

اثر زئولیت میانه بر ظرفیت نگهداری آب و ضرایب مدل‌های منحنی رطوبتی دو بافت خاک شنی و لومرسی

مرضیه حق‌شناس گرگابی^۱ و حبیب‌اله بیگی هرچگانی^{۲*}

چکیده

در این مطالعه اثر زئولیت میانه بر نگهداشت آب در دو بافت لومرسی و شنی بررسی شد. زئولیت میانه در سطوح (۲، ۵ و ۸ درصد) به خاک‌ها اضافه و مخلوط شد. رطوبت هر خاک در مکش‌های ۰ تا ۱۵۰۰ کیلوپاسکال در ۸ نقطه تعیین شد. ضرایب منحنی رطوبتی خاک با استفاده از نرم‌افزار SWRC 3.0 و برازش سه مدل ون‌گنوختن، بروکس-کوری و کمبل به دست آمد. نتایج نشان داد که افزودن بیشتر زئولیت باعث افزایش پاسخ به‌ویژه در بافت شنی می‌شود. مثلاً، در خاک شنی کاربرد ۸ درصدی زئولیت میانه ضمن بالا بردن رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی از ۱۱٪ به ۱۳٪ باعث افزایش آب قابل استفاده به میزان ۱/۵ برابر شاهد شد. همچنین افزودن ۸ درصدی این ماده باعث افزایش ۲ درصدی رطوبت باقی‌مانده و افزایش ۶ درصدی رطوبت اشباع در هر دو خاک شد. تغییر شکل ضرایب در مدل‌های منحنی رطوبتی در پاسخ به افزودن زئولیت نشان‌دهنده کاهش سرعت تخلیه آب از هر دو خاک بود. با افزودن ۸ درصدی زئولیت، ضریب α در مدل ون‌گنوختن در خاک شنی از ۰/۳۲ به ۰/۳۰ و در خاک لومرسی از ۰/۰۴ به ۰/۰۳ کاهش یافت. کاربرد زئولیت میانه می‌تواند در افزایش بهره‌وری از آب مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: زئولیت، نگهداری آب در خاک، منحنی رطوبتی خاک و SWRC 3.0.

ارجاع: حق‌شناس گرگابی م. و بیگی هرچگانی ح. ۱۳۸۹. اثر زئولیت میانه بر ظرفیت نگهداری آب و ضرایب مدل‌های منحنی رطوبتی دو بافت خاک شنی و لومرسی. مجله پژوهش آب ایران. ۴(۶): ۳۵-۴۲.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۲- استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

*نویسنده مسئول: habib.beigi@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۴/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۷/۵

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند اغلب نقاط ایران، آب مهم‌ترین عامل محدودکننده توسعه کشاورزی است. از طرفی کمبود آب بر رشد، کیفیت و عملکرد بسیاری از محصولات اثر می‌گذارد. افزودن مواد اصلاحی به خاک برای افزایش کارایی مصرف آب و بهبود خواص فیزیکی خاک یکی از مهم‌ترین راه‌های مقابله با کمبود آب به‌شمار می‌رود (نورافکن، ۱۳۸۶). از جمله این مواد اصلاحی می‌توان به کانی‌های ژئولیت^۱ اشاره کرد.

ژئولیت‌ها کانی‌هایی طبیعی بوده و کلینوپتیلولیت‌ها^۲ ژئولیت‌های رایج برای اهداف کشاورزی است. طبیعت متخلخل این کانی‌ها باعث افزایش سطح ویژه و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) آنها می‌شود (شادوکس، ۲۰۰۴). ژئولیت‌ها تاکنون در صنایع مختلفی اعم از صنایع نفت و پتروشیمی، صنایع آتش‌نشانی، صنایع نسوز و سرامیک، در صنایع شوینده، به‌کار رفته‌اند. ژئولیت‌ها دارای عناصری مانند پتاسیم، کلسیم، سدیم، آلومنیوم، منیزیم، مس، سیلیسیم، فسفر، گوگرد، آهن و منگنز است و مکمل غذایی دامی و کودهای کشاورزی محسوب می‌شود و می‌تواند در تولید بیشتر محصولات کشاورزی و دامی نقش مهمی ایفا کنند. در کشاورزی به‌عنوان حاصلخیزکننده و افزایش‌دهنده رطوبت خاک و در کاهش آبشویی نیترات استفاده می‌شود (طباطبائی و خالدي، ۱۳۸۰).

