نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۱، ص. ۱۱۱-۱۰۴

Journal of Agroecology
Vol. 4, No. 2, Summer 2012, p. 104-111

تأثیر اصلاحگرها بر میزان نگهداشت آب در مکش‌های گوناگون یک خاک شور- سدیمی

حجت امامی[1*]، علی رضا آستارایی[2]، مهدی مهاجرپور[3] و عمار فرح‌بخش[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۱/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۰۳

چکیده

استفاده از مواد بهساز برای اصلاح خاک‌های شور- سدیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک یکی از روش‌های متداول برای بهبود ویژگی‌های خاک است. برای مطالعه تأثیر مواد بهساز بر نگهداشت آب در خاک، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در یک خاک شور – سدیمی با بافت لوم رسی شنی انجام شد. تیمارهای این پژوهش شامل شاهد (B)، ۱۰ تن در هکتار پودر گچ (G)، ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری (C)، ماده سوپر جاذب وینیل الکل اکریلیک اسید در سه سطح ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ درصد وزنی (S_1، S_2 و S_3) و ترکیب سطوح مختلف سوپر جاذب همراه با گچ و یا کمپوست زباله شهری بودند. بعد از چهار ماه رطوبت تیمارهای مختلف در نه مکش اندازه‌گیری گردید. سپس رطوبت قابل استفاده گیاه تعیین شد. نتایج نشان داد که تمام تیمارهای آزمایشی سبب افزایش معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) میزان رطوبت نگهداری شده در همه‌ی مکش‌ها شدند. در بین تیمارهای آزمایشی تیمار S_1 موجب بیشترین افزایش در مقادیر رطوبت اشباع (θs) و پنج بار گردید و به ترتیب میزان رطوبت در این تیمار ۹۰/۶۷ و ۹۴ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. در مکش ۰/۳ بار (ظرفیت مزرعه) تیمارهای CS_1، S_1 و CS_2 بیشترین تأثیر را بر نگهداری رطوبت خاک داشتند که میزان افزایش رطوبت در این تیمارها نسبت به شاهد حدود ۷۳ درصد بود. در نقطه پژمردگی دائم بیشترین افزایش رطوبت خاک مربوط به تیمار S_1 و CS_3 بود که رطوبت خاک در این تیمارها به ترتیب ۱/۶ و ۱/۴۲برابر تیمار شاهد بود. بیشترین افزایش در رطوبت قابل استفاده گیاه بر اثر افزودن مخلوط ۱۰ تن در هکتار کمپوست و ۰/۲درصد سوپر جاذب به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد حدود ۶۳ درصد افزایش نشان داد. افزون براین افزودن اصلاحگرها به خاک گنجایش هوایی خاک به طور معنی‌داری به بالاتر از حد بحرانی (۰/۱۰ $m^3.m^{-3}$) افزایش داد. بر اساس یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که مخلوط سوپر جاذب همراه با پودر گچ یک راهکار مناسب برای نگهداری رطوبت بیشتر در خاک و کاهش تبخیر در مناطق خشک و نیمه خشک است.

واژه‌های کلیدی: رطوبت قابل استفاده گیاه، گنجایش هوایی، منحنی رطوبتی، مواد بهساز

مقدمه

خاک‌های شور- سدیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک معمولاً دارای ویژگی‌های نامطلوب فیزیکی و مقاومت خاک در برابر نفوذ ریشه می‌باشند که باعث ایجاد محدودیت در رشد گیاهان در این خاک‌ها می‌شود (Karimi & Naderi, 2007). به علاوه کاهش سرعت نفوذ آب در خاک و ظرفیت نگهداری آب در خاک به علت تخریب ساختمان این خاک‌ها نیز موجب ایجاد محدودیت برای رشد گیاهان و کاهش عملکرد می‌شود. بنابراین بایستی در این نوع خاک‌ها مدیریت‌هایی ویژه‌ای اعمال شود تا ویژگی‌های فیزیکی خاک تا حد مطلوب بهبود یابد (Karimi & Naderi, 2007). کاربرد مواد اصلاح کننده یکی از روش‌هایی است که برای اصلاح این نوع خاک-ها متداول می‌باشد. در بیشتر خاک‌ها ماده آلی به عنوان بهترین ماده اصلاحی برای افزایش ظرفیت نگهداری آب درخاک و بهبود ویژگی-های فیزیکی خاک می‌باشد (Karimi & Naderi, 2007).

در کشاورزی مدرن پلی‌مرهای آب‌دوست برای تقویت وضعیت تغذیه‌ای و رطوبتی گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرند (Andry et al., 2009). گزارش شده است که پلی‌مرهای آب‌دوست توانایی نگهداری آب به میزان ۵۰۰ برابر وزنشان را دارا می‌باشند. برخی تحقیقات (Johnson, 1984; Bowman & Evans, 1991) نشان داده است هر گرم هیدروژل خشک ۴۰۰ تا ۱۵۰۰ گرم آب جذب می‌کند که می‌تواند به عنوان یک مخزن مازاد آب برای سیستم

۱، ۲ و ۴- به ترتیب استادیار، دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (E-mail: hemami@um.ac.ir

خاک– گیاه و به حداکثر رساندن کارآیی جذب آب توسط گیاه (Abedi-Koupai et al., 2008) عمل نماید و لذا می‌تواند تنش‌های آبی در گیاهان را کاهش دهد.

