اثر هیدروژل سوپرجاذب رطوبت بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک لوبیا، کنجد و ذرت در شرایط خشکی

محسن جهان[۱]، محمد بهزاد امیری[۲*]، نگار ناصری آبکوه[۲]، میلاد صالح‌آبادی[۲] و مریم جوادی[۱]

[۱] ایران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه آگرواکولوژی

[۲] ایران، مشهد، مجتمع آموزش عالی گناباد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۴

چکیده

در راستای بررسی اثر کاربرد سوپرجاذب رطوبت بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک و بهره‌وری آب لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، کنجد (*Sesamum indicum* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط تنش رطوبتی، پژوهشی در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به تفکیک برای سه گیاه لوبیا، کنجد و ذرت انجام شد. سطوح آبیاری (تأمین ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاهان مورد مطالعه) در کرت‌های اصلی و کاربرد (۸۰ کیلوگرم در هکتار) و عدم کاربرد هیدروژل سوپرجاذب رطوبت در کرت‌های فرعی قرارگرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که در لوبیا، بیشترین عملکرد دانه (۲۱۹۱ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد ماده خشک (۴۵۸۸ کیلوگرم در هکتار)، وزن دانه در بوته (۱۰/۸۹ گرم)، ارتفاع بوته (۹۷ سانتی‌متر)، شاخص سطح برگ (۹/۳۹)، سرعت رشد محصول (۸/۳۵ گرم در مترمربع در روز)، میزان نیتروژن (۰/۱۶۳ درصد)، فسفر (۰/۰۰۸۲ درصد) و پی‌اچ خاک (۹/۶۸) متعلق به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد سوپرجاذب رطوبت بود. در کنجد، کاربرد سوپرجاذب رطوبت در شرایط تأمین۵۰ درصد نیاز آبی بترتیب منجر به افزایش ۲۴، ۳۰، ۳۲، ۵۹، ۲۰، ۴۴ و ۱۷ درصدی وزن دانه در بوته (۲۲/۱۷ گرم)، ارتفاع بوته (۹۱ سانتی‌متر)، شاخص سطح برگ (۹/۷۰)، سرعت رشد محصول (۶/۵۸ گرم در مترمربع در روز) و میزان نیتروژن (۰/۱۰۱ درصد)، فسفر (۰/۰۰۶۳ درصد) و پی‌اچ خاک (۹/۳۲) در مقایسه با شاهد شد. در ذرت، بیشترین عملکرد دانه (۲۲۵۲۲ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد ماده خشک (۳۹۵۰۲ کیلوگرم در هکتار)، وزن دانه در بوته (۳۳۲ گرم)، ارتفاع بوته (۱۹۴ سانتی‌متر)، شاخص سطح برگ (۸/۱۰)، سرعت رشد محصول (۹/۴۳ گرم در مترمربع در روز) و میزان نیتروژن (۰/۰۹۵ درصد) و پی‌اچ خاک (۹/۷۰) در نتیجه تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد سوپرجاذب رطوبت حاصل شد. در هر سه گیاه مورد مطالعه، بیشترین بهره‌وری آب زمانی محقق شد که تنها ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تأمین و همزمان از سوپرجاذب رطوبت استفاده شد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، پی‌اچ خاک، تنش رطوبتی، شاخص سطح برگ، نیاز آبی.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۵۲۱۹۲۶۷۵، پست الکترونیکی: amiri@gonabad.ac.ir

مقدمه

کمبود آب مهم‌ترین عامل محدودکننده‌ی تولید محصولات کشاورزی بویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. گرما و خشکی که ویژگی عمده اقلیم خشک و نیمه‌خشک است، بخش عمده‌ای از فلات ایران را تحت تأثیر قرار داده است. در اکثر مناطق کشور، بارش‌های جوی بسیار اندک و اغلب بصورت پراکنده است. بطور کلی، میانگین بارش‌های سالانه در این مناطق ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر است و اکثراً در فصول غیرزراعی اتفاق می‌افتند (۵). تنش خشکی کارکرد (۱۸)، ساختار (۳۰) و تولید (۱۷) اکوسیستم‌های کشاورزی را بشدت تحت‌تأثیر قرار

داده و تهدید بزرگی برای امنیت غذایی در سراسر جهان محسوب می‌شود. در صورتی که شدت تنش خشکی زیاد باشد، کاهش شدید فتوسنتز و مختل شدن فرایندهای فیزیولوژیکی، توقف رشد و سرانجام مرگ گیاهان را بدنبال خواهد داشت (۳۰).

در مطالعات متعدد، اثرات منفی تنش خشکی بر فراوانی و نوع ترکیب جمعیت میکروبی خاک که نقش کلیدی در تولید محصولات زراعی بویژه در نظام‌های پایدار دارند، به اثبات رسیده است (۱۴، ۱۹ و ۲۲). افزون بر این، تنش خشکی از طریق کاهش محصولات کشاورزی و در نتیجه کاهش درآمد کشاورزان، پیامدهای منفی اجتماعی و اقتصادی متعددی بدنبال دارد. در این شرایط استفاده از نهاده‌های بوم‌سازگاری نظیر هیدروژل‌های سوپرجاذب رطوبت که منجر به افزایش کارآیی مصرف آب شده و از هدررفت آن جلوگیری می‌کنند، منطقی بنظر می‌رسد.

سوپرجاذب‌ها چندین برابر وزن خود آب و محلول آبی جذب می‌کنند. این پلیمرها باعث بهبود دانه‌بندی و ساختمان خاک و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک شده و شرایط بهتری را برای رشد و نمو گیاه، بویژه در شرایط تنش خشکی فراهم می‌کنند (۶). از جمله سایر مزایای سوپرجاذب‌ها می‌توان به تسریع جوانه‌زنی گیاه، کاهش تعداد دفعات آبیاری، مصرف یکنواخت آب برای گیاه، افزایش کارایی مصرف کودها، افزایش فعالیت و جمعیت ریزجانداران مفید خاک و همچنین افزایش تخلخل و ثبات ساختمان خاک اشاره نمود (۸). در یک پژوهش پس از بررسی اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت و اسید هیومیک در شرایط کم‌آبیاری در ذرت (*Zea mays* L.) گزارش شد که بیشترین میزان عملکرد دانه متعلق به تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت، هشت کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و ۳۰۰ مترمکعب در هکتار آب در طول فصل رشد بود (۲). در پژوهشی دیگر، ویژگی‌های اگرواکولوژیکی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت‌تأثیر کاربرد سوپرجاذب رطوبت، اسید هیومیک و دورهای آبیاری بررسی و گزارش شد که در مدار آبیاری ۵ روز، سطوح صفر، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب بترتیب منجر به افزایش ۱۳، ۵۰ و ۱۷ درصدی عملکرد ماده خشک نسبت به مدار آبیاری ۱۰ روز شدند (۳).

نظر به کاهش فزاینده‌ی منابع آب در بخش کشاورزی و جستجو برای راهکارهای افزایش کارآیی مصرف آن بویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک و همچنین با توجه به اینکه در زمینه‌ی استفاده از نهاده‌های بوم‌سازگار در کاهش خسارات ناشی از تنش خشکی اطلاعات اندکی موجود است، این پژوهش با هدف بررسی اثر هیدروژل سوپرجاذب رطوبت بر خصوصیات مرتبط با خاک و ویژگی‌های رشدی و عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، کنجد (*Sesamum indicum* L.) و ذرت بعنوان سه گونه‌ی مهم زراعی (پروتئینی، روغنی و غله) در شرایط خشکی انجام شد.

مواد و روشها

این پژوهش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی ′۲۸ °۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی′ ۱۵ °۳۶ شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) در زمینی به مساحت تقریبی ۲۵۰ متر مربع بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بتفکیک برای سه گیاه لوبیا، کنجد و ذرت اجرا شد. دو سطح آبیاری به میزان ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاهان مورد مطالعه در کرت‌های اصلی و کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار هیدروژل سوپرجاذب رطوبت و عدم کاربرد آن در کرت‌های فرعی قرارگرفتند.

