فنآوری تولیدات گیاهی/ جلد بیست و یکم/ شمارهٔ دوم/ صفحات ۱۰۷-۱۲۱/ پاییز و زمستان ۱۴۰۰
DOI: 10.22084/PPT.2022.22463.2013

اثر پلیمر سوپرجاذب و سولفات پتاسیم بر عملکرد کمی و کیفی کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت شرایط کم‌آبیاری

Effect of Superabsorbent Polymer and Potassium Sulfate on Quantitative and Qualitative Yield of Sesame (*Sesamum indicum* L.) under Water Deficit Conditions

معصومه عربی[۱]، سهیل پارسا[۲*]، مجید جامی‌الاحمدی[۲] و سهراب محمودی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰
(مقاله پژوهشی)

چکیده

به‌منظور بررسی کاربرد پلیمر سوپرجاذب و سولفات پتاسیم تحت تأثیر سطوح مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی کنجد آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال ۱۳۹۷ به اجرا درآمد. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری (آبیاری کامل، آبیاری تا ۵۰ درصد گل‌دهی و آبیاری تا ۵۰ درصد ظهور کپسول‌ها)، سه سطح کود پتاسیم (عدم‌مصرف، مصرف بر اساس توصیه کودی و ۱/۵ برابر توصیه کودی) و دو سطح سوپرجاذب (صفر و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. با قطع آبیاری عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد روغن، عملکرد روغن و درصد پروتئین کاهش اما درصد پتاسیم برگ افزایش پیدا کرد. بیش‌ترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمول (۲۳۴۲ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین آن در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی (۶۶۸ کیلوگرم در هکتار) بود. اثر متقابل آبیاری در سوپرجاذب بر عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد روغن و عملکرد روغن معنی‌دار شد. مصرف سوپرجاذب باعث کاهش اثرات منفی تنش و بهبود صفات شد، هم‌چنین مصرف پتاسیم در خاک با افزایش تجمع پتاسیم در برگ همراه بود. کاربرد هم‌زمان سوپر جاذب و سولفات پتاسیم اثر معنی‌داری بر رشد و عملکرد نداشت، اما استفاده از کود پتاسیم به دلیل تعدیل خسارات ناشی از تنش خشکی و سوپرجاذب به دلیل نقش آن در کاهش اثرات کمبود آب و بهبود تحمل تنش خشکی، جهت حفظ عملکرد توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، تنش خشکی، روغن، عملکرد دانه

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی و عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
*: نویسنده مسئول Email: sparsa@birjand.ac.ir
مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول به‌راهنمایی آقای سهیل پارسا می‌باشد.

مقدمه

کنجد (*Sesamum indicum* L.) گیاهی یک‌ساله و از قدیمی ترین دانه‌های روغنی شناخته شده در جهان بوده (*ال نعیم*[1] و همکاران، 2010) که از لحاظ خصوصیات زراعی و اقتصادی در کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر کشور ما حائز اهمیت است. دانه‌های کنجد به‌دلیل مقادیر بالای روغن (۵۲-۴۷ درصد)، پروتئین (۲۵-۱۹ درصد)، عناصر معدنی و ویتامین‌های محلول در چربی یک منبع تغذیه‌ای مناسب محسوب می‌شود (*هیرمت*[2] و همکاران، 2007). روغن آن به دلیل دارا بودن ترکیبات مناسب اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع، همراه با آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی نظیر سسامین، سسامولین و سساموال (*سابناوار* و *لاکشمن*[3]، 2008) نقش مهمی در سلامت انسان داشته و آن را در لیست یکی از پایدارترین و باکیفیت‌ترین روغن‌های خوراکی قرار داده است (*کساب*[4]، 2005؛ *میاهار*[5]،2001).

کمبود منابع آبی یکی از عمده‌ترین چالش‌ها و از عوامل اصلی محدودکننده کاهش رشد و عملکرد گیاهان در جهان خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک است، که ۲۵ تا ۶۰ درصد مزارع کشاورزی سرتاسر جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (*ردی*[6] و همکاران، 2004، *فتحی* و *براری تاری*[7]، 2016). با این که کنجد به‌عنوان یک گیاه سازگار به مناطق خشک و نیمه خشک شناخته شده است ولی برای تولید و عملکرد بالا به رطوبت احتیاج دارد (گلدانی، ۱۳۸۹) و زمانی‌که تحت تنش قرار می‌گیرد ممکن است کیفیت و عملکرد دانه آن کاهش یابد. تحقیقات نشان می‌دهد مراحلی از رشد که گل‌دهی و پرشدن دانه را در بر می‌گیرد به کم‌آبی حساس است و کم‌آبی در این مراحل باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (فرح‌بخش و فرح بخش، ۱۳۹۳). مطالعات انجام‌شده تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد را معنی‌دار گزارش کرده و بیان داشتند که بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل بود (*ندیم*[8] و همکاران، 2015). گزارش شده است که با افزایش تنش خشکی عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن و درصد پروتئین دانه کاهش یافت (قلی‌نژاد، ۱۳۹۶). علاوه‌بر این محققان دیگر نیز بیان داشتند که عملکرد کنجد تحت تأثیر آبیاری قرار گرفته و محدودیت آب به کاهش رشد و عملکرد آن می‌انجامد، به‌طوری‌که عدم آبیاری کنجد در مرحله گل‌دهی تا پایان فصل رشد منجر به کاهش عملکرد دانه گردید (*حیدری*[9] و همکاران، 2011).

با توجه به قرارگرفتن کشور ایران در منطقه خشک و نیمه خشک، و مواجه بخش‌های عمده آن با کمبود منابع آبی، مدیریت صحیح و کاربرد روش‌های پیشرفته جهت استفاده از بارندگی‌های پراکنده و سایر منابع محدود آب به‌منظور حفظ ذخیره رطوبتی خاک و بالا نگه‌داشتن ظرفیت آب در خاک، از اقدامات مؤثر جهت بهبود بهره‌برداری از منابع محدود آب می باشد (*عابدی کوپایی* و *سهراب*[10]، 2008). استفاده از پلیمر سوپرجاذب یکی روش‌هایی است که اخیراً موردتوجه قرار گرفته و برای مقابله با شرایط کم‌آبی و کاهش اثر سوء تنش خشکی بر گیاه و بهبود رشد گیاهان زراعی مصرف آن‌ها رو به گسترش است (*اختر*[11] و همکاران، 2004؛ *ظهوریان مهر*[12] و همکاران، 2010). پلیمرهای سوپرجاذب ترکیبات سنتیک آلی و از جنس هیدروکربن بوده که می‌توانند چندین برابر وزن خود آب جذب و نگهداری کنند (*ویدیاستوتی*[13] و همکاران، 2008). این مواد، با جذب آب آبیاری و بارندگی از فرو نشستن آن جلوگیری می نمایند. و در مواقع کم‌آبی و خشک‌شدن محیط، آب ذخیره‌شده در این مواد، در خاک آزاد شده و مورداستفاده ریشه گیاه قرار می‌گیرد (*ژونگ*[14] و همکاران، 2013). نقش سوپرجاذب‌ها در کاهش شدت تنش خشکی و افزایش تولید گیاهان زراعی در آزمایش‌های مختلف به اثبات رسیده است. *معمار* و *مجدم*[15] (2015) در بررسی سطوح مختلف پلیمر سوپرجاذب (صفر، ۷۵ و ۱۵۰کیلوگرم در هکتار) و رژیم‌های مختلف آبیاری در کنجد مشاهده کردند بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری کافی و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌دست آمد. آزمایشات *جویبان و موسوی*[16] (2012) نیز نشان داد که مصرف پلیمر سوپرجاذب ضمن کاهش تلفات ناشی از کم‌آبی، باعث افزایش عملکرد و درصد پروتئین در کنجد شد.