فلانری و و بوسچر (Flannery & Busscher, 1982) و جانسون (Johnson, 1984) گزارش نمودند که استفاده از پلی-مرهای آب‌دوست مقدار رطوبت در دسترس را در ناحیه رشد ریشه افزایش داده، بنابراین فواصل بین آبیاری‌ها را طولانی‌تر می‌کند. طبق گزارش ال–شافعی و همکاران (El-Shafei et al., 1992) و تیل و ال‌هادی (Teyel & El-Hady, 1981) پلی‌مرهای آب‌دوست در افزایش ظرفیت نگهداری آب، کاهش نفوذ عمقی و کاهش تبخیر در خاک‌های شنی مؤثر می‌باشند. علاوه بر این، استفاده از پلی‌مرهای آب‌دوست باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌شود، زیرا کاربرد این مواد سبب می‌شود آبی که به طرق مختلف به خارج از ناحیه رشد ریشه آبشویی می‌شود، در خاک ذخیره شود. در روزهای گرم، تارهای کشنده ریشه‌های گیاهان آب را جذب نموده و بخش عمده‌ی آب نواحی نزدیک ریشه را تخلیه می‌کنند و از این‌رو گیاه را با تنش آبی روبرو می‌سازند. پلی‌مرهای آب‌دوست با افزایش رطوبت قابل استفاده، به کاهش تنش آبی گیاهان کمک نموده و منجر به افزایش رشد و نمو گیاهان می‌شود (Baker, Gehring & Lewis, 1980; 1991). همچنین گزارش شده است که پلی‌مرهای آب‌دوست پتانسیل افزایش جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها و زنده مانی بوته‌های سبز شده (Azzam, 1983) و افزایش میزان بازیافت عناصر غذایی از کودهای افزوده شده به خاک را دارا می‌باشند. والاس و والاس (Wallace & Wallace, 1986) نیز افزایش جوانه‌زنی گوجه-فرنگی (*Lycopersicum esculentum* L.)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) و کاهو (*Lactuca sativa* L.) را در خاک‌هایی با مقادیر مختلف ترکیبات پلی‌اکریلیک‌آمید گزارش نمودند. وودهوس و جانسون (Woodhouse & Johnson, 1991) نیز عنوان کردند که گیاهان در حضور پلی‌مرهای آب‌دوست دیرتر پژمرده می‌شوند. سیلبربوش و همکاران (Silberbush et al., 1993a) پلی‌اکریل‌آمید آب‌دوست Agrosoak (با نسبت‌های وزنی صفر، ۰/۱۵، ۰/۳ و ۴۵ درصد در ۲۵ سانتی‌متری فوقانی خاک) را به عنوان اصلاحگر به خاک زیر کشت ذرت (*Zea mays* L.) اضافه نمودند. آنها نشان دادند که ظرفیت ذخیره آب خاک با افزایش Agrosoak افزایش یافت، اجزای عملکرد به جز وزن خشک ریشه نیز با کاربرد Agrosoak افزایش نشان داد. سیلبربوش و همکاران (Silberbush et al., 1993b) همچنین گزارش نمودند که هیدروژل Agrosoak آب قابل دسترس را برای کلم (*Brassica* sp.) افزایش داد که در واقع در افزایش عملکرد کلم آبیاری شده با آب شور نقش داشت. با این وجود آنها نتیجه گرفتند که این PAM خاص، سدیم خاک را افزایش داد و این باعث کاهش عملکرد در زمان آبیاری با آب شیرین گردید.

استفاده از هیدروژل‌های آب دوست به منظور بهبود کیفیت هیدرولیکی خاک و بالا بردن توان ویژگی‌های فیزیکی خاک در منابع مورد گفتمان و بررسی قرار گرفته است. ویژگی‌هایی از خاک که تعیین کننده جریان آب در خاک می‌باشند عمدتاً هدایت هیدرولیکی و منحنی رطوبتی خاک هستند. هدایت هیدرولیکی خاک نشان‌دهنده توانایی آن در انتقال آب است و یکی از فرآیندهایی است که جذب آب به وسیله گیاهان به آن وابسته است. ال–شافعی و همکاران (El-Shafei et al., 1994) با مطالعه پلی‌مرهای آب‌دوست بر ویژگی-های هیدرولیکی عنوان کردند که پخشیدگی آب خاک که تابعی از مقدار آب خاک می‌باشد و با افزایش مقدار پلی‌مرهای آب‌دوست به عنوان اصلاحگر به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

جانسون (Johnson, 1984) با مخلوط نمودن شن با پلی-اکریل‌آمید در دامنه غلظت‌های ۲-۰ $g.kg^{-1}$ دریافت که پلی‌مرهای مورد آزمایش مقدار رطوبت ظرفیت مزرعه شن درشت را از ۱۷۱ تا ۴۰۲ درصد افزایش دادند. همچنین وی نتیجه گرفت که تیمار شاهد شن پس از ۳-۲ روز به نقطه پژمردگی دائم[1] (PWP) رسید، ولی در شن تیمار شده با ۱ $g.kg^{-1}$ پلی‌مر پس ازشش تا هفت روز و در شن شن تیمار شده با ۲ $g.kg^{-1}$ پلی‌مر پس از نه تا ۱۰ روز به نقطه پژمردگی دائم رسید.

با توجه به آنچه عنوان شد استفاده از پلی‌مرهای آب‌دوست مشتق شده از مواد زائد صنعتی مناسب‌ترین راه برای فراهمی رطوبت خاک به نظر می‌رسد (Andry et al., 2009). از آنجا که کاربرد این ماده همراه با مواد اصلاحگر معمول می‌تواند کارایی آنها را افزایش دهد، بررسی تأثیر کاربرد همزمان این ماده همراه با اصلاح‌گرهای معمول خاک‌های شور یا شور– سدیمی بر افزایش کارایی اصلاح‌گرها و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک دارای اهمیت است. لذا در این پژوهش تأثیر ماده سوپر جاذب به صورت جداگانه و همراه با کمپوست زباله شهری که دارای مقدار زیادی ماده آلی است و همچنین پودر گچ که برای اصلاح خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک مورد استفاده قرار می‌گیرد بر آب قابل استفاده گیاه و منحنی رطوبتی در یک خاک شور–سدیمی در سطح مزرعه بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در ۱۲۰ کیلومتری شرق شاهرود (منطقه بکران) واقع شده است و طول و عرض جغرافیایی آن نیز به ترتیب

1- Permanent Wilting Point

"12.18 '31 °36 و "43.86 '54 °55 می‌باشد.