ابعاد کرت‌های اصلی ۳×۶ متر و ابعاد کرت‌های فرعی ۳×۳ متر درنظر گرفته شد. مقدار انتخاب شده‌ی سوپرجاذب رطوبت بر اساس نتایج برخی پژوهش‌های قبلی انتخاب شد (۲، ۳و ۴). بمنظور محاسبه‌ی نیاز آبی کنجد، ذرت و لوبیا در شرایط مشهد، از نرم‌افزار OPTIWAT استفاده شد (۷). با اطلاع از طول فصل رشد لوبیا، کنجد و ذرت، داده‌های مربوط به تبخیر و تعرق روزانه و فاصله‌ی آبیاری ۷ روز، حجم آب مورد نیاز در هر بار آبیاری برای لوبیا، کنجد و ذرت در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بترتیب ۳۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ متر مکعب در هکتار محاسبه و برای ۵۰ درصد نیاز آبی بترتیب ۱۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ متر مکعب در هکتار تعیین شد. براین اساس و با توجه به ابعاد کرت‌های فرعی، در هر نوبت آبیاری برای لوبیا، کنجد و ذرت در هر کرت فرعی بترتیب ۰/۰۴، ۰/۰۳ و ۰/۰۶ مترمکعب در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و بترتیب ۰/۰۲، ۰/۰۱ و ۰/۰۳ مترمکعب در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی، با استفاده از کنتور و بصورت دقیق آب به زمین داده شد.

قبل از انجام آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری انجام و بمنظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه‌آزمایشی

بافت خاک	نیتروژن (٪)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	پی‌اچ	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)
لومی-سیلت	۰/۱۵	۱۳	۴۱۵	۷/۱	۱/۲

جهت آماده‌سازی زمین با تأکید بر خاک‌ورزی حداقل، تنها عملیات دیسک‌زنی انجام و کلیه‌ی مراحل بعدی توسط کارگر و به کمک بیل‌دستی صورت گرفت. سپس مقادیر سوپرجاذب بطور یکنواخت در سطح کرت‌های مورد نظر پخش و بلافاصله توسط بیل‌دستی وارد خاک شدند. خصوصیات سوپرجاذب مورد استفاده در آزمایش در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- خصوصیات سوپرجاذب مورد استفاده

ظاهر	مقدار رطوبت (٪)	بو و سمیت	چگالی توده‌ای ($g.cm^{-3}$)	پی‌اچ	اندازه ذره (میکرومتر)	حداکثر پایداری در محیط خاک (سال)	زمان رسیدن به ۶۰ درصد جذب حداکثر (دقیقه)	کل میزان مونومر باقیمانده (ppm)	شرکت سازنده
گرانول (گرید ریزدانه)	کمتر از ۵	۰	۰/۸	۹/۸۱	۲۰۰-۴۰۰	۶-۷	۱۵-۲۰	۴۰۰<	شرکت دانش‌بنیان کیمیا تراوا تک

بذور کنجد (توده اسفراین)، ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) و لوبیا (درخشان) در تاریخ ۲۰ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ در ردیف‌های به فاصله‌ی ۵۰ سانتی‌متر و با فاصله روی ردیف ۴، ۳۰ و ۱۰ سانتی‌متر و بترتیب با تراکم‌های ۵۰، ۷ و ۲۰ بوته در مترمربع در کرت‌های مربوطه کشت و بلافاصله آبیاری شد. بمنظور اجتناب از مخلوط شدن آب کرت‌ها با یکدیگر، برای هر تکرار و هر کرت لوله‌ی آبیاری جداگانه در نظر گرفته شد و آبیاری به وسیله لوله و بصورت نشتی انجام گرفت. برای رسیدن به تراکم مناسب، پس از رسیدن گیاه به مرحله‌ی ۴ برگی عملیات تنک کردن انجام گرفت. بعد از عملیات تنک، آبیاری هر ۷ روز یکبار انجام و مقدار آن توسط کنتور ثبت و کنترل شد. بمنظور کنترل علف‌های هرز، سه نوبت وجین دستی بترتیب ۱۵، ۳۰ و ۴۵ روز پس از کاشت انجام شد. در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره‌ی رشد، هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد.

بمنظور محاسبه سرعت رشد محصول (CGR) (Crop Growth Rate) و برخی شاخص‌های رشدی، نمونه-برداری‌های تخریبی از ۳۰ روز پس از سبز شدن، هر ۱۵ روز یک‌بار، با حذف اثرات حاشیه‌ای و بطور تصادفی با

انتخاب ۳ بوته از هر کرت آزمایشی انجام و صفاتی نظیر ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی اندازه-گیری شد. برای تعیین شاخص سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Lea Area Meter, Delta T, Co. Ltd, UK) استفاده شد. سرعت رشد محصول در طول فصل رشد توسط معادله‌ی ۱ محاسبه شد (۱۰):

$$CGR=1/GA \frac{W_2-W_1}{t_2-t_1}$$ معادله (۱)

در این معادله، GA سطح زمین (m2)، W_1 و W_2 بترتیب وزن اولیه و ثانویه (g) و t_1-t_2 فاصله زمانی نمونه‌برداری‌های مختلف (day) می‌باشد.

در اواخر فصل رشد، با آغاز مرحله‌ی رسیدگی و زرد شدن بوته‌ها، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، بطور تصادفی بوته‌های موجود در سطح یک متر مربع از هر کرت برداشت و عملکرد دانه و عملکرد ماده‌ی خشک گیاهان مورد مطالعه تعیین شد. در پایان عملیات برداشت، میزان نیتروژن، فسفر، EC و pH خاک کرت‌های آزمایشی اندازه‌گیری شد. میزان نیتروژن خاک براساس دستورالعمل AOAC Official Method 968.06 (4.2.04) به‌روش کجلدال و با استفاده از دستگاه Semi-Automated Distillation Unit انجام شد (۱۶). میزان فسفر خاک به‌روش اسپکتروفتومتری تعیین شد. EC و pH بترتیب با EC متر مدل CTS-406 و pH متر مدل LUTRUON PH-212 اندازه‌گیری شدند. جهت محاسبه بهره‌وری آب آبیاری (WP) (Water Productivity) (kg Seed.m-3 Water) از معادله‌ی ۲ استفاده شد (۱۱):

$$WUE=\frac{Y_s}{W_I+W_P}$$ معادله (۲)

که در این معادله، Ys عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)، W_I مقدار آب آبیاری ($m^3.ha^{-1}$) و W_P میزان بارندگی (mm) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها (ANOVA)، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS Ver. 9.4 و Minitab Ver. 17 و مقایسه‌ی میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

