تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3685.1894

مقاله پژوهشی

اثر پلیمر سوپرجاذب و سولفات پتاسیم بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت شرایط کم‌آبیاری

معصومه عربی[۱]، سهیل پارسا[۲،۳*]، مجید جامی الاحمدی[۲،۳]، سهراب محمودی[۲،۳]

۱. دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند
۳. گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشگاه بیرجند

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
عملکرد دانه
قطع آبیاری
گیاه روغنی
مرحله نموی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۰۸/۰۷

تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۱
۱۵(۱): ۱۴۹-۱۶۰

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سوپرجاذب، سولفات پتاسیم و کم‌آبیاری بر رشد و عملکرد کنجد آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، آبیاری تا ۵۰ درصد گلدهی و آبیاری تا ۵۰ درصد ظهور کپسول‌ها)، سه سطح کود پتاسیم (عدم مصرف، مصرف بر اساس توصیه کودی و ۱/۵ برابر توصیه کودی) و دو سطح سوپرجاذب (صفر و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. آبیاری بر کلیه صفات غیر از شاخه جانبی معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب در تیمار آبیاری کامل و مصرف سوپرجاذب (۲۶۵۰/۷۷ کیلوگرم در هکتار) و تیمار آبیاری تا گلدهی و عدم مصرف سوپرجاذب (۵۱۰/۴۴ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. پتاسیم بر کلیه صفات غیر از تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول در بوته و روز تا رسیدگی معنی‌دار شد. کاربرد پتاسیم باعث کاهش اثرات منفی کم‌آبی بر عملکرد شد. با کاربرد پتاسیم از هر سطح کم‌آبیاری، اثرات سوء تنش آبی تعدیل شد. ازآنجاکه در بیشتر موارد کاربرد پتاسیم برابر توصیه کودی تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱/۵ برابر توصیه کودی نداشت، می‌توان با کاربرد کود پتاسه بر اساس آزمون خاک تنش آبی را تا حد قابل قبولی تعدیل کرد. لذا با توجه به نقش پتاسیم و اثرات مثبت پلیمرهای سوپرجاذب در شرایط کم‌آبی، وجود این مواد می‌تواند در تحمل‌پذیری و افزایش عملکرد در شرایط کم‌آبی مؤثر باشد.

مقدمه

کنجد یکی از گیاهان روغنی پراهمیت و با محتوای روغن نسبتاً بالاست (Kapoor et al., 2004) که به تنش‌های محیطی مقاوم بوده و سازگاری بالایی به شرایط اقلیمی و نواحی خشک و نیمه‌خشک ایران دارد، اما کمبود رطوبت خاک مهم‌ترین عامل محیطی محدودکننده تولید آن بوده (Farahbakhsh and Farahbakhsh, 2014) که با توجه به‌شدت، زمان و مرحله نموی که واقع می‌شود می‌تواند بر جنبه‌های مختلف رشد و عملکرد گیاه تأثیر گذاشته و به کاهش تولید منجر شود (Rabbani and Emam, 2012).

بررسی‌ها نشان می‌دهد مرحله زایشی، حساس‌ترین مرحله رشد گیاه به تنش کمبود آب است که می‌تواند به‌طورجدی باعث کاهش عملکرد شود. فرح‌بخش و فرح‌بخش (Farahbakhsh and Farahbakhsh, 2014) در بررسی اثر سطوح کم‌آبیاری بر عملکرد کنجد با قطع آبیاری در مرحله گلدهی و ظهور کپسول‌ها گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمول و کمترین آن در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی به دست آمد. مطالعات حیدری و همکاران (Heidari et al., 2011) نشان داد در کنجد با

* نگارنده پاسخگو: سهیل پارسا. پست الکترونیک: sparsa@birjand.ac.ir

اعمال تنش کم‌آبی در مرحله گل‌دهی تا پایان فصل رشد، عملکرد، تعداد کپسول در گیاه، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه کاهش یافت و بیشترین عملکرد دانه نیز در شرایط آبیاری کامل به دست آمد. از طرفی حقانیان و همکاران (Haghanian et al., 2019) گزارش کردند مصرف آب کافی طی مراحل مختلف نمو به علت کاهش رقابت بین گیاهان برای آب و بهبود در اجزای عملکرد منجر به بهبود عملکرد دانه کنجد می‌شود.

روش‌های گوناگونی برای حفظ رطوبت خاک و کاهش اثرات کم‌آبی بر گیاهان وجود دارد که می‌توان به مدیریت تغذیه گیاه و همچنین حفظ رطوبت خاک با مواد جاذب رطوبت اشاره نمود. امروزه پلیمرهای سوپرجاذب ترکیبات مناسبی جهت افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک بوده که کاربرد آن‌ها نیز رو به گسترش است (Zohurian Mehr et al., 2010). این مواد در تماس با آب تا چندین برابر حجم خود آب را جذب کرده (Nazarli et al., 2010) و در مواقع کم‌آبی و نیاز ریشه آن را در اختیار گیاه قرار می‌دهند. نتایج کاربرد سوپرجاذب در کنجد نشان داد که سوپرجاذب از طریق کاهش اثرات منفی تنش آبی بر گیاه باعث افزایش عملکرد دانه شده می‌شود. معمار و مجدم (Memar and Mojaddam, 2015) در بررسی سه سطح پلیمر سوپرجاذب (۰، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) بر کنجد نشان دادند که با افزایش سوپرجاذب تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، بیشترین تعداد کپسول در بوته، دانه در کپسول، وزن هزار دانه و عملکرد به دست آمد. گزارش شده است که در کنجد با کاربرد سوپرجاذب طول دوره پر شدن دانه افزایش‌یافته، درنتیجه فرصت بیشتری جهت انتقال مواد فتوسنتزی به دانه ایجادشده که باعث افزایش عملکرد می‌شود (Pouresmaiel et al., 2013). در تحقیقی انجام‌شده که توسط احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2015) به‌منظور اثر سطوح آبیاری و هیدروژل سوپرجاذب بر رشد و عملکرد سویا انجام شد، نتایج نشان از افزایش معنی‌دار کلیه صفات گیاهی موردبررسی با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به خاک بود.