جهت مطالعه تأثیر مواد بهساز بر نگهداشت آب در خاک و رطوبت قابل استفاده گیاه آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در یک خاک شور– سدیمی با بافت لوم رسی شنی انجام شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل EC عصاره‌ی اشباع توسط دستگاه هدایت سنج، اسیدیته گل اشباع توسط الکترود pH متر، کربن آلی به روش والکی و بلک، کربنات کلسیم معادل (TNV) با تیتراسیون با اسید کلریدریک رقیق، SAR با اندازه‌گیری یون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم محلول خاک و از رابطه $SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}$ تعیین شد. بافت خاک نیز به روش هیدرومتری و با اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات (Gee & Bauder, 1986) تعیین شد. نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. تیمارهای مختلف مواد بهساز (۱۵ تیمار) در این طرح شامل، شاهد (B)، ۱۰ تن در هکتار پودر گچ (G)، ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری (C)، ماده سوپر جاذب وینیل الکل اکریلیک اسید در سه سطح (۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ درصد وزنی خاک خشک (S_1، S_2 و S_3)، ترکیب سطوح مختلف سوپر جاذب همراه با ۱۰ تن در هکتار پودر گچ (GS_1، GS_2 و GS_3)، ترکیب سطوح مختلف سوپر جاذب همراه با ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری (CS_1، CS_2 و CS_3) و ترکیب سطوح مختلف سوپرجاذب همراه با گچ و کمپوست زباله شهری (CGS_1، CGS_2 و CGS_3) بودند. پس از اعمال تیمارهای فوق، گیاه سورگوم رقم پگاه (*Sorghum bicolor* cv. Pagah) کشت گردید.

بعد از گذشت چهار ماه و برداشت گیاه، مقادیر رطوبت وزنی تیمارهای مختلف خاک در نه نقطه از منحنی رطوبتی (صفر، ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلو پاسکال) با استفاده از دستگاه صفحه فشاری اندازه‌گیری شد (Klute, 1986).

رطوبت قابل استفاده گیاه[1] (AWC) از تفاضل رطوبت نقاط ظرفیت مزرعه (مکش ۰/۳ بار) و پژمردگی دائم (مکش ۱۵ بار) و گنجایش هوایی خاک نیز از تفاضل رطوبت نقطه اشباع و مکش ۰/۳ بار تعیین شد (Klute, 1986). مقایسه میانگین‌ها نیز به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری پنج درصد با استفاده از نرم افزار MSTAT-C انجام شد. برای تمامی پارامترها سه تکرار در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

تأثیر مواد بهساز بر نگهداشت آب در خاک

رطوبت اشباع (θ_s) و مکش‌های ۰/۱ و ۰/۳ بار

با توجه به شکل یک و جدول دو مشاهده می‌شود تمامی مواد بهسازی که در این خاک شور سدیمی و لوم رسی شنی مورد استفاده قرار گرفته‌اند θ_s را به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد (B) افزایش داده‌اند که علت آن، ناشی از تأثیر مثبت این مواد (سوپر جاذب، کمپوست، گچ و مخلوط آنها) در تشکیل خاکدانه‌ها، بهبود ساختمان خاک و در نتیجه افزایش تخلخل و منافذ درشت خاک می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده، در بین تیمارهای آزمایشی افزودن ۰/۰۵ درصد ماده سوپر جاذب سبب بیشترین افزایش در مقدار θ_s شد، به طوری که میزان θ_s در این تیمار ۹۰/۶۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته است، پس از آن بیشترین افزایش در θ_s مربوط به ترکیب سطوح مختلف سوپر جاذب، کمپوست و گچ است. با آنکه تیمار گچ و ترکیب آن با سوپر جاذب، θ_s را به طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش داده است، اما کمترین افزایش مربوط به تیمار گچ و ترکیب آن با سطوح مختلف سوپر جاذب است که احتمالاً زمان کافی برای واکنش گچ با خاک وجود نداشته و همچنین به سبب واکنش‌های شیمیایی گچ در خاک، ترکیب آن با گچ مانع از فعالیت کامل سوپر جاذب گشته است.

عابدی–کوهپایی و همکاران (Abedi-Koupai et al., 2008) با به کارگیری ۲، ۴، ۶ و ۸ گرم هیدروژل در کیلوگرم خاک نشان دادند که استفاده از هیدروژل‌ها موجب افزایش مقادیر رطوبت اشباع در سه خاک با بافت مختلف گردید که در مطالعه آنها بیشترین افزایش رطوبت اشباع به ترتیب در خاک‌های لوم شنی، لومی و رسی صورت گرفت. علاوه براین، متناسب با افزایش مقادیر هیدروژل به کار برده شده در خاک، مقادیر رطوبت اشباع نیز افزایش یافت.

