[ \frac{1}{1 + (\alpha_2 h)^{n_2}} \right]^{m_2}$	۵	دارنر
$\theta(\phi) = \frac{\theta_s}{\left[ \text{Ln}\left( e + \left(\frac{\phi}{\alpha}\right)^n \right) \right]^m}$	۶	فردلاندوزینگ
$s_e = W_1 Q \left[ \frac{\text{Ln}\left(\frac{h}{h_{m_1}}\right)}{\sigma_1} \right] + (1 - W_1) Q \left[ \frac{\text{Ln}\left(\frac{h}{h_{m_2}}\right)}{\sigma_2} \right]$	۷	سکی
$\theta = \begin{cases} \theta_r + (\theta_s - \theta_r)(\alpha\psi)^{-\lambda} & \psi \geq \frac{1}{\alpha} \\ \theta_s & 0 \leq \psi \leq \frac{1}{\alpha} \end{cases}$	۸	بروکس و کوری

$\lambda$ : قدر مطلق پتانسیل ماتریک (مکش)،  $\sigma$ : رطوبت مؤثر،  $\lambda$ : پارامتر توزیع اندازه منافذ خاک،  $\phi$ : پتانسیل ماتریک

$W_1$ : پتانسیل ورود هوا،  $e$ : عدد نپر،  $W_1$ : وزن خاک،  $n$ : شیب کلی منحنی  $m$ : پارامتر شکل،  $\alpha$ : عکس مکش نقطه ورود هوا

$\theta$ : رطوبت حجمی،  $\theta_s$ : رطوبت حجمی اشباع در خاک،  $\theta_r$ : رطوبت حجمی مانده در خاک،  $\alpha$  و  $\lambda$  و  $n$ : فاکتور شکل

مصرف سوپر جاذب مورد بحث قرار گرفته و دلایل این روندها ذکر می‌شود. همچنین پارامتر شاخصی از مناسب‌ترین مدل انتخاب شده و مقایسه میانگین و تجزیه واریانس (آزمون والیس و کروسکال) روی آن صورت می‌گیرد تا اثر ژئولیت بر ظرفیت نگهداری آب در خاک بررسی شود.

### نتایج

#### منحنی‌های رطوبتی مشاهداتی

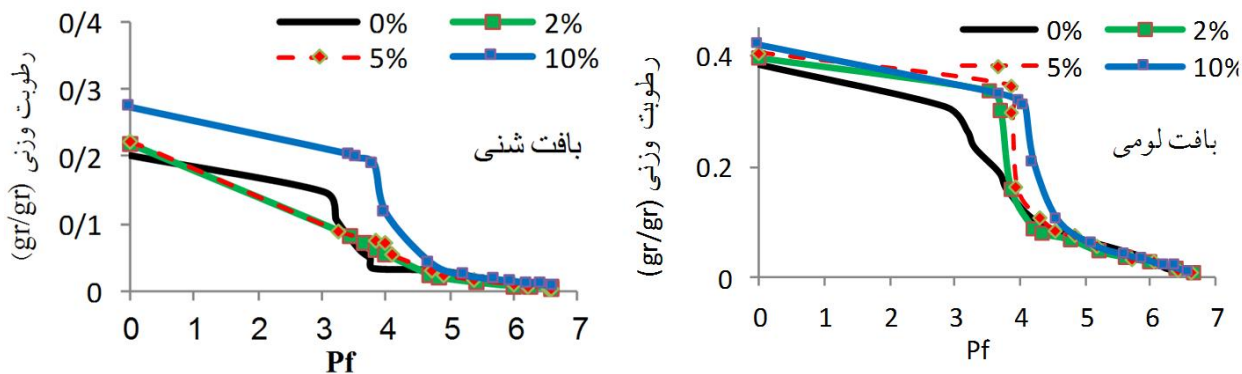
نتایج نشان داد که اضافه کردن سوپر جاذب ژئولیت، در سطوح‌های

یک و هر مدلی که بدترین  $R^2$  و ضریب آکائیک را داشت رتبه شش داده شد و در نهایت مجموع رتبه‌های هر مدل به صورت جداگانه جمع شدند و هر مدلی که دارای کمترین رتبه بود، به عنوان مناسب‌ترین مدل معرفی می‌شود.

#### بررسی تأثیر سطوح مصرف سوپر جاذب ژئولیت بر

#### منحنی‌های رطوبتی خاک

برای بررسی تأثیر سطوح مصرف سوپر جاذب ژئولیت بر منحنی رطوبتی خاک، روند پارامترهای مناسب‌ترین مدل در سطوح



