نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۳ شماره ۴ / زمستان ۱۴۰۲/ صفحات ۱۹۸-۱۸۵

Evaluation the Effect of Deficit Irrigation Stress on the Quantitative and Qualitative Yield of Promising Sunflower Cultivars

Davoud Omidinasab[*1], Moosa Meskarbashee[2], Afrasyab Rahnama Ghahfarokhi[2]

Received: 21 July 2022 Accepted: 24 November 2022
1-Former PhD Student, Dept. of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
2-Prof., and Assoc. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
[*]Corresponding Author Email: Davoudomidinasab@gmail.com

Abstract

Background and Objective: As the country is faced with an acute shortage of edible oil and the deficient agricultural water caused by water shortage is the most limiting factor of crop production and productivity, this study was carried out to recognize and evaluate the related traits to growth and yield as well as the adaptation of sunflower specially to water deficit conditions.

Materials and Methods: This experiment was carried out using a split-plot arrangement in a randomized complete block design with three replications. The main plots consisted of three deficit irrigation treatments: control, mild and severe deficit irrigation- based on the discharge of 50, 70 and 90 % of available moisture, respectively. The sub-plots consisted of six sunflower cultivars: Oscar, Felix, Shakira, Savana, Labad and Monaliza. The study site was located at the research farm of Safiabad (Dezful) Agricultural Research Center, Iran.

Results: The results indicated that deficit irrigation led to a significant difference in oil percentage, biological yield, and yield and yield components of sunflower cultivars. Severe deficit irrigation was caused a significant reduction in stem height, stem diameter, head diameter and biological yield by 19.03%, 26.97% 24.34% and 45.08%, respectively, compared to the control. Moreover, grain number per head, grain weight per head and grain yield significantly decreased under severe water-deficit stress by 45.69%, 49.94% and 50%, respectively, compared to the control. In addition, the oil yield of all cultivars significantly decreased under severe deficit irrigation by 26.67% compared to the control. For the control, Oscar cultivar had the highest grain yield (5.34 $t.ha^{-1}$). In contrast, Shakira cultivar had the lowest grain yield under severe deficit irrigation (2.67 $t.ha^{-1}$). Under severe deficit irrigation, Labad cultivar had the highest grain yield (4.28 $t.ha^{-1}$) compared with other cultivars.

Conclusion: Totally, Felix and Labad cultivars are recommended for cultivation in Dezful region due to their greater stability in grain yield under deficit irrigation conditions.

Keywords: Biological Yield, Grain Number Per Head, Grain Yield, Oil Percentage, Water Deficit

CC BY NC

DOI: 10.22034/saps.2022.52622.2900

تأثیر تنش کم‌آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی ارقام امیدبخش آفتابگردان

داود امیدی نسب*[۱]، موسی مسکرباشی[۲]، افراسیاب راهنما قهفرخی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۳

۱- دانشجوی سابق دوره دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲- استاد و دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: Davoudomidinasab@gmail.com

چکیده

اهداف: با توجه به اینکه کشور با کمبود شدید روغن خوراکی مواجه است و کمبود آب کشاورزی ناشی از کمبود آب، محدود کننده ترین عامل تولید و بهره وری محصولات کشاورزی است، پژوهش حاضر به‌منظور شناخت و بررسی ویژگی‌های مربوط به رشد و عملکرد و نیز سازگاری آفتابگردان به‌خصوص در رابطه با شرایط کم‌آبی، اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. سه تیمار کم آبیاری به‌عنوان عامل اصلی شامل شاهد، کم‌آبیاری متوسط و شدید - براساس به ترتیب تخلیه ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد از رطوبت قابل استفاده و شش رقم آفتابگردان (اسکار، فلیکس، شکیرا، ساوانا، لاباد و مونالیزا) به‌عنوان عامل فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. پژوهش در مزرعه آزمایشی مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول اجرا شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، تنش کم‌آبیاری در مقایسه با شاهد سبب تفاوت قابل توجه صفات درصد روغن، عملکرد بیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه، در ارقام آفتابگردان شد. تنش کم‌آبیاری شدید موجب کاهش ۱۹/۰۳ و ۲۶/۹۷، ۲۴/۳۴ و ۴۵/۰۸ درصد به‌ترتیب در ارتفاع ساقه، قطر ساقه، قطر طبق و عملکرد بیولوژیک گردید. عملکرد و اجزاء عملکرد دانه ارقام آفتابگردان نیز تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری شدید مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج به‌دست آمده نشان از کاهش ۴۵/۶۹، ۴۹/۹۴ و ۵۰ درصدی، به‌ترتیب در تعداد دانه در طبق، وزن دانه‌ها در طبق و عملکرد دانه داشت. از سوی دیگر، درصد روغن دانه هم تحت تأثیر کم‌آبیاری شدید به‌میزان ۲۶/۶۷ درصد کاهش پیدا کرد. رقم اسکار در تیمار شاهد با میانگین عملکرد دانه ۵/۳۴ تن در هکتار و رقم شکیرا در شرایط تنش کم‌آبیاری شدید با میانگین عملکرد دانه ۲/۶۷ تن در هکتار، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه در هکتار را تولید نمودند، رقم لاباد نیز در تنش کم‌آبیاری شدید، بیش‌ترین عملکرد دانه را نسبت به سایر ارقام، با میانگین ۴/۲۸ تن در هکتار، تولید نمود.