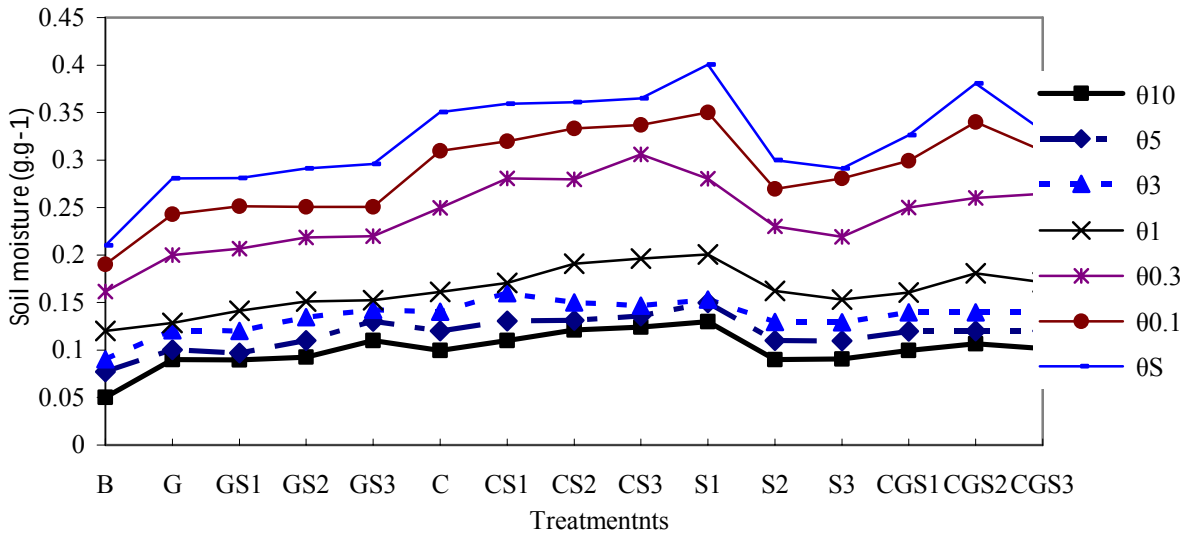
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی بر نگهداشت رطوبت خاک در مکش‌های مختلف در سطح پنج درصد وجود داشت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در مکش ۰/۱ بار مقدار رطوبت خاک در تمامی مواد آزمایشی نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت و مطابق شکل ۱، کمترین افزایش رطوبت به ترتیب در تیمار گچ (۲۸ درصد) و ترکیب گچ با سطوح مختلف سوپر جاذب مشاهده شد. ترکیب گچ با سوپر جاذب نیز به علت تأثیر گچ بر کاهش pH سبب کاهش فعالیت سوپر جاذب شده، در نتیجه با وجود افزایش رطوبت خاک در مکش ۰/۱ بار این افزایش رطوبت کمتر از زمانی است که سوپر جاذب به تنهایی مورداستفاده قرار گرفته است. همچنین تیمارهای S_1، CGS_2 و CS_2 بیشترین رطوبت را در مکش ۰/۱ بار داشتند، به طوریکه مقدار رطوبت در تیمارهای فوق نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۸۴، ۷۹ و ۷۵ درصد افزایش نشان داد.

1- Available Water Content

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه قبل از اعمال تیمارهای آزمایشی

Table 1- Physical and chemical properties of studied soil before applying experimental treatments

هدایت الکتریکی (دسی-زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	آهک معادل Total neutralizing value	کربن آلی Organic carbon	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	نسبت جذب سدیم Sodium absorption ratio	اسیدیته pH	بافت Texture
			درصد (%)					
25.6	16.4	0.29	23	16	61	28.7	8.11	لوم رسی شنی Silty clay loam



شکل ۱- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر مقادیر رطوبت وزنی خاک در مکش‌های مختلف (بار)

Fig. 1- Effect of experimental treatmernts on gravimetric soil moisture contents at different suctions (bar)

نتایج فوق نشان می‌دهد که ترکیب سوپر جاذب، کمپوست و گچ به علت ایجاد منافذ درشت در خاک و همچنین خاصیت نگهداری زیاد رطوبت توسط مواد سوپر جاذب، ترکیب آنها بیشترین تأثیر را بر نگهداری و افزایش رطوبت خاک در مکش ۰/۱ بار داشته است.

نتایج مشابهی برای رطوبت در مکش ۰/۳ بار نیز مشاهده شد. یعنی تمامی تیمارهای آزمایشی رطوبت خاک را در مکش ۰/۳ بار بطور معنی‌داری افزایش دادند و تیمارهای CS_1، S_1 و CS_2 بیشترین تأثیر را بر نگهداری رطوبت خاک داشتند که میزان افزایش رطوبت در این تیمارها نسبت به شاهد حدود ۷۳ درصد بود (جدول ۲ و شکل ۱). با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که در مکش‌های نزدیک به اشباع، افزودن ۱۰ تن در هکتار کمپوست و ۰/۰۵ درصد ماده سوپر جاذب به سبب توانایی بالای آنها در جذب و نگهداری آب بیشترین افزایش در رطوبت خاک را ایجاد نمودند. به نظر می‌رسد که تیمار S_3 نتوانسته است بیشترین افزایش در رطوبت خاک را به وجود آورد. مواد سوپر جاذب هنگام جذب آب انبساط یافته و فضای زیادی را اشغال می‌کنند، ولی چون بافت خاک که در این تحقیق، لوم رسی شنی بود، تخلخل موجود در خاک با افزایش مقدار سوپر جاذب امکان انبساط آن را فراهم نکرد و در نتیجه این تیمار و ترکیب آن با سایر مواد آزمایشی نتوانست بیشترین افزایش در رطوبت خاک را ایجاد کند. عابدی کوهپایی و همکاران (Abedi-Koupai et al., 2008) نیز دریافتند که تأثیر مقادیر بالای دو نوع سوپر جاذب PR3005A و A100 در افزایش رطوبت خاک در خاک‌های رسی کمتر از بافت‌های لوم شنی و لومی بود. آنها علت احتمالی این امر را به انبساط کمتر هیدروژل در خاک رسی نسبت دادند و برای خاک‌های رسی مقادیر

کمتر هیدروژل را توصیه نمودند.