شکل ۱. اثر کاربرد سوپرجاذب زئولیت بر منحنی‌های رطوبتی دو نوع بافت خاک

افزایش نگهداشت آب به واسطه وجود زئولیت در خاک اتفاق می‌افتد. در مدل بروکس و کوری در خاک لومی با کاربرد ۱۰ درصدی زئولیت مقدار  $n$  کاهش یافت. کاهش این پارامتر نشانه افزایش خلل و فرج ریز بوده و افزایش خلل و فرج ریز می‌تواند مشکل عدم نگهداشت آب در خاک‌های سبک را برطرف کند. در مدل ون گنوختن و فردلاندوزینگ با افزایش زئولیت به علت افزایش نگهداشت آب در خاک، یک روند کاهشی در مقدار  $n$  (شیب منحنی رطوبتی) در خاک شنی دیده شد. کاهش  $n$  به معنی کاهش از دست دادن آب خاک است ولی افزایش زئولیت به خاک لومی باعث افزایش  $n$  در سطح دو درصد و کاهش  $n$  در سطح ۵ و ۱۰ درصد شد. زئولیت به دلیل ساختار متخلخل می‌تواند با جذب آب به درون خود باعث افزایش نگهداشت آب به ویژه در خاک‌های شنی شود. این در حالی است که در خاک‌های سنگین (شنی)  $n$  مقدار کمتری نسبت به بافت‌های سبک دارد. در مدل بروکس و کوری افزایش  $h_b$  در خاک لومی و کاهش  $h_b$  در خاک شنی نشان‌دهنده بهبود ساختار رطوبتی خاک است.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۵) مشاهده می‌شود که پارامتر  $\theta_s$  در مناسب‌ترین مدل (مدل دارنر) دارای روند افزایشی است به صورتی که با افزایش سطوح مصرف سوپرجاذب زئولیت این پارامتر نیز در هر دو بافت خاک افزایش می‌یابد و این افزایش تغییرات معناداری (در سطح ۵ درصد) در هر سه سطح مصرف سوپرجاذب زئولیت را نشان می‌دهد. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک با وجود زئولیت

مختلف به خاک‌های لومی و شنی باعث افزایش رطوبت وزنی و نگهداشت رطوبت در خاک‌ها می‌شود (شکل ۱) و هرچه سطح مصرف سوپرجاذب‌ها افزایش می‌یابد، رطوبت وزنی و نگهداشت رطوبت در خاک‌ها نیز افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج حاصل، اثر سوپرجاذب‌ها در خاک‌های شنی بیشتر بوده است و این سوپرجاذب‌ها در خاک‌های شنی رطوبت وزنی را خیلی بیشتر نسبت به خاک‌های لومی افزایش می‌دهند و در نتیجه کارایی بالاتری را در خاک‌های شنی دارا هستند (شکل ۱).

### بررسی تأثیر سوپرجاذب زئولیت بر ضرایب و شکل منحنی‌های رطوبتی

بر اساس نتایج حاصل از بررسی اثر سوپرجاذب زئولیت بر ضرایب مدل‌های ون گنوختن، بروکس و کوری، کاسوگی، سکی، فردلاندوزینگ و دارنر مقدار  $\theta_s$  در هر دو نوع خاک با کاربرد زئولیت و افزایش سطح استفاده افزایش یافت که نشان‌دهنده افزایش ظرفیت نگهداشت آب با وجود زئولیت در خاک است (جدول ۴ و ۵). مقدار  $\theta_s$  در هر سطح کاربرد زئولیت با  $\theta_s$  سطح دیگر متفاوت بود. در مدل‌های بروکس و کوری، فردلاندوزینگ و دارنر مقدار  $\theta_r$  در خاک لومی با کاربرد زئولیت و افزایش سطح استفاده افزایش یافت. در مدل‌های ون گنوختن و کاسوگی مقدار  $\theta_r$  با کاربرد زئولیت در خاک لومی افزایش یافت ولی افزایش  $\theta_r$  برخلاف  $\theta_s$  در سطح دو درصد متوقف شد که این افزایش به دنبال

جدول ۴. مشخصات پارامترهای معادلات بروکسوکوری، ون گنوختن، کاسوگی و فردلانند و زینگ

سطح کاربرد زئولیت (%)				ضرایب مدل	بافت خاک	مدل
۱۰	۵	۲	۰			
۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۳۹	۰/۳۷	$\theta_s$		
۳,۶۵e-۰۷	۰/۰۴	۰/۰۲	۶,۶۴e-۰۶	$\theta_r$	خاک لومی	
۴۵۲/۰۱	۶۵۳/۶۶	۳۳۴/۱۷	۲۲/۵۷	$h_b$		
۰/۴۹	۳/۴۵	۱/۰۳	۰/۲۵	$\lambda$		بروکسوکوری
۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۰	$\theta_s$		
۱,۰۹e-۰۶	۱,۴۸e-۰۶	۸,۴۰e-۰۸	۰/۰۱	$\theta_r$	خاک شنی	
۱۹۷/۶۸	۲۲/۷۰	۲۱/۳۶	۶۹/۲۹	$h_b$		
۰/۴۹	۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۸۱	$\lambda$		
۰/۴۰	۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۳۶	$\theta_s$		
۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۲,۰۹۵e-۰۶	$\theta_r$	خاک لومی	
۹,۲۱e-۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۱	$\alpha$		
۲/۰۹	۲/۶۱	۲/۸۴	۱/۳۵	$n$		ون گنوختن
۰/۲۶	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۰	$\theta_s$		
۰/۰۰۵	۶,۰۵۱e-۰۸	۲,۷۱۷e-۰۸	۰/۰۱	$\theta_r$	خاک شنی	
۰/۰۰۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۰۹	$\alpha$		
۱/۷۳	۱/۳۲	۱/۳۹	۲/۰۶	$n$		
۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۳۸	$\theta_s$		
۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱	$\theta_r$	خاک لومی	
۱۷۳۶/۸	۹۵۶/۰۹	۶۶۱/۳۰	۳۸۶/۵۵	$h_m$		
۱/۰۲	۰/۷۳	۰/۶۶	۲/۵۹	$\sigma$		کاسوگی
۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۰	$\theta_s$		
۰/۰۱	۹,۵۰۶e-۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۱	$\theta_r$	خاک شنی	
۸۴۱/۶۷	۷۸	۶۶/۳۸	۱۷۸/۵۸	$h_m$		
۱/۴۱	۳/۶۰	۳/۲۳	۱/۰۹	$\sigma$		
۰/۴۰	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۳۹	$\theta_s$		
۰/۰۱	۰/۰۰۹	۶,۳۸۱e-۰۶	۰/۰۱	$\theta_r$	خاک لومی	
۱۲۱۸/۵	۶۱۳/۵۴	۴۴۲/۲۰	۱۰۸۴/۷	$a$		
۱/۵۰	۱/۱۴	۰/۷۷	۴/۰۲	$m$		فردلانند - زینگ
۱/۹۱	۲/۴۸	۵/۰۱	۰/۵۳	$n$		
۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۲۰	$\theta_s$		
۰/۰۰۵	۱,۴۴۸e-۰۴	۰/۰۰۳	۳,۸۹۶e-۰۶	$\theta_r$	خاک شنی	
۷۳۳/۶۵	۱۱۰/۷۸	۳۷۴۷/۶	۹۷/۲۰	$a$		
۲/۲۱	۲/۷۱	۸/۸۳	۱/۰۰	$m$		
۱/۱۹	۰/۴۴	۰/۳۰	۲/۴۵	$n$		