ياسودا و همکاران (۱۹۹۵) تغییر نگهداری آب در اثر اضافه کردن ژئولیت به خاک شنی را بررسی کردند. آنها با استفاده برآزش مدل ون‌گنوختن (۱۹۸۰) به منحنی رطوبتی به افزایش مقدار رطوبت قابل دسترس پی بردند. در پی آن، در تحقیق دیگری از یاسودا و همکاران (۱۹۹۸) اثر ژئولیت بر کنترل آب و شوری در خاک بررسی شد. طی این آزمایش ژئولیت علاوه بر افزایش ظرفیت نگهداری آب به‌عنوان یک ملایم‌کننده زیان شوری برای گیاهان تحت آبیاری با آب شور معرفی شد.

به‌نظر می‌رسد که انواع ژئولیت تأثیرهای متفاوتی بر رطوبت خاک به‌جای گذارند. اسدکاظمی (۱۳۸۴) نشان داد که کاربرد ۶ درصدی ژئولیت سمناں نسبت به کاربرد ۶ درصدی

ژئولیت فیروزکوه بیشترین افزایش را در رطوبت قابل استفاده خاک باعث می‌شود. از طرف دیگر، کاربرد ۶ درصدی ژئولیت سمناں تحت کم آبیاری ۶۷٪ و تیمار ۶ درصدی ژئولیت فیروزکوه و آبیاری ۶۷٪ توانستند رشد طولی سرو نقره‌ای را برابر تیمار شاهد کنند. به‌عبارت دیگر، کاربرد ۶ درصدی این دو ژئولیت نیاز آبی سرو نقره‌ای را به‌میزان یک سوم کاهش داد.

عبدی (۲۰۰۸) با اضافه کردن سطوح مختلف ژئولیت (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) به محیط کشت چمن کنتاکی بلوگراس^۳ و اعمال ۳ سطح تخلیه رطوبتی خاک (۲۵، ۴۵ و ۶۵ درصد) دو ماه بعد از کشت بذرها (گذشت دوره استقرار) چنین نتیجه گرفت که کاربرد ۱۵٪ ژئولیت به‌همراه اعمال پایین‌ترین درصد تخلیه رطوبتی خاک (۲۵ درصد) باعث بیشترین رویش و کیفیت چمن شد. سطوح ۵ و ۱۰ درصدی ژئولیت اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان ندادند.

رابطه بین نیروی مکش (نیروی ماتریک) و رطوبت خاک به منحنی رطوبتی خاک 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 به‌وسیله گیاه مؤثر است (عالمی، ۱۳۶۰). منحنی رطوبتی خاک یکی از اصولی‌ترین خواص فیزیکی خاک است که برای پیش‌بینی دیگر خواص هیدرولیکی خاک نظیر زهکشی، نفوذ، هدایت آبی درحالت غیراشباع و غیره کاربرد دارد (بای‌بوردی، ۱۳۷۹). این مشخصه همچنین برای بسیاری از مطالعات آب- خاک مانند حفاظت خاک، برنامه‌ریزی آبیاری، انتقال املاح، رشد گیاهان و بررسی تنش آبی گیاهان ضروری است.

نمایش منحنی رطوبتی به‌وسیله تابع ریاضی از فوایدی برخوردار است. در این صورت می‌توان از تابع مذکور برای تخمین رطوبت و حرکت املاح در خاکرخ با استفاده از مدل‌های حرکت املاح (سیمونک و همکاران، ۲۰۰۵) استفاده کرد. می‌توان انتظار داشت که عوامل مؤثر بر شکل منحنی، ضرایب منحنی به‌ویژه ضرایب شکل را نیز تحت

^۱- Zeolite

^۲- Clinoptilolite

^۳- Poa pratensis

الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. برخی ویژگی‌های اولیه این دو خاک در جدول ۱ داده شده است. در این تحقیق اثر کاربرد سه سطح زئولیت (۲، ۵ و ۸ درصد وزنی) بر نگهداشت آب در دو نوع بافت خاک (شنی و لوم رسی) و همچنین بر ضرایب منحنی رطوبتی حاصل از برازش سه مدل (ون‌گنوختن، ۱۹۸۰، بروکس-کوری، ۱۹۶۴ و کمبل، ۱۹۷۴) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. سه سطح زئولیت با توجه به سطوح به کار رفته در کارهای دیگر (سهراب، ۱۳۸۲، اسدکازمی، ۱۳۸۴ و عبدی، ۲۰۰۸) و نیز با توجه به اقتصادی بودن افزایش زئولیت به خاک انتخاب شد.