استفاده از کودها علاوه بر نقش تغذیه‌ای، می‌تواند جهت حمایت گیاه در برابر تنش‌های محیطی برای جلوگیری از کاهش عملکرد دارای اهمیت باشد (Sharifi et al., 2013). در این میان کودهای حاوی پتاسیم نظیر سولفات پتاسیم می‌تواند نقش مهمی را در کاهش تنش‌های حاصل از کم‌آبی داشته باشد. پتاسیم در رشد و نمو گیاه نیز دارای نقش مهمی بوده و در توسعه سلول‌ها، تنظیم فشار اسمزی و متابولیسم سلولی نظیر بیوسنتز آنزیم‌ها بسیار مؤثر است. بررسی‌ها نشان می‌دهد تحت شرایط کمبود آب، مصرف پتاسیم ضمن افزایش مقاومت گیاه به تنش، باعث افزایش اجزای عملکرد دانه، ارتفاع گیاه و تعداد ساقه فرعی در بوته در مقایسه با شرایط عدم کاربرد پتاسیم در کنجد گردیده که نشان‌دهنده اهمیت این عنصر در رشد و نمو طبیعی و افزایش تولید محصول در این گیاه است (Hafiz and El-Bramawy, 2012). مهدوی خرمی و همکاران (Mahdavi Khorami et al., 2018) نیز گزارش کردند در شرایط قطع آبیاری، کاربرد کودهای پتاسیم، تأثیر معنی‌داری بر تعداد کپسول، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه کنجد داشت. گزارش جاداو و همکاران (Jadav et al., 2010) مبنی بر افزایش عملکرد دانه کنجد با مصرف مقادیر مختلفی از کود پتاسیم نشان داد، کاربرد پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد معنی‌دار بود و باعث افزایش صفات ارتفاع بوته، تعداد کپسول، طول کپسول، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه گردید.

با توجه به اقلیم گرم و خشک و کمبود منابع آبی در کشور ما، استفاده از مواد جاذب رطوبت نظیر سوپرجاذب‌ها که سبب مقاومت گیاه به خشکی و کاهش خسارت‌های ناشی از کمبود رطوبت می‌گردند، می‌تواند راهکار مناسب باشد که کمتر موردتوجه قرار گرفته است. پتاسیم نیز علاوه بر نقش تغذیه‌ای آن، جهت افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی دارای اهمیت است؛ بنابراین این آزمایش با هدف بررسی تأثیر کاربرد پلیمر سوپرجاذب و سولفات پتاسیم در تعدیل اثرات کم‌آبی بر شاخص‌های رشدی و جبران کاهش عملکرد ناشی از اثرات سوء کمبود آب در کنجد انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال زراعی ۱۳۹۷ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل: کم‌آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، قطع آبیاری پس از مراحل ۵۰ درصد گلدهی و ۵۰ درصد کپسول‌دهی)، کود پتاسیم در سه سطح (عدم مصرف کود، مصرف بر اساس توصیه کودی و ۱/۵ برابر توصیه کودی) و سوپرجاذب در دو سطح (صفر و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. هر کرت شامل ۵ خط کاشت به طول ۵ متر و فاصله بین

ردیف ۰/۵ متر بود که به‌وسیله دو خط نکاشت از کرت بعدی جدا شد. تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول (۱) ذکر شده است.

بعد از آماده‌سازی زمین و ایجاد جوی و پشته، پلیمر سوپرجاذب (آکوازورب[1]) و کود پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم) بر اساس مساحت هر کرت تعیین و در عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متری خاک و در محل ردیف‌ها قرار داده شد. با توجه به میزان پتاسیم قابل‌جذب خاک محل آزمایش، میزان پتاسیم بر اساس توصیه کودی برابر با ۱۰۰ و برای ۱/۵ برابر توصیه کودی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار لحاظ شد. بذور کنجد رقم داراب ۱ پس از ضدعفونی با قارچ‌کش ویتاواکس در نیمه دوم خرداد ۱۳۹۷ به‌صورت دستی روی پشته‌ها کشت شد و بلافاصله آبیاری صورت گرفت. بعد از سبز شدن و استقرار کامل گیاهچه‌ها و به‌منظور دستیابی به تراکم ۴۰ بوته در مترمربع عملیات تنک‌سازی انجام شد. هر سه تیمار آبیاری بسته به مراحل نموی گیاه اعمال شد. زمانی که ۷۵ درصد کپسول‌های روی ساقه اصلی در ۵۰ درصد بوته‌های هر کرت شروع به قهوه‌ای شدن نمودند، به‌عنوان مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گیاه ثبت شد. قبل از برداشت نیز با انتخاب پنج بوته به‌طور تصادفی، صفاتی ازجمله: ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی در گیاه، تعداد کپسول در گیاه، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد دانه، با حذف دو ردیف کناری هر کرت و نیم متر از ابتدا و انتهای هر ردیف به‌عنوان اثر حاشیه، از سطح باقیمانده برداشت انجام شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون FLSD در سطح پنج درصد صورت پذیرفت.

جدول ۱. تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک

Table 1. Physical and Chemical analysis of the field soil depth of 0-30 cm

بافت خاک Texture	پتاسیم قابل‌جذب Available K+	فسفر قابل‌جذب Available P	درصد ماده آلی خاک Organic matter	ظرفیت زراعی FC	هدایت الکتریکی Ec	واکنش خاک pH
	----------mg/kg----------		----------%----------		dS/m	
Loam- sandy	218	12	0.67	14	5.2	7.9

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته تحت تأثیر آبیاری معنی‌دار ($P<0.01$) شد (جدول ۲). کمترین ارتفاع بوته از تیمار آبیاری تا گلدهی و بیشترین ارتفاع بوته (۹۸/۲۱ سانتی‌متر) از تیمار آبیاری کامل به دست آمد که با تیمار آبیاری تا کپسول‌دهی تفاوت معنی‌داری نداشت. قطع آبیاری در مرحله گلدهی نسبت به شاهد ارتفاع بوته را حدود ۱۴ درصد کاهش داد (جدول ۳). تقسیم و طویل شدن سلول مهم‌ترین فرایندی است که به تنش رطوبتی حساس است. کمبود آب از طریق نقصان در آماس سلول‌ها سبب کاهش تقسیم و طویل شدن سلولی و درنتیجه کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Moss and Donwey, 1971). لذا، در شرایط تنش شدید آبی، افزایش اندازه سلول تحت تأثیر قرار گرفته و با ممانعت از رشد طولی ساقه، سبب کاهش ارتفاع می‌گردد (Ziaei et al., 2016). در شرایط تنش ملایم خشکی، گیاهان با کمک سازوکارهای مختلف قادر به جلوگیری و یا تحمل پسابیدگی و ممانعت از کاهش شدید رشد می‌باشند ولی در شرایط تنش شدید به دلیل کاهش شدید آماس سلولی، رشد و تقسیم سلول‌ها منجر به کاهش رشد رویشی می‌شود. مقایسه میانگین سطوح پتاسیم بیانگر نقش پتاسیم در افزایش ارتفاع بوته بود. کمترین ارتفاع بوته (۸۹/۱۶ سانتی‌متر) از تیمار عدم مصرف کود پتاسیم و بیشترین ارتفاع (۹۶/۴۹ سانتی‌متر) از تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به دست آمد، هرچند با تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲). کودها می‌تواند با فراهمی عناصر غذایی برای گیاه موجب افزایش رشد و ارتفاع گیاه شوند. تأثیر مثبت کاربرد پتاسیم در افزایش ارتفاع بوته نیز با توجه به نقش این عنصر در بالا بردن ظرفیت نگهداری آب در خاک و همچنین بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه می‌تواند تا حدی قابل توجیه است (Rezaei Moadab et al., 2014). سوپرجاذب در سطح احتمال پنج درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول ۲) و بیشترین ارتفاع بوته با میانگین

[1] Aquasorb

۹۵/۵۵ سانتی‌متر از تیمار کاربرد سوپرجاذب به دست آمد که نسبت به تیمار عدم مصرف یک ۵/۳۴ درصدی افزایش داشت (جدول ۳).