جدول ۵. مشخصات پارامترهای معادلات دارنر و سکی

سطح کاربرد زئولیت (%)				ضرایب مدل	بافت خاک	مدل
۱۰	۵	۲	۰			
۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۳۹	۰/۴۱	$\theta_s$	خاک لومی	دارنر
$۸,۹۰e-۰۷$	$۱,۱۰e-۰۵$	$۴,۴۱e-۰۷$	$۷,۶۱e-۰۶$	$\theta_r$		
۰/۳۸	۰/۷۰	۰/۴۹	۰/۴۴	$w_1$		
۰/۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۱/۹۸	$\alpha_1$		
۱/۲۰	۱۳/۱۶	۱/۳۱۴	۱/۲۰	$n_1$		
$۶,۳۰e-۰۴$	$۳,۷۹e-۰۴$	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	$\alpha_2$		
۳/۳۱	۱/۴۰	۱۰/۴۱	۱/۶۰	$n_2$		
۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۰	$\theta_s$		
$۲,۸۶۳e-۰۷$	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	$۳,۴۳۱e-۰۷$	$\theta_r$	خاک شنی	سکی
۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۶۲	۰/۲۲	$w_1$		
۰/۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	$\alpha_1$		
۱/۳۶	۲۵/۱۶	۱۷/۵۵	۱/۱۹	$n_1$		
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	$\alpha_2$		
۳۷/۰۱	۱/۵۸	۱/۵۹	۲/۵۱	$n_2$		
۰/۴۲	۰/۴۰	۰/۳۹	۰/۴۶	$\theta_s$		
۰/۰۳	۰/۰۰۶	$۵,۴۱۷e-۰۸$	۰/۰۱	$\theta_r$		
۰/۱۳	۰/۶۵	۰/۵۵	۰/۳۱	$w_1$		
۲۶۱/۵۴	۷۷۵/۳۱	۶۳۰/۵۵	۰/۹۵	$hm_1$	خاک لومی	سکی
۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۲۴	$\sigma_1$		
۱۹۴۴	۷۱۸۷	۱۶۲۸/۷	۶۲۲/۰۲	$hm_2$		
۰/۷۲	۲/۳۶	۳/۹۰	۱/۸۱	$\sigma_2$		
۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۰	$\theta_s$		
۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	$۱,۰۵۴e-۰۷$	۰/۰۱	$\theta_r$		
۰/۵۸	۰/۵۰	۰/۱۰	۰/۸۰	$w_1$		
۳۷۸/۲۶	۱/۹۵۰	۴۸/۰۵	۱۳۴/۳۸	$hm_1$		
۳/۲۸	۰/۳۴	۸/۹۸	۰/۷۲	$\sigma_1$		
۹۴۶/۸۱	۱۲۲۴/۱	۷۵/۸۶	۶۰۳/۶۶	$hm_2$		
۰/۰۵	۱/۹۸	۲/۹۷	۰/۰۹	$\sigma_2$		

برآوردکننده منحنی رطوبتی خاک بالا بوده است (جدول ۶) ولی بر اساس ضرایب حاصل از مقایسه روش‌های مختلف بر اساس ضرایب تبین و آکائیک بهترین مدل برای خاک لومی و شنی مدل دارنر است که کمترین رتبه را در مجموع به خود اختصاص داده است (جدول ۷). البته مدل دارنر در خاک‌های دو بافت نیز می‌توان گفت که بر اساس اولویت‌بندی صورت

s در خاک باشد. بر اساس تغییرات حاصل از کاربرد زئولیت در پارامتر  $\theta$  مدل دارنر می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاربرد زئولیت می‌تواند برای بهبود شرایط رطوبتی خاک‌ها مفید باشد.