نتیجه‌گیری: در مجموع ارقام فلیکس و لاباد با توجه به عملکرد دانه بالا و حفظ عملکرد در شرایط تنش کم‌آبیاری به‌عنوان ارقام پُر محصول و سازگار به منطقهٔ دزفول و مناطق مشابه پیشنهاد می‌گردند.

واژه‌های کلیدی: تعداد دانه در طبق، درصد روغن، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، کم‌آبی

مقدمه

آفتابگردان به عنوان یکی از سه گیاه مهم روغنی در جهان (همراه با سویا و کلزا) و به همراه کلزا یکی از دو محصول بزرگ روغنی در اتحادیه اروپا (ملنیک و همکاران ۲۰۱۷)، متعلق به خانواده آستراسه و مبدأ اولیه آن آمریکای شمالی می‌باشد (فرناندز و همکاران ۲۰۱۴).

آفتابگردان محصول مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری با آب و هوای خشک تا نیمه خشک بوده و اغلب در اراضی خشک یا تحت آبیاری تکمیلی پرورش می‌یابد (پیکن و همکاران ۲۰۱۵). با وجود کاهش سطح زیر کشت آفتابگردان در سال‌های اخیر در کشور، به‌دلیل سازگاری وسیع این گیاه زراعی به شرایط آب و هوایی ایران، افزایش دوباره سطح زیر کشت آن دور از انتظار نیست. خشکی معمولاً به‌عنوان شایع‌ترین تنش غیر زنده که گیاهان زراعی آن را تجربه می‌کنند شناخته شده (اونملی و گوسر ۲۰۱۰)، به‌طوری‌که تولید گیاهان زراعی را شدیداً و به‌طور متوسط ۱۵ تا بیش از ۵۰ درصد کاهش می‌دهد (ناگارتنا و همکاران ۲۰۱۲) و پیش‌بینی می‌گردد در آینده نیز شدیدتر شود. آفتابگردان به‌دلیل داشتن سیستم ریشه‌ای گسترده و دارا بودن کرک‌های زبر و خشن در ساقه، برگ و دُمبرگ؛ به‌عنوان یک محصول حساس به خشکی کم تا متوسط، طبقه‌بندی شده است (واسلیوسکا و همکاران ۲۰۱۴) و همانند اغلب محصولات زراعی و به‌ویژه محصولات بهاره و تابستانه، در معرض تنش‌های محیطی از جمله دما و خشکی قرار دارد و در شرایط کمبود آب عملکرد آن بسیار پایین‌تر از پتانسیل واقعی است (شیدایی و همکاران ۲۰۱۲)، لذا تنش خشکی یا کم‌آبی ملایم از عوامل اصلی محدودکنندهٔ تولید آفتابگردان در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آید (مرادی‌قهدریجانی و همکاران ۲۰۱۷) و امّا این میزان در کاهش تولید، به‌میزان کمبود آب و خصوصیات رقم بستگی دارد (غفاری و همکاران ۲۰۱۲). گزارش شده است که تنش خشکی تا ۵۰ درصد عملکرد دانه آفتابگردان را کاهش می‌دهد (توتسکی و لیاخ ۲۰۱۵). در نتیجهٔ تحقیقات کایا و کلساریچی (۲۰۱۱)، مشخص گردید؛ تنش خشکی موجب کاهش وزن هزاردانه (۷۳/۸ گرم) و عملکرد دانه (۱۹۱۰ کیلوگرم در هکتار) آفتابگردان، نسبت به حالت آبیاری نرمال گردید. مهرپویان و همکاران (۲۰۱۰) در تاکستان استان قزوین گزارش دادند؛ تنش خشکی موجب کاهش محتوای روغن دانه و عملکرد روغن در