جدول ۱- برخی خصوصیات اولیه دو بافت خاک مورد مطالعه

بافت خاک	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	چگالی ظاهری (g cm ⁻³)	کربن آلی (%)	pH	EC (dS/m)	کربنات کلسیم معادل (%)
شنی	۴	۱۳	۸۳	۱/۴۷	۰/۰۸	۷/۷۸	۰/۴۳	۱۵
لوم رسی	۳۲	۲۸	۴۰	۱/۲	۰/۶۶	۷/۱۸	۰/۴۷	۵۰

* درصد از دست رفت آب در اثر خشکاندن در کوره

که در آن: θ_m و θ_v به ترتیب رطوبت وزنی خاک و رطوبت حجمی خاک، m_1 و m_2 به ترتیب وزن خاک مرطوب و وزن خاک خشک شده در آن و ρ_b چگالی ظاهری خاک است. مکش‌های (۳۳، ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۵۰۰ کیلوپاسکال) به کمک دستگاه محفظه فشاری اندازه‌گیری شد. برای آماده کردن نمونه‌ها برای قرار دادن در دستگاه صفحات فشاری به ترتیب زیر عمل شد: ابتدا صفحات سرامیکی دستگاه مذکور به مدت ۲۴ ساعت اشباع شد. سپس خاک مخلوط شده با زئولیت در استوانه‌هایی از جنس PVC به قطر ۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۲ سانتی‌متر، که بر روی صفحات سرامیکی قرار داده شدند، ریخته شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت با آب شهر (EC=۰/۴ dS/m) اشباع شد و در روز بعد به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت برای تعیین منحنی رطوبتی تحت فشار معادل مکش موردنظر در دستگاه محفظه فشاری قرار داده شدند. بعد از رسیدن به تعادل، نمونه‌ها از دستگاه خارج و بلافاصله وزن شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آن کاملاً خشک شدند و وزن نهایی آن نیز اندازه‌گیری شد. بعد از تعیین رطوبت وزنی (معادله ۱) و با استفاده از جرم ویژه ظاهری، رطوبت حجمی محاسبه شد (معادله ۲).

تأثیر قرار دهند (سهراب، ۱۳۸۲). از جمله آنها ضرایب α (عکس مکش ورود هوا) و n (شیب منحنی رطوبتی) در منحنی رطوبتی ون‌گنوختن (۱۹۸۰) است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه یک خاک شنی از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری از یکی از مزارع حواشی رودخانه زاینده‌رود در شهر سامان و یک خاک لوم-رسی از همان عمق از فرخشهر (هر دو واقع در استان چهارمحال و بختیاری) نمونه‌برداری شدند. خاک‌های موردنظر بعد از انتقال به آزمایشگاه کوبیده و از

زئولیت مورد استفاده در این مطالعه زئولیت کلینوپتیلولیت میانه (از معادن شهر میانه از توابع استان آذربایجان شرقی) است که از شرکت افروندتوسکا تهیه شد و بعد از عبور از الک دو میلی‌متری با خاک مخلوط شد. برخی از خصوصیات کلی این نوع زئولیت در جدول ۲ داده شده است.

زئولیت کلینوپتیلولیت میانه در سه سطح (۲، ۵ و ۸ درصد) با سه تکرار به خاک‌ها اضافه و مخلوط شد. درصد وزنی رطوبت در مکش‌های (۰، ۵، ۷/۵ و ۱۰ کیلوپاسکال) به وسیله دستگاه ستون آب آویزان^۱ اندازه‌گیری شد. برای این منظور ابتدا صفحه سرامیکی دستگاه و نمونه خاک به مدت ۲۴ ساعت اشباع شدند. سپس نمونه اشباع شده به مدت ۲۴ ساعت تحت فشار موردنظر قرار گرفت. بعد از ۲۴ ساعت وزن نمونه مرطوب اندازه‌گیری و به مدت ۲۴ ساعت در داخل آن قرار داده شد. با استفاده از معادله (۱) و (۲) رطوبت وزنی و حجمی در مکش موردنظر تعیین شد.