رطوبت در مکش یک بار

با توجه به شکل یک، در مکش یک بار، تیمارهای G، GS_1، GS_2 و GS_3 با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند، لیکن سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشتند. این نتایج نشان می-دهد که بر خلاف مکش‌های نزدیک به اشباع، افزودن گچ و همچنین ترکیب آن با سوپرجاذب بر تعداد و توزیع منافذ متوسط و در نتیجه مکش‌های متناظر با آن تأثیری نداشته است. دلیل این امر احتمالاً ناشی از برهمکنش گچ با سوپر جاذب است که افزودن گچ به تنهایی بر توزیع اندازه خاکدانه‌ها و منافذ متوسط در مکش‌های متناظر و در نتیجه رطوبت خاک تأثیری نداشته است و ترکیب گچ با مواد سوپر جاذب نیز مانع فعالیت کامل مواد سوپرجاذب گشته و در نتیجه ترکیب آنها تأثیر معنی‌داری بر مقدار رطوبت در مکش‌های متوسط نسبت به شاهد نداشته است. در این مکش نیز تیمارهای S_1، CS_2 و CGS_2 دارای بیشترین مقدار رطوبت را در خاک نگهداری نمودند که به ترتیب ۶۷، ۵۹ و ۵۱ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان داد.

رطوبت در مکش‌های سه و پنج بار

در مکش سه بار بیشترین مقدار رطوبت خاک در تیمار CS_1 مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۷۷ درصد افزایش نشان داد. رطوبت خاک در سایر تیمارهای آزمایشی نیز مشابه تیمار CS_1 به طور معنی‌داری نسبت شاهد افزایش یافت. کمترین افزایش در مقدار رطوبت خاک در تیمارهای G، GS_1 و CS_3 با ۳۳ درصد افزایش نسبت به شاهد به دست آمد. در این مکش نیز بیشترین افزایش رطوبت در تیمارهایی حاصل شد که سوپر جاذب و کمپوست و مخلوط سوپر جاذب، کمپوست و گچ دریافت کرده بودند. البته با توجه به شکل یک مشاهده می‌شود که افزایش رطوبت بیشتر ناشی از افزودن سوپر جاذب و کمپوست می‌باشد و در این مکش افزایش رطوبت خاک در اثر افزودن گچ در مقایسه با ترکیب سوپر جاذب و کمپوست بسیار کمتر است.

در مکش پنج بار نیز روندی مشابه با مکش سه بار مشاهده شد به طوری که تمام تیمارهای آزمایشی سبب افزایش معنی‌دار رطوبت خاک گشتند، ولی در این مکش افزودن ۰/۰۵ درصد سوپر جاذب در مقایسه با سایر تیمارها سبب نگهداری رطوبت بیشتری در خاک گردید، به طوری که افزایش رطوبت خاک در این تیمار نسبت به سایر تیمارها نیز معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۵) و نسبت به شاهد نیز ۹۴ درصد افزایش نشان داد. تیمارهای GS_1 و G نیز به ترتیب با افرایشی معادل ۲۶ و ۳۰ درصد کمترین افزایش در رطوبت خاک در مکش پنج بار ایجاد نمودند، ولی این افزایش رطوبت در مقایسه با شاهد معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود.

رطوبت در مکش‌های ۱۰ و ۱۵بار

در مکش‌های ۱۰ و ۱۵ بار نیز مشابه قبل، همه تیمارهای آزمایشی سبب افزایش معنی‌دار رطوبت خاک نسبت به تیمار شاهد شدند. در مکش ۱۵ بار بیشترین افزایش رطوبت خاک مربوط به تیمار S_1 و CS_2 بود که رطوبت خاک در این تیمارها به ترتیب ۱/۶ و ۱/۴۲برابر تیمار شاهد بود که نتایج آن در جدول ۲ و شکل ۱ نشان داده شده است.

عابدی کوهپایی و همکاران (Abedi-Koupai et al., 2008) با افزودن دو نوع هیدروژل و با ۲، ۴، ۶ و ۸ گرم بر کیلوگرم خاک و اندازه‌گیری رطوبت خاک در مکش‌های مختلف دریافتند که بیشترین افزایش رطوبت حجمی خاک با افزودن ۸۹ گرم در کیلوگرم خاک هیدروژل PR3005A به دست آمد و میزان افزایش رطوبت حجمی خاک ۲/۲ تا ۴/۸ برابر تیمار شاهد بود. در خاک لومی رطوبت حجمی خاک بین ۱/۸ تا ۲/۴ برابر تیمار شاهد در مکش‌های مختلف افزایش یافت. آنها افزودن شش تا هشت گرم در کیلوگرم خاک در خاک لومی توصیه نمودند. در مطالعه عابدی کوهپایی و همکاران (Abedi-Koupai et al., 2008) مشخص شد که در خاک رسی رطوبت حجمی خاک ۱/۵ تا ۱/۹ برابر نسبت به تیمار شاهد فزایش یافت و تأثیر هیدوژل در این خاک در مقایسه با بافت‌های شنی و لومی کمتر بود. آنها دلیل این امر را به انبساط کمتر هیدروژل در این خاک نسبت دادند و مقادیر ۴-۲ گرم هیدروژل در کیلوگرم خاک را برای خاک‌های رسی توصیه نمودند.