**تعیین مناسب‌ترین مدل برآورد کننده منحنی رطوبتی**  
 نتایج این مطالعه نشان داد که که کارایی تمامی مدل‌های

جدول ۶. آماره‌های کیفیت برازش شش مدل منحنی رطوبتی خاک

سطح کاربرد زئولیت (%)								بافت خاک	مدل
۱۰		۵		۲		۰			
AIC	R <sup>۲</sup>	AIC	R <sup>۲</sup>	AIC	R <sup>۲</sup>	AIC	R <sup>۲</sup>		
-۷۹/۸۱	۰/۹۶	-۷۹/۰۸	۰/۹۵	-۸۷/۴۳	۰/۹۷	-۷۸/۱۹	۰/۹۵	خاک لومی	بروکس و کوری
-۹۷/۴۷	۰/۹۸	-۱۱۶/۹۴	۰/۹۹	-۱۳۶/۴۸	۰/۹۹	-۱۱۵/۱۲	۰/۹۹	خاک شنی	
-۸۸/۳۱	۰/۹۸	-۷۳/۹۸	۰/۹۳	-۸۴/۷۱	۰/۹۷	-۹۳/۰۱	۰/۹۸	خاک لومی	ون گنوختن
-۱۰۳/۳۲	۰/۹۸	-۱۱۴/۲۳	۰/۹۸	-۱۴۰/۲۰	۰/۹۹	-۱۱۴/۸۵	۰/۹۹	خاک شنی	
-۸۶/۹۴	۰/۹۸	-۷۲/۵۱	۰/۹۳	-۸۱/۹۷	۰/۹۶	-۹۸/۸۰	۰/۹۹	خاک لومی	کاسوگی
-۱۰۳/۸۱	۰/۹۸	-۱۲۶/۷۶	۰/۹۹	-۱۴۹/۹۷	۰/۹۹	-۱۱۳/۰۸	۰/۹۸	خاک شنی	
-۸۷/۷۵	۰/۹۸	-۷۳/۲۵	۰/۹۴	-۹۲/۶۸	۰/۹۸	-۹۸/۷۵	۰/۹۹	خاک لومی	فردلاندوزینگ
-۱۰۳/۲۲	۰/۹۹	-۱۱۸/۸۱	۰/۹۹	-۱۴۸/۷۸	۰/۹۹	-۱۱۷/۱۱	۰/۹۹	خاک شنی	
-۸۹/۹۲	۰/۹۹	-۱۲۰/۴۰	۰/۹۹	-۱۲۳/۶۳	۰/۹۹	-۱۰۴/۰۴	۰/۹۹	خاک لومی	دارنر
-۱۳۶/۴۱	۰/۹۹	-۱۲۸/۰۱	۰/۹۹	-۱۵۲/۲۷	۰/۹۹	-۱۱۵/۰۷	۰/۹۹	خاک شنی	
-۸۲/۳۶	۰/۹۸	-۱۲۰/۲۹	۰/۹۹	-۱۳۵/۷۱	۰/۹۹	-۹۹/۰۶	۰/۹۹	خاک لومی	سکی
-۱۴۸/۰۳	۰/۹۹	-۱۲۵/۵۱	۰/۹۹	-۱۴۳/۶۳	۰/۹۹	-۱۰۹/۷۶	۰/۹۹	خاک شنی	

جدول ۷. رتبه‌بندی شش مدل منحنی رطوبتی خاک در دو بافت خاک شنی و لومی

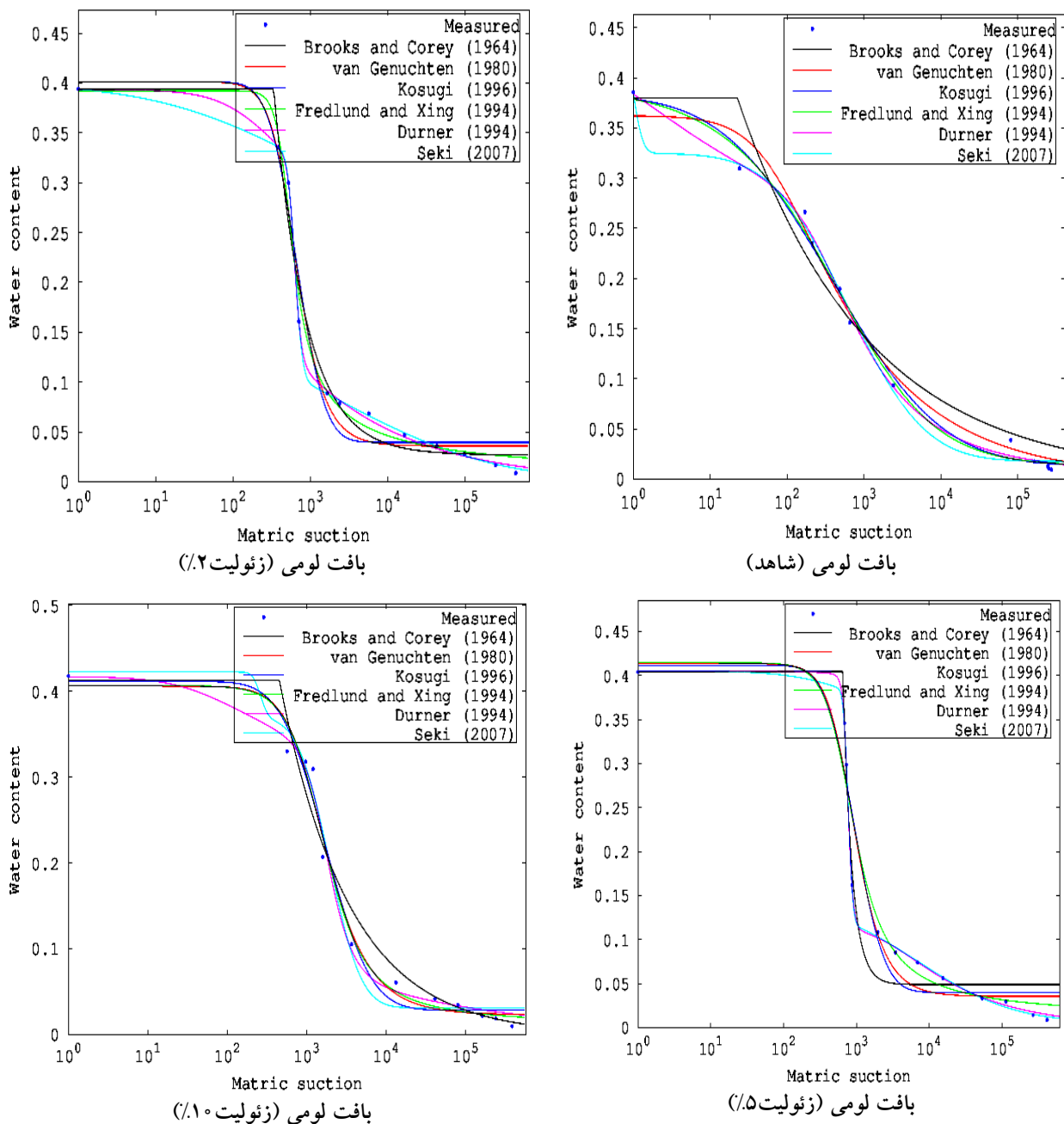
اولویت انتخاب	مجموع رتبه مدل در خاک شنی	رتبه مدل در خاک شنی در سطح کاربرد زئولیت (%)				مجموع رتبه مدل در خاک لومی	رتبه مدل در خاک لومی در سطح کاربرد زئولیت (%)				مدل
		۱۰	۵	۲	۰		۱۰	۵	۲	۰	
		۶	۱۹	۶	۵		۶	۲	۱۹	۶	
۵	۱۹	۴	۶	۵	۴	۱۶	۲	۴	۵	۵	ون گنوختن
۴	۱۳	۳	۳	۲	۵	۱۹	۴	۶	۶	۳	کاسوگی
۳	۱۳	۵	۴	۳	۱	۱۵	۳	۵	۳	۴	فردلاندوزینگ
۱	۷	۲	۱	۱	۳	۵	۱	۱	۲	۱	دارنر
۲	۱۴	۱	۳	۴	۶	۱۰	۵	۲	۱	۲	سکی