تغذیه مناسب گیاهان تحت شرایط تنش می‌تواند تا حدی به گیاه در تحمل تنش‌های مختلف کمک کند. با مصرف صحیح کودهای شیمیایی نظیر کود پتاسیم، می‌توان مقاومت گیاهان به خشکی و نیز راندمان تولید محصولات کشاورزی را افزایش داد. پتاسیم از عناصر غذایی ضروری در گیاه محسوب

1. El Naim
2. Hire math
3. Sabannavar and Lakshman
4. Kassab
5. Miyahara
6. Reddy
7. Fathi and Barari Tari
8. Nadeem
9. Heidari
10 Abedi-Koupai and Sohrab
11. Akhter
12. Zohuriaan-Mehr
13. Widiastuti
14. Zhong
15. Memar and Mojaddam
16. Jouyban and Moosavi

شده که به‌راحتی در سرتاسر گیاه حرکت کرده و در متابولیسم و فیزیولوژی گیاه به‌عنوان یکی از عناصر مهم به حساب می‌آید (*تیواری*[1]، 2001). پتاسیم نقش‌های متعددی از قبیل افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی، تولید و انتقال نشاسته، قند و چربی‌ها، ساخت پروتئین‌ها، متابولیسم و رشد گیاه، تعادل بار الکتریکی غشاهای سلول، فعال‌سازی آنزیم‌ها، تنظیم فعالیت روزنه‌ها و بهبود فتوسنتز، افزایش عملکرد و بهبود کیفی محصول را در گیاه به‌عهده دارد (*جیفون* و *لستر*[2]، 2007؛ *رامسوارب*[3] و همکاران، 2017). نتایج بررسی‌ها نشان داده، کاربرد پتاسیم می‌تواند اثرات محدودکننده ناشی از تنش آب را برطرف کند. *حافظ* و *ال براماوی*[4] (2012) در کنجد نشان دادند که پتاسیم در پایداری عملکرد در شرایط تنش خشکی مؤثر بوده و تحمل گیاه را در مقابل خشکی افزایش می‌دهد که نشان دهنده اهمیت این عنصر در رشد و نمو طبیعی و افزایش تولید محصول در کنجد می‌باشد. *سلیمان‌زاده*[5] و همکاران (2010) نیز افزایش و بهبود عملکرد دانه، ماده خشک و شاخص برداشت را با مصرف پتاسیم تحت شرایط تنش رطوبتی در آفتابگردان گزارش نمود. علاوه‌بر آن *جیانوی*[6] و همکاران (2007) در پژوهشی گزارش کردند، عملکرد دانه کلزا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر پتاسیم قرار گرفت، و تیمارهایی که پتاسیم دریافت کرده بودند در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف پتاسیم) عملکرد بالاتری داشتند.

با توجه به قرارگرفتن کشور ایران در منطقه خشک و نیمه خشک، کاهش بارندگی در برخی از سال‌ها در اکثر مناطق منجر به بروز تنش خشکی به‌خصوص در مراحل انتهایی رشد اکثر گیاهان شده و درنتیجه کاهش عملکرد نهایی آن‌ها را در بردارد. کنجد به‌عنوان یک گیاه روغنی دارای اهمیت است و عملکرد آن تحت تأثیر شرایط محیطی ازجمله رطوبت خاک قرار می‌گیرد. بنابراین لزوم اجرای آزمایش‌هایی در مورد تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد کنجد ضروری به نظر می‌رسید. بنابراین با توجه به اهمیت مصرف کودهای پتاسیمی در شرایط تنش خشکی آخر فصل و نقش سوپرجاذب در کاهش اثرات کمبود آب و بهبود مقاومت به تنش خشکی، این پژوهش جهت بررسی صفات کمی و کیفی دانه کنجد و تغییرات این صفات تحت تأثیر کاربرد مقادیر سولفات پتاسیم و سوپرجاذب در سطوح مختلف آبیاری در منطقه بیرجند انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با عرض جغرافیایی۳۲ درجه ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۴۸۰متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۷به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. طبق تقسیم‌بندی کوپن، بیرجند دارای اقلیم نیمه‌خشک با میانگین بارندگی ۱۷۶ میلی‌متر و حداکثر درجه حرارت مطلق ۴۰ درجه سانتی‌گراد و حداقل درجه حرارت مطلق ۱۴- درجه سانتی‌گراد است. تیمارهای آزمایشی شامل: کم آبیاری در ۳ سطح (آبیاری معمول تا پایان دوره رشد، آبیاری تا مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی و قطع آبیاری پس از آن و آبیاری تا ظهور ۵۰ درصد کپسول‌ها و قطع آبیاری پس از آن)، پتاسیم در سه سطح (k_0: عدم مصرف کود پتاسیم، k_1: مصرف کود پتاسیم بر اساس نیاز کودی، k_2: ۱/۵ برابر نیاز کودی از منبع سولفات پتاسیم گرانوله ۵۲ درصد) و سوپرجاذب در دو سطح (صفر و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود که به‌صورت تصادفی در داخل کرت‌ها قرار گرفتند. عملیات تهیه بستر شامل شخم، دیسک، تسطیح و فارو بود. هر کرت آزمایشی شامل ۵ ردیف کاشت به طول ۵ متر و با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بود (کوچکی و همکاران، ۱۳۹۶)، که به‌وسیله دو خط نکاشت از کرت بعدی جدا شد. بعد از آماده‌سازی زمین و ایجاد جوی و پشته، پلیمر سوپرجاذب و کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم قابل حل در آب براساس مساحت هر کرت آزمایشی محاسبه و در تیمارهای موردنظر در روی پشته در عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متری خاک به‌صورت نواری جای‌گذاری و روی آن با خاک پوشانده شد. با توجه به میزان پتاسیم خاک محل آزمایش (جدول ۱)، میزان پتاسیم بر اساس توصیه کودی برابر با ۱۰۰ و برای ۱/۵ برابر توصیه کودی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار لحاظ شد (ملکوتی و غیبی، ۱۳۷۹).

1. Tiwari
2. Jifon and Lester
3. Ramswaroop
4. Hafiz and El-Bramawy
5. Soleimanzadeh
6. Jianwei

جدول ۱: برخی از خصوصیّات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه
Table 1: Some physical and chemical properties of field soil

بافت خاک Texture	فسفر قابل جذب Available P	پتاسیم قابل جذب Available K	ظرفیت زراعی FC	درصد ماده آلی خاک Organic matter	هدایت الکتریکی Ec	واکنش خاک pH
	میلی‌گرم در کیلوگرم mg/kg			درصد %	دسی‌زیمنس بر متر dS/m	
لومی- شنی Loam- sandy	12	218	14	0.67	5.2	7.9

جهت انجام آزمایش از پلیمر سوپرجاذب آکوازورب استفاده شد. آکوازورب، یک کوپلیمر اکریلآمید و جزو پلیمرهای آبدوست است که می‌تواند مقادیر قابل‌توجهی آب را جذب و در مراحل مختلف رشد آن را در اختیار گیاه قرار دهد. بذر کنجد رقم داراب۱ نیز از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه گردید. کاشت در نیمه اول خرداد ۱۳۹۷ به‌صورت دستی و در عمق ۳-۲ سانتی‌متری روی پشته و به‌صورت متراکم انجام شد و بلافاصله آبیاری صورت گرفت. پس از سبزشدن و استقرار بوته‌ها و در مرحله ۴-۳ برگی، گیاهچه‌ها بر اساس فاصله ۵ سانتی‌متر (تراکم ۴۰ بوته در مترمربع) تنک گردیدند (کوچکی و همکاران، ۱۳۹۶). میزان آب موردنیاز با استفاده از نرم‌افزار cropwat تعیین و برای آبیاری از سیستم آبیاری لوله‌کشی با کنتور حجمی با دقت ۰/۰۰۰۱ مترمکعب، به فاصله هر هفت روز یک‌بار شد. تیمارهای قطع آبیاری بسته به مرحله نموی گیاه (آبیاری تا ۵۰ درصد گل‌دهی (قطع آبیاری ۵۲ روز پس از کاشت)، آبیاری تا ۵۰ درصد کپسول‌دهی (قطع آبیاری در ۸۰ روز پس از کاشت) و آبیاری کامل) اعمال شدند. به‌طوری‌که در تیمار آبیاری تا ۵۰ درصد گلدهی ۶ نوبت، تیمار آبیاری تا ۵۰ درصد کپسول‌دهی ۱۰ و آبیاری کامل آبیاری ۱۶ نوبت آبیاری انجام شد. مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (۱۴۰ روز پس از کاشت) با مشاهده قهوه‌ای شدن نزدیک به ۷۵ درصد کپسول های روی ساقه اصلی در ۵۰ درصد بوته‌های هر کرت ثبت شد. برای تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در هر کرت، دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای حذف و از سطح باقیمانده برداشت انجام شد. شاخص برداشت براساس نسبت عملکرد دانه به بیولوژیک محاسبه شد. در آزمایشگاه، درصد روغن پس از آسیاب‌کردن دانه‌ها و تهیه نمونه‌ها با استفاده از دستگاه سوکسله انجام و عملکرد روغن نیز از حاصل ضرب درصد روغن در عملکرد دانه هر تیمار محاسبه گردید. اندازه‌گیری درصد پروتئین با دستگاه کجلدال اندازه گیری شد. در پایان داده‌ها مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و رسم شکل‌ها با Excel انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون FLSD در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