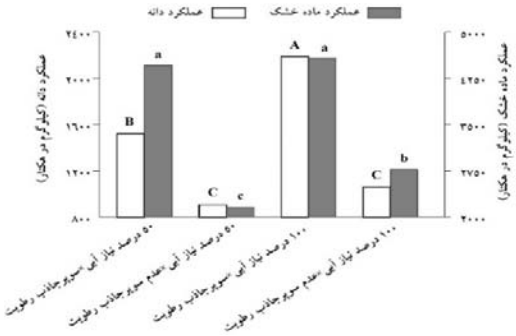
اثر سطوح آبیاری بر صفات مورد بررسی: اگرچه با اعمال تنش خشکی (تأمین تنها ۵۰ درصد نیاز آبی) عملکرد دانه و ماده‌ی خشک هر سه گیاه مورد مطالعه با نقصان مواجه شد، ولی از این نظر بیشترین لطمه متوجه گیاه کنجد شد. در نتیجه تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی عملکرد دانه‌ی لوبیا، کنجد و ذرت بترتیب ۷۵، ۷۹ و ۶۹ درصد و عملکرد ماده‌ی خشک این سه گیاه بترتیب ۱۰، ۲۷ و ۲۳ درصد نسبت به شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی افزایش پیدا کرد (جدول ۴). در لوبیا، بیشترین وزن دانه در بوته (۸/۳۶ گرم) و شاخص سطح برگ (۸/۰۶) در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و بیشترین میزان EC خاک (۰/۷۵ دسی‌زیمنس بر متر) در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی حاصل شد، ضمن این‌که آبیاری به میزان تنها ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، منجر به افزایش ۳۲ درصدی بهره‌وری آب شد (جدول ۴). در کنجد، با افزایش مقدار آب از ۵۰ به ۱۰۰ درصد نیاز آبی، سرعت رشد محصول و میزان فسفر خاک بترتیب ۲۵ و ۲۳ درصد افزایش و شاخص سطح برگ، میزان نیتروژن خاک، EC خاک و بهره‌وری آب بترتیب ۴۰، ۵۶، ۳۴ و ۴۳ درصد کاهش یافت (جدول ۴). در ذرت، تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، بترتیب افزایش ۳۲، ۱۹، ۲۳، ۲۱، ۱۹ و ۱۵ درصدی وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، میزان نیتروژن خاک و پی‌اچ خاک را سبب شد (جدول ۴). انجام آبیاری سبک و تأمین تنها ۵۰ درصد از نیاز آبی ذرت، افزایش ۲۲ درصدی میزان فسفر خاک را در پی داشت.

بهره‌وری آب ذرت در شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی، ۲۸ درصد بیشتر از شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود (جدول ۴).

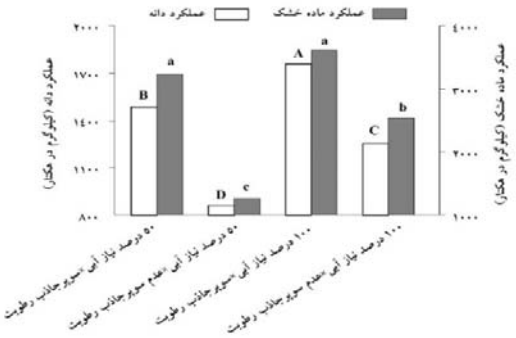
اثر سوپرجاذب رطوبت بر صفات مورد بررسی: در هر سه گیاه، کاربرد سوپرجاذب رطوبت در بهبود اکثر صفات مورد مطالعه مؤثر بود (جدول ۳). در لوبیا، در شرایط کاربرد سوپرجاذب رطوبت، عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول بترتیب ۴۷، ۴۵، ۳۹، ۳۰، ۳۸ و ۳۴ درصد بیشتر از شاهد بود (جدول ۴). عملکرد دانه و ماده‌ی خشک در کنجد تحت‌تأثیر کاربرد سوپرجاذب رطوبت بترتیب ۱۰ و ۴۴ درصد افزایش یافت (جدول ۴). وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول کنجد نیز در کرت‌های دارای سوپرجاذب رطوبت بترتیب ۳۹، ۳۶، ۴۸ و ۴۶ درصد بیشتر از شاهد بود (جدول ۴). کاربرد سوپرجاذب رطوبت در ذرت، بترتیب منجر به افزایش ۵۴، ۴۳، ۵۹، ۴۸، ۳۷ و ۵۰ درصدی عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول نسبت به شاهد شد (جدول ۴).

در هر سه گیاه مورد مطالعه، اثر سوپرجاذب رطوبت بر میزان فسفر، نیتروژن و پی‌اچ خاک، معنی‌دار بود، بطوریکه در نتیجه کاربرد سوپرجاذب، میزان فسفر، نیتروژن و پی‌اچ خاک، در لوبیا بترتیب ۴۶، ۴۰و ۱۸ درصد، در کنجد بترتیب ۱۴، ۴۳ و ۲۱ درصد و در ذرت بترتیب ۴۸، ۴۰ و ۳۰ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت (جدول ۴). در لوبیا و کنجد، استفاده از سوپرجاذب رطوبت در کاهش میزان EC خاک مؤثر بود، بطوریکه میزان EC خاک در لوبیا از ۰/۶۴به ۰/۵۲ دسی‌زیمنس بر متر و در کنجد از ۰/۷۹به ۰/۶۰ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت (جدول ۴). کاربرد سوپرجاذب رطوبت، بترتیب افزایش ۴۶، ۲۹ و ۳۰ درصدی بهره‌وری آب در لوبیا، کنجد و ذرت را در پی داشت (جدول ۴).

اثر متقابل سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت بر صفات مورد بررسی: در هر سه گیاه، اکثر صفات مورد مطالعه تحت‌تأثیر برهمکنش سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت قرارگرفتند. بیشترین عملکرد دانه‌ی لوبیا (شکل ۱)، کنجد (شکل ۲) و ذرت (شکل ۳) در نتیجه تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد سوپرجاذب رطوبت بدست آمد. بنظر می‌رسد که در هر سه گیاه، کاربرد سوپرجاذب رطوبت در کاهش خسارات ناشی از تنش خشکی بر عملکرد دانه مؤثر بود، بطوریکه بعنوان مثال در ذرت، استفاده از سوپرجاذب در شرایط تنش خشکی (تأمین تنها ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) منجر به افزایش ۶۵ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد (شکل ۳).

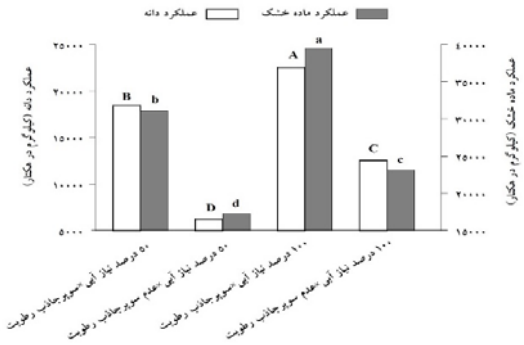


شکل ۱- اثرات متقابل سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت روی عملکرد دانه و ماده‌ی خشک لوبیا



شکل ۲- اثرات متقابل سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت روی عملکرد دانه و ماده‌ی خشک کنجد

در هر سه گیاه مورد مطالعه، و در هر دو شرایط تأمین ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، بیشترین عملکرد مادهی خشک زمانی بدست آمد که سوپرجاذب رطوبت مورد استفاده قرارگرفت (شکلهای ۱، ۲ و ۳). در لوبیا، بیشترین وزن دانه در بوته (۱۰/۸۹ گرم)، ارتفاع بوته (۹۷ سانتیمتر)، شاخص سطح برگ (۹/۳۹)، سرعت رشد محصول (۸/۳۵ گرم در مترمربع در روز)، میزان نیتروژن (۰/۱۶۳ درصد)، فسفر (۰/۰۰۸۲ درصد) و پیاچ خاک (۹/۶۸) متعلق به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد سوپرجاذب رطوبت بود (جدول ۵).



شکل ۳- اثرات متقابل سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت روی عملکرد دانه و مادهی خشک ذرت

در کنجد، کاربرد سوپرجاذب رطوبت در شرایط تنش خشکی (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی)، بترتیب منجر به افزایش ۲۴، ۳۰، ۳۲، ۵۹، ۲۰، ۴۴ و ۱۷ درصدی وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و میزان نیتروژن، فسفر و پیاچ خاک در مقایسه با شاهد (تیمار تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی و عدمکاربرد سوپرجاذب رطوبت) شد (جدول ۵). در ذرت، بیشترین وزن دانه در بوته (۳۳۲ گرم)، ارتفاع بوته (۱۹۴ سانتیمتر)، شاخص سطح برگ (۸/۱۰)، سرعت رشد محصول (۹/۴۳ گرم در مترمربع در روز) و میزان نیتروژن (۰/۰۹۵ درصد) و پیاچ خاک (۹/۷۰) در نتیجه تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد سوپرجاذب رطوبت حاصل شد (جدول ۵). کمترین میزان EC خاک در لوبیا و کنجد در اثر تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد سوپرجاذب رطوبت و در ذرت در نتیجه تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و عدمکاربرد سوپرجاذب رطوبت بدست آمد (جدول ۵). نتیجه جالب توجه این بود که در هر سه گیاه مورد مطالعه، بیشترین بهرهوری آب زمانی محقق شد که تنها ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تأمین و همزمان از سوپرجاذب رطوبت استفاده شد (جدول ۵).

ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه: همانطور که در جدول ۶ مشاهده میشود، عملکرد دانهی لوبیا با عملکرد مادهی خشک ($r= ۰/۸۶^{**}$)، وزن دانه در بوته ($r= ۰/۹۵^{**}$)، ارتفاع بوته ($r= ۰/۹۳^{**}$)، شاخص سطح برگ ($r= ۰/۸۲^{**}$) و سرعت رشد محصول ($r= ۰/۸۶^{**}$) همبستگی مثبت و معنیدار داشت. از طرفی باتوجه به همبستگی مثبت عملکرد دانه با میزان نیتروژن ($r= ۰/۸۰^{**}$) و فسفر خاک ($r= ۰/۷۷^{**}$) (جدول ۶)، بنظر میرسد که بهبود عملکرد دانه در شرایط استفاده از نهادههایی که میزان یا فراهمی این عناصر در خاک را افزایش دهد، دور از ذهن نباشد. همبستگی مثبت عملکرد مادهی خشک با صفاتی نظیر ارتفاع بوته ($r= ۰/۹۲^{**}$)، شاخص سطح برگ ($r= ۰/۸۵^{**}$) و سرعت رشد محصول ($r= ۰/۸۶^{**}$) حاکی از نقش مؤثر صفات مذکور در بهبود عملکرد بیولوژیک بود (جدول ۶). باتوجه به نتایج آزمایش، افزایش ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول و همچنین میزان فسفر خاک در بهبود بهرهوری آب لوبیا مؤثر بود (جدول ۶).

عملکرد دانه و مادهی خشک در کنجد از همبستگی مثبت و معنیداری با صفات وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول، میزان فسفر و پیاچ خاک برخوردار بود (جدول ۶)، بهعبارت دیگر، برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه و مادهی خشک میتوان نهادههایی به کار برد که در بهبود صفات مذکور مؤثر باشند. همبستگی مثبت بهرهوری آب با ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ با میزان

نیتروژن خاک، به اهمیت و نقش این صفات در افزایش بهره‌وری آب اشاره دارد (جدول ۶).

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی خصوصیات مرتبط با خاک و ویژگی‌های رشدی و عملکرد تریتیکاله تحت تأثیر سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت

	منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد ماده خشک	وزن دانه در بوته	ارتفاع بوته	شاخص سطح برگ	سرعت رشد محصول	نیتروژن خاک	فسفر خاک	شوری خاک	بیوماس خشک	بهره‌وری مصرف آب
تکرار	بلوک	۲	۱۷۵۳۰ns	۷۱۰۱۴ns	۰/۳۷ns	۴۰۹۶ns	۰/۱۶ns	۰/۵۷*	۰/۰۰۰۰۴ns	۰/۰۰۰۰۰۲ns	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰۰۵ns
	نیاز آبی	۱	۵۰۹۸۵۸**	۴۰۱۹۶۶**	۷/۹۲**	۱۳۳/۵۲*	۱/۳۰ns	۰/۰۹ns	۰/۰۰۰۵ns	۰/۰۰۰۰۱ns	۰/۳۴**	۰/۲۰ns	۰/۲۱**
	خطای اصلی	۲	۴۱۸۷	۹۲۶۸۹	۰/۳۰	۱۱/۹۰	۲/۶۸	۰/۱۱	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۲
	سوپرجاذب رطوبت	۲	۲۲۸۵۱۳۰**	۱۲۶۷۹۳۵۲**	۳۹/۰۶**	۲۲۹۳/۵۶**	۳۱/۴۲**	۲۲/۲۵**	۰/۰۰۰۹**	۰/۰۰۰۰۲**	۰/۰۲**	۸۴۱۵**	۰/۴۶**
	نیاز آبی × سوپرجاذب رطوبت	۲	۲۰۰۸۰۱*	۱۷۴۹۶۶**	۶/۰۶*	۱۶/۵۶ns	۱/۰۲ns	۰/۰۲	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۰۰۹**	۰/۰۰۲ns	۱/۹۶*	۰/۰۰۲ns
	خطای فرعی	۱۲	۱۵۴۴۱	۱۲۶۹	۲/۲۹	۶۴/۰۵	۰/۰۲	۱/۲۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۱۶	۰/۰۰۳
	خطای کل	۲۴	۴۳۲۳	۴۸۸۲	۰/۰۷	۶/۷۵	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۸
کانولا	بلوک	۲	۳۴۲۸۵۸ns	۱۷۷۰۱ns	۱/۶۹ns	۰/۹۲ns	۰/۰۷ns	۰/۰۹ns	۰/۰۰۰۰۰۸ns	۰/۰۰۰۰۱ns	۰/۰۵۰۵	۰/۱۲ns	۰/۰۰۰۸ns
	نیاز آبی	۱	۳۳۴۳۲۴**	۲۰۴۴۳۵۰ *	۵/۸۵*	۴۷۳/۵۱ns	۳۱/۳۳**	۶۹۸**	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۰۷**	۰/۲۳**	۰/۰۶ns	۰/۳۹**
	خطای اصلی	۲	۲۳۵۰	۸۳۴۶۲	۰/۳۳	۲۴/۸۲	۰/۰۲	۰/۱۴	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰۴
	سوپرجاذب رطوبت	۲	۹۵۷۱۲۰**	۶۹۶۳۱۵۶**	۲۹۷/۲۴**	۲۹۳۷/۲۳**	۴۹/۴۱**	۳۱/۱۸**	۰/۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۳**	۰/۱۰**	۱۲/۱۲**	۰/۱۴**
	نیاز آبی × سوپرجاذب رطوبت	۲	۱۰۹۸۰**	۶۰۷۹۵۰**	۶۴/۵۶**	۷۶۹/۱ns	۲/۵۶**	۱/۳۵*	۰/۰۰۰۹ns	۰/۰۰۰۰۴ns	۰/۰۱ns	۰/۶۷*	۰/۰۷ns
	خطای فرعی	۱۲	۲۷۷۶	۳۷۹۷۰	۰/۱۹	۱۵/۲۰	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۳	۰/۲۲	۰/۰۰۲
	خطای کل	۲۴	۷۶۷۵	۳۳۲۱۵	۰/۳۶	۴۶/۸۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۳	۰/۰۰۲
	بلوک	۲	۱۱۴۴۰۵ns	۱۴۲۹۳۵ns	۳۰۳	۱۱ns	۰/۰۷*	۰/۲۶ns	۰/۰۰۰۰۱ns	۰/۰۰۰۰۰/۸ns	۰/۰۰۰۲ns	۰/۰۰۰۳ns	۰/۰۰۰۰۴ns
	نیاز آبی	۱	۹۱۱۳۵۲۰۸**	۱۵۲۶۴۶۲۰**	۱۷۱۷۶**	۲۴۶۴*	۷۰۸**	۶۵۵**	۰/۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۶**	۰/۴۳**	۴۵۵**	۰/۷۰**
	خطای اصلی	۲	۸۴۵۵۵۳	۱۶۱۲۳۳۹	۱۳۱	۸۸	۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۹	۰/۰۰۰۹
دوره	سوپرجاذب رطوبت	۲	۳۵۰۶۳۳۱۶۳**	۶۸۲۷۱۶۹۳۰**	۷۹۰۵۶**	۲۳۰۲۴**	۲۲/۶۸**	۵۲/۸۷**	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۰۰۳**	۰/۰۰۱ns	۲۳۳۵**	۰/۵۱**
	نیاز آبی × سوپرجاذب رطوبت	۲	۲۰۰۴۰۱ns	۵۱۶۹۶۸**	۳۴۰۰ *	۲۳۹ns	۰/۰۰۰/ns	۰/۶۲*	۰/۰۰۰۰۰۰/ns	۰/۰۰۰۰۰۰۲ns	۰/۱۲**	۰/۳۰ns	۰/۰۸**
	خطای فرعی	۱۲	۷۲۵۵۶	۲۰۷۳۰۷۰	۱۱۲	۸۷	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۴	۰/۰۰۱
	خضای کل	۲۴	۳۲۰۶۸۴	۱۹۶۶۳۱	۹۵	۵۲	۰/۰۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۳	۰/۰۰۰۴