بهبود شرایط فیزیکی خاک و توانایی نگهداری بیشتر آب در شرایط کاربرد پلیمر سوپرجاذب و واکنش مثبت مورفولوژیک گیاه به رطوبت قابل‌دسترس، می‌تواند باعث افزایش ارتفاع گیاه شده باشد که این مورد در سویا نیز به تأیید رسیده است (Raju et al., 2000).

تعداد شاخه جانبی

تعداد شاخه جانبی تحت تأثیر سوپرجاذب و پتاسیم قرار گرفت. (جدول ۲). پتاسیم سبب افزایش تعداد شاخه‌های جانبی کنجد شد، کمترین و بیشترین تعداد شاخه به ترتیب از تیمار عدم مصرف کود پتاسیم و مصرف ۱/۵ برابر توصیه کودی پتاسیم حاصل شد، هرچند با تیمار کاربرد پتاسیم برابر توصیه کودی اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

بهبود رشد رویشی گیاه در با کاربرد پتاسیم، می‌تواند با نقش مهم این ماده در فرایندهای نقل‌وانتقال قند و مواد پرورده و حفظ فشار تورژسانس در سلول‌های گیاهی در ارتباط باشد (Hegazi, 2014) لذا بهبود فتوسنتز و افزایش تولید مواد فتوسنتزی با کاربرد پتاسیم در گیاه، اثرات بد ناشی از کم‌آبی را کاهش و از این طریق زمینه بهبود رشد کلی گیاه و افزایش تعداد شاخه‌های جانبی در گیاه را فراهم کند. نتایج همچنین نشان داد که بیشترین (۸/۰۵) و کمترین (۷/۱۲) تعداد شاخه جانبی به ترتیب در تیمار مصرف و عدم مصرف سوپرجاذب به دست آمد (جدول ۳). پلیمرهای سوپرجاذب با تأثیر بر افزایش ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی و همچنین بهبود خواص فیزیکی خاک (Raju et al., 2002) سبب رشد بیشتر اندام هوایی و درنتیجه افزایش تعداد شاخه-های جانبی در گیاه می‌شوند. نتایج احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2015) در گیاه سویا نشان داد تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب نسبت به تیمار عدم مصرف آن تعداد شاخه جانبی بیشتری داشت. ضیایی و همکاران (Ziaei et al., 2016) نیز در گیاه رزماری بالاتر بودن تعداد شاخه جانبی با کاربرد سوپرجاذب را افزایش ظرفیت نگهداری آب، افزایش آب قابل‌دسترس و بهبود رشد گیاه بیان کرده‌اند.

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات موردمطالعه کنجد تحت تأثیر سطوح کم‌آبیاری، سوپرجاذب و پتاسیم

Table 2. Analysis of variance (mean of squares) for studied characteristics of sesame under deficit irrigation levels, super absorbent and potassium

S.O.V منابع تغییر	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Branches number	تعداد کپسول در بوته Capsule number per plant	دانه در کپسول Seed number per Capsule
بلوک Block	2	5.83^{ns}	1.165^{ns}	43.47^{ns}	20.00^{ns}
کم‌آبیاری Deficit irrigation (DI)	2	1023.17**	0.711^{ns}	1761.57**	1181.88**
سوپرجاذب Super absorbent (S)	1	317.36*	11.61**	744.60**	200.84**
پتاسیم Potassium (K)	2	246.52*	5.27**	143.95^{ns}	20.38^{ns}
کم‌آبیاری× سوپرجاذب DI×S	2	78.61^{ns}	1.07^{ns}	34.49^{ns}	1.62^{ns}
کم‌آبیاری× پتاسیم DI×K	4	19.51^{ns}	0.67^{ns}	110.26^{ns}	1.68^{ns}
سوپرجاذب× پتاسیم S×K	2	28.46^{ns}	0.05^{ns}	49.28^{ns}	11.62^{ns}
کم‌آبیاری× سوپرجاذب× پتاسیم DI×S×K	4	50.81^{ns}	0.08^{ns}	48.43^{ns}	3.82^{ns}
خطا Error	34	75.14	0.71	44.36	8.14
ضریب تغییرات C.V (%)	-	*9.30*	*11.17*	*12.64*	*10.05*

جدول ۲. ادامه

Table 2. Continued

S.O.V منابع تغییر	درجه آزادی df	وزن هزاردانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	تعداد روز تا رسیدگی Number of days to maturity
بلوک Block	2	0.0089^{ns}	4204.39^{ns}	0.56^{ns}
کم‌آبیاری Deficit irrigation (DI)	2	3.948**	13092234.3**	761.90**
سوپرجاذب Super absorbent (S)	1	0.725**	3420150.00**	99.28**
پتاسیم Potassium (K)	2	0.259**	424247.06**	4.03^{ns}
کم‌آبیاری× سوپرجاذب DI×S	2	0.080**	142393.39**	27.84**
کم‌آبیاری× پتاسیم DI×K	4	0.206**	73663.61*	2.83^{ns}
سوپرجاذب× پتاسیم S×K	2	0.152**	54334.39^{ns}	1.49^{ns}
کم‌آبیاری× سوپرجاذب× پتاسیم DI×S×K	4	0.133**	43993.78^{ns}	1.08^{ns}
خطا Error	34	0.015	26647.66	1.31
ضریب تغییرات C.V (%)	-	*5.12*	*10.08*	*1.00*

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

*and**: are significant at 5 and 1% probability levels, respectively

بیشترین تعداد شاخه جانبی نیز در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد؛ اما نسبت به دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). در توجیه عدم تأثیر تیمار قطع آبیاری بر این صفت می‌توان گفت، با توجه به زمان اعمال تیمار قطع آبیاری (مرحله ۵۰٪ گلدهی و ۵۰٪ کپسول‌دهی) گیاه با آغاز مرحله زایشی شاخه‌دهی خود را تکمیل نموده و بنابراین اعمال تیمارها تغییری در این صفت ایجاد نمی‌کند. در آزمایشی که توسط موسوی‌فر و بهدانی (Mousavifar and Behdani, 2018) انجام شد قطع آبیاری در مرحله گلدهی تأثیری بر تعداد شاخه جانبی در گیاه نداشت.

