

اثر کاربرد آبسیزیک اسید بر بهبود عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب کنگد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط کم آبیاری

سکینه درینی^۱، سید مهدی ناصرعلوی^{۲*}، جلال قنبری^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۳- موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

* مسئول مکاتبه: malavi@uk.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.406802.1359

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۱

چکیده

اثر غلظت‌های مختلف آبسیزیک اسید (۰، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار ABA) در بهبود عملکرد و کارایی مصرف آب در سطوح آبیاری ۱۰۰ درصد و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی (FC)، در آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در منطقه نارجوئی، جیرفت بررسی شد. نتایج نشان داد که در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد غلظت ۱۰ میکرومولار ABA منجر به تولید بیشترین تعداد کپسول رسیده و عدم کاربرد منجر به تولید بیشترین تعداد کپسول نارس در بوته شد. در شرایط اعمال سطح آبیاری ۶۰ درصد FC، کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA منجر به تولید بیشترین کپسول رسیده و نارس در بوته شد. در نتیجه بالاترین تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در بوته از شرایط مذکور حاصل شد. در مقابل، وزن هزاردانه روند متفاوتی نشان داد. در مجموع این تغییرات منجر به عدم واکنش عملکرد دانه نسبت به کاربرد سطوح مختلف ABA در شرایط مختلف آبیاری شد. اعمال کم آبیاری در این مطالعه، اثر بیشتری بر کاهش عملکرد دانه (۲۵/۶ درصد) نسبت به عملکرد زیستی (۱۰/۶ درصد) نشان داد که منجر به کاهش ۱۹ درصدی شاخص برداشت شد. هم‌چنین، کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA منجر به بالاترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی شد. متأثر از نتایج حاصله، کاربرد همین سطح ABA به ترتیب ۲۲، ۹ و ۴۱ درصد کارایی مصرف آب را نسبت به شاهد و غلظت‌های ۱۰ و ۵۰ میکرومولار افزایش داد. در نتیجه با توجه به میزان دسترسی به آب می‌توان از سطوح مختلف آبسیزیک اسید در جهت بهبود عملکرد و کارایی مصرف آب در تولید گیاه ارزشمند کنگد بهره برد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، تنش خشکی، محلول‌پاشی، هورمون گیاهی

مقدمه

داده است. هفتاد درصد از محصول کنگد جهان در آسیا کشت می‌شود (Dossa et al., 2023). طبق آخرین آمار FAO، تولید کنگد در ایران ۲۹۰۰۰ تن دانه بوده که از سطح ۴۲۰۰۰ هکتار در سال ۲۰۲۱ برداشت شده است (FAOSTAT, 2021). کنگد به رغم اهمیت بالا و کیفیت قابل توجه، از حمایت بسیار اندکی از جهت علمی و سیاست‌گذاری برخوردار شده است (Dossa et al., 2017). از این رو، نیاز به تحقیق در زمینه اعمال تکنیک‌های به زراعی برای افزایش بهره‌وری به خصوص در شرایط تنش‌زای محیطی برای پاسخ مؤثر به تقاضای روزافزون، احساس می‌شود.

خشکی یکی از اساسی‌ترین محدودیت‌های موجود برای محصول است که در بسیاری از نقاط جهان توجه را به خود

دانه‌های روغنی پس از غلات، دومین ذخیره غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. کنگد (*Sesamum indicum* L.) از خانواده پدالیاسه^۱ و یکی از قدیمی‌ترین گیاهان کشت شده توسط بشر است که به دلیل دارا بودن طعم مطبوع، ثبات و پایداری زیاد و خاصیت اکسید نشدن روغن آن، به عنوان ملکه گیاهان روغنی شناخته شده است (Islam et al., 2016). روغن کنگد به جهت دارا بودن آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مانند سزامولین، سسامین و سزامول، از پایداری بالایی برخوردار است (Anilakumar et al., 2010). هند بزرگترین تولیدکننده کنگد در جهان است و بیش از ۴۰ درصد از سطح زیر کشت کنگد جهان و ۲۷ درصد از تولید جهانی را به خود اختصاص

¹ Pedaliaceae

خشک، اهمیت پرداختن به روش‌های مختلف از جمله کاربرد هورمون‌های گیاهی در جهت بهبود عملکرد و اجزای عملکرد کنجد در شرایط محدودیت آبیاری را اجتناب ناپذیر کرده است. بنابراین، اهداف مهم این تحقیق می‌تواند پیرامون موارد ذکر شده شکل گیرد.

مواد و روش‌ها

با هدف بررسی کاربرد غلظت‌های مختلف آبسزیک اسید بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب کنجد در سطوح مختلف آبیاری، آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۱ در منطقه نارجوئی (طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۰ دقیقه و ۵۲ ثانیه شرقی، عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۰ دقیقه و ۴۷ ثانیه شمالی و ارتفاع ۷۶۵ متر از سطح دریا)، شهرستان جیرفت اجرا شد. برخی پارامترهای اقلیمی محل اجرای آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است. جهت ارزیابی خصوصیات مختلف فیزیکی خاک مزرعه، نمونه برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر انجام شد و خصوصیات مختلف فیزیکی خاک تعیین شد. بر این اساس، وزن مخصوص ظاهری ۱/۵۴ گرم در سانتی‌متر مکعب و بافت خاک شن-لوم (۷۹/۱ درصد شن، ۱۶/۳ درصد سیلت و ۴/۶ درصد رس) تعیین شد.

کامل تصادفی با ۸ ترکیب تیماری در سه تکرار به اجرا در آمد. سطوح آبیاری به عنوان عامل اصلی در دو سطح، شامل آبیاری نرمال براساس ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و سطح کم آبیاری براساس ۶۰ درصد ظرفیت زراعی خاک مزرعه و سطوح مختلف آبسزیک اسید به عنوان عامل فرعی در چهار سطح شامل صفر (آب مقطر) و غلظت‌های ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار اعمال شد. بذور کنجد رقم هلیل از مرکز تحقیقات کشاورزی جیرفت تهیه شده و در تاریخ اول مرداد ۱۴۰۱ کشت شدند. سطح هر کرت آزمایشی سه متر مربع (ابعاد ۱/۵×۲ متر)، فواصل بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر با تراکم نهایی ۶۰ بوته در هر کرت در نظر گرفته شد. سطوح مختلف آبسزیک اسید طی دو مرحله، در زمان گل‌دهی (۵۰ روز پس از کاشت) و غلاف‌بندی (۷۰ روز پس از کاشت؛ در زمان اعمال تنش خشکی) اعمال شد. اعمال تنش خشکی براساس ظرفیت زراعی خاک مزرعه در دو سطح آبیاری نرمال (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و محدودیت آبیاری