و در هر دو بافت نیز مدل بروکس و کوری بیشترین رتبه را به خود اختصاص داده و به عنوان ضعیف‌ترین مدل معرفی می‌شود.

#### تأثیر سطوح مصرف سوپرجاذب زئولیت بر منحنی‌های رطوبتی خاک

با توجه به این موضوع که مدل دارنر به عنوان بهترین مدل معرفی شد و پارامتر  $\theta_s$  و تغییرات آن در مدل‌ها نشان‌دهنده

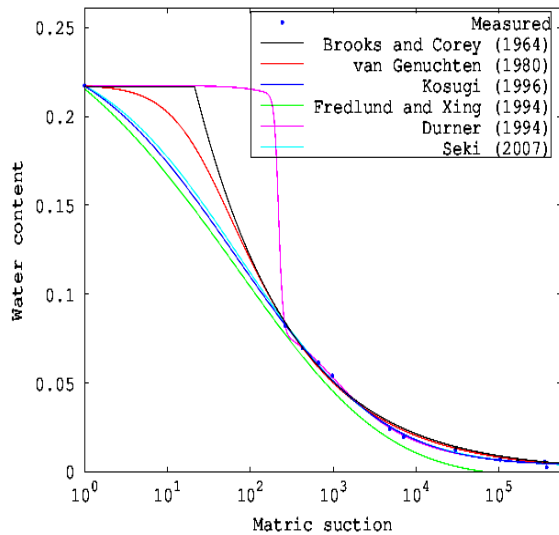
گرفته، مدل دارنر بهترین برازش را با داده‌های اندازه‌گیری شده داشته است (جدول ۷). یکی از دلایلی که مدل دارنر بهترین برازش نقاط را انجام می‌دهد تعداد بیشتر پارامترهای مدل دارنر لومی برازش نقاط را بهتر انجام می‌دهد. به صورت کلی و در هر نسبت به سایر مدل‌ها است. ضعیف‌ترین مدل‌ها در خاک لومی مدل بروکس و کوری و کاسوگی و در خاک شنی مدل بروکس و کوری و ون گنوختن هستند (جدول ۷). به صورت کلی



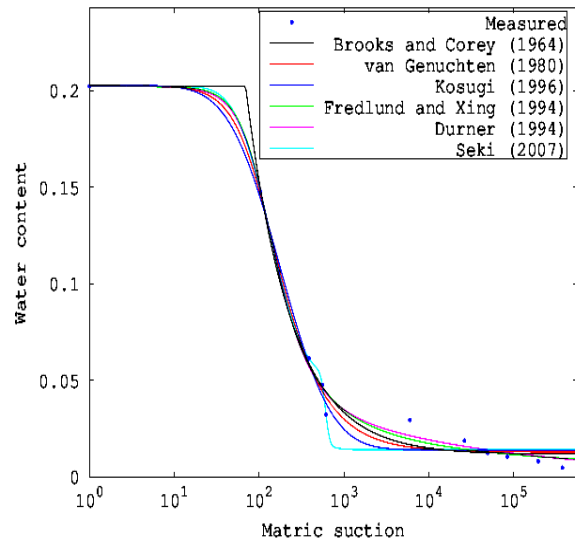
شکل ۲. منحنی‌های رطوبتی خاک لومی با کاربرد زئولیت