$$\theta_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \quad (1)$$

$$\theta_v = \theta_m \times \rho_b \quad (2)$$

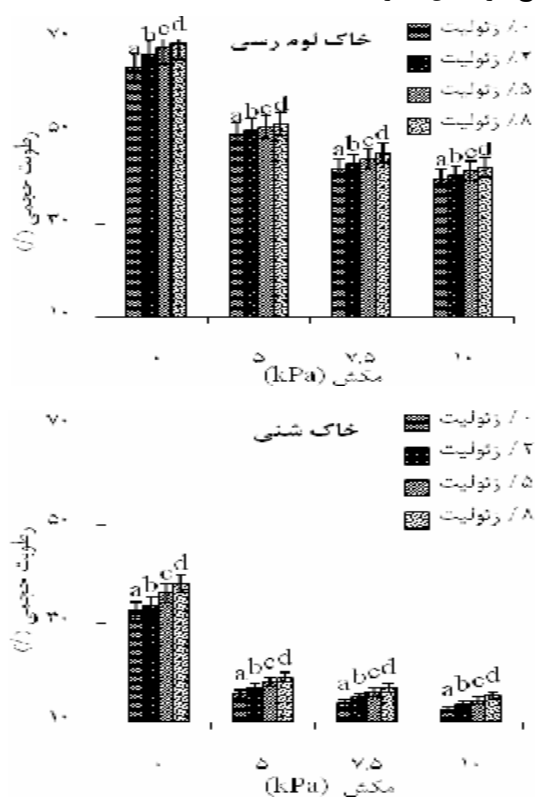
1- Hanging water column

LSD و سطح احتمال ۵٪ استفاده شد. این محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار STATISTICA 7.0 انجام گرفت.

نتایج و بحث

اثر کاربرد زئولیت میانه بر نگهداشت آب در مکش‌های پایین (۰ تا ۱۰ کیلوپاسکال) درصد حجمی رطوبت با افزایش کاربرد زئولیت میانه در مکش‌های پایین (۰ تا ۱۰ کیلو پاسکال) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین افزایش در خاک شنی و در نقطه اشباع رخ داد و با افزایش مکش میزان افزایش رطوبت حجمی کاهش یافت.

به‌طور کلی در تمامی مکش‌ها و در مورد هر دو خاک با افزایش کاربرد زئولیت میانه درصد رطوبت حجمی به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافته است ($p < 0.05$). نتایج در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- تغییرات رطوبت حجمی در اثر کاربرد زئولیت در مکش‌های ۰ تا ۱۰ کیلوپاسکال در خاک لوم رسی و خاک شنی.

اثر زئولیت بر رطوبت حجمی در مکش‌های بالا

درصد حجمی رطوبت با افزایش کاربرد زئولیت کلینوپتیلولیت میانه در مکش‌های بالا (۳۳ تا ۱۵۰۰ کیلوپاسکال) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$)

به‌منظور بررسی اثر کاربرد زئولیت میانه بر شکل و ضرایب منحنی رطوبتی خاک از سه مدل ون‌گنوختن (۱۹۸۰)، بروکس-کوری (۱۹۶۴) و کمپل (۱۹۷۴) استفاده شد. معادله ون‌گنوختن (۱۹۸۰)، بروکس-کوری (۱۹۶۴) و کمپل (۱۹۷۴) به‌ترتیب در معادلات ۳، ۴ و ۵ داده شده است.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha\psi)^n)^{(1-\frac{1}{n})}} \quad (3)$$

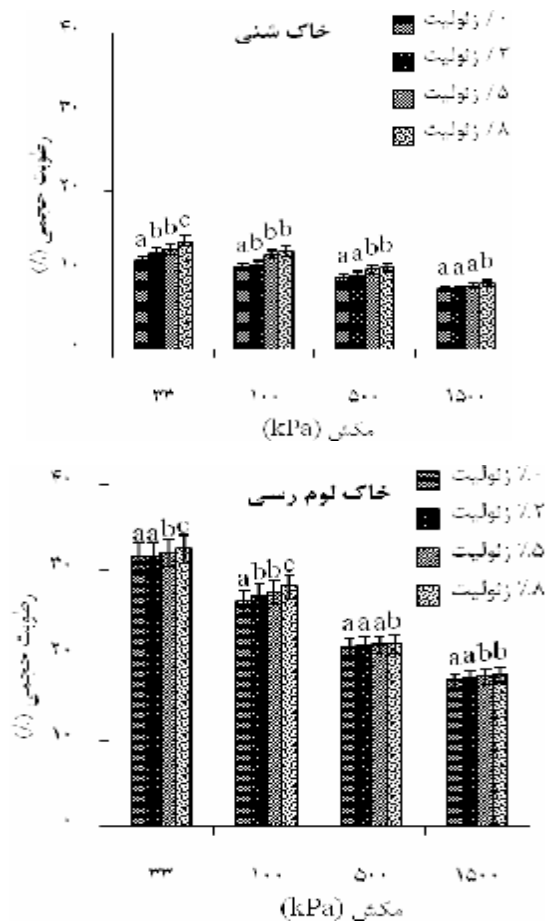
$$\theta = \begin{cases} \theta_r + (\theta_s - \theta_r)(\alpha\psi)^{-\lambda} & (\psi \geq \frac{1}{\alpha}) \\ \theta_s & (0 \leq \psi < \frac{1}{\alpha}) \end{cases} \quad (4)$$