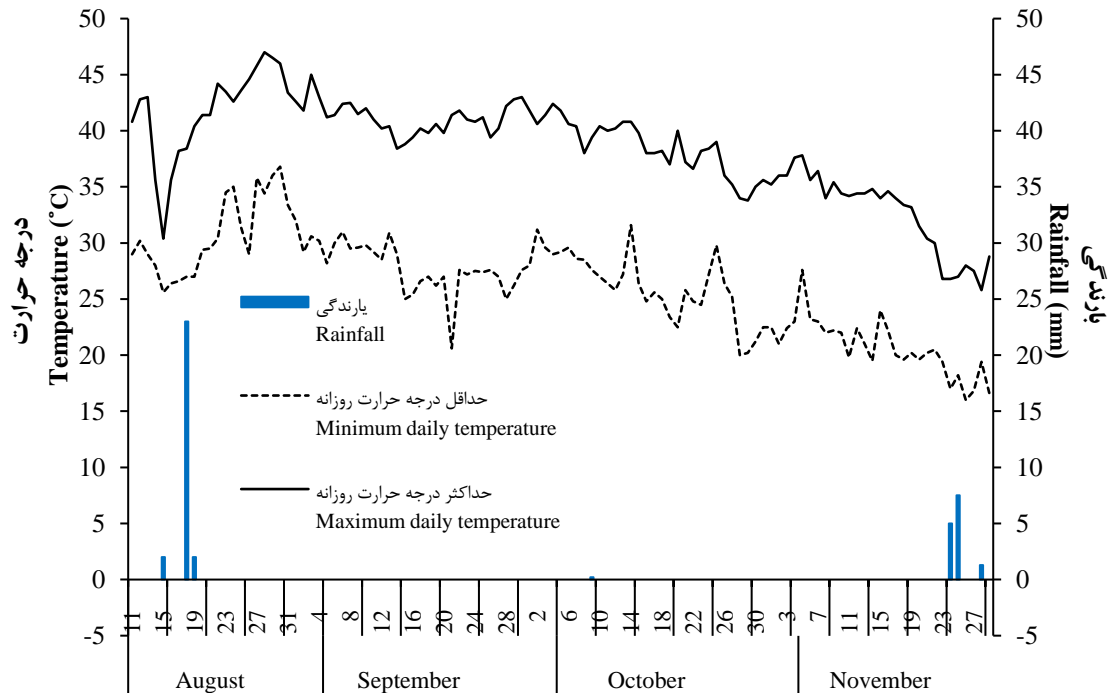
جلب کرده است. مشکلات مربوط به خشکی به دلیل تغییرات اقلیمی در حال افزایش است و در نتیجه مناطق تولید کننده با کاهش شدید عملکرد ناشی از کمبود آب یا مدیریت آن مواجه می‌شوند. در مطالعات گذشته، برخی از برنامه‌های مدیریت زراعی برای توسعه استراتژی‌هایی برای کاهش اثرات مضر خشکی بر رشد، فیزیولوژی و عملکرد گیاه انجام شده است. بدین منظور، کاربرد خارجی هورمون‌های گیاهی مانند ABA روی برخی از گونه‌های گیاهی آزمایش شده است (Abraham *et al.*, 2008; de Souza *et al.*, 2014; Dhanarajan and Sellamuthuand, 2022; Hussain *et al.*, 2014; Ramya *et al.*, 2022; Shah *et al.*, 2021; Somasundaram *et al.*, 2009; Travaglia *et al.*, 2010; Vishwakarma *et al.*, 2017). آبسزیک اسید (ABA) یک هورمون گیاهی است و به عنوان تنظیم کننده بسیاری از پاسخ‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شناخته شده است. به عنوان مثال، زیست‌توده گیاه، تعداد شاخه، سطح برگ، بسته شدن روزنه، پیری برگ و تنظیم اسمزی را در گیاهان مهم از جمله دانه‌های روغنی بهبود می‌دهد (Shah *et al.*, 2021). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که کاربرد ABA به صورت محلول‌پاشی، برای بهبود تحمل به خشکی در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها، افزایش روابط آبی و تنظیم اسمزی بالاتر برای گیاهان مفید است (He *et al.*, 2019; Li and Liu, 2021).

همچنین گزارش شده که تیمار سه نوبت اسپری ۱۰ میکرومولار ABA بر روی شاخ و برگ کنجد طول ریشه و تعداد برگ در بوته را بهبود داده و با افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی، تحمل به تنش خشکی کنجد را بهبود بخشیده است (Abraham *et al.*, 2008; Somasundaram *et al.*, 2009). به‌طور مشابه، کاربرد ABA به‌خصوص در غلظت ۷۵ میکرومولار تحت شرایط تنش خشکی، وزن صد دانه ذرت را در مقایسه با گیاهان تیمار نشده به‌طور قابل توجهی افزایش داد (Ramya *et al.*, 2022). کاربرد محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA در سویا، تحمل به خشکی را با افزایش تجمع پروتئین آن بهبود بخشید و منجر به افزایش قابل توجه عملکرد شد (Hassanein *et al.*, 2009).

با توجه به اهمیت کنجد؛ و همچنین با توجه به شرایط محدودیت تأمین آب مورد نیاز کشاورزی در مناطق نیمه

وزن خاک خشک تعیین شد. پس از محاسبه ظرفیت زراعی، مقدار رطوبتی که در دو اندازه‌گیری متوالی تقریباً ثابت بود به عنوان ظرفیت زراعی خاک در نظر گرفته شد (Alizadeh, 2010). بر این اساس ظرفیت زراعی خاک مزرعه ۱۷ درصد تعیین شد.

(براساس ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) انجام شد. به منظور تعیین ظرفیت زراعی خاک براساس روش صحرائی ابتدا آبیاری در حد اشباع انجام و پس از گذشت ۲۴ ساعت، نمونه‌هایی از خاک بین فواصل ۲۴ تا ۷۲ ساعت برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از تعیین وزن تر هر نمونه، به منظور خشک کردن، نمونه‌ها در آون (۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) قرار گرفت و



شکل ۱- پارامترهای مختلف اقلیمی محل اجرای آزمایش در طول فصل رشد ۱۴۰۱-۱۴۰۲

Figure 1- Different climatic parameters of the experimental site during the growing season of 2022-2023

عملکرد دانه و زیست‌توده، بوته‌های سطح هر کرت برداشت شده پس از قرار گرفتن در هوای آزاد و کاهش درصد رطوبت، توزین شدند. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد زیست‌توده حاصل شد.

کارایی مصرف آب، نسبت عملکرد دانه به مقدار آب مصرفی، از طریق رابطه ۱ محاسبه شد (Sadeghizadeh *et al.*, 2021):

$$WUE = Y / (I + P) \quad (1)$$

WUE: کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)؛ Y: عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار؛ I: حجم آب آبیاری بر حسب مترمکعب در هکتار؛ P: میزان بارندگی موثر بر حسب مترمکعب در هکتار در طول فصل رشد.

جهت تعیین اختلاف آماری بین تیمارهای مورد بررسی، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9.0 و مقایسه

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های برنامه آبیاری براساس هر هفته یک‌بار انجام شد. وجین علف‌های هزر به صورت دستی انجام شد. پس از استقرار بوته‌ها در مرحله ۴ برگ، به منظور دستیابی به تراکم مورد نظر، بوته‌های کنگد تنک شدند.

در انتهای فصل رشد (۸ آذر ۱۴۰۱) جهت اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد از ردیف میلی‌نی هر کرت ده بوته برداشت و صفات مختلف مورفولوژیک و اجزای عملکرد اندازه‌گیری شد. ارتفاع و وزن بوته‌ها در آزمایشگاه به ترتیب با استفاده از متر و ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شدند. سپس، تعداد شاخه، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در بوته شمارش شدند. وزن هزار دانه از طریق تناسب بین تعداد دانه در بوته و وزن دانه‌های شمارش شده تعیین شد. به منظور اندازه‌گیری

در بوته تحت تأثیر اثر متقابل سطوح آبیاری در آبسازیک اسید قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین تعداد کپسول‌های رسیده (۲۹ کپسول) در شرایط نرمال آبیاری از کاربرد غلظت ۱۰ میکرومولار ABA حاصل شد که نسبت به شاهد ۶۴ درصد افزایش نشان داد درحالی‌که در شرایط اعمال کم آبیاری، کاربرد غلظت‌های بالای ABA با تولید ۲۴ و ۲۵ کپسول رسیده، منجر به ایجاد تفاوت معنی‌دار (به ترتیب ۵۰ و ۵۴ درصد) در مقایسه با شاهد شد (شکل ۲).

میانگین‌ها توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0.05$, LSD) انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های مورفولوژیک و اجزای عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ارتفاع بوته و تعداد شاخه در بوته تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری، سطوح کاربرد آبسازیک اسید و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۱). تعداد کپسول رسیده، تعداد کپسول نارس و تعداد کل کپسول

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر سطوح آبیاری و غلظت‌های مختلف آبسازیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیک، اجزای عملکرد، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب کنگد

Table 1- Analysis of variance the effect of irrigation levels, different concentrations of abscisic acid, on morphological characteristics, yield components, seed yield, and water use efficiency of sesame