مقدار  $\theta_s$  به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ( $p < 0.1$ ) که این امر نشان‌دهنده افزایش ظرفیت نگهداشت آب با وجود زئولیت در خاک است (شکل ۳ و ۵). با توجه به این نتایج می‌توان بیان کرد که کاربرد زئولیت در خاک شنی در سطح مصرف‌های مختلف تأثیر مثبت در ظرفیت نگهداشت آب در خاک دارد ولی کاربرد زئولیت در خاک لومی در سطح مصرف‌های کم (دو درصد) تأثیر منفی و در سطح‌های بالاتر تأثیرات مثبت در ظرفیت نگهداشت

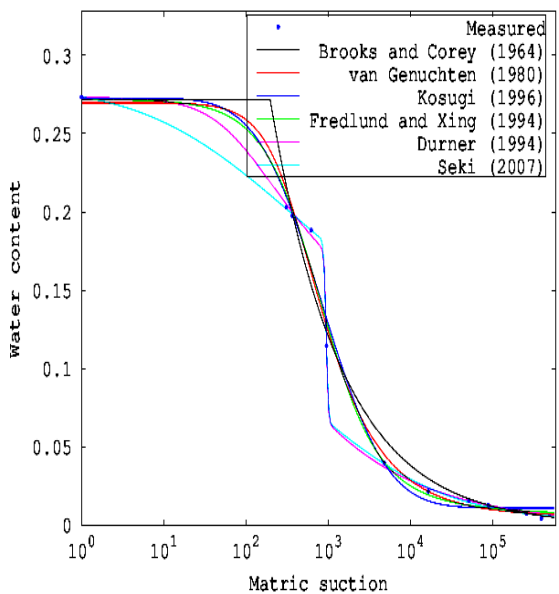
ظرفیت نگهداری آب در خاک است بنابراین آزمون والیس و کروسکال روی پارامتر  $\theta_s$  مدل دارنر صورت گرفت تا اثر زئولیت بر ظرفیت نگهداری آب در خاک‌ها بررسی شود. با توجه به نتایج حاصل (شکل ۴) مشاهده شد که مقدار  $\theta_s$  در خاک لومی با کاربرد زئولیت به جز در سطح دو درصد با افزایش سطح مصرف به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ( $p < 0.1$ ). در خاک شنی نیز با کاربرد زئولیت و افزایش سطح استفاده



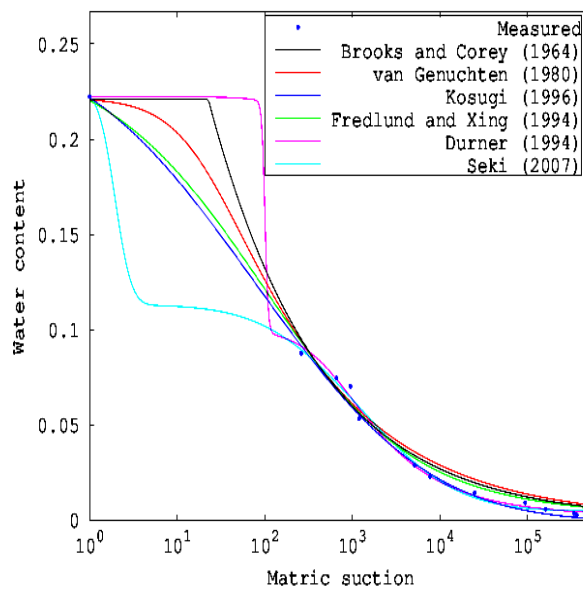
بافت شنی (ژئولیت ۲٪)



بافت شنی (شاهد)



بافت شنی (ژئولیت ۱۰٪)



بافت شنی (ژئولیت ۵٪)

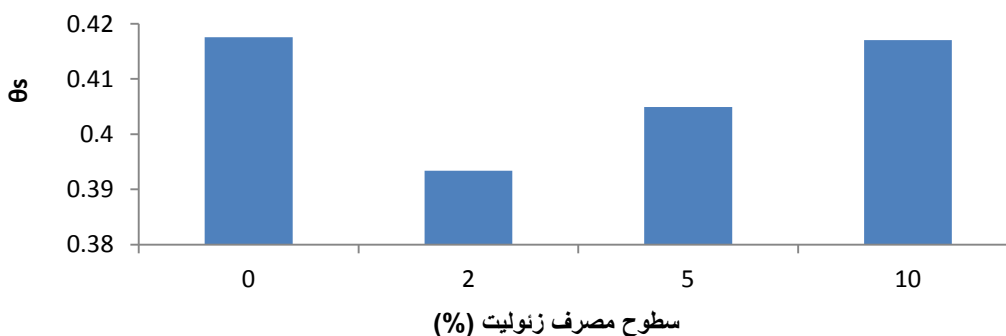
شکل ۳. منحنی‌های رطوبتی خاک شنی با کاربرد ژئولیت

سویرجاذب ژئولیت این پارامتر نیز در هر دو بافت خاک و در تمام سطوح مصرف به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد ( $P > 0.1$ ) که این موضوع نشان‌دهنده افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک با وجود ژئولیت در خاک است. این نتایج با نتایج مطالعه یاسودا و همکاران (۲۶) و همچنین بیگی‌هرجگانی و حق‌شناس گرگابی (۵) و عابدی کویایی و همکاران (۳) مطابقت دارد.