اثر سطوح مختلف آبیاری، کود سولفات پتاسیم و سوپرجاذب در سطح احتمال یک درصد عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار دادند. هم‌چنین در بین اثرات دوگانه، اثر متقابل آبیاری در سوپرجاذب و اثر متقابل آبیاری در پتاسیم در سطح احتمال ۵ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در سوپرجاذب نشان داد حداکثر عملکرد دانه از تیمار آبیاری معمول و مصرف سوپرجاذب و کم‌ترین آن از تیمار قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی و عدم مصرف سوپرجاذب به‌دست آمد (جدول ۳). قطع آبیاری در مرحله زایشی و عدم کاربرد سوپرجاذب باعث کاهش شدید ظرفیت فتوسنتزی شده و فتوسنتز جاری به‌طور قابل ملاحظه ای کاهش می‌یابد (کریستمن[1]، 2007) کاربرد پلیمر سوپرجاذب نسبت به عدم‌استفاده از آن تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد داشت، به‌طوری‌که استفاده از این ترکیب در تمام سطوح آبیاری سبب افزایش عملکرد دانه شد. با افزایش تنش خشکی میزان عملکرد دانه کاهش پیدا کرد، ولی مصرف سوپرجاذب توانست تا حدودی این کاهش را جبران کند (جدول ۴). مطالعات جین[2] و همکاران (2010) و فرح‌بخش و فرح‌بخش (۱۳۹۳) نشان داد که افزایش محدودیت آب در مراحل رشد زایشی بر کاهش عملکرد دانه مؤثر است. مراحلی از رشد که گل‌دهی و پرشدن دانه را در بر می‌گیرد به کم‌آبی حساس است و کم‌آبی در این مراحل باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود. در واقع کمبود آب در مرحله پرشدن دانه از طریق کاهش تعداد سلول های آندوسپرم و در مرحله گل‌دهی از طریق نمو غیرطبیعی کیسه جنینی، عقیمی دانه گرده و کاهش تعداد دانه‌های بارور می‌تواند بر عملکرد دانه تأثیرگذار باشد (توحیدی‌مقدم و مظاهری،۱۳۹۰). سوپرجاذب‌ها نقش موثری در میزان رطوبت قابل دسترس در گیاه دارند و مصرف و عدم‌مصرف آن‌ها مشابه رژیم‌های رطوبتی مختلف عمل می‌کنند. لذا، با توجه به ضروری بودن آب کافی جهت تولید عملکرد بالا، کاربرد این مواد

1. Christman
2. Jain

می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت آب قابل دسترس گیاه موجبات افزایش عملکرد را فراهم کنند. این پلیمرها قادرند حتی در شرایط قطع آبیاری نیز به‌دلیل 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 گردد. اثرات مثبت استفاده از سوپرجاذب در کاهش اثرات منفی تنش خشکی در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است (توحیدی‌مقدم و مظاهری، ۱۳۹۰؛ فاضلی رستم‌پور و همکاران، ۱۳۹۰). معنی‌دار شدن برهم‌کنش تیمار آبیاری و کود پتاسیم بر عملکرد دانه نشان می‌دهد که در شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی با کاربرد پتاسیم، عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم‌مصرف پتاسیم افزایش نشان داد. بالاترین میزان عملکرد دانه از تیمار آبیاری معمول و مصرف معادل توصیه کودی پتاسیم به‌دست آمد که با تیمار ۱/۵ برابر توصیه کودی در این سطح آبیاری در یک گروه آماری قرار داشتند و کم‌ترین عملکرد دانه نیز از تیمار قطع آبیاری تا ۵۰ درصد گل‌دهی و عدم‌مصرف پتاسیم به‌دست آمد که البته با تیمار مصرف پتاسیم به میزان توصیه کودی در همین سطح آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵). بنابراین، نتایج آزمایش حاضر بیانگر آن بود که اگرچه با افزایش شدت تنش خشکی از آبیاری کامل به آبیاری تا گل‌دهی عملکرد دانه کاهش یافت، اما کاربرد کود پتاسیم توانست سبب کاهش اثرات منفی کم‌آبی بر عملکرد دانه گردد. افزایش عملکرد دانه با افزایش مصرف پتاسیم نشان‌دهنده تأثیر مثبت پتاسیم در بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاهان، فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی، ساخت پروتئین‌ها، متابولیسم و رشد گیاه و تنظیم فعالیت روزنه‌ها است (*دامون* و *رنگل*[1]، 2007؛ *رامسوارپ* و همکاران، 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 (*حافظ* و *ال براماوی*، 2012). مجموعه این دلایل، افزایش پارامترهای مؤثر در عملکرد را به دنبال داشته و به‌طور ویژه در شرایط وقوع تنش از گیاه در برابر آسیب‌های جدی محافظت می‌کند.

تأثیر پتاسیم در بهبود عملکرد در شرایط تنش رطوبتی مؤثرتر از شرایط آبیاری مطلوب بود. در تیمار آبیاری کامل بین کم‌ترین عملکرد در تیمار عدم‌مصرف سولفات پتاسیم و بیش ترین عملکرد در تیمار پتاسیم برابر توصیه کودی یک اختلاف ۹/۱۱ درصدی مشاهده شد، درحالی‌که اختلاف کم‌ترین و بیش‌ترین عملکرد حاصل از سطوح مختلف پتاسیم در تیمارهای آبیاری تا کپسول‌دهی و آبیاری تا گل‌دهی به‌ترتیب ۲۴/۳۳ و ۱۷/۳ درصد بود (جدول ۵ و ۶). با توجه به نتایج به دست‌آمده، می‌توان چنین استنباط کرد که عکس‌العمل عملکرد دانه کنجد به مقادیر مختلف سولفات پتاسیم، بستگی به میزان آب مصرفی دارد. به نظر می‌رسد بالا بودن رطوبت خاک ناشی از افزایش تعداد آبیاری در تیمار عدم تنش، سبب رقیق‌شدن پتاسیم شده و مانع از تأثیر مثبت آن بر گیاه در فراهمی بالای رطوبت شده باشد، مشابه نتایجی که فنایی و همکاران (۱۳۹۲) در گزارش خود اعلام کردند.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس این صفت، بیانگر وجـود اختلاف بین تیمارهای آبیاری، سوپرجاذب و پتاسیم در سطح احتمال ۵ درصد بود (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری معمول و کم‌ترین آن در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی حاصل شد. در اثر تنش خشکی در مرحله گل‌دهی، عملکرد بیولوژیک به‌طور متوسط ۶۲/۶ درصد و در مرحله کپسول‌دهی ۲۱/۳۹ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد (جدول ۳). کاهش زیست‌توده گیاهی در شرایط تنش می‌تواند مربوط به کاهش اندازه گیاه، کاهش سطح برگ ناشی از ریزش و پیری برگ‌ها و اختصاص مواد فتوسنتزی بیش‌تر به ریشه نسبت به بخش هوایی باشد (*اسریوالی*[2] و همکاران، 2001). کاهش سطح فتوسنتزکننده و هم‌چنین کاهش میزان فتوسنتز ناشی از کاهش جذب نور توسط پوشش گیاهی بر اثر تنش خشکی، باعث کاهش تجمع ماده خشک و بالطبع کاهش عملکرد بیولوژیک در پایان دوره رشد گیاه می‌شود (*لافیته*[3]، 2002) هم‌چنین به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی گیاهان جهت افزایش جذب آب مواد بیش تری را به ریشه‌ها اختصاص داده، بنابراین، تحت چنین شرایطی وزن اندام‌های هوایی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در تیمار آبیاری مطلوب نیز گسترش بیش‌تر برگ‌ها و دوام سطح برگ‌ها از طریق ایجاد منبع فیزیولوژیک بزرگ‌تر، منجر به افزایش تولید ماده خشک بیش‌تر و در نتیجه عملکرد بیولوژیک می‌شود (*پائلو* و *رینالدی*[4]، 2008؛ قلی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). کاهش وزن اندام‌های هوایی و تولید فرآورده‌های فتوسنتزی در نتیجه محدودیت آب توسط ایوبی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) در کنجد نیز گزارش شده است. مقایسه میانگین سطوح سوپرجاذب نشان داد که کاربرد پلیمر سوپرجاذب در مقایسه با عدم‌مصرف