$$\psi = \psi_e \left(\frac{\theta_s}{\theta} \right)^\lambda \quad (5)$$

که در آنها ψ قدر مطلق پتانسیل ماتریک (مکش)، θ_r و θ_s به‌ترتیب رطوبت حجمی اشباع و رطوبت حجمی مانده در خاک و θ رطوبت حجمی است. α یک پارامتر ریاضی (L^{-1}) است که اغلب به‌عنوان عکس مکش نقطه ورود هوا در نظر گرفته می‌شود، n شیب کلی منحنی رطوبتی، ψ_e پتانسیل ورود هوا و λ پارامتر توزیع اندازه منافذ خاک است. ضرایب α ، n و λ بر روی شیب توابع نگهداشت تأثیر می‌گذارد و از این‌رو فاکتور شکل نام دارند.

ضرایب سه مدل مذکور با برازش هر مدل به داده‌های آزمایشی هر تکرار از هر تیمار استفاده از نرم‌افزار SWRC 3.0 و الگوریتم نیوتن-رافسون^۱ به‌دست 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 نیوتن-رافسون توسعه یافته است. اثر زئولیت بر ویژگی‌های رطوبتی خاک (رطوبت در هر مکش، آب قابل استفاده) و ضرایب مدل ون‌گنوختن (۱۹۸۰)، بروکس-کوری (۱۹۶۴) و کمپل (۱۹۷۴) با استفاده از تجزیه واریانس انجام شد. برای مقایسه میانگین‌های رطوبت در هر مکش، ضرایب مدل ون‌گنوختن (۱۹۸۰)، کمپل (۱۹۷۴) و بروکس-کوری (۱۹۷۴) از آزمون

1- Newton-Raphson



شکل ۲- تغییرات رطوبت حجمی در اثر کاربرد ژئولیت در مکش‌های ۳۳ تا ۱۵۰۰ کیلو پاسکال در خاک لومرسی و خاک شنی.

جدول ۳- آماره‌های کیفیت برازش سه مدل منحنی رطوبتی خاک

مدل	AIC*	MSE	R ²
ون گنوختن (۱۹۸۰)	-۱۴/۵۳	۰/۰۰۰۲۸	۰/۹۹۵
بروکس-کوری (۱۹۶۴)	-۱۱/۸۷	۰/۰۰۰۷۴	۰/۹۸۵
کمپل (۱۹۷۴)	-۱۳/۴۲	۰/۰۰۰۶۰	۰/۹۸۹

* Akaike Information Criterion

اثر کاربرد ژئولیت بر ضرایب مدل ون گنوختن

مقدار θ_s در هر دو نوع خاک با کاربرد ژئولیت کلینوپتیلولیت میانه و افزایش سطح استفاده به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$) که نشان‌دهنده افزایش ظرفیت نگهداشت آب با وجود ژئولیت در خاک است. مقدار θ_s در هر سطح کاربرد ژئولیت کلینوپتیلولیت میانه با

بیشترین افزایش نگهداری رطوبت در خاک شنی و در نقطه FC با کاربرد ۸٪ ژئولیت رخ داد. در خاک شنی در نقطه ۳۳ کیلوپاسکال تمامی سطوح کاربرد با شاهد و با سطح قبلی اختلاف معنی‌داری نشان دادند ($p < 0.05$) ولی در نقطه PWP فقط کاربرد ۸ درصدی ژئولیت کلینوپتیلولیت میانه اختلاف معنی‌داری در مقابل شاهد نشان داد. افزایش رطوبت در FC با کاربرد ۸٪ ژئولیت در خاک لومرسی از ۳۱٪ به ۳۲٪ و در خاک شنی از ۱۱٪ درصد به ۱۳٪ رسیده است. به‌طورکلی پاسخ خاک لومرسی به کاربرد ژئولیت کمتر بود (شکل ۲).