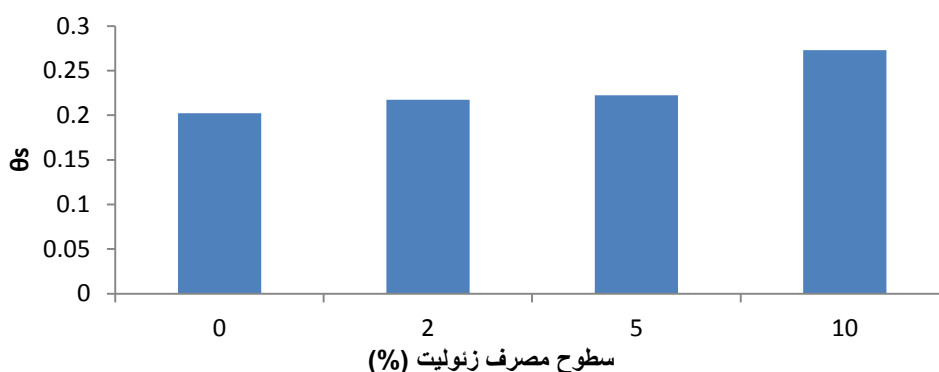
آب در خاک دارد.

### بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که با افزودن ژئولیت به هر دو نوع خاک مورد مطالعه، پارامتر  $\theta_s$  در مناسب‌ترین مدل (مدل دارنر) دارای روند افزایشی است به‌صورتی که با افزایش سطوح مصرف



شکل ۴. تغییرات  $\theta_s$  در سطوح مختلف سوپرجاذب در خاک لومی



شکل ۵. تغییرات  $\theta_s$  در سطوح مختلف سوپرجاذب در خاک شنی

نیست. همچنین نتایج تحقیق نبی‌زاده و بیگی هرچگانی (۱۹)، نشان داد که در مجموع مدل ون‌گنوختن بهترین و مدل بروکس-کوری ضعیف‌ترین مدل هستند.

### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن سوپرجاذب زئولیت به خاک (شنی و لومی) ویژگی‌های مربوط به نگهداشت آب را بهبود می‌بخشد و باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک می‌شود. در نتیجه می‌توان از این سوپرجاذب برای مصارف گوناگونی مانند کشاورزی استفاده کرد و این‌گونه در بهبود کشاورزی و نیز صرفه‌جویی در مصرف آب در زمینه کشاورزی گامی مؤثر برداشت. همچنین مدل دارنر بهترین مدل برای تخمین منحنی مشخصه رطوبتی در خاک‌های لومی و شنی است. که دلیل آن می‌تواند تعداد پارامترهای زیاد این مدل باشد.

یاسودا و همکاران (۲۷) نیز طی مطالعه‌ای به این نتیجه رسیدند که زئولیت باعث افزایش نگهداشت آب می‌شود و همچنین نتایج تحقیق بیگی هرچگانی و حق‌شناس گرگابی (۵) نشان داد که افزودن زئولیت و یا پلیمر طراوات  $A_{200}$  به بافت شنی باعث افزایش نگهداشت آب در مکش‌های مختلف و افزایش آب قابل استفاده می‌شود. نتایج دیگر این مطالعه نشان داد که بهترین مدل برای تخمین منحنی مشخصه رطوبتی خاک‌های لومی و شنی مدل دارنر است البته مدل دارنر در خاک‌های لومی بهتر برآزش نقاط را انجام می‌دهد و ضعیف‌ترین مدل‌ها در خاک لومی مدل بروکس و کوری و مدل کاسوگی و در خاک شنی مدل بروکس و کوری و مدل ون‌گنوختن هستند که این نتایج با نتایج پژوهش مانیام و همکاران (۱۷) و زارعی و همکاران (۲۸) مطابقت ندارد و آنها مدل‌های دیگری را به‌عنوان بهترین مدل ارائه کرده‌اند. مانیام و همکاران (۱۷)، طی مطالعه‌ای به نتیجه که همیشه مدل دارای پارامترهای بیشتر لزوماً دارای کارایی بیشتر