سید دراجی و همکاران (Seyed Dorraji et al., 2010) با بررسی تأثیر پلیمر A200 در سه خاک با بافت‌های شن لومی (با شوری اولیه ۱/۵۴ دسی زیمنس بر متر)، لوم رسی شنی (با شوری اولیه ۰/۴۸ دسی زیمنس بر متر) و رسی (با شوری اولیه ۱/۰۸ دسی زیمنس بر متر) و دو سطح شوری چهار و هشت دسی زیمنس بر متر و اندازه‌گیری رطوبت در مکش‌های صفر، ۰/۳۳، ۱، ۳، ۵ و ۱۵ بار نتیجه گرفتند که در هر سه خاک با افزایش سطوح شوری در هر مکش، درصد رطوبت حجمی خاک با افزایش مقدار پلیمر کاهش یافت. کولیس-جرج و فیگوئرا (Collis-George & Figueroa, 1984) برای توجیه کاهش رطوبت خاک با افزایش شوری عنوان نمودند که منحنی رطوبتی خاک بستگی به توزیع اندازه منافذ خاک دارد و شوری از طریق تأثیر بر ساختمان خاک، توزیع اندازه منافذ و پیوستگی آنها بر منحنی رطوبتی خاک موثر است.

جدول ۲- تأثیر مواد بهساز بر میزان رطوبت حجمی خاک در مکش‌های مختلف (کیلوپاسکال)

Table 2- The effect of amendments on different volumetric soil moisture contents at different suction (kpa)

گنجایش هوایی خاک Soil air capacity	رطوبت قابل استفاده گیاه Availeble water content	رطوبت در مکش ۱۵۰۰کیلوپاسکال moisture in 1500 kpa volumetric	رطوبت در مکش ۳۰ کیلوپاسکال moisture in 30 kpa volumetric	رطوبت اشباع Standarded miosture	تیمارها Treatments
(سانتی‌متر بر سانتی‌متر مکعب) ($cm^3.cm^{-3}$)					
0.126c	0.172f	0.140d	0312f	0.438f*	G
0.116cd	0.183ef	0.140d	0.322ef	0.438f	GS_1
0.114cd	0.203def	0.145d	0.341ef	0.454f	GS_2
0.119cd	0.172f	0.172abcd	0.343ef	0.461f	GS_3
0.157b	0.236bcd	0.155cd	0.390cd	0.546bcd	C
0.122c	0.265ab	0.172abcd	0.438b	0.560bc	CS_1
0.126c	0.250abc	0.189abc	0.436b	0.563bc	CS_2
0.092de	0.282a	0.194ab	0.477a	0.569b	CS_3
0.187a	0.234bcd	0.203a	0.437b	0.625a	S_1
0.109cd	0.225de	0.140d	0.359de	0.468ef	S_2
0.113cd	0.226cde	0.141d	0.342ef	0.454f	S_3
0.119cd	0.236bcd	0.155cd	0.390cd	0.509de	CGS_1
0.188cd	0.234bcd	0.166bcd	0.406bc	0.594ab	CGS_2
0.103cd	0.250abc	0.159cd	0.413bc	0.516cd	CGS_3
0.075e	0.172f	0.078e	0.252g	0.328g	B

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

* Means with same letter in each column are not significant at 5% probability level.

همچنین عنوان شده است که کاهش تأثیر پلیمرها بر افزایش درصد حجمی رطوبت خاک‌ها در مکش‌های اعمال شده با افزایش شوری به این دلیل است که ظرفیت جذب و نگهداری آب در پلیمرهای آب‌دوست به نحوه سنتز و ساختار شیمیایی پلیمر، ترکیب و میزان املاح آب خاک یا آب آبیاری وابسته است (Choudhary et al., 1995). تیلور و هالفاسر (Taylor & Halfcre, 1986) و چن و همکاران (Chen et al., 2004) نیز کاهش ظرفیت نگهداری آب خاک با اعمال شوری را گزارش نمودند.

تأثیر مواد بهساز بر رطوبت قابل استفاده گیاه

رطوبت قابل استفاده گیاه نیز بر اثر استفاده از کمپوست و سوپرجاذب بطور معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۵) افزایش یافت و غیر از تیمارهای گچ و مخلوط گچ و سوپر جاذب، سایر تیمارها رطوبت قابل استفاده گیاه را به طور معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۵) نسبت به شاهد افزایش دادند. بیشترین افزایش در رطوبت قابل استفاده گیاه بر اثر افزودن مخلوط ۱۰ تن در هکتار کمپوست و ۰/۲ درصد سوپر جاذب به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد حدود ۶۳ درصد افزایش نشان داد. خاصیت نگهداری آب در مواد آلی و به ویژه سوپر جاذب بالا می‌باشد و در بیشتر خاک‌ها ماده آلی به عنوان بهترین ماده اصلاحی برای افزایش ظرفیت نگهداری آب درخاک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌باشد (karimi & Naderi, 2007). گزارش شده است که پلی‌مرهای آب‌دوست توانایی نگهداری آب به میزان ۵۰۰ برابر وزنشان (Buchhloz, 1998) و یا ۴۰۰ تا ۱۵۰۰ گرم آب در هر گرم هیدروژل خشک (Johnson, 1984; Bowman & Evans, 1991) را دارا می‌باشند که می‌تواند به عنوان یک مخزن مازاد آب برای سیستم خاک – گیاه (Bouranis et al., 1995) و به حداکثر رساندن کارآیی جذب آب توسط گیاه (Abedi-Koupai et al., 2008) عمل نماید و لذا می‌تواند تنش‌های آبی را در گیاهان کاهش دهد. آندری و همکاران (Andry et al., 2009) با مطالعه بر روی دو نوع پلی‌مر کربوکسیل متیل سلولاز[1] (RF) و ایزوپروپیل اکریل-آمید[2] (BF) نتیجه گرفتند که مقدار آب قابل استفاده در تیمارهای RF و BF به ترتیب چهار و پنج برابر بیشتر از خاک تیمار نشده بود و RF کارآیی کمتری نسبت به BF در جذب آب داشت.