Sources of variation	df	Plant height ارتفاع بوته	Number of branches تعداد شاخه	Number of mature capsules تعداد کپسول رسیده	Number of immature capsules تعداد کپسول نارس	Number of capsules per plant تعداد کپسول در بوته	Number of seeds per capsules تعداد دانه در کپسول	Number of seeds per plant تعداد دانه در بوته	1000-seed weight وزن هزار دانه	Biological yield عملکرد زیست توده	Seed yield عملکرد دانه	Harvest index شاخص برداشت	Water use efficiency کارایی مصرف آب
تکرار	2	1988	3.69	92.3	3.61	181	63.6	502901	0.017	6738229	77891	1.31	0.032
Replication (R)													
سطح آبیاری	1	27.3 ^{ns}	0.027 ^{ns}	0.54 ^{ns}	0.015 ^{ns}	0.38 ^{ns}	194 [*]	211088 ^{ns}	1.36 ^{ns}	4001667 ^{**}	503151 [*]	59.2 ^{ns}	0.041 ^{ns}
Irrigation level (I)													
خطای a	2	5.79	0.69	31.1	0.78	32.1	2.78	71555	0.30	3229	6432	7.09	0.002
Error a													
آبسازیک اسید	3	508 ^{ns}	1.90 ^{ns}	59.9 ^{ns}	1.93 ^{ns}	46.9 ^{ns}	55.5 ^{ns}	194161 ^{ns}	1.55 [*]	24578785 ^{**}	117179 [*]	53.1 [*]	0.051 [*]
Abscisic acid (ABA)													
آبیاری × آبسازیک اسید	3	377 ^{ns}	2.48 ^{ns}	87.7 [*]	14.0 [*]	139 [*]	82.5 ^{ns}	822815 [*]	1.67 [*]	5470625 ^{ns}	21137 ^{ns}	38.4 [*]	0.011 ^{ns}
ABA × I													
خطا	12	201	2.02	19.4	2.43	30.08	71.1	177945	0.41	2767465	32856	10.1	0.014
Error													
ضریب تغییرات	-	9.98	33.6	20.7	28.9	20.6	14.4	27.0	23.6	22.7	18.4	21.5	18.5
CV (%)													

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و ^{ns} غیر معنی‌دار

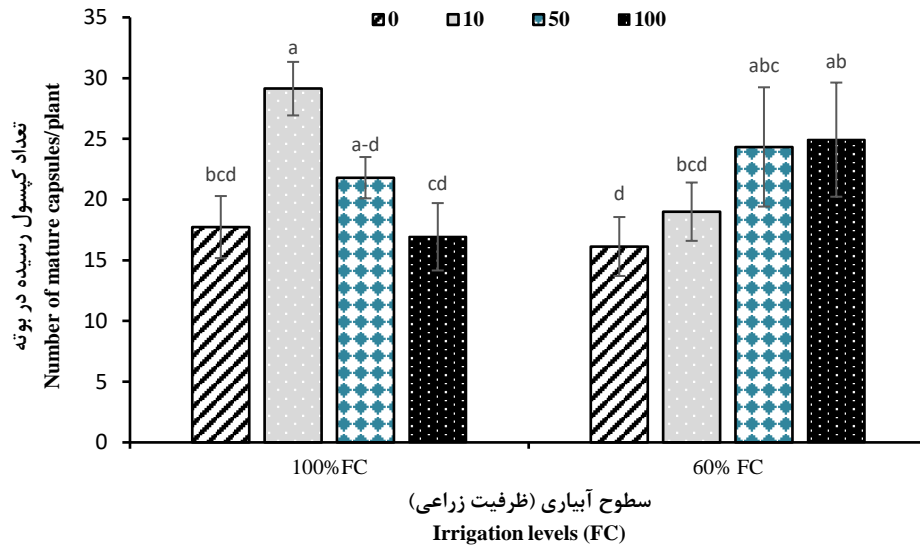
** : significant at 0.01 probability level, * : significant at 0.05 probability level, and ^{ns} : not significant

۳). این تغییرات منجر به افزایش قابل توجه در تعداد کل کپسول در بوته (۳۴ کپسول) در تیمار با غلظت ۱۰ میکرومولار ABA در شرایط نرمال آبیاری شد درحالی‌که، با شاهد و غلظت

در شرایط نرمال آبیاری، عدم کاربرد ABA و در شرایط کم آبیاری کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA به ترتیب با ۷/۵ و ۷/۹ کپسول، منجر به افزایش تعداد کپسول نارس شد (شکل

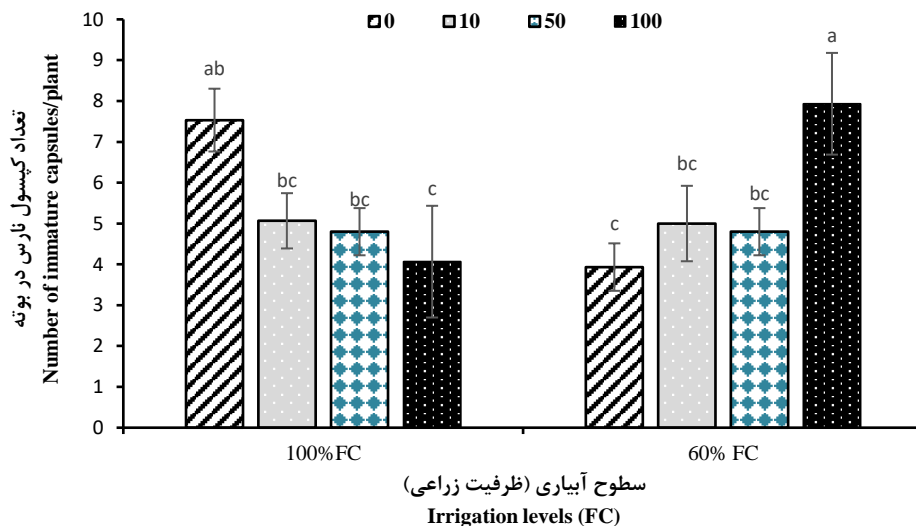
کل کپسول در بوته نسبت به شاهد (۲۰ کپسول) شد و کاربرد سایر غلظت‌ها نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۴).

۵۰ میکرومولار ABA تفاوت معنی‌داری نشان نداد اما نسبت به کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار، تعداد کپسول را ۶۳ درصد افزایش داد. در شرایط کم آبیاری، کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA با تولید ۳۳ کپسول، منجر به افزایش ۶۴ درصدی تعداد



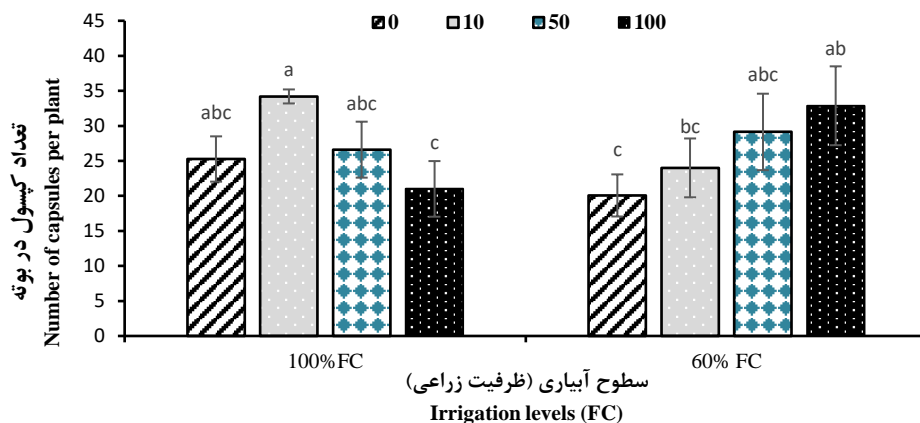
شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد کپسول رسیده در بوته کنگد تحت تأثیر برهکنش سطوح آبیاری و محلول پاشی با غلظت‌های مختلف آبسیزیک اسید (ABA). 0: شاهد، 10: محلول پاشی با غلظت ۱۰ میکرومولار ABA؛ 50: محلول پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار ABA؛ و 100: محلول پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA.

Figure 2- Mean comparison of number of mature capsules plant⁻¹ in sesame affected by interaction effect of irrigation levels and foliar application of different abscisic acid (ABA) concentrations. 0: control, 10: foliar application with 10 μM ABA concentration; 50: foliar application with 50 μM ABA concentration; and 100: foliar application with 100 μM ABA concentration.



شکل ۳- مقایسه میانگین تعداد کپسول نارس در بوته کنگد تحت تأثیر برهکنش سطوح آبیاری و محلول پاشی با غلظت‌های مختلف آبسیزیک اسید (ABA). 0: شاهد، 10: محلول پاشی با غلظت ۱۰ میکرومولار ABA؛ 50: محلول پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار ABA؛ و 100: محلول پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA.

Figure 3- Mean comparison of number of immature capsules plant⁻¹ in sesame affected by interaction effect of irrigation levels and foliar application of different abscisic acid (ABA) concentrations. 0: control, 10: foliar application with 10 μM ABA concentration; 50: foliar application with 50 μM ABA concentration; and 100: foliar application with 100 μM ABA concentration.



شکل ۴- مقایسه میانگین تعداد کپسول در بوته کنجد تحت تأثیر برهکنش سطوح آبیاری و محلول پاشی با غلظت‌های مختلف آبسزیک اسید (ABA). 0: شاهد، 10: محلول پاشی با غلظت 10 میکرومولار ABA؛ 50: محلول پاشی با غلظت 50 میکرومولار ABA؛ و 100: محلول پاشی با غلظت 100 میکرومولار ABA.