تعداد کپسول در بوته

سطوح مختلف آبیاری و سوپرجاذب بر تعداد کپسول در بوته اثر معنی‌دار داشتند ($P<0.01$) (جدول ۲). بیشترین تعداد کپسول در بوته با میانگین ۵۹/۶۶ عدد از تیمار آبیاری کامل به دست آمد که البته با تیمار آبیاری تا کپسول‌دهی (۵۶/۹۹ عدد در بوته) اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین آن نیز با میانگین ۴۱/۳۴ عدد در بوته در تیمار آبیاری تا مرحله گلدهی حاصل شد که نسبت به تیمار آبیاری کامل ۳۰/۷ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳). در مطالعات انجام‌شده روی کنجد به تأثیر منفی محدودیت آب بر تعداد غلاف در بوته اشاره شده است (Heidari et al., 2011). با اعمال تنش خشکی در مرحله زایشی، گل‌هایی که توانایی تبدیل‌شدن به کپسول را دارند، از بین رفته و تعداد کپسول در بوته کاهش می‌یابد. در آزمایش حاضر نیز پایین بودن تعداد کپسول در بوته با قطع آبیاری در مرحله گلدهی را می‌توان ناشی از زودرسی و کاهش مواد فتوسنتزی (Al-Kaisi and Yin, 2003)، ریزش گل‌ها و غلاف‌ها (Jain et al., 2012) و درنهایت کاهش تعداد آن‌ها نسبت داد. مصرف سوپرجاذب باعث افزایش تعداد کپسول در بوته شد (جدول ۲). میانگین این صفت در تیمار کاربرد سوپرجاذب ۵۶/۳۸ و تیمار عدم مصرف ۴۸/۹۵ عدد بود که یک افزایش ۱۵/۱۷ درصدی را نشان داد (جدول ۳). تأثیر کاربرد پلیمرهای سوپرجاذب بر تعداد کپسول در بوته را می‌توان به نقش این پلیمرها در افزایش ظرفیت جذب و نگهداری آب در خاک و همچنین بیشتر بودن طول دوره رشد و گلدهی در این گیاهان نسبت داد. این مواد با افزایش جذب و نگهداری آب در خاک، ذخیره عناصر و کاتیون‌های تبادلی و همچنین افزایش تهویه از طریق بهبود ساختمان خاک بسیاری از تلفات ناشی از کم‌آبی را کاهش داده و سبب افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شوند (Nazarli et al., 2010). همچنین مطالعات انجام‌شده بر روی نخود نیز، بالا بودن تعداد غلاف در بوته در تیمار مصرف

سوپرجاذب را با طول دوره رشد بیشتر نسبت به تیمار بدون سوپرجاذب مربوط دانسته که درنتیجه، گیاه فرصت کافی جهت تولید تعداد غلاف بیشتری دارد (Allahyari et al., 2013).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات اصلی کم‌آبیاری، سوپرجاذب و پتاسیم بر صفات موردمطالعه کنجد

Table 3. Mean comparison for the main effects deficit irrigation, super absorbent and potassium for studied characteristics of sesame

Treatments	تیمارها	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه جانبی Branches number	تعداد کپسول در بوته Capsules number per plant	تعداد دانه در کپسول Seed number per Capsule
کم‌آبیاری Deficit irrigation	آبیاری تا ۵۰٪ گلدهی Irrigation until 50% flowering stage	84.46^{b}	7.36^{a}	41.34^{b}	19.43^{c}
	آبیاری تا ۵۰٪ کپسول‌دهی Irrigation until 50% capsuling stage	96.70^{a}	7.63^{a}	56.99^{a}	30.56^{b}
	آبیاری کامل Full irrigation	98.21^{a}	7.75^{a}	59.66^{a}	35.20^{a}
پتاسیم Potassium	عدم کاربرد پتاسیم No potassium	89.16^{b}	6.9 ^{b}	49.57^{a}	27.80^{a}
	۱۰۰ کیلوگرم در هکتار 100 Kg.ha^{-1}	93.72^{ab}	7.87^{a}	53.30^{a}	27.76^{a}
	۱۵۰ کیلوگرم در هکتار 150 Kg.ha^{-1}	96.49^{a}	7.92^{a}	55.12^{a}	29.62^{a}
سوپر جاذب Super absorbent	عدم مصرف سوپرجاذب No super absorbent	90.70^{b}	8.05^{b}	48.95^{b}	26.47^{b}
	۱۰۰ کیلوگرم در هکتار 100 Kg.ha^{-1}	95.55^{a}	7.12^{a}	56.38^{a}	30.32^{a}

Table 3. Continued

جدول ۳. ادامه

Treatments	تیمارها	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (Kg.h^{-1})	تعداد روز تا رسیدگی Number of days to maturity
کم‌آبیاری Deficit irrigation	آبیاری تا ۵۰٪ گلدهی Irrigation until 50% flowering stage	1.94^{c}	667.89^{c}	112.27^{c}
	آبیاری تا ۵۰٪ کپسول‌دهی Irrigation until 50% capsuling stage	2.49^{b}	1870.83^{b}	122.27^{b}
	آبیاری کامل Full irrigation	2.87^{a}	2316.61^{b}	124.48^{a}
پتاسیم Potassium	عدم کاربرد پتاسیم No potassium	2.3^{b}	1467.83	119.15^{a}
	۱۰۰ کیلوگرم در هکتار 100 Kg.ha^{-1}	2.49^{a}	1612.78^{b}	119.84^{a}
	۱۵۰ کیلوگرم در هکتار 150 Kg.ha^{-1}	2.52^{a}	1774.72^{a}	120.06^{a}
سوپر جاذب Super absorbent	عدم مصرف سوپرجاذب No super absorbent	2.32^{b}	1366.78^{b}	118.33^{b}
	۱۰۰ کیلوگرم در هکتار 100 Kg.ha^{-1}	2.55^{a}	1870.11^{a}	121.04^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون FLSD ندارد. ($p\leq ۰/۰۵$).

Means within each column followed by the same letters are not significantly different based on FLSD test ($p \leq 0.05$)

تعداد دانه در کپسول

سطوح آبیاری و سوپرجاذب اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در غلاف داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد که تعداد دانه در کپسول در تیمار آبیاری کامل ۳۵/۲، در مرحله گلدهی ۱۹/۴۳ و در مرحله کپسول‌دهی ۳۰/۵۶ عدد بود که نشان‌دهنده کاهش ۴۴/۸ و ۱۳/۱۸ درصدی این صفت به ترتیب در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و کپسول‌دهی نسبت به شرایط عدم تنش است (جدول ۳). در شرایط مطلوب آبیاری گیاه با استفاده از شرایط محیطی مناسب و تولید مواد فتوسنتزی بهتر تعداد دانه در غلاف بیشتری تولید می‌کند. از سوی دیگر عدم وجود شرایط مناسب ازجمله عدم تأمین آب و عناصر غذایی از طریق تأثیر بر آنزیم‌های فتوسنتزی، کاهش سطح برگ و ریزش آن‌ها منجر به کاهش فتوسنتز عدم تأمین مواد فتوسنتزی لازم برای رشد و جنین و تکامل بذر در شرایط تنش خشکی شده (Sinclair et al., 2010) که می‌تواند منجر به پوک و توخالی شدن کپسول‌ها شده که درنتیجه آن یا دانه تشکیل نشده و یا ممکن است دانه تشکیل‌شده، اما پر نگردد (Weiss et al., 2000). پلیمرهای سوپرجاذب با جذب آب درون خود و رهاسازی آن در زمان نیاز گیاه از تنش وارده به آن جلوگیری کرده و تعداد دانه در کپسول را افزایش می‌دهد. به‌طوری‌که بیشترین (۳۰/۳۲) و کمترین (۲۶/۴۷) تعداد دانه در کپسول در تیمار مصرف و عدم مصرف سوپرجاذب بود (جدول ۳).