*، ** و nsبه ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم‌تفاوت معنی دار

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده‌ی سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت روی برخی خصوصیات مرتبط با خاک و ویژگی‌های رشدی و عملکرد لوبیا، کنجد و ذرت

	عملکرد	عملکرد ماده	وزن دانه	ارتفاع	شاخص	سرعت	نیتروژن	فسفر	EC	پتاژ	بهره‌وری
	دانه	خشک	در بوته	بوته	سطح برگ	رشد محصول	خاک	خاک	خاک	خاک	آب
	(kg.ha^{-1})	(kg.ha^{-1})	(g)	(cm)		(g.m^{-2}.day^{-1})	(٪)	(٪)	(dS.m^{-1})		(kg seed.m^{-3} water)
لوبیا	۱۲۱۳b	۳۳۱۴b	۶/۸۳b	۷۵/۸a	۵/۸۱b	۶/۵۱a	۰/۰۹a	۰/۰۰۶۳a	۰/۷۵a	۸/۶۹a	۰/۸۰a
	۱۶۲۵a	۳۶۸۱a	۸/۳۶a	۸۲/۲a	۸/۰۶a	۶/۶۹a	۰/۱۱a	۰/۰۰۵۷a	۰/۴۱b	۸/۴۳a	۰/۵۴b
	۱۸۵۶a	۴۵۲۵a	۹/۳۷a	۹۲/۸a	۸/۵۵a	۷/۹۷a	۰/۱۳a	۰/۰۰۷۵a	۰/۵۲b	۹/۴۰a	۰/۸۷a
	۹۸۲b	۲۴۷۰b	۵/۷۲b	۶۵/۲b	۵/۳۶b	۵/۲۴b	۰/۰۷b	۰/۰۰۴۵b	۰/۶۴a	۷/۷۲b	۰/۴۷b
کنجد	۱۱۷۳b	۲۲۵۱b	۱۹/۵۶a	۷۷/۹a	۸/۱۳a	۴/۶۳b	۰/۰۹a	۰/۰۰۴۹b	۰/۸۳a	۸/۵۵a	۰/۸۳a
	۱۵۰۷a	۳۰۷۷a	۲۰/۹۶a	۶۵/۴a	۴/۹۰b	۶/۱۶a	۰/۰۴b	۰/۰۰۶۴a	۰/۵۵b	۸/۴۰a	۰/۴۷b
	۱۶۲۳a	۳۴۲۶a	۲۵/۲۰a	۸۷/۳a	۸/۵۴a	۷/۰۰a	۰/۰۷a	۰/۰۰۷۲a	۰/۶۰b	۹/۴۸a	۰/۷۶a
	۱۰۵۷b	۱۹۰۲b	۱۵/۳۶b	۵۶/۰b	۴/۴۸b	۳/۷۸b	۰/۰۶b	۰/۰۰۴۱b	۰/۷۹a	۷/۴۷b	۰/۵۴b
ذرت	۱۲۰۱۳b	۲۴۱۶۹b	۱۵۸/۳۳b	۱۲۷b	۵/۲۰b	۵/۶۳b	۰/۰۶b	۰/۰۰۷۲a	۰/۸۱a	۷/۲۲b	۰/۶۰a
	۱۷۵۲۵a	۳۱۳۰۳a	۲۳۴/۰۰a	۱۵۶a	۶/۷۲a	۷/۱۱a	۰/۰۷a	۰/۰۰۵۷b	۰/۴۲b	۸/۴۷a	۰/۴۳b
	۲۰۱۷۴a	۳۵۲۷۹a	۲۷۷/۳۳a	۱۸۵a	۷/۳۴a	۸/۴۷a	۰/۰۸a	۰/۰۰۸۱a	۰/۶۳a	۹/۲۵a	۰/۷۲a
	۹۳۶۳b	۲۰۱۹۳b	۱۱۵/۰۰b	۹۷b	۴/۵۹b	۴/۲۷b	۰/۰۴b	۰/۰۰۴۹b	۰/۶۱a	۶/۴۶b	۰/۳۱b

* در هر ستون، برای هر عامل و هر گیاه، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری براساس آزمون دانکن ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت روی برخی خصوصیات مربوط با خاک و ویژگی های رشدی و عملکرد لوبیا، کنجد و ذرت

بهره وری آب (kg seed.m^{-3} water)	پتاسیم خاک	EC خاک (dS.m^{-1})	فسفر خاک (%)	نیتروژن خاک (%)	سرعت رشد محصول (g.m^{-2}.day^{-1})	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته (cm)	وزن دانه در بوته (g)		
۱/۰۱a	۹/۱۳b	۰/۶۷b	۰/۰۰۶۹ab	۰/۱۰۰b	۷/۵۹a	۷/۷۲b	۸۸a	۷/۸۴b	۵۰ درصد نیاز آبی×سوپر جاذب رطوبت	کنجد
۰/۶۰c	۸/۲۶c	۰/۸۳a	۰/۰۰۵۷b	۰/۰۹۲bc	۵/۴۳b	۳/۹۰c	۶۳b	۵/۶۲c	۵۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپر جاذب رطوبت	
۰/۷۳b	۹/۶۸a	۰/۳۷d	۰/۰۰۸۲a	۰/۱۶۳a	۸/۳۵a	۹/۳۹a	۹۷a	۱۰/۸۹a	۱۰۰ درصد نیاز آبی×سوپر جاذب رطوبت	
۰/۴۵d	۷/۱۹d	۰/۴۵c	۰/۰۰۳۳c	۰/۰۵۶c	۵/۰۴b	۶/۷۴b	۶۷b	۵/۸۲c	۱۰۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپر جاذب رطوبت	
۰/۹۶a	۹/۳۲a	۰/۷۷a	۰/۰۰۶۳b	۰/۱۰۱a	۶/۵۸b	۹/۷۰a	۹۱a	۲۲/۱۷b	۵۰ درصد نیاز آبی×سوپر جاذب رطوبت	ذرت
۰/۷۰b	۷/۷۸b	۰/۹۰a	۰/۰۰۳۵d	۰/۰۸۱b	۲/۶۸d	۶/۵۶c	۶۴b	۱۶/۹۵c	۵۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپر جاذب رطوبت	
۰/۵۵e	۹/۶۵a	۰/۴۳b	۰/۰۰۸۲a	۰/۰۴۸c	۷/۴۳a	۷/۳۹b	۸۳a	۲۸/۲۲a	۱۰۰ درصد نیاز آبی×سوپر جاذب رطوبت	
۰/۳۸d	۷/۱۶c	۰/۶۸ab	۰/۰۰۴۷c	۰/۰۴۰d	۴/۸۸c	۲/۴۱d	۴۷c	۱۳/۷۰d	۱۰۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپر جاذب رطوبت	
۰/۸۹a	۸/۷۹b	۰/۷۲b	۰/۰۰۸۸a	۰/۰۸۱b	۷/۵۰b	۶/۵۸b	۱۷۶b	۲۲۲b	۵۰ درصد نیاز آبی×سوپر جاذب رطوبت	لوبیا
۰/۳۰c	۵/۶۸d	۰/۹۱a	۰/۰۰۵۷c	۰/۰۳۸d	۳/۸۶d	۳/۸۱d	۷۸d	۹۴d	۵۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپر جاذب رطوبت	
۰/۵۶b	۹/۷۰a	۰/۵۴c	۰/۰۰۷۴b	۰/۰۹۵a	۹/۴۳a	۸/۱۰a	۱۹۴a	۳۳۲a	۱۰۰ درصد نیاز آبی×سوپر جاذب رطوبت	
۰/۳۱c	۷/۲۳c	۰/۳۲d	۰/۰۰۴۱d	۰/۰۵۲c	۴/۷۸c	۵/۳۷c	۱۱۷c	۱۳۶c	۱۰۰ درصد نیاز آبی×عدم سوپر جاذب رطوبت	