1. Damon and Rengel

2. Sreevalli
3. Lafitte
4. Paolo and Rinaldi

آن نقش مؤثری در افزایش عملکرد بیولوژیک کنجد داشت. به طوری‌که تیمار کاربرد سوپرجاذب نسبت به عدم مصرف آن عملکرد بیولوژیک را افزایش داد (جدول ۳). پلیمرهای سوپرجاذب با قرار دادن آب کافی در اختیار گیاه، انتقال مواد از خاک توسط گیاه و افزایش کارآیی فتوسنتزی برگ‌ها از طریق افزایش سطح برگ و میزان فتوسنتز موجب تجمع بیش‌تر ماده خشک و عملکرد بیولوژیکی در گیاه می‌شوند (مرتضوی و همکاران، ۱۳۹۴). پتاسیم در سطح یک درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش میزان کود پتاسیم عملکرد بیولوژیک افزایش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک به‌صورت مشترک از تیمار مصرف پتاسیم برابر توصیه کودی و ۱/۵ برابر توصیه کودی و کم‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک از تیمار عدم‌مصرف کود پتاسیم به‌دست آمد (جدول ۳). *شارما*[1] (2005) و *کاتیرسان*[2] (2002) نشان دادند که مصرف پتاسیم موجب افزایش زیست‌توده کنجد شد. پتاسیم می‌تواند از طریق افزایش سرعت فتوسنتز گیاه، جذب دی‌اکسیدکربن و تسهیل انتقال کربن و مواد فتوسنتزی نقش مثبتی را در افزایش زیست توده داشته باشد (*سانگاکورا*[3] و همکاران، 2000). در شرایط محدودیت پتاسیم نیز، علاوه‌بر این‌که کارآیی فتوسنتز در تولید ماده خشک کاهش می‌یابد، نقل و انتقال مواد فتوسنتزی نیز به اندام‌های مختلف به کندی صورت می‌گیرد، لذا کاهش وزن در قسمت‌های مختلف گیاه به چشم می‌خورد (*ردی* و همکاران، 2004).

شاخص برداشت

آبیاری در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آبیاری در سوپرجاذب در سطح احتمال ۵ درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج نشان داد که شاخص برداشت در آبیاری تا گل‌دهی کم‌ترین مقدار بود و تفاوت معنی‌داری بین تیمار آبیاری کامل با آبیاری تا کپسول‌دهی مشاهده نشد. با افزایش سطوح تنش خشکی از آبیاری کامل به آبیاری تا گل‌دهی میزان شاخص برداشت ۲۵/۱۲ درصد کاهش پیدا کرد (جدول ۳). شاخص برداشت در شرایط محیطی متفاوت می تواند تغییر کند. مرحله نمو گیاه در زمان وقوع تنش و شدت تنش از عوامل مؤثر بر شاخص برداشت می‌باشند (روستایی و همکاران، ۱۳۹۱). وقوع تنش خشکی در مرحله زایشی و شرایط محیطی نامناسب در زمان گرده‌افشانی و تشکیل دانه، باعث می‌شود لقاح و دانه‌بندی به‌خوبی صورت نگرفته و باعث کاهش عملکرد دانه و به دنبال آن کاهش شاخص برداشت گردد (خادم و همکاران، ۱۳۹۰). هم‌چنین تغییرات شاخص برداشت بسته به تأثیر تنش خشکی بر اندام‌های رویشی و زایشی متفاوت است. اگر این تأثیر بر عملکرد دانه بیش‌تر از اندام رویشی باشد، افزایش شدت تنش کم‌آبی، باعث کاهش شاخص برداشت خواهد شد. درصورتی‌که اگر این تأثیر بر اندام رویشی بیش‌تر از عملکرد دانه باشد، در این حالت، با افزایش شدت تنش، شاخص برداشت افزایش می‌یابد. بنابراین، در این آزمایش به‌نظر می‌رسد که تأثیر منفی کاهش سطوح آبیاری بر اندام‌های زایشی بیش‌تر از رویشی بوده است، لذا در اثر کاهش سطوح آبیاری، شاخص برداشت کاهش یافته است که با یافته-های کوچکی و همکاران (۱۳۹۴) در کنجد در این زمینه مطابقت دارد. برهم‌کنش آبیاری و سوپرجاذب بر شاخص برداشت نشان داد که بیش‌ترین شاخص برداشت به‌طور مشترک از تیمارهای آبیاری کامل و آبیاری تا کپسول‌دهی همراه مصرف و عدم‌مصرف سوپرجاذب به‌دست آمد و اختلافی بین آن‌ها وجود نداشت. در مقابل تیمار آبیاری تا گل‌دهی و عدم‌مصرف سوپرجاذب کم‌ترین شاخص برداشت را به خود اختصاص داد (جدول ۳). قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و عدم کاربرد سوپرجاذب با کاهش میزان رطوبت قابل استفاده برای گیاه، باعث کاهش شاخص برداشت در این تیمار نسبت به سایر تیمارها شد. اما مصرف سوپرجاذب قادر بود که میزان این صفت را نسبت به عدم‌مصرف سوپرجاذب ۲۶/۰۸ درصد بهبود بخشد (جدول ۴). با توجه به این که شاخص برداشت از تقسیم عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیکی به‌دست می‌آید، لذا با دسترسی بهتر گیاه به رطوبت و مواد غذایی شاخص برداشت نیز افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد به نظر می‌رسد پلیمر سوپرجاذب روی تولید کلیه بخش‌های گیاه و بیوماس کل مؤثر بوده و می‌تواند از شدت تنش خشکی کاسته و باعث افزایش عملکرد اقتصادی و بیوماس کل و نهایتاً شاخص برداشت شود. با توجه به نقش سوپرجاذب در ذخیره آب و مواد غذایی و در دسترس قراردادن آن به‌طرز مناسب در اختیار گیاه بخصوص در هنگام تنش و کاهش تلفات ناشی از کم‌آبی و هم‌چنین کاهش شسته‌شدن آب و مواد غذایی از دسترس گیاه روی تولید کلیه بخش‌های گیاه و بیوماس کل مؤثر بوده و با کاهش شدت تنش خشکی باعث افزایش شاخص برداشت شود (پوراسماعیل و همکاران، ۱۳۸۸).

روغن

روغن در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر آبیاری، سوپرجاذب و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). نتایج

1. Sharma
2. Kathiresan
3. Sangakkara

نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی درصد روغن دانه کاهش معنی‌داری پیدا کرد. بیش‌ترین درصد روغن به‌طور مشترک در تیمار آبیاری کامل و آبیاری تا کپسول‌دهی و کم‌ترین درصد روغن نیز در شرایط آبیاری تا گل‌دهی مشاهده شد (جدول ۳). تنش خشکی می‌تواند از طریق اختلال در فرایندهای متابولیکی بذر و انتقال اسیمیلات‌ها به دانه‌ها و کاهش ظرفیت در جذب آن‌ها باعث کاهش درصد روغن دانه شود. کاهش ظرفیت در جذب اسیمیلات‌ها توسط دانه و تبدیل آن به روغن ناشی از اثر تنش خشکی، تأثیر منفی بر درصد روغن دارد (*باچری*[1] و همکاران، 1996). رضایی‌چیانه و همکاران (۱۳۹۶) بیان کردند که گیاه در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش میزان فتوسنتز برگی با کاهش انرژی لازم جهت ساخت موادی همچون روغن مواجه است، لذا درصد روغن در طی تنش خشکی کاهش می‌یابد. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق با یافته‌های *ال پالسان*[2] و همکاران (2006) و قلی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۶) مبنی بر کاهش درصد روغن در شرایط تنش خشکی مشابه بوده، اما با نتایج نوری‌پور سی‌سخت و احسان‌زاده (۱۳۹۱) که اظهار داشتند که اثر رژیم آبیاری بر درصد روغن کنجد معنی‌دار نگردید، هم‌خوانی ندارد. آن‌ها علت معنی‌دار نشدن تفاوت درصد روغن دانه در شرایط تنش خشکی در مقایسه با عدم تنش را وراثت‌پذیری بالای این صفت و تأثیرپذیری کم‌تر این آن از شرایط محیطی بیان کرده‌اند. موسوی‌فر و همکاران (۱۳۸۸) در بیان تفاوت در نتایج به‌دست آمده از تأثیر تنش خشکی بر میزان روغن دانه‌ها را، تفاوت در شرایط محیطی (دما، رطوبت و بارندگی) و شدت تنش در آزمایش‌های مربوطه ذکر کرده‌اند. مقایسه میانگین اثر متقابل سوپرجاذب در آبیاری نشان داد که در شرایط تنش رطوبتی شدید با مصرف سوپرجاذب درصد روغن نسبت به تیمار عدم مصرف سوپرجاذب افزایش نشان داد. کم‌ترین درصد روغن نیز از تیمار قطع آبیاری تا ۵۰ درصد گل‌دهی و عدم مصرف سوپرجاذب به‌دست آمد و تیمارهای آبیاری کامل و آبیاری تا کپسول‌دهی در هر دو سطح مصرف و عدم مصرف سوپرجاذب تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارا نبودند (جدول ۴). نتایج نشان داد که در تیمار آبیاری کامل و آبیاری تا کپسول‌دهی تفاوت معنی‌داری بین سطوح سوپرجاذب وجود نداشت، اما در تیمار قطع آبیاری تا گل‌دهی، مصرف سوپرجاذب نسبت به تیمار عدم مصرف، سبب افزایش درصد روغن شد و این تیمار توانست درصد روغنی معادل تیمار عدم مصرف سوپرجاذب و آبیاری تا کپسول‌دهی داشته باشد (جدول ۴).