همچنین درنتیجه کاربرد سوپرجاذب رشد و گرده‌افشانی گیاه بهتر صورت گرفته و فرآیند تبدیل گل‌ها به دانه تسریع می‌شود. فاضلی رستم‌پور و همکاران Fazeli Rostampour et al., 2011) افزایش تعداد دانه در بلال ذرت با کاربرد سوپرجاذب را ناشی از تأمین آب و عناصر غذایی در مرحله تشکیل دانه، جلوگیری از ریزش آن‌ها و افزایش دانه‌های بارور دانسته‌اند.

وزن هزار دانه

کلیه اثرات ساده، متقابل دوگانه و سه‌گانه عوامل آزمایشی بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه آبیاری، سوپرجاذب و پتاسیم نشان داد با افزایش تنش خشکی وزن هزار دانه کاهش پیدا کرد (جدول ۴). در مقابل کاربرد سوپرجاذب و پتاسیم تا حدودی اثرات خشکی را کاهش داد، به‌گونه‌ای که با مصرف سوپرجاذب و پتاسیم وزن هزار دانه نسبت به شرایط عدم استفاده افزایش یافت. بیشترین وزن هزار دانه با میانگین (۲/۹۵ گرم) مربوط به تیمار آبیاری کامل، سوپرجاذب و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم بود که با کلیه سطوح پتاسیم و سوپرجاذب در این سطح آبیاری اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین وزن هزار دانه (۱/۰۷ گرم) نیز از تیمار آبیاری تا گلدهی، عدم کاربرد سوپرجاذب و پتاسیم به دست آمد (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری، سوپرجاذب و پتاسیم بر وزن هزار دانه

Table 4. Mean comparison for interaction of deficit irrigation, Super absorbent and Potassium on 1000-seed weight

کم‌آبیاری Deficit irrigation	سوپرجاذب Super absorbent ($kg.ha^{-1}$)	پتاسیم Potassium ($kg.ha^{-1}$)		
		0	100	150
		---------- g ----------		
آبیاری تا ۵۰ درصد گلدهی Irrigation until 50% flowering stage	0	1.07^{i}	2.09^{h}	2.09^{h}
	100	2.05^{h}	2.19^{fgh}	2.14^{gh}
آبیاری تا ۵۰ درصد کپسول دهی Irrigation until 50% capsuling stage	0	2.37^{def}	2.33^{efg}	2.49^{cde}
	100	2.58^{cd}	2.56^{cd}	2.65^{bc}
آبیاری کامل Full Irrigation	0	2.79^{ab}	2.82^{ab}	2.82^{ab}
	100	2.92^{a}	2.95^{a}	2.91^{a}

اختلاف ستون‌های دارای حروف الفبایی مشابه ازلحاظ آماری در سطح حداقل ۵ درصد (FLSD) معنی‌دار نیست

Differences of the columns that have the same alphabets one are not statistically significant at 5% (FLSD) level of significance.

کاربرد سوپرجاذب و پتاسیم تا حدودی اثرات خشکی را کاهش داد و منجر به افزایش وزن هزار دانه به‌خصوص در شرایط تنش شد. شرایط کم‌آبی از طریق کاهش در میزان فتوسنتز و مواد پرورده تولیدی، باعث چروکیدگی و درنتیجه

کاهش وزن دانه‌ها می‌شود (Debaeke and Aboudrare, 2004). لذا کاهش در وزن هزار دانه در هر دو تیمار قطع آبیاری امری بدیهی به نظر می‌رسد. مرتضوی و همکاران (Mortezavi et al., 2015) بیان کردند تنش خشکی از طریق کاهش طول دوره پر شدن دانه باعث می‌شود که گیاه برای فتوسنتز جاری، ذخیره هیدرات‌کربن در ساقه و تأمین آب و مواد غذایی جهت افزایش وزن دانه فرصت کافی نداشته باشد که همه این عوامل منجر به کاهش وزن دانه می‌شود. آن‌ها همچنین اعلام کردند دسترسی بهتر گیاه به آب و مواد غذایی، بالا بودن ظرفیت فتوسنتزی و افزایش نقل‌وانتقال مواد پرورده به دانه در زمان پر شدن دانه، از دلایل افزایش وزن هزار دانه به‌واسطه کاربرد سوپرجاذب است. مجدم و همکاران (Mujaddam et al., 2016) نیز علت افزایش وزن هزار دانه با کاربرد سوپرجاذب را در دسترس بودن آب به مقدار مناسب برای گیاه و همچنین انتقال بهتر کربوهیدرات‌ها به دانه دانسته که درنتیجه از چروکیده شدن دانه‌ها جلوگیری می‌کند. به دلیل نقش پتاسیم در افزایش تقسیم و رشد سلولی و همچنین انتقال قند از طریق آوند آبکش، قند تولیدشده در فرآیند فتوسنتز در آوند آبکش به اندام‌هایی نظیر دانه منتقل‌شده و باعث پر شدن، افزایش اندازه دانه و به‌تبع وزن هزار دانه می‌شود (Yarnia et al., 2009). افزایش وزن هزار دانه با کاربرد پتاسیم در سویا نیز گزارش شده است (Movahedi Naeini et al., 2019). در اثرات متقابل آبیاری در سوپرجاذب بیشترین (۲/۹۳ گرم) و کمترین (۱/۷۵ گرم) وزن هزار دانه به ترتیب از تیمار آبیاری کامل و مصرف سوپرجاذب (که با همین سطح آبیاری و عدم مصرف سوپرجاذب اختلافی نداشت) و آبیاری تا گلدهی و عدم مصرف سوپرجاذب به دست آمد (جدول ۵). اثر متقابل آبیاری در پتاسیم نیز نشان داد که تیمار آبیاری تا گلدهی و عدم مصرف پتاسیم کمترین وزن هزار دانه (۱/۵۶ گرم) را داشته و بیشترین وزن هزار دانه (۲/۸۹ گرم) نیز تیمار آبیاری کامل دارا بود که بین سطوح پتاسیم آن اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

عملکرد دانه

اثر سطوح آبیاری، سوپرجاذب و پتاسیم در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل آبیاری در سوپرجاذب و آبیاری در پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در سوپرجاذب نشان داد بیشترین میانگین عملکرد دانه از تیمار آبیاری معمول و مصرف سوپرجاذب (۲۶۵۰/۷۷ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن از تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و عدم مصرف سوپرجاذب (۵۱۰/۴۴ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۵).