## منابع مورد استفاده

1. Abdi, GH. 2008. Effect of natural zeolite to reducing salt stress in Kentucky bluegrass (*Poa pratensis*). In: Proceeding of the 1<sup>st</sup> Iran International Zeolite Conference, Tehran.
2. Asadkazemi, J. 2005. Effect of Superabsorbent A200 Polymer and Two Types of Firouzkouh and Semnan Zeolites on Growth Indicators and Water Requirement of Two Isfahan Green Landscape Plants. MSc. Thesis. Irrigation Field School of Agriculture. Isfahan University of Technology.
3. Abedi Koupai, J. and F. Sohrab. 2005. Estimation of Hydraulic Properties of Different Soils on Addition of Synthetic and Natural Superabsorbents Using RETC Model. Tehran, Third Specialized Training Course and Seminar on the Use of Superabsorbed Hydrogels.
4. Alemi, M. H. 1981. Water and Soil (translation). First Edition. University of Tehran Publications. No. 1792.
5. Begay Harchegani, H. and M. Haghshenas Gorgabe. 2012. Interaction effect of middle zeolite and refreshing polymer A200 on water retention capacity and coefficients of moisture curve model in a light soil texture. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research* 19(4): 692-679.
6. Baiburdi, M. 2000. Principles of Irrigation Engineering. first volume. Water-soil relations. University of Tehran Publications. Seventh Edition.
7. Cornelis, W. M., J. Ronsyn, M. Van Meirvenne and R. Hartmann. 2001. Evaluation of pedotransfer functions for predicting the soil moisture retention curve. *Soil Science Society of America Journal* 65(3): 638-648.
8. Ebrahimi, A. S., H. Bayat, S. Sadeghi, M. Falah, M. Jere and M. Zanganeh. 2016. Application of Soil Density Curve Properties to Estimate Soil Moisture Using Van Genuchten Model. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 47(2): 217-228.
9. Ghayyur, F., Z. Eskandari and A. H. Sherbaf. 2005. Investigation and Comparison of Some Moisture Absorbents on Soil Water Retention and Potential. In: Proceedings of the 9<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress, Karaj, pp. 293-295.
10. Ghanbarian, B., A. S. Lyagat, M. Shorafa and S. Moghimi. 2007. Evaluation of perfect fractal model in predicting soil moisture characteristic curve. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 1(1): 7-19.
11. Haghshenas Gorgab, M. and H. Begay Harchegani. 2010. The effect of middle zeolite on water storage capacity and coefficients of moisture curve models of two sandy soil and lomersei textures. *Iranian Journal of Water Research* 4(6): -42, 35.
12. He, X. and Z. Huang. 2001. Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. *Conservation and Recycling* 34(1): 45-52.
13. He, X. and Z. Huang. 2001. Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. *Conservation and Recycling* 34(1): 45-52.
14. Kheiri Shelmzari, K., S. Boroumandasrab, S. M. Alavi 2012. Effect of superabsorbent surfaces on saturated hydraulic conductivity, porosity and moisture characteristic curve in crop soil. In: Proceeding of the Third National Conference on Comprehensive Water Resources Management.
15. Kazemipour Esfahlan, 2011. Estimation of Soil Characteristic Curve Using Stability Limit and Some Physical Properties in Calcareous Soils. MSc. Thesis, Zanjan University, Faculty of Agriculture.
16. Liu, Y. B. and F. De Smet. 2004. WetSpa of Manual. Pp. 1-126.
17. Manyame, C., C. L. Morgan, J. L. Heilman, D. Fatondji, B. Gerad and W. A. Payne. 2007. Modeling hydraulic properties of sandy soils of Niger using pedotransfer functions. *Geoderma* 141: 407-415.
18. Naderi, F., A., Vashghani Farahani 2006. Soil moisture retention using water-absorbing polymers (hydrogels). *Soil and Water Sciences* 1(20): 64-72.
19. Nabizadeh, A. and H. Begay Harchegani. 2011. Fit quality of several experimental models of soil moisture curve in Lordegan city from Chaharmahal Bakhtiari province. *Journal of Soil and Water Science and Technology* 25(3): 634-645.
20. Norafkan H. 2007. The Benefits of Stacosorb and Zeolite in Greenhouse Soil Blends. The first workshop to improve water use efficiency by cultivating greenhouse crops. Issue 18. 9 p.
21. Rajurkar, M. P., U. C. Kothiyari and C. C. Chaube. 2004. Modeling of the daily rainfall runoff relationship with artificial neural network. *Journal of Hydrology* 285: 96-113
22. Sohrab, F. 2003. Evaluation of the effect of addition of moisture absorbents on water retention capacity in ardestan watershed. MSc. Thesis, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology.
23. Simunek, J., M. Th. VanGenuchten and M. Sejna. 2005. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably- saturated media. Version 3.0, HYDRUS Software Series 1. Department of Environmental Sciences. University of California Riverside. Riverside. CA.
24. Torabi Farsani, N, B, Champion. 2007. Gahreman of several conventional transfer functions for estimating soil moisture curve in multiple soils in Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 1(2): 45-57.

25. Xiubin, H. and H. Zhandin. 2001. Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. *Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy* 34: 45- 52.
26. Yasuda, H., K. Takuma, N. Mizuta and H. Nishide. 1995. Water retention variety of dune sand due to zeolite addition. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Tottori University* 48: 27-34 .
27. Yasuda H., K. Takuma, T. Fukuda, J. Suzuki and Y. Fukushima. 1998. Effects of zeolite amendment on water and salt characteristics in soil. *In: Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, Bangkok, Thailand.*
28. Zarei, G., M. Homayi and A. S. Leygat. 2008. Estimation of unsteady evaporation from non-covered soil based on different soil moisture curve models. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 2(2): 61-71.

## Investigating the Effect of Zeolite on the Coefficients of Soil Moisture Curve Models in Two Sandy and Loamy Texture

R. Ghazavi, E. Omidvar and H. Jeyhoni<sup>1\*</sup>

(Received: June 19-2017 ; Accepted: October 16-2018)

### Abstract

One of the important elements in mechanized irrigation is to know the relation between suction force (matric force) and soil moisture, which is referred to as moisture curve. The shape and coefficients of this curve are influenced by the texture and structure of the soil and can change with soil structure modification. The most important goals of this study were to evaluate the effect of using zeolite on water holding capacity and coefficients of moisture curve patterns of two sandy and loamy soil texture, the effect of using zeolite on the shape and soil moisture curve coefficients based on various models, some of them so far in Iran, zeolite was added to soils at levels of consumption (2, 5 and 10%). The moisture content of each soil was determined at various points in 12 points using a Dicagon machine. Soil moisture curve coefficients using software and fittings of six Brooks and Corey models, Kosugi, Durner, Fredlund and Xing, VanGenuchten and Seki. The results indicate that in all models, the parameter value increases with the use of zeolite and increase the level of use. Water storage capacity also increases with the use of zeolite. Other results showed that the best model for estimating the moisture curve of laryngeal and sandy soils of the Darren model is weakest and the weakest models in the lush soils of the broccoli model and Kasughi model and in the sandy soil of the Brooksouli model Blindness and model-gnuchten Shand.

**Keywords:** Zeolite, Soil moisture curve, Water storage in soil and SWRC 3.0

---

1. Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Kashan University, Kashan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: hadiseh.jeyhoni@gmail.com