عملکرد روغن

نتایج نشان داد که تیمار آبیاری، سوپرجاذب و پتاسیم در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل آبیاری در سوپرجاذب و آبیاری در پتاسیم در سطح احتمال ۵ درصد بر عملکرد روغن معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که عملکرد روغن با افزایش شدت تنش رطوبتی روندی کاهشی داشت. بیش‌ترین عملکرد روغن در شرایط آبیاری معمول و کم‌ترین آن در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی، حاصل شد. تنش در مرحله گل‌دهی باعث کاهش ۷۳/۲۲ درصدی و تنش در مرحله کپسول‌دهی نیز منجر به کاهش ۲۰/۷ درصدی عملکرد روغن در مقایسه با شرایط آبیاری معمول گردید (جدول ۳). کاهش عملکرد دانه و درصد روغن در شرایط تنش خشکی در فاز زایشی از گل‌دهی به بعد در کاهش عملکرد روغن سهیم می‌باشد. عملکرد روغن از اجزای مهم عملکرد کیفیت بوده که از حاصل ضرب درصد روغن در عملکرد دانه به‌دست می‌آید و افزایش هرکدام از این عوامل می‌تواند در افزایش عملکرد روغن تأثیرگذار باشد. اختلاف بین تیمارهای مختلف از نظر عملکرد روغن می‌تواند به علت تأثیر تنش در کاهش ظرفیت دانه‌ها برای تجمع و کاهش درصد روغن دانه‌ها و هم‌چنین کاهش عملکرد دانه باشد (جدول ۳). به‌عنوان مثال در این تحقیق تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله کپسول‌دهی از نظر درصد روغن تفاوت معنی‌داری نداشتند و از نظر مقایسه میانگین در یک گروه آماری قرار گرفتند، بنابراین اختلاف در عملکرد روغن بین سطوح آبیاری به دلیل تفاوت آن‌ها در کاهش عملکرد دانه در شرایط قطع آبیاری در مرحله کپسول‌دهی است (جدول ۳). لذا با توجه به اختلاف معنی‌دار بین سطوح آبیاری از لحاظ عملکرد دانه، تفاوت بین سطوح آبیاری از نظر عملکرد روغن نیز بدیهی است. سایر محققان نیز کاهش عملکرد روغن دانه در شرایط تنش کم‌آبی در کنجد را گزارش کرده‌اند (رضوانی‌مقدم و همکاران، ۱۳۸۴؛ قلی‌نژاد، ۱۳۹۶و مقنی‌باشی و رزمجو، ۱۳۹۱). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در سوپرجاذب نشان داد که با قطع آبیاری و افزایش سطوح تنش خشکی عملکرد روغن کاهش پیدا کرد (جدول ۴). کاربرد سوپرجاذب اثرات بهبودی داشته و تا حدودی باعث افزایش عملکرد روغن شد، که بیانگر این است که سوپرجاذب از اثرات سوء خشکی جلوگیری کرده است. بیش‌ترین عملکرد روغن در تیمار آبیاری کامل و مصرف سوپرجاذب و کم‌ترین میزان این صفت در تیمار آبیاری تا گل‌دهی عدم‌مصرف سوپرجاذب به‌دست آمد (جدول ۴). مصرف سوپرجاذب نسبت به عدم‌مصرف سوپرجاذب در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی و کپسول‌دهی عملکرد روغن را به‌ترتیب ۷۷/۲۶

1. Boucherau
2. Al-Palsan

و ۲۳/۸ درصد بهبود بخشید. در شرایط آبیاری کامل نیز تیمار مصرف سوپرجاذب در مقایسه با تیمار عدم‌مصرف پلیمر، عملکرد روغن را ۶/۵ درصد افزایش داد (جدول ۴). نتایج حاکی از این بود که مصرف سوپرجاذب در تمام سطوح رطوبتی، هم در شرایط تنش و هم عدم تنش، باعث افزایش عملکرد روغن شد، اما در سطوح بالای تنش خشکی در افزایش میزان عملکرد روغن از کارآیی بیش‌تری برخوردار بود، به‌طوری‌که در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی و کپسول‌دهی، اثر سوپرجاذب در افزایش عملکرد روغن و کاهش اثرات منفی تنش به مراتب نسبت به شرایط مساعد رطوبتی بالاتر بود. افزایش عملکرد روغن با کاربرد سوپرجاذب را می‌توان به نقش مثبت این مواد در کاهش اثرات تنش خشکی نسبت داد. اثر متقابل قطع آبیاری و کود پتاسیم در سطح آماری ۵ درصد بر عملکرد روغن معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش سطوح تنش خشکی از آبیاری کامل تا آبیاری تا گل‌دهی، میزان عملکرد روغن کاهش پیدا کرد. در مقابل با مصرف پتاسیم عملکرد روغن افزایش نشان داد. بیش‌ترین میانگین عملکرد روغن مربوط به تیمار آبیاری کامل و مصرف پتاسیم برابر توصیه کودی بود که با ۱/۵ برابر توصیه کودی در همین سطح آبیاری اختلاف معنی‌داری دارا نبود و کم‌ترین میانگین عملکرد روغن از تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و عدم مصرف پتاسیم حاصل شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد افزایش در عملکرد روغن دانه با مصرف پتاسیم ناشی از افزایش عملکرد دانه باشد. مصرف پتاسیم با تأثیری که بر افزایش عملکرد دانه داشته، عملکرد روغن را نیز تحت تأثیر قرار داده است. نتایج مطالعه فنایی و همکاران (۱۳۹۲) و موسوی‌فر و همکاران (۱۳۸۸) بر این نکته تأکید دارد که تغییرات عملکرد روغن مشابه تغییرات عملکرد دانه است و همبستگی زیادی با آن دارد.

درصد پروتئین

درصد پروتئین در این مطالعه تحت تأثیر قطع آبیاری و سوپرجاذب قرار گرفت (جدول ۲). میزان پروتئین با افزایش تنش خشکی کاهش یافت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین درصد پروتئین به‌طور مشترک در تیمار آبیاری کامل و آبیاری تا کپسول‌دهی و کم‌ترین مقدار آن در شرایط آبیاری تا مرحله گل‌دهی به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج مشابهی نیز توسط *منساه*[1] و همکاران (2006) مبنی بر کاهش درصد پروتئین در شرایط کم‌آبی در کنجد گزارش شده است. کاهش پتانسیل آبی برگ منجر به کاهش میزان پروتئین شده و مقادیر آمینواسیدهای آزاد که همگی تقریباً در ساختار پروتئین‌ها موجود هستند را افزایش می‌دهد، که این مسأله نشان‌دهنده هیدرولیز پروتئین تحت تنش آبی است (*جیانگ* و *ژانگ*[2]، 2002). سوپرجاذب نیز در سطح احتمال ۵ درصد این صفت را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲) به‌طوری‌که مصرف سوپرجاذب باعث افزایش درصد پروتئین دانه در مقایسه با تیمار عدم‌مصرف سوپرجاذب گردید. تعدادی از محققین عنوان کرده‌اند که درصد پروتئین دانه با مصرف سوپرجاذب افزایش می‌یابد (روستایی و همکاران، ۱۳۹۱؛ یزدانی و همکاران، ۱۳۸۶) که می‌تواند به‌دلیل کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی با کاربرد سوپرجاذب باشد.