با افزایش تنش خشکی میزان عملکرد دانه کاهش پیدا کرد، ولی مصرف سوپرجاذب توانست تا حدودی این کاهش را جبران کند. کاربرد پلیمر سوپرجاذب نسبت به عدم استفاده از آن تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد داشت، به‌طوری‌که استفاده از این ترکیب در تمام سطوح آبیاری سبب افزایش عملکرد دانه شد. مصرف سوپرجاذب نسبت به عدم مصرف سوپرجاذب، در تیمار آبیاری تا گلدهی عملکرد دانه را ۶۱/۷۱ درصد، در آبیاری تا کپسول‌دهی ۳۲/۷۷ درصد و در شرایط آبیاری کامل ۳۲/۷۱ درصد افزایش داد. گزارش‌ها نشان می‌دهد، تنش خشکی از طریق تأثیر بر فرایندهای زایشی تعیین‌کننده عملکرد نظیر تشکیل گل و غلاف، دانه در غلاف و پر شدن دانه بر عملکرد دانه تأثیرگذار بوده و شدت این اثر تابعی از ژنوتیپ، مدت و شدت تنش، شرایط آب و هوایی و مراحل فنولوژیکی است که تنش در آن مرحله رخ داده است (Moghani Bashi and Razmjoo, 2012). تنش خشکی عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد که دلیل آن تأثیر تنش خشکی بر کاهش خصوصیات رشدی و اجزای عملکرد (نظیر تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه) است. در این آزمایش نیز کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در شرایط کمبود آب به‌واسطه کاهش اجزای عملکرد، نظیر تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه نسبت به شرایط عدم تنش مشهود است (جدول ۵). مشاهدات حیدری و همکاران (Heidari et al., 2011) در کنجد حاکی از کاهش تعداد کپسول در گیاه، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه با اعمال تنش کم‌آبی در مرحله گل‌دهی تا پایان فصل رشد کنجد بود و بیشترین عملکرد دانه نیز در شرایط آبیاری کامل به دست آمد. جین و همکاران (Jain et al., 2010) و پوراسماعیل و همکاران (Pouresmaiel et al., 2013) نیز کاهش عملکرد دانه کنجد در شرایط تنش خشکی را اغلب به دلیل کاهش در اجزای عملکرد بیان کرده‌اند.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری در سوپرجاذب بر عملکرد دانه و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی

Table 5. Mean comparison for interaction effect of deficit irrigation and Super absorbent on seed yield, 1000-seed weight and Number of days to Physiological maturity

	سوپرجاذب	Deficit irrigation کم‌آبیاری		
	Super absorbent ($kg.ha^{-1}$)	۵۰ درصد گلدهی Irrigation until 50% flowering stage	۵۰ درصد کپسول‌دهی Irrigation until 50% capsuling stage	آبیاری کامل Full Irrigation
عملکرد دانه	0	510.44^{e}	1607.44^{c}	1982.44^{b}
Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	100	825.33^{d}	2134.22^{b}	2650.77^{a}
وزن هزار دانه	0	1.75^{e}	2.4^{c}	2.81^{a}
1000-seed weight (g)	100	2.13^{d}	2.6^{b}	2.93^{a}
تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی	0	109.55^{e}	121.22^{c}	124.19^{ab}
Number of days to Physiological maturity	100	115^{d}	123.33^{b}	124.77^{a}

اختلاف ستون‌هایی که دارای حروف الفبایی مشابه هستند ازلحاظ آماری در سطح حداقل ۵ درصد (FLSD) معنی‌دار نیست

Differences of the columns that have the same alphabets one are not statistically significant at 5% (FLSD) level of Significance

سوپرجاذب‌ها نقش مؤثری در میزان رطوبت قابل‌دسترس در گیاه دارند و مصرف و عدم مصرف آن‌ها مشابه رژیم‌های رطوبتی مختلف عمل می‌کنند. لذا، با توجه به ضروری بودن آب کافی جهت تولید عملکرد بالا، کاربرد این مواد می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت آب قابل‌دسترس گیاه موجبات افزایش عملکرد را فراهم کنند (Mao et al., 2011). با قطع آبیاری در مرحله زایشی، ظرفیت فتوسنتزی گیاه به نحو قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (Christman, 2007). این پلیمرها قادرند حتی در شرایط قطع آبیاری نیز به دلیل توزیع مناسب رطوبت، انتقال مواد فتوسنتزی و آب را به گیاه به طرز مناسبی کنترل نموده و در مراحل حساس نمو گیاه نظیر رشد زایشی، آب را در اختیار گیاه قرار داده و باعث افزایش عملکرد گردند. بررسی‌های انجام‌شده نیز، افزایش عملکرد دانه توسط سوپر جاذب هم در شرایط تنش و هم بدون تنش را گزارش کرده‌اند که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد (Mao et al., 2011). معنی‌دار شدن اثر متقابل آبیاری و پتاسیم بر عملکرد دانه نشان داد، با مصرف پتاسیم، عملکرد نسبت به تیمار عدم مصرف پتاسیم افزایش یافت. بیشترین میزان عملکرد دانه (۲۹۷۹/۸۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار آبیاری معمول و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم به دست آمد که با سایر سطوح پتاسیم در این سطح آبیاری اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین عملکرد دانه (۵۸۵ کیلوگرم در هکتار) از تیمار آبیاری تا گلدهی و عدم مصرف پتاسیم به دست آمد (جدول ۵). در تیمار آبیاری کامل اختلاف بین کمترین عملکرد در تیمار عدم مصرف سولفات پتاسیم و بیشترین عملکرد در تیمار پتاسیم برابر توصیه کودی ۸/۱ درصد بود، درحالی‌که اختلاف کمترین و بیشترین عملکرد حاصل از سطوح مختلف پتاسیم در تیمارهای آبیاری تا کپسول‌دهی و آبیاری تا گلدهی به ترتیب ۲۲/۴۳ و ۳۸/۷۱ درصد بود (جدول ۵). با افزایش شدت تنش خشکی از آبیاری کامل به آبیاری تا گلدهی عملکرد دانه کاهش یافت. افزایش عملکرد دانه با مصرف پتاسیم نشان‌دهنده تأثیر مثبت پتاسیم در بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاهان، فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی، متابولیسم و تنظیم فعالیت روزنه‌ها است (Ramswaroop et al., 2017). پتاسیم همچنین در رشد و نمو گیاه دارای نقش کلیدی بوده و در توسعه سلولی و تنظیم فشار اسمزی سلول‌ها و بافت‌های گیاه و خصوصاً در مراحل طبیعی متابولیسم سلولی مثل بیوسنتز آنزیم‌ها بسیار مؤثر است (Hafiz and El-Bramawy, 2012) مجموعه این دلایل، افزایش پارامترهای مؤثر در عملکرد را به دنبال داشته و به‌ویژه در شرایط وقوع تنش از گیاه در برابر آسیب‌های جدی محافظت می‌کند.