Figure 4- Mean comparison of number of capsules plant⁻¹ in sesame affected by interaction effect of irrigation levels and foliar application of different abscisic acid (ABA) concentrations. 0: control, 10: foliar application with 10 μM ABA concentration; 50: foliar application with 50 μM ABA concentration; and 100: foliar application with 100 μM ABA concentration.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد دانه در کپسول از بین تیمارهای مورد بررسی تنها تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار گرفت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اعمال سطح کم آبیاری منجر به کاهش ۹/۳ درصدی تعداد دانه در کپسول (۵۵/۸ دانه در کپسول) در مقایسه با شرایط نرمال (۶۱/۵ دانه در کپسول) شد (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری و غلظت‌های مختلف آبسزیک اسید بر تعداد دانه در کپسول، عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب کنجد

Table 2- Mean comparison of the effect of irrigation levels and different concentrations of abscisic acid on the number of seeds per capsule, biological yield, seed yield, and water use efficiency of sesame

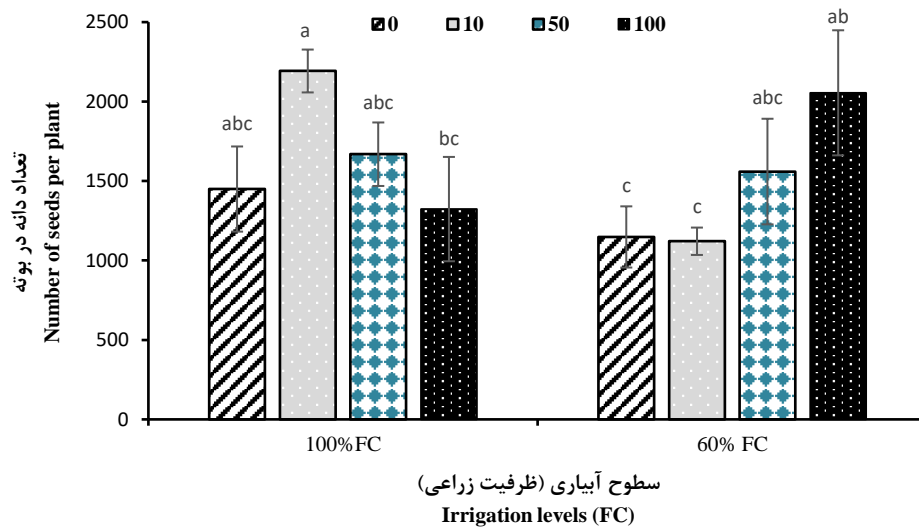
تیمارها Treatments	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsules	عملکرد زیست‌توده Biological yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg m ⁻³)
سطوح آبیاری (ظرفیت زراعی) Irrigation levels (FC)				
۱۰۰ درصد 100% FC	61.5 ^a	7723 ^a	1129 ^a	0.672 ^a
۶۰ درصد 60% FC	55.8 ^b	6906 ^b	840 ^b	0.590 ^a
سطوح آبسزیک اسید Abscisic acid levels				
صفر No application	57.5 ^a	7400 ^b	1046 ^a	0.673 ^a
۱۰ میکرومولار 10 μM	57.1 ^a	5275 ^c	942 ^{ab}	0.599 ^{ab}
۵۰ میکرومولار 50 μM	56.7 ^a	6529 ^{bc}	813 ^b	0.519 ^b
۱۰۰ میکرومولار 100 μM	63.2 ^a	10054 ^a	1138 ^a	0.733 ^a

برای هر عامل مورد بررسی، حروف مشترک بین میانگین‌ها بیانگر عدم وجود اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

For each investigated factor, means with the common letters indicate no statistically significant difference based on the LSD test at the 5% probability level.

ABA (۱۰۰ میکرومولار) با ۲۰۵۵ دانه تعداد دانه را ۷۹ درصد نسبت به عدم کاربرد و غلظت ۱۰ میکرومولار ABA افزایش داد. به طور کلی به نظر می‌رسد کاربرد غلظت‌های بالای ABA در این مطالعه در شرایط کم آبیاری با افزایش تعداد دانه موجب ایجاد عدم تفاوت معنی‌دار با شرایط نرمال شده و در تخفیف اثرات تنش بر اجزای عملکرد مؤثر بوده است (شکل ۵).

تعداد دانه در بوته تحت تأثیر اثر متقابل سطوح آبیاری در ABA قرار گرفت (جدول ۱). همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد (شکل ۵)، مشابه با نتایج مشاهده شده برای تعداد کل کپسول در بوته، در شرایط نرمال آبیاری، اعمال غلظت ۱۰ میکرومولار ABA با ۲۱۹۲ دانه نسبت به کاربرد سطح بالای ABA با ۱۳۲۳ دانه، منجر به افزایش معنی‌دار (۶۶ درصد) تعداد دانه در بوته شد در حالی که در شرایط کم آبیاری، کاربرد غلظت بالای



شکل ۵- مقایسه میانگین تعداد دانه در بوته کنگد تحت تأثیر برهکنش سطوح آبیاری و محلول پاشی با غلظت‌های مختلف آبسزیک اسید (ABA). 0: شاهد، 10: محلول پاشی با غلظت ۱۰ میکرومولار ABA؛ 50: محلول پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار ABA؛ و 100: محلول پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA.

Figure 5- Mean comparison of number of seeds plant⁻¹ in sesame affected by interaction effect of irrigation levels and foliar application of different abscisic acid (ABA) concentrations. 0: control, 10: foliar application with 10 μM ABA concentration; 50: foliar application with 50 μM ABA concentration; and 100: foliar application with 100 μM ABA concentration.

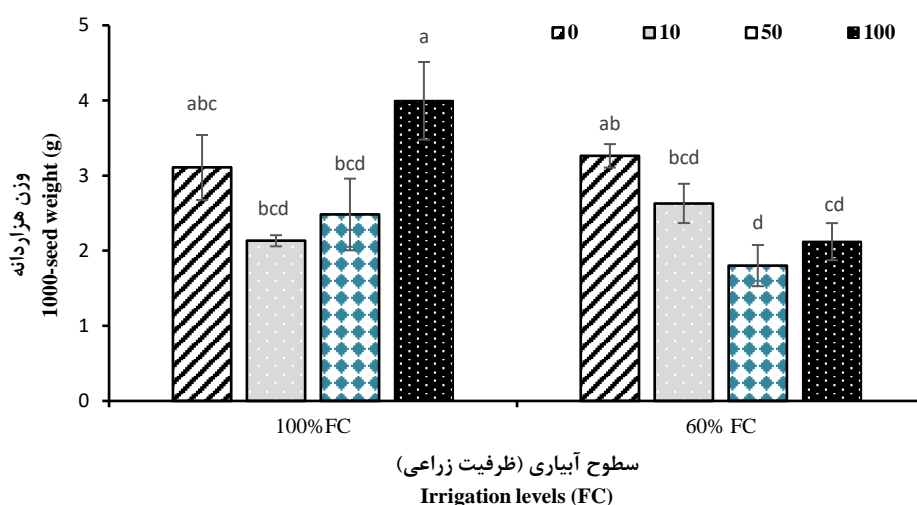
مختلف آبیاری نشان داد. به طور کلی می‌توان این مشاهدات را با توجه به عدم تأثیر سطوح ABA و اثر متقابل آن‌ها با سطوح آبیاری (جدول ۱) بر تعداد دانه در کپسول، نتیجه افزایش تعداد کپسول در بوته با کاربرد غلظت‌های مذکور در شرایط مختلف آبیاری دانست (شکل‌های ۲ تا ۴). افزایش تعداد کپسول در بوته نیز می‌تواند به دلیل افزایش قابل توجه تعداد کپسول رسیده در شرایط اعمال غلظت ۱۰ میکرومولار ABA در شرایط نرمال آبیاری و افزایش معنی‌دار تعداد کپسول رسیده و نارس در شرایط کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA باشد (شکل‌های ۲ تا ۴). در تایید اثر مثبت سطوح ABA بر اجزای عملکرد، گزارش شد که ABA اثر خشکی را بسته به رقم، بر طول سنبله، تعداد دانه در سنبله گندم تخفیف داده و موجب بهبود

بر خلاف روند مشاهده شده برای سایر اجزای عملکرد، کمترین وزن هزاردانه (۲/۱۳ گرم) در شرایط نرمال آبیاری از اعمال غلظت ۱۰ میکرومولار ABA حاصل شد که با غلظت ۵۰ میکرومولار ABA و شاهد (به ترتیب با ۲/۴۸ و ۳/۱ گرم) تفاوت معنی‌داری نشان نداد. بیشترین وزن هزاردانه با ۴ گرم در شرایط نرمال از کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA حاصل شد. در مقابل، در شرایط کم آبیاری، بیشترین وزن هزاردانه از شاهد (۳/۲۶ گرم) و کمترین مقادیر به ترتیب با ۲/۱ و ۱/۸ گرم از کاربرد سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار ABA حاصل شد (شکل ۶).