* در هر ستون و برای هر عامل و هر گیاه، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در لوبیا، کنجد و ذرت تحت‌تأثیر سطوح آبیاری و سوپرجاذب رطوبت

	صفات	عملکرد دانه (۱)	عملکرد ماده خشک (۲)	وزن دانه در بوته (۳)	ارتفاع بوته (۴)	شاخص سطح برگ (۵)	سرعت رشد محصول (۶)	نیتروژن خاک (۷)	فسفر خاک (۸)	EC خاک (۹)	پتاسیم خاک (۱۰)	بهره‌وری آب (۱۱)
لوبیا	۲	۰/۸۶**	۱**									
	۳	۰/۹۵**	۰/۹۹**	۱**								
	۴	۰/۹۲**	۰/۹۲**	۰/۹۲**	۱**							
	۵	۰/۸۲**	۰/۸۵**	۰/۸۷**	۰/۸۳**	۱**						
	۶	۰/۸۶**	۰/۸۸**	۰/۸۲**	۰/۸۱**	۰/۹۱**	۱**					
	۷	۰/۸۰**	۰/۹۳*	۰/۹۹**	۰/۷۱**	۰/۶۳*	۰/۶۸**	۱**				
	۸	۰/۷۷**	۰/۷۰*	۰/۶۳**	۰/۶۸**	۰/۵۰	۰/۷۷**	۰/۶۸**	۱**			
	۹	۰/۶۳*	۰/۶۷	۰/۵۸**	۰/۶۷	۰/۶۷**	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۰۶	۱**		
	۱۰	۰/۸۱**	۰/۸۴**	۰/۸۲**	۰/۸۱**	۰/۵۵*	۰/۸۱**	۰/۸۱**	۰/۹۱**	۰/۱۱	۱**	
	۱۱	۰/۶۹	۰/۶۸*	۰/۶۰	۰/۶۵*	۰/۴۰	۰/۷۰*	۰/۲۲	۰/۷۴**	۰/۳۵	۰/۶۷**	۱**
کنجد	۲	۰/۹۶**	۱**									
	۳	۰/۷۰*	۰/۷۰*	۱**								
	۴	۰/۵۰*	۰/۵۲	۰/۶۸**	۱**							
	۵	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۶۸**	۰/۹۳**	۱**						
	۶	۰/۹۸**	۰/۹۶**	۰/۹۵**	۰/۹۳**	۰/۴۴	۱**					
	۷	۰/۴۱	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۵۴*	۰/۷۷**	۰/۱۱	۱**				
	۸	۰/۹۶**	۰/۹۲**	۰/۸۸**	۰/۶۶*	۰/۲۲	۰/۹۴**	۰/۲۷*	۱**			
	۹	۰/۴۸*	۰/۱۴	۰/۴۸	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۶۳*	۰/۵۳	۰/۷۷*	۱**		
	۱۰	۰/۴۴**	۰/۷۰*	۰/۹۲**	۰/۸۹**	۰/۸۹**	۰/۸۵**	۰/۳۰	۰/۸۳**	۰/۴۷	۱**	
	۱۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۳۰	۰/۲۳**	۰/۸۲**	۰/۱۲	۰/۹۳**	۰/۰۵	۰/۳۴	۰/۵۱	۱**
ذرت	۲	۰/۹۸**	۱**									
	۳	۰/۹۵**	۰/۹۸**	۱**								
	۴	۰/۹۷**	۰/۹۵**	۰/۹۳**	۱**							
	۵	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۴**	۱**						
	۶	۰/۹۴**	۰/۹۸**	۰/۹۱**	۰/۹۲**	۰/۹۴**	۱**					
	۷	۰/۹۷**	۰/۹۷**	۰/۹۶**	۰/۹۵**	۰/۹۳**	۰/۹۷**	۱**				
	۸	۰/۹۴*	۰/۹۴*	۰/۹۰*	۰/۹۹*	۰/۹۱**	۰/۹۴**	۰/۹۰**	۱**			
	۹	۰/۹۲**	۰/۹۹	۰/۲۲	۰/۸۱**	۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۸۴*	۰/۴۱	۱**		
	۱۰	۰/۹۴**	۰/۹۱*	۰/۹۴**	۰/۷۵**	۰/۵۱*	۰/۹۶**	۰/۹۷**	۰/۶۰*	۰/۳۵-	۱**	
	۱۱	۰/۹۴*	۰/۹۴*	۰/۹۶*	۰/۷۵**	۰/۵۱*	۰/۹۶*	۰/۹۱**	۰/۹۰**	۰/۱۷	۰/۶۹*	۱**

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۷- قیمت فروش بسته‌بندی‌های مختلف سوپرجاذب رطوبت در سال ۹۸

ردیف	نوع بسته‌بندی	قیمت فروش (ریال)
۱	سوپرجاذب ۳۰ گرمی	۹۰/۰۰۰
۲	سوپرجاذب ۱۵۰ گرمی	۱۵۰/۰۰۰
۳	سوپرجاذب ۲ کیلوگرمی	۸۵۰/۰۰۰
۴	سوپرجاذب ۲۵ کیلوگرمی	۱۰/۰۰۰/۰۰۰

در ذرت، محتوای نیتروژن و فسفر خاک نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان عملکرد دانه و ماده‌ی خشک ایفا کرد (جدول ۶)، ضمن این‌که بنظر می‌رسد با انجام عملیات به‌زراعی از جمله استفاده از نهاده‌های بوم‌سازگار نظیر هیدروژل سوپرجاذب رطوبت و نقش این نهاده‌ها در افزایش ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول (جدول ۴) بتوان از تولید بهینه بهره‌مند شد (جدول ۶).