1. Mensah
2. Jiang and Zhang

جدول ۲: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات موردمطالعه کنجد تحت تأثیر سطوح کم آبیاری، سوپرجاذب و سولفات پتاسیم

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

درصد پتاسیم Potassium percentage	درصد پروتئین Protein percentage	عملکرد روغن Oil yield	درصد روغن Oil percentage	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V
0.042	1.34	1731.04	1.02	7.08	683777.21	2754.39	2	تکرار Replication
0.134*	10.34**	3603033.12**	71.85**	170.82**	235141164.03**	13410159.39**	2	آبیاری (I) Irrigation (I)
0.001	12.21*	312593.32**	45.36**	16.96	20166196.16**	1025066.67**	1	سوپرجاذب (S) Super absorbent (S)
0.231**	1.65	77460.73**	0.77	7.82	3642234.94**	296013.72**	2	پتاسیم (K) Potassium (K)
0.002	1.40	18364.15*	23.08**	20.44*	1541986.17	65079.50*	2	آبیاری × سوپرجاذب I × S
0.068	0.50	14313.75*	0.72	1.51	667910.25	52205.28*	4	آبیاری × پتاسیم I × K
0.001	0.14	3964.95	0.05	6.94	116862.25	17912.17	2	سوپرجاذب × پتاسیم S × K
0.001	0.08	4719.47	0.57	0.99	244092.96	24074.33	4	آبیاری × سوپرجاذب × پتاسیم I × S × K
0.034	1.72	3759.29	1.09	4.90	657296.15	14745.70	34	خطا Error
10.19	6.44	7.3	2.12	11.6	9.91	7.46	-	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

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

جدول ۳: مقایسه میانگین اثرات اصلی کم آبیاری، سوپرجاذب و سولفات پتاسیم بر صفات موردمطالعه کنجد

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

درصد پتاسیم برگ Leaf potassium percentage	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) Oil yield (Kg.ha^{-1})	درصد روغن Oil percentage	درصد پروتئین Protein percentage	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (Kg.ha^{-1})	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (Kg.ha^{-1})	تیمارها Treatments	
1.79b	1185.38a	50.63a	20.81a	20.73a	11359.30a	2341.61a	آبیاری کامل Full irrigation stage	کم آبیاری Deficit irrigation
1.74b	940.05b	50.21a	20.77a	20.98a	8929.79b	1870.83b	آبیاری تا ۵۰٪ کپسول‌دهی Irrigation until 50% capsuling stage	
1.90a	317.48c	46.98b	19.48b	15.52b	4248.5c	667.89c	آبیاری تا ۵۰٪ گل‌دهی Irrigation until 50% flowering stage	
1.67b	738.61b	49.04a	20.01a	18.32a	7665.7b	1478.94b	K0: عدم‌کاربرد پتاسیم K0: No potassium	سولفات پتاسیم Potassium sulfate
1.85a	849.71a	49.32a	20.56a	19.44a	8368.22a	1693.33a	K1: برابر توصیه کودی K1: Fertilizer recommendation	
1.88a	854.6a	49.45a	20.01a	19.47a	85.3.67a	1708.06a	k2: ۱/۵ برابر توصیه کودی K2: 1.5 times of fertilizer recommendation	
1.8a	738.22b	48.35b	19.88b	18.52a	7568.09b	1489b	عدم‌مصرف سوپرجاذب No Super absorbent	سوپرجاذب Super absorbent
1.79a	890.39a	50.19a	20.83a	19.64a	8790.3a	1764.54a	۱۰۰کیلوگرم در هکتار 100 kg.ha^{-1}	

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

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

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری در سوپرجاذب بر صفات موردمطالعه کنجد

Table 4: Mean comparison for interaction effect of deficit irrigation and super absorbent on studied characteristics of sesame

کم آبیاری Deficit irrigation	سوپرجاذب (کیلوگرم در هکتار) Super absorbent (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) Oil yield (kg.ha^{-1})
آبیاری کامل Full irrigation	0	2271.33^{b}	20.81^{a}	50.44^{a}	1145.57^{b}
	100	2411.89^{a}	20.66^{a}	50.81^{a}	1225.18^{a}
آبیاری تا ۵۰ درصد کپسول دهی Irrigation until 50% capsuling stage	0	1685.22^{d}	21.01^{a}	49.86^{ab}	840.07^{d}
	100	2056.44^{c}	20.94^{a}	50.55^{a}	1040.03^{c}
آبیاری تا ۵۰ درصد گل‌دهی Irrigation until 50% flowering stage	0	510.44^{f}	13..73^{c}	44.75^{c}	229.02^{f}
	100	825.33^{e}	17.31^{b}	49.20^{b}	405.95^{e}

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

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

جدول ۵: اثرات متقابل کم آبیاری و سولفات پتاسیم بر عملکرد دانه و عملکرد روغن

Table 5: The interaction of deficit irrigation and potassium sulfate on seed yield and oil yield

	سولفات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) Potassium sulfat (Kg.ha^{-1})	کم‌آبیاری Deficit irrigation		
		آبیاری کامل Full irrigation	۵۰ درصد کپسول‌دهی Irrigation until 50% capsuling stage	۵۰ درصد گلدهی Irrigation until 50% flowering stage
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (Kg.ha^{-1})	K0	2234.64^{b}	1617.17^{d}	585^{f}
	K1	2438.17^{a}	1984.67^{c}	654.17^{ef}
	K2	2352^{ab}	2010.67^{c}	761.5^{e}
عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) Oil yield (Kg.ha^{-1})	K0	1130.83^{b}	809.87^{d}	275.12^{f}
	K1	1237.88^{a}	999.51^{cd}	311.72^{ef}
	K2	1187.72^{ab}	1010.76^{d}	365.62^{e}

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

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

پتاسیم برگ

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد قطع آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد بر غلظت پتاسیم برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). بالاترین غلظت پتاسیم در شرایط قطع آبیاری تا گل‌دهی به دست آمد و بین دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). تیمار آبیاری تا مرحله گل‌دهی به علت افزایش شدت تنش در اثر تداوم قطع آبیاری، بیش‌ترین افزایش در میزان پتاسیم برگ داشت. در این تیمار بوته‌های کنجد نسبت به دو تیمار دیگر آبیاری مدت زمان بیش‌تری در معرض تنش کم‌آبی قرار گرفتند، لذا تجمع پتاسیم احتمالاً به‌عنوان یکی از املاح معدنی موردنیاز جهت تنظیم اسمزی در سلول‌ها افزایش یافت. پتاسیم یکی از مهم‌ترین کاتیون‌های موردنیاز گیاه می‌باشد که در مورد تجمع آن در شرایط تنش کم‌آبی نتایج متعددی گزارش شده است (فنایی و همکاران، ۱۳۹۲؛ *سردانز* و *آلاز*[1]، 2008؛ *ساماراه*[2] و همکاران، 2004). گیاهان متأثر از خشکی و شوری نیاز بیش‌تری به پتاسیم دارند. در شرایط کم‌آبی، گیاهان با صرف انرژی، مقاومت خود را به شرایط نامساعد محیطی با افزایش غلظت پتاسیم در ریشه و اندام‌های هوایی بالا برده که این افزایش تأثیر مثبتی را در جذب آب دارد (*کاک مک*[3]، 2005). مصرف پتاسیم با افزایش تجمع پتاسیم در برگ همراه بود. بیش‌ترین میزان پتاسیم برگ در تیمار ۱/۵ برابر توصیه کودی به‌دست آمد که با تیمار مصرف برابر توصیه کودی در یک گروه آماری قرار گرفتند و کم‌ترین آن نیز در تیمار عدم مصرف پتاسیم به‌دست آمد که یک اختلاف ۱۲/۵ درصدی نسبت به تیمار ۱/۵ برابر توصیه کودی نشان داد (جدول ۳). کودهای پتاسیمی علاوه‌بر