تعداد دانه در بوته به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه واکنش متفاوتی به اعمال سطوح آبسزیک اسید در شرایط

دلنه عنوان کردند (Hussain *et al.*, 2014). هم‌چنین، کاربرد ABA در شرایط خشکی به‌طور قلیل توجهی باعث افزایش تعداد دانه در پنبه (Liu *et al.*, 2004) و تعداد غلاف در سویا (Pandey *et al.*, 2003) شده و منجر به تولید دانه بالاتر در بسیاری از محصولات زراعی مانند برنج (Yang *et al.*, 2004)، سویا (Travaglia *et al.*, 2009) و گندم (Travaglia *et al.*, 2010) در شرایط تنش آبی شد.

اجزای عملکرد شده است (Bano *et al.*, 2012). علاوه بر این، گزارش شد که کاربرد خارجی ۱۰ میکرومولار ABA روی گیاهان ۴۵ روزه سویا از سقط گل‌ها جلوگیری کرده و تعداد آن‌ها را افزایش داد. به‌طور مشابه، محلول‌پاشی ABA در شرایط خشکی به‌طور قلیل توجهی باعث بهبود در قطر طبق و تعداد دانه در طبق آفتابگردان شده است (He *et al.*, 2019). دلیل بهبود در تعداد دانه در طبق را تشکیل دانه بیشتر و سقط کمتر



شکل ۶- مقایسه میانگین وزن هزاردانه کنجد تحت تأثیر برهکنش سطوح آبیاری و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف آبسزیک اسید (ABA). 0: شاهد، 10: محلول‌پاشی با غلظت ۱۰ میکرومولار ABA؛ 50: محلول‌پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار ABA؛ و 100: محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA.

Figure 6- Mean comparison of thousand-seed weight of sesame affected by interaction effect of irrigation levels and foliar application of different abscisic acid (ABA) concentrations. 0: control, 10: foliar application with 10 μM ABA concentration; 50: foliar application with 50 μM ABA concentration; and 100: foliar application with 100 μM ABA concentration.

داد (Ramya *et al.*, 2022). به‌طور کلی، ABA توانایی جبران از دست دادن آب گیاه را از طریق بسته شدن جزئی روزنه‌ها، کاهش رشد برگ و افزایش نفوذ ریشه داراست و از این جهت در شرایط مواجهه با تنش خشکی می‌تواند خسارات وارده را تعدیل کند (Daszkowska-Golec, 2016; Hu *et al.*, 2022).

عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و شاخص برداشت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه کنجد تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد غلظت‌های مختلف ABA قرار گرفتند درحالی‌که اثر متقابل معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۱). عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه به‌ترتیب با اعمال سطح کم آبیاری ۱۰/۶ و ۲۵/۶ درصد نسبت به شرایط نرمال آبیاری کاهش نشان

روند مخالف مشاهده شده برای وزن هزاردانه با دیگر اجزا، می‌تواند نتیجه رقابت بین اجزای عملکرد باشد به‌طوری‌که افزایش در تعداد دانه در بوته می‌تواند با کاهش وزن هر دانه همراه باشد. کاربرد ABA منجر به افزایش وزن صد دانه و عملکرد دانه ذرت به‌ترتیب ۱۷/۸۶ و ۱۰/۴۵ درصد در گیاهان تحت تنش شد (de Souza *et al.*, 2014). هم‌چنین، محلول‌پاشی ABA در هیبریدهای مختلف آفتابگردان در شرایط کم آبی باعث افزایش وزن هزاردانه شد و دلیل آن را افزایش قابلیت دسترسی به آب و در نتیجه افزایش جذب و انتقال عناصر غذایی به مخزن (دانه) دانسته‌اند (Hussain *et al.*, 2014). به‌طور مشابه، کاربرد ABA به‌خصوص در غلظت ۷۵ میکرومولار تحت شرایط تنش خشکی، وزن ۱۰۰ دانه ذرت را در مقایسه با گیاهان تیمار نشده به‌طور قابل توجهی افزایش

تنظیم اسمزی را در گیاهان مهمی از جمله دانه‌های روغنی بهبود می‌دهد (Shah et al., 2021).

عملکرد دانه کنگد نتیجه تغییر در اجزای عملکرد نظیر تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه است. تنوع مشاهده شده در تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه در واکنش متفاوت به کاربرد سطوح ABA در شرایط مختلف آبیاری منجر به عدم واکنش معنی‌دار عملکرد دانه به کاربرد ABA در سطوح مختلف آبیاری شد (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه بین سطوح ABA از کاربرد ۱۰۰ میکرومولار و عدم کاربرد حاصل شد و با کاربرد ۱۰ میکرومولار تفاوت معنی‌داری نشان نداد. با این وجود، کمترین عملکرد دانه از کاربرد غلظت ۵۰ میکرومولار ABA حاصل شد (جدول ۲). این مشاهدات از طرفی نتیجه افزایش قابل توجه تعداد دانه در بوته با کاربرد غلظت ۱۰ میکرومولار در شرایط نرمال آبیاری و با کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار در شرایط تنش و از طرف دیگر، وزن هزاردانه نسبتاً بالاتر در شرایط کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA در شرایط نرمال و عدم کاربرد ABA در هر دو شرایط نرمال و کم آبیاری بود (شکل‌های ۵ و ۶). هم‌چنین بیشترین عملکرد زیست‌توده نیز از کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA حاصل شد (جدول ۲). به نظر می‌رسد اثرگذاری ABA علاوه بر غلظت، وابسته به زمان و دفعات کاربرد و گونه گیاهی است. مشابه با نتایج حاصله، کاربرد محلول‌پاشی ۷۵ میکرومولار ABA اثر بهتری نسبت به غلظت‌های کمتر بر عملکرد دانه ذرت داشته است (Ramya et al., 2022). کاربرد محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA در سویا، تحمل به خشکی را با افزایش تجمع پرولین بهبود بخشید و منجر به افزایش قابل توجه عملکرد شد (Hassanein et al., 2009). هم‌چنین، مشاهده شده که سه تیمار محلول‌پاشی ۱۰ میکرومولار ABA با فاصله ۱۰ روز بر شاخ و برگ کنگد به‌طور قابل توجهی طول ریشه و تعداد برگ در بوته را در مقایسه با شاهد افزایش داد (Abraham et al., 2008). در مطالعه دیگری، گزارش شد که دو نوبت محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر ABA روی نهال‌های سویا در مرحله رویشی و گل‌دهی، وزن خشک آن را ۲۶/۳۸ درصد نسبت به شاهد بهبود بخشید (Travaglia et al., 2009). علاوه بر این، گزارش شده که دو نوبت اسپری ۸ میکرومولار ABA در مرحله

دادند. همان‌طور که مشاهده شد، اثر اعمال کم آبیاری بر عملکرد دانه بیشتر از عملکرد زیست‌توده بود. با توجه به زمان اعمال کم آبیاری به‌نظر می‌رسد که خصوصیات رشد مؤثر بر زیست‌توده شامل ارتفاع بوته و تعداد شاخه تحت تأثیر کم آبیاری قرار نگرفتند (جدول ۱). اثر شدید کم آبیاری بر عملکرد دانه مربوط به اثر آن بر اجزای عملکرد به خصوص تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه (به‌طور میانگین به‌ترتیب ۱۱ و ۱۶ درصد) بود (شکل‌های ۵ و ۶). در تایید نتایج مشاهده شده بر کاهش عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده کنگد در این مطالعه، زیست‌توده گیاه ذرت از نظر وزن تر در گیاهان تحت تنش خشکی کاهش یافته که عمدتاً به دلیل کاهش در رشد و اجزای عملکرد دانه بوده است (Ramya et al., 2022). محدودیت مصرف آب در آفتابگردان در زمان خوشه‌دهی و شروع گل‌دهی باعث کاهش عملکرد دانه شد و کاهش بیشتر در عملکرد آفتابگردان زمانی رخ داد که خشکی در شروع گل‌دهی اعمال شد. این کاهش در عملکرد دانه هیبریدهای آفتابگردان در شرایط خشکی به دلیل کاهش قطر طبق، تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه رخ داد (Hussain et al., 2014) که با نتایج حاصل از این پژوهش هم‌خوانی داشت.