تأثیر مواد بهساز بر گنجایش هوایی خاک

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که مقادیر گنجایش هوایی در تیمارهای B و CS_3 با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشت و کمتر از ۰/۱۰ $m^3.m^{-3}$ بود. علاوه بر این مقادیر گنجایش هوایی در سایر تیمارها نه تنها با تیمار B اختلاف معنی‌داری در سطح آماری پنج درصد داشت، بلکه بالاتر از حد بحرانی تخلخل تهویه‌ای ($m^3.m^{-3}$

1- Carboxyl Methyl Cellulose

2- Isopropyl Acryl Amide

۰/۱۰) بود (جدول ۲). بطور کلی، عنوان شده است که گنجایش هوایی بیشتر از $0.10\ m^3.m^{-3}$ در محیط رشد ریشه سبب می‌شود که گیاهان کمترین آسیب و یا کاهش عملکرد را در اثر تهویه نامناسب داشته باشند (White, 2006)، اما برخی پژوهشگران نشان داده‌اند که گنجایش هوایی بیشتر از $0.14\ m^3.m^{-3}$ در خاک‌های لوم شنی تا لوم رسی برای رشد و عملکرد مطلوب گیاهان ضروری است (Muller et al., 2008; White, 2006; Drewry, 2006; Carter, 1988). همچنین بر اساس جدول ۲ بیشترین مقدار گنجایش در تیمارهای CGS_2 و S_1 مشاهده شد که حدود ۱/۵ برابر گنجایش هوایی تیمار شاهد بود. پس از این دو تیمار، تیمار C دارای بیشترین گنجایش هوایی (۱/۰۸ برابر تیمار B) بود. به نظر می‌رسد که استفاده از مواد اصلاحگر به روش‌های مختلفی بر گنجایش هوایی خاک تأثیر می‌گذارند. مثلاً افزودن گچ به خاک سبب ایجاد خاکدانه‌ها و منافذ درشت در خاک می‌شود، در نتیجه خروج آب در مکش‌های کم (۳۰-۰ کیلوپاسکال) به راحتی صورت می‌گیرد. کمپوست نیز به سبب دارا بودن جرم حجم کم و همچنین ایجاد خاکدانه‌ها و منافذ درشت از طریق کربن آلی موجود در آن به‌رغم افزایش تخلخل و نگهداری رطوبت به رهاسازی آن در مکش‌های نزدیک به اشباع کمک می‌کند. مواد سوپر جاذب نیز با انبساط‌پذیری بالا در هنگام جذب آب و درنتیجه ایجاد خلل و فرج درشت در خاک می‌توانند منجر به خروج راحت‌تر آب در یک خاک سدیمی گردند. عابدی-کوهپایی و همکاران (Abedi-Koupaiet al., 2008) عنوان کردند که افزودن مواد سوپر جاذب به خاک‌های لومی و رسی از طریق افزایش فاصله بین ذرات ممکن است سبب باز شدن محیط خاک گشته و تهویه آن را افزایش دهند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که بجز مکش یک بار در سایر مکش‌ها، تمامی تیمارهای آزمایشی میزان رطوبت نگهداری شده در خاک را به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد (B) افزایش دادند که بیانگر تأثیر مثبت این مواد (سوپر جاذب، کمپوست، گچ و مخلوط آنها) در تشکیل خاکدانه‌ها، بهبود ساختمان خاک و در نتیجه افزایش تخلخل و منافذ درشت خاک می‌باشد. در مکش یک بار، تیمارهای G، GS_1، GS_2 و GS_3 با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند، لیکن سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشتند. رطوبت قابل استفاده گیاه نیز بر اثر استفاده از کمپوست و سوپرجاذب بطور معنی‌داری افزایش یافت و غیر از تیمارهای گچ و مخلوط گچ و سوپر جاذب، سایر تیمارها رطوبت قابل استفاده گیاه را بطور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دادند. مقادیر گنجایش هوایی در تیمارهای B و CS_3 کمتر از حر بحرانی تخلخل تهویه‌ای ($0.10\ m^3.m^{-3}$) بود که این دو تیمار با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند، ولی تفاوت تیمار شاهد با سایر تیمارها معنی‌دار بود. از آنجا که بیشترین افزایش در رطوبت قابل استفاده گیاه در تیمارهای حاوی ۱۰ تن در هکتار کمپوست همراه با ماده سوپر جاذب مشاهده شد، می‌توان مخلوط کمپوست و سوپر جاذب را به عنوان راهکاری مناسب و مفید برای کاهش تبخیر از سطح خاک و افزایش رطوبت قابل استفاده گیاه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مشابه با شرایط این پژوهش توصیه نمود.