آفتابگردان می‌گردد. بنائی‌اصل و همکاران (۲۰۱۳) نیز در تبریز به کاهش عملکرد دانه، قطر طبق، وزن هزاردانه آفتابگردان در اثر تنش خشکی ملایم و شدید نسبت به حالت آبیاری نرمال اشاره کرده‌اند. بنابراین، با توجه به نیاز کشور به روغن خوراکی و نیز خشکسالی‌های مداوم چندسال اخیر، کاهش شدید منابع آب زیرزمینی و کمبود آب برای آبیاری، شناخت و بررسی ویژگی‌های مربوط به رشد و عملکرد آفتابگردان در شرایط کم‌آبی و همچنین شناسایی ارقامی که بتوانند در چنین شرایطی کاهش عملکرد کم‌تری داشته باشند، می‌تواند در گسترش سطح زیر کشت و افزایش عملکرد آفتابگردان تأثیر مهمّی داشته باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی صفات کمی و کیفی ارقام امیدبخش آفتابگردان در شرایط تنش کم‌آبیاری، به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار، در سال زراعی ۱۳۹۹ – ۱۳۹۸ در مرکز تحقیقات صفی آباد دزفول اجرا گردید. دزفول یکی از شهرستان‌های استان خوزستان با طول جغرافیایی شرقی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه و عرض جغرافیایی شمالی ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه، ارتفاع از سطح دریا ۱۴۰ متر و متوسط بارندگی سالیانه آن نیز ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. نمونه‌برداری قبل از کشت از خاک مزرعه انجام و خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه آزمایشی، به شرح جدول ۲ بود. تنش کم‌آبیاری به عنوان عامل اصلی (A) در ۳ سطح، شامل: آبیاری مطلوب (شاهد)، تنش ملایم رطوبتی (کم‌آبیاری متوسط) و تنش شدید رطوبتی (کم‌آبیاری شدید)، به‌ترتیب و بر اساس تخلیه ۵۰ (A_1)، ۷۰ (A_2) و ۹۰ (A_3) درصد رطوبت قابل استفاده و رقم (جدول ۱) به عنوان عامل فرعی (B) در ۶ سطح، شامل ۶ رقم: (اسکار (B_1) (شاهد منطقه)، فلیکس (B_2)، ای اس شکیرا (B_3)، ای اس ساوانا (B_4)، لاباد (B_5)، و مونالیزا (B_6))، در نظر گرفته شد.

جدول ۱ - مشخصات ارقام مورد آزمایش.

نام رقم	نوع رقم	طول دوره رویش (day)	ارتفاع بوته (cm)	قطر طبق (cm)	وزن هزاردانه (g)	درصد روغن	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)
اسکار	هیبرید سینگل کراس	۱۳۳-۱۱۸	۲۰۵-۱۶۳	۱۹-۱۴	۴۴-۳۳	۴۹-۳۵	۴۹۱۷-۱۶۳۲
فلیکس	هیبرید سینگل کراس	۱۳۳-۱۱۸	۲۰۱-۱۶۵	۱۸-۱۴	۴۸-۳۱	۴۹-۳۴	۴۸۰۶-۱۹۵۱
شکیرا	هیبرید سینگل کراس	۱۲۵-۱۰۴	۱۸۵-۱۴۴	۱۸-۱۳	۵۳-۳۱	۴۸-۳۷	۴۱۰۵-۱۶۳۱
ساوانا	هیبرید سینگل کراس	۱۳۳-۱۱۸	۱۹۶-۱۶۵	۱۷-۱۳	۴۴-۳۱	۵۱-۳۹	۴۶۱۸-۱۹۴۸
لاباد	هیبرید سینگل کراس	۱۳۳-۱۱۸	۲۰۹-۱۶۶	۱۸-۱۱	۶۵-۳۲	۴۵-۲۵	۵۸۱۰-۱۸۹۵
مونالیزا	هیبرید سینگل کراس	۱۲۵-۱۰۴	۱۸۵-۱۳۹	۱۸-۱۱	۵۰-۳۸	۵۰-۳۳	۴۲۳۲-۲۸۳۲