تعداد روز تا رسیدگی

اثر آبیاری و سوپرجاذب و اثر متقابل آبیاری در سوپرجاذب بر تعداد روز تا رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۲). میانگین اثر متقابل آبیاری در سوپرجاذب نشان داد بیشترین تعداد روز تا رسیدگی (۱۲۴/۷۷ روز) از تیمار آبیاری کامل و مصرف سوپرجاذب به دست آمد که با تیمار عدم مصرف سوپرجاذب در همین سطح آبیاری در یک گروه آماری قرار گرفتند و کمترین میزان این صفت (۱۰۹/۵۵ روز) نیز از تیمار آبیاری تا گلدهی و عدم مصرف سوپرجاذب به دست آمد (جدول ۵).

آبیاری تا کپسول‌دهی و آبیاری تا گلدهی باعث زودرسی گیاه شد که نشان‌دهنده تکمیل سریع چرخه زندگی گیاه جهت پر کردن دانه‌ها و فرار از خشکی در شرایط نامناسب است. با کاربرد سوپرجاذب به دلیل کاهش اثرات کمبود آب، تعداد روز تا رسیدگی افزایش پیدا کرد. سوپرجاذب با ذخیره کردن آب به میزان چندین برابر وزن خود و قرار دادن آن به‌صورت تدریجی در اختیار گیاه و همچنین با افزایش پتانسیل آب خاک، تنش رطوبتی را کاهش می‌دهد. افزایش رطوبت خاک که با استفاده از جاذب‌های رطوبتی در خاک به وجود آمده، می‌تواند تأثیر مثبت بر مراحل نموی گیاه داشته و باعث افزایش مدت روز تا رسیدگی شود، مشابه نتایجی که چتری و همکاران (Chettri et al., 2003) در مورد سویا گزارش نمودند. عملکرد دانه با تعداد روز تا رسیدگی همبستگی مثبت و معنی‌دار دارد (Bangar et al., 2003) بنابراین هر عاملی که باعث افزایش این صفت شود می‌تواند در عملکرد دانه نیز تأثیر مثبت داشته باشد.

جدول ۶. اثرات متقابل کم‌آبیاری و پتاسیم بر عملکرد دانه

Table. 6. The interaction of deficit irrigation and Potassium on Seed yield

		کم‌آبیاری Deficit irrigation		
	پتاسیم Potassium ($kg.ha^{-1}$)	۵۰ درصد گلدهی Irrigation until 50% Flowering Stage	۵۰ درصد کپسول‌دهی Irrigation until 50% Capsuling Stage	آبیاری کامل Full Irrigation
عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	0	585^{e}	1617.16^{c}	2201.33^{a}
	100	607.16^{e}	1851.33^{b}	2379.83^{a}
	150	811.5^{d}	1980^{b}	2368.66^{a}
وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	0	1.56^{d}	2.48^{b}	2.86^{a}
	100	2.14^{c}	2.45^{b}	2.89^{a}
	150	2.12^{c}	2.57^{b}	2.87^{a}

اختلاف ستون‌های دارای حروف الفبایی مشابه ازلحاظ آماری در سطح حداقل ۵ درصد (FLSD) معنی‌دار نیست

Differences of the columns that have the same alphabets one are not statistically significant at 5% (FLSD) level of significance.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان داد اعمال هرکدام از مراحل قطع آبیاری، منجر به کاهش صفات موردانداز‌ه‌گیری گردید؛ اما کاربرد پلیمر سوپرجاذب با قابلیت جذب آب، به علت بهبود ساختمان خاک، نگهداری عناصر غذایی و افزایش بازده محصول موجب کاهش اثرات سوء کم‌آبی در گیاه و بهبود عملکرد دانه شد. همچنین باوجودآنکه شرایط کم‌آبی باعث کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در میزان عملکرد دانه کنجد شد، اما مصرف کود سولفات پتاسیم در این شرایط تا حدودی از افت عملکرد گیاه جلوگیری به عمل آورد. وجود پتاسیم در شرایط کم‌آبی می‌تواند به‌عنوان عاملی تأثیرگذار در بهبود مقاومت و تحمل‌پذیری گیاه بوده و اثرات سوء تنش کم‌آبی در کاهش عملکرد دانه را تا حدودی جبران نماید. ازاین‌رو مصرف پتاسیم و سوپرجاذب در محیط‌هایی با سطوح مختلفی از کم‌آبی می‌تواند به‌عنوان راهکار عملی، در کاهش خسارات ناشی از خشکی و جلوگیری از کاهش عملکرد مدنظر باشد.

منابع

Ahmadi, A., Arabi, Z., Siahmargue, A., 2015. The response of yield and quality of soybean to different sources of biological fertilizer, vermicompost and different levels of chemical fertilizer in the presence of super absorbent hydrogel. Journal of Management and Sustainable Production. 5, 211-224. [In Persian with English Summary].

Al-Kaisi, M.M., Yin, X., 2003. Effect of N rate, irrigation rate, plant population on corn yield and water use efficiency. Agronomy Journal. 95, 1475-1482.

Allahyari, S., Golchin, A., Vaezi, A.R., 2013. Study on effect of super absorbent polymer application on yield and yield components of two chickpea cultivars under rainfed

conditions. Journal of Plant Production. 20, 125-140. [In Persian with English Summary].

Bangar, N.D, Mukhekar, G.D., Lad, D.B., Mukhekar, D.G., 2003. Genetic variability, correlation and regression studies in soybean. Journal of Maharashtra Agricultural Universities. 28, 320-331.

Christman, A., 2007. Hydraulic signal in root-T-shoot signaling of water strong. Plant Journal. 52, 167-174.

Chettri, M., Mondal, S., Nath, R., 2003. Studies on correlation and analysis in soybean in the Darjeeling Hill. Journal of Hill Research. 16, 101-113.

Debaeke, P., Aboudrare, A., 2004. Adaptation of crop management to water-limited environment. European Journal of Agronomy. 21, 433-446.

El-Naim, A.M., Ahmed, M.F., Ibrahim, K.A., 2010. Effect of irrigation and cultivar on seed yield, yield's components and harvest index of sesame (*Sesamum indicum* L.). Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 6, 492-497.

Farahbakhsh, S., Farahbakhsh, H., 2014. Study of the effects of low irrigation on yield and yield components of several sesame seeds in Kerman conditions. Iranian Journal of Field Crops Research. 12, 776-783. [In Persian with English Summary].