سپاسگزاری

هزینه‌های انجام این طرح توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح تحقیقاتی مصوب باکد ۱۵۱۵۳/۲ مورخ ۸۹/۳/۲۹ تامین شده است که بدین وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه فردوسی مشهد سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

1- Abedi-Koupai, J., Sohrab, F., and Swarbrick, G. 2008. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. Journal of Plant Nutrition 31: 317–331.
2- Andry, A., Yamamoto, T., Irie, T., Moritani, S., Inoue, M., and Fujiyama, H. 2009. Water retention, hydraulic conductivity of hydrophilic polymers in sandy soil as affected temperature and water quality. Journal of Hydrology 373: 177-183.
3- Azzam, R.A.L. 1983. Polymeric conditioner gels for desert soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis 14: 739-760.
4- Baker, S.W. 1991. The effect of polyacrylamide copolymer on the performance of *Lolium perenne* L. turf grown on a sand root zone. Journal of Sports Turf Research Institute 67: 66-82.
5- Bouranis, D.L., Theodoropoulus, A.G., and Drossopoulus, J.B. 1995. Designing synthetic polymers as soil conditioners. Communications in Soil Science and Plant Analysis 26: 1455–1480.
6- Bowman, D.C., and Evans, R.Y. 1991. Calcium inhibition of poly acryl amide gel hydration is partially reversible by potassium. Hortscience 26(8): 1063-1065.
7- Buchhloz, F.L. 1998. The Structure and Properties of Super-absorbent Polyacrylates. In: Buchhloz, F.L.,

and Graham, A.T. (Eds.), Modern Super-absorbent Polymer Technology. Wiley-VCH, New York, pp. 167-221.
8- Carter, M.R. 1988. Temporal variability of soil macroporosity in a fine sandy loam under mouldboard ploughing and direct drilling. Soil and Tillage Research 12: 37–51.
9- Chen, S.H., Zommorodi, M., Fritz, E., Wang, S.H., and Huttermann, A. 2004. Hydrogel modified uptake of salt ions and calcium in *Populus euphratica* under saline conditions. Trees 18: 175-183.
10- Choudhary, M. I., Shalaby, A.A., and Al-Omran, A.M. 1995. Water holding capacity and evaporation of calcareous soils as affected by four synthetic polymers. Communications in Soil Science and Plant Analysis 66: 350-355.
11- Collis-George, N., and Figueroa, B.S. 1984. The use of high energy moisture characteristic to assess soil stability. Australian Journal of Soil Research 22: 349-356.
12- Drewry, J.J. 2006. Natural recovery of soil physical properties from treading damage of pastoral soils in New Zealand and Australia: a review. Agriculture, Ecosystems and Environment 114: 159–169.
13- El-Shafei, Y.Z., Al-Darby, A.M., Shalaby, A.A., and Al-Omran, A.M. 1994. Impact of a highly swelling gel-forming conditioner (Acryhope) upon water movement in uniform sandy soils. Arid Soil Research and Rehabilitation 8: 33–50.
14- El-Shafei, Y.Z., Al-Omran, A.M., Al-Darby, A.M., and Shalaby, A.A. 1992. Influnce of upper layer treatment of gel-conditioner on water movement in sandy soils under sprinkler infiltration. Arid Soil Reaserch and Rehabilitation 6: 217-231.
15- Flannery, R.L., and Busscher, W.J. 1982. Use of synthetic polymer in potting soils to improve water holding capacity. Communications in Soil Science and Plant Analysis 13: 103-111.
16- Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle–size Analysis. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part1-Physical and Mineralogical Methods. Seconds edition. Agronomy No.9. America Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. USA.
17- Gehring, J.M., and Lewis, A.L. 1980. Effect of hydrogel on wilting and moisture stress of bedding plants. Journal of American Society of Horticultural Sciences 105(4): 511-513.
18- Johnson, M.A. 1984. Effect of soluble salts on water absorption by gel-forming soil conditioners. Journal of the Science of Food and Agriculture 35: 1063-1066.
19- Karimi, A., and Naderi, M. 2007. Yield and water use efficiency of forage corn as influenced by superabsorbent polymer application in soils with different textures. Agricultural Research 7(3):187-198. (In Persian with English Summary)
20- Klute, A. 1986. Water Retention: Laboratory Methods, pp. 635–666, In: A. Klute, ed., Methods of Soil Analysis, Part 1. American Society of Agronomy, Madison, WI.
21- Mueller, L., Kay, B.D., Been, B., Hu, C., Zhang, Y., Wolff, M., Eulenstein, F., and Schindler, U. 2008. Visual assessment of soil structure: Part II. Implications of tillage, rotation and traffic on sites in Canada, China and Germany. Soil and Tillage Research 103: 188–196.
22- Seyed Dorraji1, S., Golchin, A., and Ahmadi, S. 2010. The Effects of different levels of a super absorbent polymer and soil salinity on water holding capacity with three textures of sandy, loamy and clay. Journal of Water and Soil 24(2): 306-316. (In Persian with English Summary)
23- Silberbush, M., Adar, E., and De Malach, Y. 1993a. Use of a hydrophilic polymer to improve water storage and availability to crops grown in sand dune I. Corn irrigated by trickling. Agricultural Water Management 3(4): 303–313.
24- Silberbush, M., Adar, E., and De Malach, Y. 1993b. Use of a hydrophilic polymer to improve water storage and availability to crops grown in sand dune cabbage irrigated by sprinkling with different water salinities. Agricultural Water Management 23(4): 315–327.
25- Taylor, K.C., and Halfacre, R.G. 1986. The effect of hydrophilic polymer on media water retention and nutrient availability to *Ligustrum lucidum*. Horticultural Science 21: 1159-1161.
26- Teyel, M.Y., and El-Hady, O.A. 1981. Super gel as a soil conditioner. Acta Horticulture 119: 247-256.
27- Wallace, A., and Wallace, G.A. 1986. Effects of soil conditioners on emergence and growth of tomato, cotton and lettuce seedlings. Soil Science 141: 313–316.
28- White, R.E. 2006. Principles and Practice of Soil Science, 4th Edition. Blackwell Publishing, Oxford, UK. pp. 75-120.
29- Woodhouse, J., and Johnson, M.S. 1991. Effect of super-absorbent polymers on survival and growth of crop seedlings. Agricultural Water Management 20: 63–70.