مأخذ: شرکت شهید رجائی شهرستان دزفول

جدول ۲ - مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق (cm)	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته	کربن آلی (%)	نیتروژن کل ($mg.Kg^{-1}$)	رطوبت حجمی		بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)
					FC (%)	PWP (%)		
۰ - ۴۰	۱/۳	۷/۶۴	۰/۷۵	۸۱۰	۳۳	۱۷/۹	سیلتی کلی لوم	۱/۶۱

جدول ۳ – متوسط مقدار عناصر غذایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق (سانتی‌متر)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	روی (ppm)	منگنز (ppm)	آهن (ppm)	مس (ppm)
۰ - ۴۰	۱۱	۱۳۱	۰/۷	۱/۹۴	۲/۴	۱/۳۴

خطوط ۷۵ سانتی‌متر بود. بین کرت‌ها در هر تکرار، ۲ متر و بین تکرارها نیز ۱/۵ متر، به‌عنوان فاصله در نظر گرفته شد. قبل از کاشت در تاریخ ۱۳۹۸/۱۲/۲۳ از علف‌کش تری فلورالین، به‌میزان ۲/۵ لیتر در هکتار استفاده شد و در طول فصل رشد نیز مبارزه با علف‌های هرز؛ به‌وسیله وجین دستی و سم‌پاشی در بین ردیف‌های کاشت، به‌وسیله علف‌کش بنتازون، به‌میزان ۲ لیتر در هکتار، با سم‌پاش حفاظ‌دار انجام گردید. سایر مراقبت‌های زراعی از جمله خاک‌دهی پای بوته مطابق با عرف و پاکتگیری طبق‌ها به‌منظور جلوگیری از خسارت پرندگان نیز در طول فصل رشد انجام شد. به‌منظور تعیین درصد رطوبت خاک و زمان دقیق آبیاری در تیمارهای تنش کم‌آبیاری، بلافاصله پس از آبیاری، به‌صورت روزانه و متوالی و با استفاده از آگر از عمق ۴۰ – ۰ سانتی‌متری خاک، نمونه‌برداری گردیده و بلافاصله به آزمایشگاه

تا مرحله ۸ برگی، آبیاری‌ها بر اساس تخلیه ۵۰ درصد رطوبت از ظرفیت زراعی خاک با توجه به عمق توسعه ریشه (۴۰ – ۰سانتی‌متر) در همه تیمارها، انجام و از این مرحله به بعد تیمارهای آبیاری دقیقاً اعمال گردید. عملیات آماده‌سازی زمین قبل از کشت به صورت شخم، دو دیسک عمود برهم و ایجاد جوی و پشته انجام شد. ۱۰۰ کیلوگرم فسفر (سوپر فسفات) و ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم (سولفات پتاسیم) قبل از کاشت در خاک کرت‌های آزمایشی براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۳) مصرف گردید، همچنین ۱/۳ (۵۰ کیلوگرم) از کود نیتروژن (اوره) قبل از کاشت، ۱/۳ (۵۰ کیلوگرم) در زمان ۸-۶ برگی (سرک اوّل) و ۱/۳ (۵۰ کیلوگرم) باقیمانده نیز در زمان غنچه‌دهی (سرک دوّم) استفاده شد. هر کرت آزمایشی دارای ۴ خط کاشت به طول ۴ متر در تراکم ۱۱ بوته در متر مربع و فواصل بین بوته‌ای ۱۲ سانتی‌متر با فاصله

در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و در نهایت از رابطه زیر جهت تعیین درصد رطوبت وزنی نمونه‌های خاک استفاده گردید.

$$\text{درصد رطوبت خاک بر حسب وزن خشک} = \frac{\text{وزن خشک نمونه خاک} - \text{وزن تر نمونه خاک}}{\text{وزن خشک نمونه خاک}} \times ۱۰۰$$

پس از مشخص شدن درصد رطوبت وزنی خاک، درصد رطوبت حجمی از حاصل‌ضرب درصد رطوبت وزنی در وزن مخصوص ظاهری خاک (جدول ۱) محاسبه و سپس با استفاده از معادلهٔ ذیل، درصد آب قابل استفاده (D) (مارتین و همکاران، ۱۹۹۰) تعیین گردید:

$$D(\%) = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}\frac{FCi - \theta i}{FCi - Wp} \times 100$$

و با استفاده از معادلهٔ زیر نیز درصد تخلیه آب قابل استفاده محاسبه گردید (وانکلوستر و همکاران ۱۹۹۴).