بحث

ثابت شده است که تنش خشکی بویژه در سه مرحله پیدایش و تشکیل گل، گرده‌افشانی و لقاح و تشکیل دانه اثرات منفی شدیدی بر جای می‌گذارد. تنش خشکی از ظهور سلول‌های بنیادی گل جلوگیری می‌کند. تنش در مرحله گرده‌افشانی و لقاح، تعداد دانه‌ها را بعلت پسابیدگی دانه‌های گرده کاهش می‌دهد و پژمردگی کلاله ناشی از تنش، مانع رشد لوله گرده می‌شود. در مرحله‌ی پر شدن دانه، گیاهان تحت تنش به جای اختصاص مواد فتوسنتزی به دانه، مواد غذایی را صرف مقابله با تنش می‌کنند و در نتیجه وزن دانه و بدنبال آن عملکرد دانه تحت‌تأثیر اثرات منفی تنش خشکی قرار می‌گیرد. بنابراین، عملکرد بیشتر گیاهان مورد مطالعه در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی منطقی بنظر می‌رسد. نتایج تحقیقات پندی و مارانویل (۲۴) در خصوص اعمال تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد ذرت نشان داد که اعمال تنش رطوبتی باعث کاهش عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال، وزن صد دانه، کاهش قطر ساقه و کاهش ارتفاع گیاه شد. در پژوهشی گزارش شد که کاهش مقدار آب مورد نیاز ارزن (*Panicum miliaceum* L.) در طول دوره‌ی رشد، منجر به کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول گردید (۱۳). در فلفل (*Capsicum annum* L.) اثرات سطوح مختلف آبیاری (۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی) روی صفاتی نظیر تعداد و وزن میوه در بوته، وزن و حجم ریشه، عملکرد میوه و کارآیی مصرف آب بررسی و گزارش شد که بیشترین و کمترین مقدار صفات مورد مطالعه بترتیب در تیمارهای ۱۰۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی بدست آمد (۲۰). در پژوهشی دیگر، نسبت اندام هوایی به ریشه گونه‌ای آویشن (*Thymus citriodorus* Pers.) تحت‌تأثیر تنش خشکی کاهش یافت، ولی میزان ترکیبات فرار اسانس و همچنین میزان تیمول گیاه در این شرایط افزایش یافت (۲۸). کاهش عملکرد دانه، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و ارتفاع بوته در شرایط خشکی در هیبریدهای مختلف سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) نیز گزارش شده است (۲۱).

امروزه از پلیمرهای سوپرجاذب بطور گسترده‌ای در کشاورزی استفاده می‌شود و نقش آن‌ها در کاهش شدت تنش خشکی و میزان مرگ‌ومیر گیاهان و همچنین افزایش تولید محصولات زراعی در مطالعات متعدد به اثبات رسیده است (۱۲و ۳۱).

سوپرجاذب‌ها از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و ساختمان خاک، کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک (۱۲)، افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، افزایش جوانه‌زنی و

سبز شدن بذر (۱۵)، کاهش نیاز آبی گیاه (۲۹) و کاهش میزان تبخیر از سطح خاک (۲۳) منجر به بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات مختلف می‌شوند. در پژوهشی، ضمن بررسی اثر سطوح مختلف سوپرجاذب بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت گزارش شد که با افزایش مقادیر مصرفی سوپرجاذب، عملکرد دانه و علوفه‌ی ذرت به میزان قابل‌توجهی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (۹). در پژوهشی دیگر، پس از بررسی اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت و اسید هیومیک در شرایط کم‌آبیاری در ذرت گزارش شد که بیشترین میزان عملکرد دانه متعلق به تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت، هشت کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و سطح آبیاری ۳۰۰ مترمکعب در هکتار بود (۲). در دو نوع بافت خاک لومی و شنی اثر سوپرجاذب رطوبت بر خصوصیات رشدی گیاه درمنه دشتی (*Artemisia sieberi* L.) در شرایط تنش خشکی بررسی و گزارش شد که سوپرجاذب در هر دو بافت خاک و بویژه در خاک شنی از طریق گسترش سیستم ریشه‌ای منجر به بهبود ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و طول و حجم ریشه در مقایسه با شاهد شد (۲۶). کاربرد سوپرجاذب در مزرعه اسفناج (*Ipomoea aquatic* Forsk.)، مانع از افزایش بیش از حد میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک شده و در نتیجه با افزایش میزان جذب آب و مواد غذایی، منجر به بهبود خصوصیات رشدی گیاه شد (۲۷). در پژوهشی دیگر، میزان نفوذ آب به اعماق در خاک شنی در شرایط کاربرد سوپرجاذب رطوبت از ۱۲/۴ به ۸۴/۷۵ درصد کاهش یافت (۲۵).

منابع

۱- ایوبی ش، محمدزمانی س و خرمالی ف (۱۳۸۸) پیش‌بینی عملکرد گندم از طریق خصوصیات خاک با استفاده از تجزیه به مؤلفه اصلی. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۹: ۵۷-۵۱.

۲- جهان م، امیری م ب و نوربخش ف (۱۳۹۵) بررسی اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت و اسید هیومیک در شرایط کم‌آبیاری بر برخی ویژگی‌های اگرواکولوژیکی ذرت به روش سطح پاسخ. پژوهشهای زراعی ایران. ۱۴(۴): ۷۶۴-۷۴۶.

۳- جهان م، قلعه‌نویی ش، خاموشی ا و امیری م ب (۱۳۹۴) بررسی ویژگی‌های اگرواکولوژیکی ریحان تحت‌تأثیر کاربرد سوپرجاذب

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج آزمایش، در هر سه گیاه مورد مطالعه، کاربرد سوپرجاذب رطوبت بهبود ویژگی‌های خاک را سبب شد، بطوریکه استفاده از این کود میزان نیتروژن، فسفر و پی‌اچ خاک را در لوبیا بترتیب ۴۶، ۴۰ و ۱۸ درصد، در کنجد بترتیب ۱۴، ۴۳ و ۲۱ درصد، و در ذرت بترتیب ۵۰، ۴۰ و ۳۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین عملکرد دانه و ماده‌ی خشک در لوبیا، کنجد و ذرت زمانی محقق شد که ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه تأمین و همزمان از سوپرجاذب رطوبت استفاده شد. میانگین بهره‌وری آب برای هر سه گونه زراعی، در شرایط استفاده از سوپرجاذب و تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی، نسبت به شرایط عدم استفاده از سوپر جاذب و تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی، ۴۳ درصد افزایش یافت. طراحی و اجرای پژوهش‌هایی با محوریت برآورد و مقایسه مزیت‌های اقتصادی و اکولوژیکی حاصل از کاهش مصرف آب آبیاری و افزایش بهره‌وری آب در نتیجه کاربرد سوپرجاذب می‌تواند هزینه نسبتاً بالای این نهاده بوم‌سازگار را توجیه کرده (قیمت فروش بسته‌بندی‌های مختلف این محصول در سال ۹۸ در جدول ۷ آورده شده است) و زمینه را برای بکارگیری گسترده آن توسط کشاورزان و تولیدکنندگان بخش زراعت و باغبانی فراهم آورد.

سپاسگزاری

بودجه این طرح از محل پژوهه شماره ۲/۴۰۱۹۰ مورخ ۱۳۹۴/۱۲/۲۵ معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

رطوبت، اسید هیومیک و دروهای آبیاری. علوم باغبانی مشهد. ۲۹(۲): ۲۵۴-۲۴۰.

۴- جهان م، کمایستانی ن و رنجبر ف (۱۳۹۲) امکان‌سنجی استفاده از سوپرجاذب رطوبت به‌منظور کاهش تنش خشکی وارده به ذرت در یک نظام زراعی کم‌نهاده در شرایط مشهد. بوم‌شناسی کشاورزی. ۵(۳): ۲۸۱-۲۷۲.

۵- شاه‌حسینی ر، امیدبیگی ر و کیانی د (۱۳۹۱) بررسی اثر کودهای زیستی بیوسولفور و نیتروکسین و پلیمر سوپرجاذب بر رشد، عملکرد و کمیت اسانس گیاه دارویی ریحان. علوم باغبانی مشهد. ۲۶(۳): ۲۵۴-۲۴۶.

۶- ضیایی ع، مقدم م و کاشفی ب (۱۳۹۵) تأثیر پلیمرهای سوپرجاذب بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه رزماری در شرایط تنش خشکی. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۷(۲): ۱۱۱-۹۹.

۷- علیزاده ا، کمالی غ ع، کشاورز ع و دهقانی م (۱۳۸۶) نیاز آبی گیاهان در ایران. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، تهران. ۲۲۸ صفحه.