در بین سطوح کاربرد ABA بیشترین عملکرد زیست‌توده با ۱۰۰۵۴ کیلوگرم در هکتار از اعمال غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA حاصل شد. بین کاربرد غلظت ۵۰ میکرومولار ABA و شاهد (به‌ترتیب با ۶۵۲۹ و ۷۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما اعمال غلظت ۱۰ میکرومولار ABA به‌طور معنی‌داری (۴۷/۵ درصد) عملکرد زیست‌توده را نسبت به سطح ۱۰۰ میکرومولار کاهش داد (جدول ۲). به‌طور مشابه، بیشترین عملکرد دانه با ۱۱۳۸ کیلوگرم در هکتار از کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با شاهد و غلظت ۱۰ میکرومولار ABA (به‌ترتیب با ۹۴۲ و ۱۰۴۶ کیلوگرم در هکتار) نشان نداد اما با کاربرد غلظت ۵۰ میکرومولار ABA (۸۱۳ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۲).

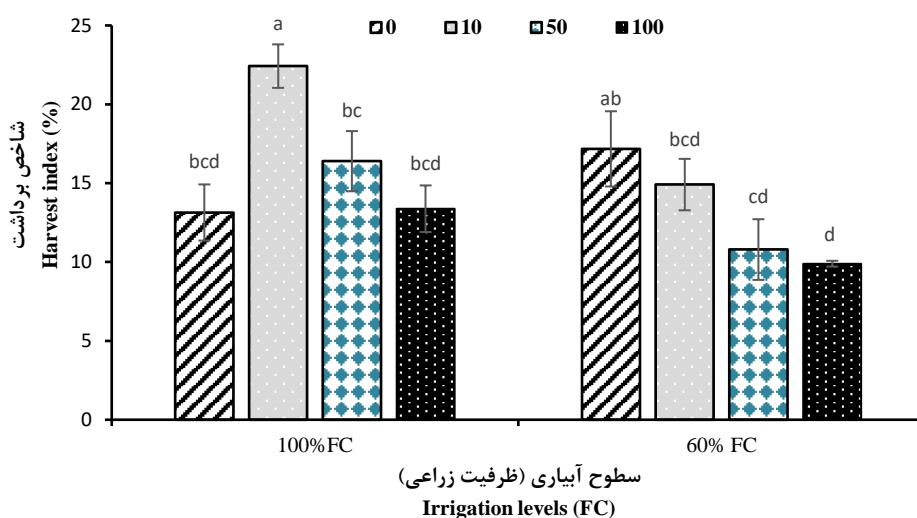
آبسیزیک اسید (ABA) هورمون گیاهی است و به عنوان تنظیم‌کننده بسیاری از پاسخ‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شناخته شده است. به عنوان مثال، زیست‌توده گیاه، تعداد شاخه، سطح برگ، بسته شدن روزنه، پیری برگ و

کاهش یافت (شکل ۷).

به‌طور کلی اعمال تنش در شرایط کاربرد ABA شاخص برداشت را نسبت به شرایط نرمال آبیاری کاهش داد. این می‌تواند به دلیل زمان اعمال کم‌آبیاری باشد که در این زمان، کم‌آبیاری می‌تواند اثر مخرب‌تری بر عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیستی در گیاه کنجد داشته باشد. همان‌طور که در نتایج نشان داده شد، عملکرد زیست‌توده با اعمال سطح کم‌آبیاری ۱۰/۶ درصد و عملکرد دانه ۲۵/۶ درصد نسبت به شرایط نرمال آبیاری کاهش نشان دادند (جدول ۲). براساس نتایج مشاهده شده، بیشترین شاخص برداشت از اعمال غلظت ۱۰ میکرومولار ABA در شرایط نرمال آبیاری حاصل شد که با عدم کاربرد ABA در شرایط کم‌آبیاری تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۷). این مشاهدات به دلیل اثر قابل توجه غلظت ۱۰ میکرومولار ABA و همچنین عدم کاربرد ABA در افزایش عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیستی بود (جدول ۲).

شروع جوانه و گل‌دهی آفتابگردان باعث بهبود رشد آن شد (Hussain *et al.*, 2014). علاوه بر این، گزارش شده که تیمار قبل از کاشت دانه کنجد با ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ABA باعث بهبود وزن خشک گیاهچه در مقایسه با شاهد شد (Safari *et al.*, 2018). همچنین گزارش شده که تیمار سه نوبت اسپری ۱۰ میکرومولار ABA بر روی شاخ و برگ کنجد با افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی، تحمل به تنش خشکی کنجد را بهبود بخشیده است (Somasundaram *et al.*, 2009).

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان از اثر معنی‌دار کاربرد سطوح ABA و اثر متقابل آن در سطوح مختلف آبیاری بر شاخص برداشت کنجد داشت. در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد غلظت ۱۰ میکرومولار ABA منجر به بیشترین شاخص برداشت با ۲۲/۴ درصد شد که نسبت به سایر سطوح کاربرد، افزایش معنی‌داری نشان داد. در شرایط کم‌آبیاری، شاخص برداشت به ترتیب با افزایش غلظت کاربرد ABA، ۱۳، ۳۷ و ۴۲ درصد در مقایسه با شاهد (با شاخص برداشت ۱۷ درصد)



شکل ۷- مقایسه میانگین شاخص برداشت کنجد تحت تأثیر برهکنش سطوح آبیاری و محلول پاشی با غلظت‌های مختلف آبسزیک اسید (ABA). 0: شاهد، 10: محلول پاشی با غلظت ۱۰ میکرومولار ABA؛ 50: محلول پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار ABA؛ و 100: محلول پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA.

Figure 7- Mean comparison of harvest index of sesame affected by interaction effect of irrigation levels and foliar application of different abscisic acid (ABA) concentrations. 0: control, 10: foliar application with 10 μM ABA concentration; 50: foliar application with 50 μM ABA concentration; and 100: foliar application with 100 μM ABA concentration.

تغییرات مشاهده شده برای عملکرد دانه، بیشترین کارایی مصرف آب (۰/۷۳۳) کیلوگرم بر متر مکعب) از کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA حاصل شد و تفاوت معنی‌داری با شاهد

کارایی مصرف آب

نتایج همچنین بیانگر اثر معنی‌دار سطوح مختلف کاربرد ABA بر کارایی مصرف آب کنجد بود (جدول ۱). مشابه با

شدن خاک به دلیل بسته شدن روزنه را کاهش می‌دهد (He et al., 2019; Li and Liu, 2021).

علاوه بر این، مطالعات قبلی گزارش کرده‌اند که پتانسیل آب برگ شاخصی مؤثر برای وضعیت فیزیولوژیکی گیاه است و نشان‌دهنده تغییرات ناشی از آب در تولید و بهره‌وری گیاه است (Chastain et al., 2016). پتانسیل آب کمتر از حد مطلوب در نهایت منجر به کاهش قابل توجهی در عملکرد خواهد شد. این اثر بهبود دهنده ناشی از کاربرد ABA در پنبه (Hu et al., 2022)، گندم (Travaglia et al., 2010) و آفتابگردان (Hussain et al., 2014) گزارش شده است. این افزایش عملکرد در تیمار با ABA ممکن است به دلیل افزایش بافت آبکش و در نتیجه ظرفیت انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها از برگ‌ها و ساقه‌ها به دانه‌ها باشد (Travaglia et al., 2012). علاوه بر این، کاربرد ABA در برگ‌های ذرت منجر به افزایش میزان فتوسنتز شده (Corrêa de Souza et al., 2013) و بهبود وضعیت آبی و دفاع آنتی‌اکسیدانی و افزایش دوره پر شدن دانه را به همراه دارد (de Souza et al., 2014). این بهبود در عملکرد دانه ممکن است به دلیل تولدانی ABA در تنظیم دست دادن آب در گیاه از طریق بسته شدن ناقص روزنه‌ها، افزایش نفوذ ریشه و راندمان جذب آب باشد که در نهایت باعث افزایش انتقال مواد جذب شده به دانه‌ها می‌شود. این استفاده کارآمدتر با کاربرد ABA منجر به افزایش کارایی مصرف آب می‌شود (Hussain et al., 2014).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که اجزای عملکرد دانه کنگد واکنش متفاوتی به سطوح ABA نشان دادند. در حالی که در شرایط نرمال آبیاری بیشترین تعداد کپسول و دانه در تیمار با غلظت ۱۰ میکرومولار ABA حاصل شد، تحت شرایط کم آبیاری، کاربرد غلظت‌های بالای ABA توانست در افزایش این اجزا مؤثر واقع شود. در مقابل، وزن هزاردانه روند متفاوتی نشان داد. در مجموع این تغییرات منجر به عدم واکنش عملکرد دانه نسبت به کاربرد سطوح مختلف ABA در شرایط مختلف آبیاری شد. اعمال کم آبیاری در این مطالعه، اثر بیشتری بر عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیست‌توده نشان داد که منجر به کاهش شاخص برداشت شد. در نتیجه افزایش تعداد دانه در

و غلظت ۱۰ میکرومولار ABA نشان‌داد در حالی که کاربرد غلظت ۵۰ میکرومولار ABA (۰/۵۱۹ کیلوگرم بر متر مکعب)، ۴۱ درصد کارایی مصرف آب را کاهش داد (جدول ۲).