Fazeli Rostampour, M., Seghatoleslami, M., Mousavi, G.H., 2011. The effect of water deficit and polymer (superabsorbent A200) on yield and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) in Birjand. Journal of Environmental Stresses Crop Sciences. 4(1), 11-19. [In Persian with English Summary].

Hafiz, S. I., El-Bramawy, M.A.S., 2012. Response of sesame (*Sesamum indicum* L.) to phosphorus fertilization and spraying with potassium in newly reclaimed sandy soils. International Journal of Agricultural Science Research. 1, 34-40.

Haghanian, S., Yadavi, A., Blouchi, H., Moradi, A., Behzadi, Y., 2019. The effect of nitrogen on yield and yield components of different Sesame (*Sesamum Indicum* L.) varieties under weed competition. Plant Productions. 42(2), 197-210. [In Persian with English Summary].

Hegazi, E., Samira, S., Mohamed, M., El-Sonbaty, M.R., Abd El-NabyS.K.M., El-Sharony, T.F, 2011. Effect of potassium nitrate on vegetative growth, nutritional status and yield and fruit quality of olive cv. "Picual". Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants. 3, 252-258.

Heidari, M., Galavi M., Hassani, M., 2011. Effect of sulfur and iron fertilizers on yield, yield components and nutrient uptake in Sesame (*Sesamum indicum* L.) under water stress. African Journal of Biotechnology. 10, 8816-8822

Jadav, D.P., Padamani, D.R., Polara, K.B., Parmar, K.B., Babaria, N.B., 2010. Effect of different level of sulphur and potassium on growth, yield and yield attributes of sesame (*Sesamum indicum* L.). An Asian Journal of Soil Science. 5, 106-108.

Jain, S., Yue-Lioang, R., Mei-wang, L.E., Ting-Xian, Y., Xiao-Wen, Y., Hong-Ving Z., 2010. Effect of drought stress on sesame growth and yield characteristics and, comprehensive evaluation of drought tolerance. Chinese Journal of Oil Crops Sciences. 4, 42-48.

Kapoor, R., Giri, B., Mukerji, K.G., 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in (*Foeniculum vulgare* Mill.) on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology. 93, 307-311.

Mahdavi Khorami, A., Masoud Sinaki, J., Amini Dehaghi, M., Rezvan, S., Damavandi, A., 2018. Investigation of relationship between some quantitative and qualitative characteristics affecting sesame yield under nitrogen, potassium and drought stress. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 28, 15-34. [In Persian with English Summary].

Memar, M. R., Mojaddam, M., 2015. The effect of irrigation intervals and different amount of superabsorption on yield and yield components of sesame in Hamidiyeh weather condition. Journal of Fudamental and Applied life Sciences.5, 179-186.

Mao, S., Islam, M.R., Xue, X., Yang, X., Zhao, X., Hu. Y., 2011. Evaluation of a water saving superabsorbent polymer for corn (*Zea mays* L.) production in arid regions of Northern China. African Journal of Agricultural Research. 6, 4108-4115.

Moghani Bashi, M., and J., Razmjoo, 2012.The effect of seed treatment with polyethylene glycol and irrigation regimes on yield, yield components and sesame seed oil. Iranian

Journal of Field Crops Research. 10 (1), 91-99. [In Persian].

Mujaddam, M., Payendeh, Kh., Lak, Sh., Marashi, K. 2016. Effect of superabsorbent polymer on grain yield and some physiological properties of spring corn (*Zea mays* L.) under water deficit stress conditions. Plant Phisiology. 8, 61-73. [In Persian].

Mortezavi, S.M., Tavakoli, A., Mohammadi, M.H., Afsahi, K., 2015. Effect of superabsorbent on physiological traits and yield of wheat Azar2 cultivar under dry farming condition. Applied Field Crops Research. 28, 118-125. [In Persian].

Mousavifar, B.E., and M.A., Behdani, 2018. Effect of deficit irrigation and plant density on growth and seed yield and some morphological traits of autumn Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agroecology. 10, 107-119. [In Persian with English Summary].

Moss, G. I. and L. A., Donwey, 1971. Influence of drought stress on female gametophyte development in corn and subsequent grain yield. Crop Science. 11, 368 – 372

Movahedi Naeini, A.R., Salari, F., Hosseini, M., Zeinali, I., 2019. The effects of a surfactants and potassium fertilizer on soybean yield components with water tension. Journal of Management and Sustainable Production. 12,17-32. [In Persian].

Nazarli, H., Zardashti, M.R., Darvishzadeh, R., Najafi, S., 2010. The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits of sunflower under greenhouse condition. Notulae Scientia Biologicae. 2, 53-58.

Pouresmaiel, H.A., Saberi, M.H., Fanaei, H.R., 2013. Evaluation of terminal drought stress tolerance of *Sesamum indicum* genotypes under the Sistan region conditions. International Journal of Science and Engineering Investigations.2, 58-61.

Rabbani, J., Emam, Y., 2012. Yield response of maize hybrids to drought stress at different growth stages. Journal of Crop Production and Processing. 1, 64-78. [In Persian].

Raju, K.M., Raju, M.P., Mohan, Y.M., 2002. Synthesis and water absorbtion of cross linked superabsorbent polymer. Journal of Applied Polimer Science. 85(8), 1795-1801.

Ramswaroop, J., Sita, R.N., Rajsingh, C., Irfan, M., 2017. Effect of potassium and sulphur on quality of sesame (*Sesamum indicum L.*). International Journal of Current Microbiology Application of Science. 6, 1876-1878.

Rezaei Moadab, A., Nabavi Kalat, M., Sadrabadi Haghighi, R., 2014. Effects of biological fertilizer and vermicompost on vegetative yield and essential oil of basil under Mashhad climatic conditions. Journal of Agroecology. 4, 350-362. [In Persian with English Summary].

Sharifi, P., Karbalavi, B., Aminpanah, H., 2013. Effects of drought stress and potassium sulfate fertilizer on green bean yield. Iranian Journal of Crop Production. 6, 137-149. [In Persian with English Summary].

Sinclair, T.R, Messina, C.D., Beatty, A., Samples, M., 2010. Assessment aceoss the United States of the benefits of altered soybean drought traits. Agronomy Journal. 102, 457-482.

Weiss, E.A. 2000. Oilseed Crops. 2nd Ed. Blackwell Science, Limited. Oxford, United Kingdom. 364p.

Yarnia, M., Safaie, P., Khorshidi-benam, M.B., Farajzadeh, E., 2009. Effect of drought stress and potassium sulfate on yield and yield components of sunflower. New Finding in Agriculture. 3, 317-332. [In Persian with English Summary].

Ziaei, A., Moghaddam, M., Kashefi, B., 2016. The effect of superabsorbent polymers on morphological traits of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) under drought stress. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture. 7, 99-11. [In Persian with English Summary].

Zohuriaan Mehr, M.J., Omidian, H., Doroudiani, S., Kabiri, K., 2010. Advances in non-hygienic applications of superabsorbent hydrogel materials. Journal of Mather Science. 45, 5711-5735.