1. Sardanz and Uelas
2. Samarah
3. Cakmak

اثری که بر افزایش عملکرد دانه دارند، موجب افزایش معنی‌دار غلظت یون پتاسیم در برگ نیز می‌شوند. بنابراین، به نظر می آید که فراهمی پتاسیم در خاک عامل مؤثر بر افزایش عملکرد و یون پتاسیم برگ باشد. امصرف پتاسیم سبب افزایش غلظت پتاسیم در محلول خاک شده، که این امر باعث افزایش شیب غلظت و در نتیجه سرعت انتشار پتاسیم به سطح ریشه گیاه می‌گردد، در نتیجه پتاسیم بیش‌تری توسط گیاه جذب و غلظت آن در بافت‌ها افزایش می‌یابد (عزیزآبادی و همکاران، ۱۳۹۳). که هم‌سو با نتایج این تحقیق سایر محققان دیگر نیز افزایش تجمع پتاسیم در برگ را با افزایش مصرف پتاسیم در خاک مورد تأکید قرار داده‌اند (*جکلی*[1] و همکاران، 2016؛ *اشرف*[2] و همکاران، 2002).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش رشد و عملکرد کنجد می‌شود. مصرف سولفات پتاسیم و سوپرجاذب به‌صورت هم‌زمان در سطوح مختلف آبیاری نیز باعث بهبود عملکرد دانه، عملکرد روغن و درصد آن شد اما از نظر آماری معنی‌دار نبود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، استفاده از سوپرجاذب در شرایط تنش خشکی باعث افزایش عملکرد دانه و بهبود صفات کیفی دانه شد و اثرات کمبود آب را کاهش داد، هم‌چنین در شرایط مطلوب آبیاری نیز کاربرد آن عملکرد دانه و سایر صفات را بهبود بخشید. با افزایش شدت تنش خشکی غلظت پتاسیم برگ افزایش یافت. به نظر می‌رسد عواملی نظیر فراهمی آب اطراف ریشه، مکانیسم‌های متفاوت در جذب، ضریب انتشار و توازن عناصر در خاک، میزان تقاضای گیاه و شرایط خاکی و اقلیمی بر جذب عناصر تأثیر داشته باشند. افزایش مصرف سولفات پتاسیم در خاک با افزایش تجمع پتاسیم در برگ همراه بود که با توجه به نقش مثبت پتاسیم، کاربرد آن می‌تواند سبب تعدیل اثرات منفی تنش و بهبود عملکرد دانه گردد. لذا مصرف کودهای پتاسیمی هم در شرایط تنش و هم عدم‌تنش خشکی قابل‌توصیه به نظر می‌رسد. به‌طورکلی اگر چه کاربرد پتاسیم و سوپر جاذب منجر به بهبود تولید این گیاه شد اما کاربرد این تیمارها برای بهبود عملکرد باید با در نظر گرفتن عوامل اقتصادی باشد.

منابع

ایوبی‌زاده، ن.، لایی، ق.، امینی دهقی.، مسعود سینکی.، ج. و رضوان بیدختی، ش. ۱۳۹۶. اثر محلول‌پاشی نانوکلات آهن و اسید فولیک بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام کنجد در کشت بعد از گندم تحت تنش خشکی، مجله پژوهش‌های به‌زراعی، ۹ (۳): ۲۸۳-۳۱۱.

پوراسماعیل، پ.، حبیبی، د. و توسلی، ا. ۱۳۸۸. تأثیر پلیمر سوپرجاذب آب بر عملکرد و کارآیی مصرف آب ارقام مختلف لوبیا قرمز تحت تنش خشکی در شرایط گلخانه‌ای. پژوهش‌نامه کشاورزی، ۱ (۲): ۱-۱۶.

توحیدی مقدم، ح. ر. و مظاهری، ا. ح. ۱۳۹۰. بررسی کاربرد سطوح مختلف کود دامی و پلیمر سوپرجاذب بر ویژگی‌های کمی، کیفی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سویا در شرایط تنش خشکی. پژوهش‌های به‌زراعی، ۳ (۴): ۳۷۵-۳۹۸.

خادم، س. ع.، رمرودی، م.، گلوی، م.، و روستا، م. ج. ۱۳۹۰. تأثیر تنش خشکی و کاربرد نسبت‌های مختلف کود دامی و پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.). مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۲ (۱): ۱۱۵-۱۲۳.

رضایی چیانه، ا.، خرمدل، س.، مولودی، آ. و رحیمی، ا. ۱۳۹۶. اثر کود نانو کلات روی و تلقیح با قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش خشکی، نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۵ (۱): ۱۸۴-۱۶۸.

روستایی، خ.، موحدی دهنوی، م.، خادم، س. ع. و اولیایی، ح. ر. ۱۳۹۱. اثر نسبت‌های مختلف پلیمر سوپرجاذب و کود دامی بر خواص کمی و کیفی سویا تحت تنش خشکی مجله به‌زراعی کشاورزی، ۱۴ (۱): ۳۳-۴۲.

عزیزآبادی، ا.، گلچین، ا. و دلاور، م. ا. ۱۳۹۳. تأثیر پتاسیم و تنش خشکی بر شاخص‌های رشد و غلظت عناصر غذایی برگ گیاه گلرنگ. علوم و فنون کست گلخانه‌ای، ۵ (۱۹): ۶۵-۷۹.

فرح‌بخش، ص. و فرح‌بخش، ح. ۱۳۹۳. بررسی اثرات کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد چند توده بومی کنجد در شرایط کرمان. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۲ (۴): ۷۷۹-۷۸۳.

فنایی، ح. ر.، گلوی، م.، کافی، م.، قنبری بنجار، ا. و شیرانی‌راد، ا. ح. ۱۳۹۲. اثر متقابل تنش کمبود آب و پتاسیم بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و روغن دو گونه کلزا و خردل. نشریه دانش آب و خاک، ۲۳ (۳): ۲۶۱-۲۷۵.

1. Jákli
2. Ashraf

کوچکی، ع.، بخشایی، س.، خرمدل، س.، مختاری، و. و طاهرآبادی، ش. ۱۳۹۴.تأثیر همزیستی با گونه‌های قارچ میکوریزا بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری در شرایط مشهد. نشریه پژوهش‌های زراعی، ۱۳ (۳): ۴۴۸-۴۶۰.

کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، نوربخش، ف.، و نه بندانی، ع. ۱۳۹۶. اثر تراکم و آرایش کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد (*Sesamum indicum* L.). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۵ (۱): ۳۱-۴۵.

گلدانی، م. ۱۳۸۹. اثر رژیم‌های آبیاری بر صفات مورفوفیزیولوژیک اکوتیپ‌های کنجد (*Sesamum indicum* L) در شرایط گلخانه. بوم شناسی کشاورزی، ۲ (۴): ۶۵۸-۶۶۶.

مقنی‌باشی، م. و رزمجو، ج. ۱۳۹۱. تأثیر تیمارکردن بذر با پلی‌اتیلن گلایکول و رژیم‌های آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و روغن دانه کنجد. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۰ (۱): ۹۱-۹۹.

ملکوتی، م. ج. و غیبی، م. ن.۱۳۷۹ . تعیین حد بحرانی عناصر غذائی مؤثر در خاک، گیاه و میوه در راستای افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات استراتژیک کشور. نشرآموزش کشاورزی، کرج، ایران. ص. ۹۲.

موسوی فر، ب. ا.، بهدانی، م. ع.، جامی‌الاحمدی، م. و حسینی بجد، م. ح. ۱۳۸۸. اثر قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد زایشی بر عملکرد، اجزای عملکرد و روغن سه رقم گلرنگ بهاره. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، ۱ (۱): ۴۱-۵۱.

نوری‌پور سی‌سخت، ج. و احسانزاده، پ. ۱۳۹۱. تغییر برخی آنتی‌اکسیدانت‌ها در کنجد و ارتباط آن با صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۳ (۱): ۸۱-۹۱.

یزدانی، ف.، اله دادی، ا.، اکبری، غ. و بهبهانی، م. ر. ۱۳۸۶. تأثیر مقادیر پلیمر سوپرجاذب (Tarawat A200) و سطوح تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، ۷۵: ۱۶۷-۱۷۴.

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

Akhter, J., Mahmood, K., Malik, K. A, Mardan, A., Ahmad, M. and Igbal, M. M. 2004. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. Plant, Soil and Environment, 50 (10): 463-469.

Al-Palsan, M., Boydak, E., Hayta, M., Gercek, S. and Simsek, M. 2001. Effect of row space and irrigation on seed composition of Turkish sesame. Journal of Crop Science, 78: 933-935.

Ashraf, M., Ashfaq, M., and Ashraf, M. Y. 2002. Effect of increased supply of potassium on growth and nutrient content in pearl millet under water stress. Biologia Plantarum, 451: 141-144.