مقدار آب قابل ذخیره در خاک که بتواند مورد استفاده گیاه قرار گیرد آب قابل استفاده نام دارد که بین دو حد پتانسیلی FC و PWP قرار دارد. کاربرد ژئولیت کلینوپتیلولیت میانه در خاک شنی باعث افزایش آب قابل استفاده به‌میزان ۱/۵ برابر شاهد شد. در خاک لومرسی این افزایش معنی‌دار نبود ($p < 0.05$). افزایش آب قابل استفاده در خاک شنی از آنجا ناشی می‌شود که ژئولیت کلینوپتیلولیت میانه در این خاک FC را بیشتر از PWP افزایش می‌دهد. نگهداشت آب در مکش‌های بالاتر ناشی از جذب سطحی است و بنابراین بیشتر از بافت خاک و به‌خصوص نواحی سطحی خاک تأثیر می‌گیرد (شارد و همکاران، ۲۰۰۴). به‌نظر می‌رسد کانی ژئولیت در خاک شنی با جذب سطحی رطوبت نگهداشت آب را در مکش‌های بالا افزایش می‌دهد. این درحالی است که در خاک لومرسی میزان ژئولیت اضافه شده تغییر چندانی در نگهداشت آب ایجاد نمی‌کند. بر همین اساس افزایش نگهداری رطوبت در مکش‌های بالا به واسطه کاربرد ژئولیت در خاک لومرسی کمتر دیده می‌شود.

با استفاده از نرم‌افزار SWRC 3.0 و با الگوریتم نیوتن-رافسون سه مدل ون گنوختن (۱۹۸۰)، بروکس-کوری (۱۹۶۴) و کمپل (۱۹۷۴) برای توصیف منحنی رطوبتی انتخاب شدند (جدول ۳). چنانکه دیده می‌شود این سه مدل به‌خوبی داده‌های آزمایشی را توجیه می‌کنند: R^2 ها بسیار بالا و MSE بسیار پایین است. ضمناً AIC های منفی نشانه خوبی برازش این سه مدل هستند. در این میان مدل ون گنوختن (۱۹۸۰) از دو مدل دیگر هم بهتر است.

θ_s سطح دیگر متفاوت بود ($p < 0.05$). مقدار θ_r نیز با کاربرد زئولیت کلینوپتیلولیت میانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$) ولی افزایش θ_r برخلاف θ_s در سطح ۰/۲ درصد جدول ۴- مقایسه میانگین اثر زئولیت کلینوپتیلولیت میانه بر ضرایب مدل‌های ون‌گنوختن (۱۹۸۰)، بروکس-کوری (۱۹۶۴) و کمپل (۱۹۷۴)

در دو خاک شنی و لومرسی

مدل	بافت خاک	ضرایب مدل	سطح کاربرد زئولیت کلینوپتیلولیت میانه (%)			
			۱	۵	۲	۰
ون‌گنوختن (۱۹۸۰)	خاک شنی	θ_s	۰/۳۲a	۰/۳۳b	۰/۳۶c	۰/۳۸d
		θ_r	۰/۰۶a	۰/۰۷۴b	۰/۰۷۶b	۰/۰۷۷b
		N	۳/۵۳a	۳/۶۲a	۳/۷۵a	۳/۵۹a
		α	۰/۳۲a	۰/۳۱a	۰/۲۹a	۰/۳۰a
بروکس-کوری (۱۹۶۴)	خاک لومرسی	θ_s	۰/۶۴a	۰/۶۶b	۰/۶۸c	۰/۶۹d
		θ_r	۰/۰۹۷a	۰/۱۰۲b	۰/۱۲c	۰/۱۳c
		N	۲/۰۴a	۱/۸b	۱/۶۹c	۱/۲۱d
		α	۰/۰۴a	۰/۰۵a	۰/۰۴۶a	۰/۰۳۱a
کمپل (۱۹۷۴)	خاک شنی	θ_s	۰/۳۲a	۰/۳۳b	۰/۳۶c	۰/۳۸d
		θ_r	۰/۰۷a	۰/۰۸a	۰/۰۸a	۰/۰۹b
		α	۰/۲۴a	۰/۱۸b	۰/۱۸b	۰/۱۷b
		λ	۰/۴۶a	۰/۴۶a	۰/۴۵a	۰/۴۳b
کمپل (۱۹۷۴)	خاک لومرسی	θ_s	۰/۶۴a	۰/۶۶b	۰/۶۸c	۰/۶۹d
		θ_r	۰/۱۷a	۰/۱۷a	۰/۱۸b	۰/۱۸b
		α	۰/۰۵۸a	۰/۰۶b	۰/۰۶۱b	۰/۰۶۱b
		λ	۰/۴۰a	۰/۴۰a	۰/۴۰a	۰/۴۱a
کمپل (۱۹۷۴)	خاک شنی	θ_s	۰/۳۲a	۰/۳۳b	۰/۳۶c	۰/۳۸d
		λ	۷/۱۸a	۷/۳۱a	۷/۳۳a	۷/۳۷a
		ψ_e	۰/۳۷a	۰/۴۶a	۰/۴۲a	۰/۳۵a
		θ_s	۰/۶۴a	۰/۶۶b	۰/۶۸c	۰/۶۹d
کمپل (۱۹۷۴)	خاک لومرسی	λ	۵/۱۴a	۵/۰۲b	۵/۰۱b	۵/۰۱b
		ψ_e	۱۱/۰۸a	۱۰/۴b	۱۰/۳۹b	۱۰/۴۷b