۸- فلاحی ح ر، اقحوانی‌شجری م، طاهرپور کلانتری ر و سلطان‌زاده م ق (۱۳۹۴) ارزیابی توان جذب آب سوپرجاذب در پاسخ به تغییرات دما، شوری و تناوب آب‌گیری و تأثیر آن بر عملکرد و کیفیت الیاف پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) در شرایط کم‌آبیاری. بوم‌شناسی کشاورزی. ۷(۴): ۵۲۷-۵۱۳.

۹- کریمی ا و نادری م (۱۳۸۶) بررسی اثرات کاربرد پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد و کارآیی مصرف آب ذرت علوفه‌ای در خاک‌های با بافت مختلف. پژوهش کشاورزی. ۷(۳): ۱۹۸-۱۸۷.

۱۰- کوچکی ع و سرمدنیا غ ح (۱۳۹۱) فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۰۰ صفحه.

۱۱- کوچکی ع، نصیری محلاتی م، فلاح‌پور ف و امیری م ب (در نوبت چاپ) بهینه‌سازی کود نیتروژن و آبی در زراعت گندم از طریق طرح مرکب مرکزی. بوم‌شناسی کشاورزی.

12- Abedi-Koupai J, Sohrab J and Swarbrick G (2008) Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. Journal of Plant Nutrition. 31: 317-331.

13- Abraham SS, Abdul Jaleel C, Chang-Xing Z, Somasundaram R, Azooz MM and Panneerselvam R (2008) Regulation of growth and metabolism by paclobutrazol and ABA in *Sesamum indicum* L. under drought condition. Global Journal of Molecular Sciences. 3: 57-66.

14- Davidson EA, Samanta S, Caramori SS and Savage K (2012) The dual arrhenius and michaelismenten kinetics model for decomposition of soil organic matter at hourly to seasonal timescales. Global Change Biology. 18: 371-384.

15- Eneji AE, Islam R, An P and Amalu UC (2013) Nitrate retention and physiological adjustment of maize to soil amendment with superabsorbent polymers. Journal of Cleaner Production. 52: 474-480.

16- Horwitz W and Latimer GW (2005) Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 18th Edition. Maryland, USA.

17- Lal S, Bagdi DL, Kakralya BL, Jat ML and Sharma PC (2013) Role of brassinolide in alleviating the adverse effect of drought stress on physiology, growth and yield of green gram genotypes. Journal of Legume Research. 36: 359-363.

18- Liu ZF, Fu BJ and Zheng XX (2010) Plant biomass, soil water content and soil N:P ratio regulating soil microbial functional diversity in a temperate steppe: a regional scale study. Soil Biology and Biochemistry. 42: 445-450.

19- Manzoni S, Schimel JP and Porporato A (2011) Responses of soil microbial communities to water stress: results from a meta-analysis. Ecology. 93: 930-938.

20- Mardani S, Tabatabaei SH, Pessarakli M and Zareabyaneh H (2017) Physiological responses of pepper plant (*Capsicum annuum* L.) to drought stress. Journal of Plant Nutrition. 40(10): 1453-1464.

21- Menezes CB, Saldanha DC, Santos CV, Mingote Julio MP, Portugal AF and Tardin FD (2015) Evaluation of grain yield in sorghum hybrids under water stress. Genetics and Molecular Research. 14(4): 12675-12683.

22- Moyano FE, Vasilyeva N, Bouckaert L, Cook J, Caraine J, Curiel J, Don A, Epron D, Formanek P, Franzluebbers A, Ilstedt U, Katterer T, Orchard V, Reichstein M, Rey A, Ruamps L, Subke JA, Thomsen IK and Chenu C (2012) The moisture response of soil heterotrophic respiration: interaction with soil properties. Biogeosciences. 9: 1173-1182.

23- Nykanen VPS, Nykanen A, Puska MA, Goulart-Silva G and Ruokolainen J (2011) Dual-reponsive and super absorbing thermally cross-linked hydrogel based on methacrylate

substituted polyphosphazene. Soft Matter. 7: 4414-4424.

24- Pandy RK and Maranvill JW (2000) Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. Agricultural Water Management. 46: 15-27.

25- Reddy KS, Maruthi V and Umesha B (2015). Influence of super absorbent polymers on infiltration characteristics of alfisols in semi-arid region. Indian Journal of Dryland Agricultural Research and Development. 30(2): 11-16.

26- Rezashateri M, Khajeddin SJ, Abedi-Koupai J, Majidi MM and Matinkhah H (2017) Growth characteristics of Artemisia sieberi influenced by super absorbent polymers in textureally different soils under water stress condition. Archives of Agronomy and Soil Science. 63(7): 984-997.

27- Ruqin F, Jia L, Shaohua Y, Yunlai Z and Zhenhua Z (2015) Effects of biochar and super absorbent polymer on substrate properties and water spinach growth. Pedosphere. 25(5): 737-748.

28- Tatrai ZA, Sanoubar R, Pluhar Z, Mancarella S, Orsini F and Gianquinto G (2016). Morphological and Physiological plant responses to drought stress in Thymus citriodorus. International Journal of Agronomy. 2016: 1-8.

29- Xie L, Liu M, Ni B, Zhang X and Wang Y (2011) Slow-release nitrogen and boron fertilizer from a functional superabsorbent formulation based on wheat straw and attapulgite. Chemical Engineering Journal. 167: 342-348.

30- Zak DR, Holmes WE and White DC (2003) Plant diversity, microbial communities, and ecosystem function: are there and links. Ecology. 84: 2042-2050.

31- Zhong K, Zheng XL, Mao XY, Lin ZT and Jiang GB (2012) Sugarcane bagasse derivative-based superabsorbent containing phosphate rock with water-fertilizer integration. Carbohydrate Polymers. 90, 820-826.

Effect of Water Super Absorbent Hydrogel on Yield and Some Physiological Characteristics of Common Bean, Sesame and Maize in Drought Conditions

Jahan M.,[1] Amiri M.B.,[2] Naseri Abkuh N.,[2] Salehabadi M.[2] and Javadi M.[1]

[1] Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, I.R. of Iran.

[2] University of Gonabad, Mashhad, I.R. of Iran.

Abstract

In order to evaluate effect of water superabsorbent application on yield and some physiological characteristics and water productivity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.) and maize (*Zea mays* L.) in water stress conditions, a split plots experiment based on RCBD design with three replications was conducted during 2015-2016 growing season, in Research Farm of Ferdowsi University of Mashhad, Iran. Irrigation levels (50 and 100 percent of water requirement) and application (80 $kg.ha^{-1}$) and non-application of water superabsorbent assigned to main and sub plots, respectively. The results showed that in bean, the highest seed yield (2191$kg.ha^{-1}$), dry matter yield (4588 $kg.ha^{-1}$), weight seed per plant (10.89 g), height plant (97 cm), LAI (9.39), CGR (8.35 $g.m^{-2}.day^{-1}$), soil nitrogen (0.163%), phosphorous (0.0082%) and pH (9.68) obtained in treatment of 100 percent of water requirement and application of water superabsorbent. In sesame, application of water superabsorbent in drought stress conditions (50 percent of water requirement) increased seed weight per plant (22.17 g), plant height (91 cm), LAI (9.70), CGR (6.58 $g.m^{-2}.day^{-1}$) and soil nitrogen (0.101%), phosphorous (0.0063%) and pH (9.32) by 24, 30, 32, 59, 20, 44 and 17 percent compared to control, respectively. In maize, the highest seed yield (22522 $kg.ha^{-1}$), dry matter yield (39502 $kg.ha^{-1}$), seed weight per plant (332 g), plant height (194 cm), LAI (8.10), CGR (9.43 $g.m^{-2}.day^{-1}$) and soil nitrogen (0.095%) and pH (9.70) observed in treatment of 100 percent of water requirement and application of water superabsorbent. In all of studied plants, the highest water productivity achieved in treatment of 50 percent of water requirement and water superabsorbent.

Key words: Leaf Area Index, Soil pH, Water Productivity, Water Requirement, Water Stress.