Cakmak, I. 2005. K alleviates detrimental effects of abiotic stresses in plants. Journal of Plant Nutrition, 68: 521-530.

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

Damon, P. M. and Rengel, Z. 2007. Wheat genotypes differ in potassium efficiency under glasshouse and field conditions. Australian Journal of Agricultur Research, 58: 816-823.

El Naim, A. M., Ahmed, M. F. and 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 (4): 492-497.

Fathi, A. and Barari Tari, D. 2016. Effect of Drought Stress and its Mechanism in Plants. International Journal of Life Sciences, 10 (1): 1-6.

Hafiz, S. I. and 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 (3): 34-40.

Heidari, M., Galavi, M. and 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 (44): 8816-8822.

Jain, S., Yue-Lioang, R., Mei-wang, L. E., Ting-Xian, Y., Xiao-Wen, Y. and 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.

Jákli, B., Tavakol, E., Tränkner, M., Senbayram, M. and Dittert K. 2016. Quantitative limitations to photosynthesis in K deficient sunflower and their implications on water-use efficiency. Journal of Plant Physiology, 209: 20-30.

Jiang, M. and Zhang, J. 2002. Water stress-induced abscisic acid accumulation triggers the increased generation of reactive oxygen species and up-regulates the activities of antioxidant enzymes in maize leaves. Journal of Experimental Botany, 53: 2401-2410.

Jianwei, L., Zou, J. and Chen, F. 2007. Effect of phosphorus and potassium application on rapeseed yield and nutrients use efficiency. Proceedings of the 12th International Rapeseed Congress. Wuhan, China, Pp. 202-205.

Jifon, G. E. and Lester, J. L. 2007. Effects of foliar potassium fertilization on muskmelon fruit quality and yield. Annual Report for TX-52F, pp. 1-5.

Jouyban, Z. and Moosavi, S. G. 2012. Effect of different irrigation intervals, nitrogen and superabsorbent levels on chlorophyll index, yield and yield components of sesame. Food, Agriculture and Environment, 10 (1): 360-364.

Kathiresan, G. 2002. Response of sesame (*Sesamun indicum* L.) genotypes to levels of nutrients and spacing under different seasons. Indian Journal of Agronomy, 47: 537-540.

Kassab, O. M., El-Noemani, A. A. and El-Zeiny, H. A. 2005. Influence of some irrigation systems and and water regimes on growth and yield of sesame plants. Journal of Agronomy, 4 (3): 220-224.

Lafitte, R. 2002. Relationship between leaf relative water content during reproductive stage water deficit and grain formation in rice. Field Crops Reaseachers, 76: 165-174.

Memar, M. R. and Mojaddam, M. 2015. The effect of irrigation intervals and different amount of super absorption yield and yield components of sesame in Hamidiyeh weather condition. Indian Journal of Fudamental and Applied life Sciences, 5 (1): 179-186.

Mensah, J. K., Obasami, B., Eruotor, P. and Onomerieguna, F. 2006. Simulated flooding and drought effects on germination, growth and yield parameters of sesame (*Sesamum indicum*). African Journal of Biotechnology, 5 (13): 1249-1253.

Miyahara, Y., Hibasami, H., Katsuzaki, H., Imai, K. and Komiya, Y. 2001. Sesamolin from sesame seed inhibits proliferation by inducing apoptosis in human lymphoid leukemia. International Journal of Medicine, 7: 369-371.

Nadeem, A., Kashani, S., Ahmad, N., Buriro, M., Saeed, Z., Mohammad, F. and Ahmad, S. 2015. Growth and yield of sesame under the influence of planting geometry and irrigation regimes. American Journal of Plant Sciences, 6: 980-986.

Paolo, E. D. and Rinaldi, M. 2008. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. Field Crops Research, 105: 202-210.

Ramswaroop, J., Sita, R. N., Rajsingh, C. and Irfan, M. 2017. Effect of potassium and sulphur on quality of sesame (*Sesamum indicum* L.). International Journal of Current Microbiology Application of Science, 6 (4): 1876-1878.

Reddy, A. R., Chaitanya, K. V. and Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal Plant Physiology, 161 (11): 1189-1202.

Sabannavar, S. J. and Lakshman, H. C. 2008. Interactions between *Azotobacter*, *Pseudomonas* and *Arbuscular mycorrhizal* fungi on two variets of seasum indicum. Journal of Agronomy and Crop Science, 194 (6): 470-478.

Samarah, N., Mullen, R. and Cianzio, S. 2004. Size distribution and mineral nutrients of soybean seeds in response to drought stress. Journal of Plant Nutrition, 27 (5): 815-835.

Sangakkara, U. R., Frehner, M. and Nösberger, J. 2000. Effect of soil moisture and potassium fertilizer on shoot water potential, photosynthesis and partitioning of carbon in mungbean and cowpea. Journal of Agronomy and Crop Science, 185: 201-207.

Sardanz, J. and Uelas, J. P. 2008. Drought changes nutrient sources, content and stoichiometry in the bryophyte *Hypnum cupressiforme* Hedw. Growing in a Mediterranean forest. Journal Biological, 30: 59-65.

Sharma, P. B. 2005. Fertilizer management in sesame (*Sesamun indicum* L.) based intercropping system in Tawa command area. Journal of Oilseeds Reserch, 22: 63-65.

Soleimanzadeh, H., Habibi, D., Ardakani, M. R., Paknejad, F. and Rejali, F. 2010. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to drought stress under different potassium levels. World Applied Sciences Journal, 8 (4): 443-448.

Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekara, R., kuikkarni, R., SuShil Hasan, S., Samresh, D., Kukre, J., Ashok, A.,

Tiwari, A. 2001. Effect of potassium and dry- matter production and nutrient uptake by potato variety (*Solanum tuberosum*) in an alluvial soil of Uttar Pradesh. Plant and Soil, 65: 141-147.

Widiastuti, N., Wu, H. Ang, M. and Zhang, D. K. 2008. The potential application of natural zeolite for grey water treatment. Desalienation, 218: 271-280.

Zhong, K., Lin, Z. T., Zheng, X. L., Jiang, G. B., Fang, Y. S., Mao, X. Y. and Liao, Z. W. 2013. Starch derivative-based Superabsorbent with integration of water-retaining and controlled-release fertilizers. Carbohydrat Polymers, 92: 1367-1376.

Zohuriaan-Mehr, M. J., Omidian, H., Doroudiani, S. and Kabiri, K. 2010. Advances in nonhygienic applications of superabsorbent hydrogel Materials. Journal of Material Science, 45: 5711-5735.

Effect of Superabsorbent Polymer and Potassium Sulfate on Quantitative and Qualitative Yield of Sesame (*Sesamum indicum* L.) under Water Deficit Conditions

Arabi[1], M., Parsa[2*], S., Jamialahmadi[2], M. and Mahmoudi[2], S.

Abstract

In order to investigate the application of superabsorbent polymer and potassium sulfate under deficit irrigation condition on quantitative and qualitative yield of sesame, a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications was conducted in the research farm of Birjand University in 2018. Experimental factors include three levels of irrigation (full irrigation, irrigation up to 50% of flowering and irrigation up to 50% of capsule emergence), three levels of potassium fertilizer (non-use, application based on fertilizer recommendation and 1.5 times fertilizer recommendation) and two levels of superabsorbent (Zero and 100 $kg.ha^{-1}$). With stopping irrigation, grain yield, biological yield, harvest index, oil percentage, oil yield and protein percentage decreased but leaf potassium percentage increased. The highest grain yield was under normal irrigation conditions (2342 $kg.ha^{-1}$) and the lowest was under irrigation conditions at flowering stage (668 $kg.ha^{-1}$). The interaction effect of irrigation in superabsorbent on grain yield, harvest index, oil percentage and oil yield was significant. Consumption of superabsorbent reduced the negative effects of stress and improved traits. Also, potassium consumption in soil was associated with increased potassium accumulation in leaves. The simultaneous use of superabsorbent and potassium sulfate did not have a significant effect on growth and yield, but the use of potassium fertilizer due to the modification of drought stress and superabsorbent due to its role in reducing the effects of water shortage and improving drought stress tolerance is recommended to maintain yield.

Keywords: Drought stress, Oil, Potassium, Seed yield

۱ and 2. PhD Student and Associate Professor, Respectively, Department of Plant Production and Genetics, and Member of Plant and Environmental Stress Research Group, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran

*: Corresponding author Email: sparsa@birjand.ac.ir

This paper has been extracted from the first author's PhD thesis under the guidance of Soheil Parsa.