در مطالعات گذشته، برخی از برنامه‌های مدیریت زراعی از جمله محلول‌پاشی ABA برای کاهش اثرات مضر خشکی بر رشد، فیزیولوژی و عملکرد گیاه انجام شده است (Abraham et al., 2008; de Souza et al., 2014; Dhanarajan and Sellamuthuand, 2022; Hussain et al., 2014; Ramya et al., 2022; Shah et al., 2021; Somasundaram et al., 2009; Travaglia et al., 2010; Vishwakarma et al., 2017). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که کاربرد ABA به صورت محلول‌پاشی، برای بهبود تحمل به خشکی در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها، افزایش روابط آبی و تنظیم اسمزی برای گیاهان مفید است (He et al., 2019; Li and Liu, 2021). تغییرات در کارایی مصرف آب کنگد در این مطالعه در اثر کاربرد غلظت‌های مختلف ABA، مشابه با تغییرات در عملکرد دانه بود که نشان می‌دهد تغییر در عملکرد دانه نسبت به میزان آب مصرفی آبیاری، عامل اثرگذارتری بر کارایی مصرف آب کنگد بوده است (جدول ۲). هم‌چنین کارایی مصرف آب تحت تأثیر سطوح آبیاری در این مطالعه قرار نگرفت (جدول ۱) که بیانگر این است که با وجود کاهش عملکرد دانه در شرایط کم آبیاری، کاهش مصرف آب در این تیمار منجر به عدم تفاوت معنی‌دار کارایی مصرف آب بین سطوح آبیاری شده است (جدول ۲). در تایید این نتایج، افزایش قابل توجهی در کارایی مصرف آب با کاربرد خارجی ABA در شرایط آبیاری نرمال و تنش متوسط در سویا گزارش شده است (He et al., 2019).

آبسیزیک اسید به دلیل دخالت آن در فرآیندهای مختلف رشد گیاه، سازگاری با شرایط خشکی را ممکن می‌سازد. ABA موجب بسته شدن روزنه شده و در نتیجه با کاهش میزان تعرق، تلفات آب را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، ABA به تدریج هدایت هیدرولیکی را افزایش می‌دهد و باعث افزایش طول سلول ریشه می‌شود و قابلیت بازیابی گیاهان را در شرایط محدودیت آب فراهم می‌کند (Daszkowska-Golec, 2016) و می‌تواند در بهبود کارایی مصرف آب مؤثر واقع شود. گزارش شده است که کاربرد ABA به صورت محلول‌پاشی با استفاده کارآمدتر از آب از هدررفت آب جلوگیری کرده و سرعت خشک

عملکرد و کارایی مصرف آب در تولید گیاه کنجد بهره برد.

بوته و وزن هزاردانه، کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA منجر به بالاترین عملکرد دانه و همچنین عملکرد زیستی شد. متأثر از نتایج حاصله، کارایی مصرف آب بالاتری برای همین سطح ABA مشاهده شد. در نتیجه با توجه به میزان دسترسی به آب می‌توان از سطوح مختلف آبسزیک اسید در جهت بهبود

تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌نمایند که هیچ‌گونه تعارض منافی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد.

References

- Abraham, S.S., Jaleel, C.A., Chang-Xing, Z., Somasundaram, R., Azooz, M.M., Manivannan, P. 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(2), pp.57–66.
- Alizadeh, A., 2010. Soil, water, plant relationship. Emam Reza university press. Mashhad, Iran. 616 p [In Persian].
- Anilakumar, K.R., Pal, A., Khanum, F. and Bawa, A.S., 2010. Nutritional, medicinal and industrial uses of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds-an overview. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 75(4), pp.159–168.
- Bano, A., Ullah, F. and Nosheen, A., 2012. Role of abscisic acid and drought stress on the activities of antioxidant enzymes in wheat. *Plant, Soil and Environment*, 58(4), pp.181–185. doi: 10.17221/210/2011-pse
- Chastain, D.R., Snider, J.L., Choinski, J.S., Collins, G.D., Perry, C.D., Whitaker, J., ... Byrd, S.A., 2016. Leaf ontogeny strongly influences photosynthetic tolerance to drought and high temperature in *Gossypium hirsutum*. *Journal of Plant Physiology*, 199, pp.18–28. doi: 10.1016/j.jplph.2016.05.003
- Corrêa de Souza, T., Magalhães, P.C., Mauro de Castro, E., Pereira de Albuquerque, P.E. and Marabesi, M.A., 2013. The influence of ABA on water relation, photosynthesis parameters, and chlorophyll fluorescence under drought conditions in two maize hybrids with contrasting drought resistance. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, pp.515–527. doi: 10.1007/s11738-012-1093-9
- Daszkowska-Golec, A., 2016. The role of abscisic acid in drought stress: how ABA helps plants to cope with drought stress. *Drought Stress Tolerance in Plants, Vol 2, Molecular and Genetic Perspectives*, 123–151. doi: 10.1007/978-3-319-32423-4_5
- De Souza, T.C., Magalhães, P.C., de Castro, E.M., Carneiro, N.P., Padilha, F.A. and Júnior, C.C.G., 2014. ABA application to maize hybrids contrasting for drought tolerance: changes in water parameters and in antioxidant enzyme activity. *Plant Growth Regulation*, 73(3), pp.205–217. doi: 10.1007/s10725-013-9881-9
- Dhanarajan, R. and Sellamuthuand, A., 2022. Effect of exogenous abscisic acid on growth, biochemical changes and antioxidant enzyme activities in black gram [*Vigna mungo* (L.) Hepper] under drought. *Research Journal of Biotechnology*, 17, 4. doi: 10.25303/1704rjbt4957
- Dossa, K., Diouf, D., Wang, L., Wei, X., Zhang, Y., Niang, M., ... Cisse, N., 2017. The Emerging Oilseed Crop *Sesamum indicum* Enters the “Omics” Era. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1154. doi: 10.3389/fpls.2017.01154
- Dossa, K.F., Enete, A.A., Miassi, Y.E. and Omotayo, A.O., 2023. Economic analysis of sesame (*Sesamum indicum* L.) production in Northern Benin. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 1015122. doi: 10.3389/fsufs.2022.1015122