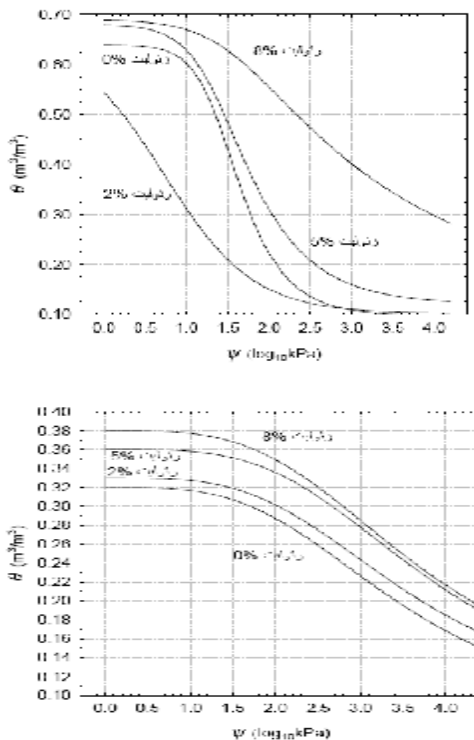
توضیح: میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ردیف اختلاف معنی‌داری ندارند ($p < 0.05$)

این درحالی است که در خاک‌های سنگین n مقدار کمتری نسبت به بافت‌های سبک دارد.

اثر کاربرد زئولیت بر ضرایب مدل بروکس-کوری

مقدار θ_s در هر دو خاک با کاربرد زئولیت کلینوپتیلولیت میانه و افزایش سطح استفاده به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$) که نشان می‌دهد ظرفیت نگهداشت آب، با وجود زئولیت در خاک افزایش یافته است. مقدار θ_r نیز با کاربرد زئولیت کلینوپتیلولیت میانه و افزایش سطح استفاده به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$).

با افزایش زئولیت کلینوپتیلولیت میانه به‌علت افزایش نگهداشت آب در خاک، یک روند کاهشی در مقدار n (شیب منحنی رطوبتی) در خاک لومرسی دیده شد. کاهش n با افزایش زئولیت و افزایش سطح استفاده تفاوت معنی‌داری با شاهد در خاک لومرسی نشان داد. کاهش n به‌معنی کاهش از دست دادن آب خاک است ولی افزایش زئولیت به خاک شنی ضرایب شکل (n و α) را تغییر نداد (جدول ۴). زئولیت به‌دلیل ساختار متخلخل می‌تواند با جذب آب به‌درون خود باعث افزایش نگهداشت آب خصوصاً در خاک‌های شنی شود.



شکل ۳- تغییرات منحنی رطوبتی خاک لومرسی و خاک شنی در اثر کاربرد زئولیت کلینوپتیلولیت میانه. منحنی رطوبتی براساس مدل ون گنوختن (۱۹۸۰) ترسیم شده است.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج تحقیق نشان داد که زئولیت مورد استفاده، اولاً رطوبت حجمی مانده و رطوبت اشباع را در هر دو نوع خاک افزایش داد و ثانیاً ضمن بالا بردن رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی باعث افزایش میزان آب قابل استفاده خاک شنی شد. از طرفی افزایش زئولیت باعث تغییر شکل و ضرایب منحنی رطوبتی به‌گونه‌ای شد که نشان‌دهنده کاهش سرعت تخلیه آب از خاک بود. بنابراین، به‌دلیل کاهش هزینه‌های آبیاری و با توجه به قیمت ارزان زئولیت در کشور می‌توان از این ماده به‌ویژه در بافت‌های سبک برای بالا بردن میزان نگهداشت آب و افزایش فواصل آبیاری استفاده کرد.