- FAOSTAT, 2021. *Production—Crops and Livestock Products*. Available online at: <https://www.fao.org/faostat/en/#compare>.
- Hassanein, R.A., Hassanein, A.A., El-din, A.B., Salama, M. and Hashem, H.A., 2009. Role of jasmonic acid and abscisic acid treatments in alleviating the adverse effects of drought stress and regulating trypsin inhibitor production in soybean plant. *Aust J Basic Appl Sci*, 3(2), pp.904–919.
- He, J., Jin, Y., Palta, J.A., Liu, H.-Y., Chen, Z. and Li, F.-M., 2019. Exogenous ABA induces osmotic adjustment, improves leaf water relations and water use efficiency, but not yield in soybean under water stress. *Agronomy*, 9(7), 395. doi: **10.3390/agronomy9070395**
- Hu, W., Zhang, J., Wu, Z., Loka, D.A., Zhao, W., Chen, B., ... Gao, L., 2022. Effects of single and combined exogenous application of abscisic acid and melatonin on cotton carbohydrate metabolism and yield under drought stress. *Industrial Crops and Products*, 176, 114302. doi: **10.1016/j.indcrop.2021.114302**
- Hussain, S., Iqbal, J., Ibrahim, M., Atta, S., Ahmed, T. and Saleem, M.F., 2014. Exogenous application of abscisic acid may improve the growth and yield of sunflower hybrids under drought. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 51(1), pp.49–58.
- Islam, F., Gill, R. A., Ali, B., Farooq, M. A., Xu, L., Najeeb, U. and Zhou, W., 2016. Sesame. In: S.K. Gupta (Ed.), *Breeding Oilseed Crops for Sustainable Production* (pp. 135–147). San Diego: Academic Press.
- Li, S. and Liu, F., 2021. Exogenous Abscisic Acid Priming Modulates Water Relation Responses of Two Tomato Genotypes With Contrasting Endogenous Abscisic Acid Levels to Progressive Soil Drying Under Elevated CO₂. *Frontiers in Plant Science*, 12, 733658. doi: **10.3389/fpls.2021.733658**
- Liu, F., Jensen, C.R. and Andersen, M.N., 2004. Pod set related to photosynthetic rate and endogenous ABA in soybeans subjected to different water regimes and exogenous ABA and BA at early reproductive stages. *Annals of Botany*, 94(3), pp.405–411. doi: **10.1093/aob/mch157**
- Pandey, D.M., Goswami, C.L. and Kumar, B., 2003. Physiological effects of plant hormones in cotton under drought. *Biologia Plantarum*, 47, pp.535–540. doi: **10.1023/b:biop.0000041058.65442.41**
- Ramya, S., Arulbalachandran, D. and Ramachandran, M., 2022. Influence of exogenous abscisic acid on morpho-physiological and yield of maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Plant Science Today*, 9(2), pp.288–300.
- Sadeghizadeh, H., Khajoei-Nejad, G. and Ghanbari, J., 2021. Water use efficiency and quantitative and qualitative response of quinoa to different concentrations of salicylic acid application under deficit irrigation conditions. *Irrigation and Water Engineering*, 11(3), pp.345-359. [In Persian]. doi:**10.22125/iwe.2021.128214**
- Safari, H., Hosseini, S.M., Azari, A. and Rafsanjani, M.H., 2018. Effects of seed priming with ABA and SA on seed germination and seedling growth of sesame (*Sesamum indicum* L.) under saline condition. *Australian Journal of Crop Science*, 12(9), pp.1385–1392. doi: **10.21475/ajcs.18.12.09.pne940**
- Shah, S.H., Islam, S., Parrey, Z.A. and Mohammad, F., 2021. Role of Exogenously Applied Plant Growth Regulators in Growth and Development of Edible Oilseed Crops Under Variable Environmental Conditions: a Review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(4), pp.3284–3308. doi:**10.1007/s42729-021-00606-w**
- Somasundaram, R., Jaleel, C.A., Abraham, S.S., Azooz, M.M. and Panneerselvam, R., 2009. Role of paclobutrazol

- and ABA in drought stress amelioration in *Sesamum indicum* L. *Global Journal of Molecular Sciences*, 4(2), pp.56–62.
- Travaglia, C., Balboa, G., Espósito, G. and Reinoso, H., 2012. ABA action on the production and redistribution of field-grown maize carbohydrates in semiarid regions. *Plant Growth Regulation*, 67, pp.27–34. doi: **10.1007/s10725-012-9657-7**
- Travaglia, C., Reinoso, H. and Bottini, R., 2009. Application of abscisic acid promotes yield in field-cultured soybean by enhancing production of carbohydrates and their allocation in seed. *Crop and Pasture Science*, 60(12), pp.1131–1136. doi: **10.1071/cp08396**
- Travaglia, C., Reinoso, H., Cohen, A., Luna, C., Tommasino, E., Castillo, C. and Bottini, R., 2010. Exogenous ABA increases yield in field-grown wheat with moderate water restriction. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29, pp.366–374. doi: **10.1007/s00344-010-9147-y**
- Vishwakarma, K., Upadhyay, N., Kumar, N., Yadav, G., Singh, J., Mishra, R.K., ... Sharma, S., 2017. Abscisic Acid Signaling and Abiotic Stress Tolerance in Plants: A Review on Current Knowledge and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*, 8, 161. doi: **10.3389/fpls.2017.00161**
- Yang, J.C., Zhang, J.H., Ye, Y.X., Wang, Z.Q., Zhu, Q.S. and Liu, L.J., 2004. Involvement of abscisic acid and ethylene in the responses of rice grains to water stress during filling. *Plant, Cell & Environment*, 27(8), pp.1055–1064. doi: **10.1111/j.1365-3040.2004.01210.x**

The effect of abscisic acid application on improving yield, yield components, and water use efficiency of sesame (*Sesamum indicum* L.) under water-limited conditions

Sakineh Darini¹, Seyed Mehdi Naser Alavi^{2*}, Jalal Ghanbari^{2,3}

¹ M.Sc Graduate in Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

² Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

³ Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran

*Corresponding Author: malavi@uk.ac.ir

Received: 12 July 2023

Accepted: 30 September 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.406802.1359

Abstract

Introduction: Sesame (*Sesamum indicum* L.) is an important oilseed crop belonging to the Pedaliaceae family, treasured in different food and cosmetics industries. Sesame as a rich source of protein, carbohydrates, minerals, and various antioxidants, is widely cultivated throughout Africa and Asia. The Sesame plant is well adapted to harsh environments. Adverse environmental conditions, such as drought stress, have severely limited plant growth and reduced plant yield. Some crop management programs have been conducted to develop strategies to mitigate the harmful effects of drought on plant growth, physiology, and yield. To this end, the exogenous application of plant hormones such as abscisic acid (ABA) has been applied to some species. Therefore, this study aimed to investigate the effect of foliar application of different abscisic acid concentrations to improve morphological characteristics, yield components, biomass production, seed yield, and water use efficiency (WUE) of sesame under water-limited conditions.

Materials and Methods: A field experiment with the aim of evaluating the effect of different abscisic acid (ABA) concentrations (0: distilled water application, 10: foliar application of 10 μ M ABA; 50: foliar application of 50 μ M ABA; 100: foliar application of 100 μ M ABA), under different irrigation regimes (normal: 100% field capacity (FC), and water-limited condition: 60% FC) was conducted as at Narju region, Jiroft, Iran, during the growing season of 2022-2023. The experimental design was a randomized block design in a split plot scheme with eight treatments replicated three times. Sesame seeds were prepared from the Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Jiroft and were sown on July 23, 2022. After establishment, the plants were thinned to obtain a final density of 60 plants per 3 m² plot. The plants were treated with ABA at different concentrations two times. Different concentrations of ABA were applied 50 (first time) and 70 days (second time; at the time of stress imposition) after sowing. At the end of the growing season (November 29, 2022), 10 plants were harvested from each plot and various traits including plant height, number of branches, number of mature, immature, and total capsules per plant, number of seeds per plant, 1000-seed weight, biomass production, and seed yield were measured. Harvest index (HI) and WUE were also calculated.

Results and Discussion: The results showed that under normal irrigation conditions, the application of 10 μ M ABA concentration led to producing the highest number of mature capsules per plant, while no application of ABA resulted in the highest number of immature capsules per plant. In the conditions of application of irrigation level of 60% FC, the application of 100 μ M ABA concentration with 25 and 8 capsules, respectively led to the production of more mature and immature capsules per plant. As a result, the highest number of capsules per plant (33 capsules) and the number of seeds per plant (2055 seeds) were obtained from the mentioned conditions. On the other hand, the thousand seed weight showed a different trend. In total, such variations observed led to the insignificant

response of seed yield to the application of different ABA levels to different irrigation conditions. Applying limited irrigation in this study showed a greater effect on the reduction of seed yield (25.6%) compared to the biological yield (10.6%), which led to a decrease in harvest index by 19%. As a result of increasing the number of seeds per plant and 1000-seed weight, the application of 100 μM ABA concentration resulted in the highest seed yield (1138 kg ha^{-1}) and biomass production (10054 kg ha^{-1}). Influenced by such results, increased water use efficiency by 9, 22, and 41% was observed for the 100 μM ABA level compared with the control and 10 and 50 μM ABA concentrations, respectively. **Conclusion:** In conclusion, the integration of different ABA concentrations with different irrigation management could be considered an effective strategy to improve the growth, yield, and water use efficiency, and alleviates the adverse effects of drought stress on sesame plants.

Keywords: Drought stress, Foliar application, Phytohormone, Water productivity