منابع

- ۱- اسدکاظمی ج. ۱۳۸۴. اثر پلیمر سوپر آب ۲۰۰ A و دو نوع زئولیت فیروزکوه و سمنان بر شاخص‌های رشد و نیاز آبی دو گونه گیاهی فضای سبز اصفهان. پایان‌نامه

زئولیت ضرایب α و λ را در خاک شنی کاهش داده ولی در خاک لومرسی با کاربرد زئولیت کلینوپتیلولیت میانه α نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و مقدار λ (شاخص توزیع اندازه خلل و فرج) تغییر معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان نداد. در خاک شنی با کاربرد ۸ درصدی زئولیت کلینوپتیلولیت میانه مقدار λ 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 می‌کند (جدول ۴). همچنین کاهش α در خاک شنی و افزایش آن در خاک لومرسی نشان‌دهنده بهبود ساختار رطوبتی خاک‌هاست. براساس تغییرات حاصل از کاربرد زئولیت در ضرایب بروکس-کوری (۱۹۶۴) می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاربرد زئولیت کلینوپتیلولیت میانه می‌تواند برای بهبود شرایط رطوبتی خاک‌های سبک مفید باشد.

اثر کاربرد زئولیت بر ضرایب مدل کمپل

مقدار θ_s در هر دو خاک با کاربرد زئولیت و افزایش سطح استفاده به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که نشان می‌دهد ظرفیت نگهداشت آب، با وجود زئولیت در خاک افزایش یافته است. تغییرات $1/e$ (کاهش پتانسیل ورود هوا) در خاک شنی نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. اما در خاک لومرسی مقدار این پارامتر کاهش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد (جدول ۴). کاهش پتانسیل ورود هوا در خاک لومرسی می‌تواند مشکل ماندابی شدن این خاک‌ها را حل کند. مقدار λ با افزایش زئولیت در خاک شنی کاهش و در خاک لومرسی این مقدار کاهش یافت. کاهش این پارامتر در خاک شنی نشانه افزایش خلل و فرج ریز است و می‌تواند مشکل نگهداشت آب در این خاک‌ها را برطرف کند و در خاک لومرسی افزایش این پارامتر نشانه افزایش خلل و فرج درشت می‌باشد. منحنی رطوبتی هر دو خاک در شکل ۳ نشان داده شده است.

- 15- Simunek J. VanGenuchten M.Th. and Sejna M. 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. 270pp.
- 16- VanGenuchten M.Th. Leij F.J. and Yates S.R. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. Research Report No. 600/2-91/065. USEPA. Environment Research Laboratory. Ok.
- 17- Yasuda H. Takuma K. Fukuda T. Suzuki J. and Fukushima Y. 1998. Effects of zeolite amendment on water and salt characteristics in soil proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, Bangkok. Thailand. 837-842.
- کارشناسی‌ارشد. رشته آبیاری. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۲- بای‌بوردی م. ۱۳۷۹. اصول مهندسی آبیاری. جلد اول. روابط آب و خاک. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ هفتم. ۶۴۴ ص.
- ۳- سهراب ف. ۱۳۸۲. ارزیابی تأثیر افزودن مواد جاذب رطوبت بر ظرفیت نگهداشت آب در اراضی آبخیز اردستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۳۲ ص.
- ۴- طباطبایی س.ح. و خالدی ه. ۱۳۸۰. اثرات کاربرد ژئولیت در مسائل محیط زیست. نشریه علمی، اجتماعی و فرهنگی آب و محیط زیست. ۴۷: ۲۴-۳۰.
- ۵- عالمی م. ح. ۱۳۶۰. آب و خاک (ترجمه). چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران. شماره ۱۷۹۲.
- ۶- نورافکن ح. ۱۳۸۶. مزایای استفاده از استاکوسورب و ژئولیت در آمیخته‌های خاکی گلخانه‌ها. اولین کارگاه فنی ارتقا کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای. شماره ۱۸. ۹ ص.
- 7- Abdi Gh. 2008. Effect of natural zeolite to reducing salt stress in Kentucky bluegrass (*Poa pratensis*). 1st Iran International Zeolite Conference. Tehran. 319-320.
- 8- Brooks R.H. and Corey A.T. 1964. Hydraulic properties of porous media. Colorado State University Hydrol. 3: 27p.
- 9- Campbell G.S. 1974. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. Soil Sci. 117:311-314.
- 10- Dourando-Neto D. Nielsen D.R. Hopmnas J.W. Reichardt K. and Santos Bacchi OO. 2001. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 3.00). Scientia Agricola.
- 11- Polat E. Karaca M. Demir H. and Naci Onus A. 2004. Use of natural zeolite (Clinoptilolite) in agriculture. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research. 12:183-189.
- 12- Shaddox T. 2004. Investigation of soil amendments for use in golf course putting green construction. Soil and Water Science. 136 p.
- 13- Sharad K. J. Singh V. P. and van Genuchten M. Th. 2004. Analysis of soil water retention data using artificial neural networks. Journal of Hydrologic Engineering, 9:415-420
- 14- StatSoft Inc. 2004. STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com