تخلیه آب قابل استفاده (٪) = ۱۰۰ – D

که در آن n تعداد نمونه خاک گرفته شده از عمق مؤثر توسعه ریشه، FCi رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه در نمونه i ام، θi رطوبت خاک در نمونه i ام و Wp رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم می‌باشد. در انتها زمان آبیاری در هر کرت آزمایشی هنگامی بود که رطوبت حجمی خاک در تیمارهای شاهد، تنش متوسط و شدید رطوبتی به ترتیب به ۲۵/۴، ۲۲/۴ و ۱۹/۴ درصد رسید. پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه و برداشت بوته‌های مورد نظر، صفات ارتفاع ساقه بر حسب سانتی‌متر (از ناحیه طوقه تا زیر طبق)، قطر ساقه بر حسب میلی‌متر (در ناحیه طوقه) و قطر طبق نیز بر حسب سانتی‌متر (بزرگ‌ترین قطر طبق) از میانگین پنج بوته، اندازه‌گیری و محاسبه شد. پس از جداسازی دانه‌ها از طبق، میانگین دانه‌های پُر در پنج نمونه تصادفی طبق، به‌عنوان تعداد دانه در طبق با استفاده از دستگاه بذرشمار، شمارش و میانگین آن‌ها محاسبه و ثبت گردید. همچنین بعد از بوجاری کردن دانه‌های پنج نمونه تصادفی، به‌وسیله ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین انجام و سپس با احتساب میانگین وزن کل دانه طبق‌های برداشت شده، وزن دانه‌های پُر طبق در هر کرت، محاسبه و ثبت گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه، برداشت با توجه به زمان رسیدگی دانه‌ها در سطوح تنش کم‌آبیاری و تیمار شاهد طی ۲۵ روز از تاریخ ۱۳۹۹/۰۴/۰۶ تا تاریخ ۱۳۹۹/۰۴/۲۹ از خط وسط هر کرت با حذف دو بوته از ابتدا و انتها (معادل ۲/۶۵۰ متر مربع در تراکم ۱۱ بوته در واحد سطح) و هنگامی که پشت طبق در ۹۰ درصد بوته‌ها به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای درآمد و بذور رطوبتی معادل ۳۰ درصد داشتند، انجام و پس از وزن کردن با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱، از هر کرت نمونه یک کیلوگرمی (ساقه، برگ و طبق) به آون به‌مدّت ۴۸ ساعت و دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد منتقل و پس از رسیدن به وزن ثابت توزین انجام شده و سپس با اعمال تناسب و با توجه به کاهش وزن هر نمونه، میزان رطوبت از دست رفته هر کرت محاسبه و میزان عملکرد بیولوژیک آن به‌دست آمد، همچنین بعد از عملیات بوجاری نیز، دانه‌ها از طبق‌های برداشت شده هر کرت در دمای حدود ۴۰ درجه سانتی‌گرد تا رسیدن به وزن ثابت (رطوبت ۱۴ – ۱۳ درصد) در دستگاه آون قرار گرفته و سپس با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم، برای تعیین عملکرد دانه در واحد سطح (تن در هکتار) توزین شدند. برای تعیین درصد روغن دانه آفتابگردان، از بذور به‌دست آمده از هر کرت، یک نمونه‌ای تصادفی ۱۰ گرمی جدا و پس از آسیاب کردن، درصد روغن پودر دانه‌ها در آزمایشگاه، با روش سوکسله و توسط دستگاه سوکسله (Model 2050) و استخراج با استفاده از حلال غیر قطبی هگزان تعیین شد. در نهایت نیز تجزیه واریانس داده‌های پژوهش به‌وسیله نرم افزار SAS 9.4 انجام و میانگین‌ها

خاک‌شناسی مرکز تحقیقات صفی‌آباد منتقل و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم، وزن تر نمونه‌ها تعیین و سپس به دستگاه آون منتقل و به‌مدّت ۴۸ ساعت

نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع ساقه

اوّلین علامت کمبود آب در گیاهان کاهش فشار تورژسانس است که منجر به کاهش رشد و نمو سلول‌ها مخصوصاً در ساقه و برگ می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثرات تنش کم‌آبیاری و رقم بر روی ارتفاع ساقه در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود (جدول ۴). بررسی مقایسه میانگین‌ها نیز نشان‌دهندهٔ کاهش ارتفاع ساقه با افزایش شدّت تنش کم‌آبیاری می‌باشد، به‌طوری‌که تیمار شاهد (بدون تنش) با میانگین ۱۹۳/۸۴ سانتی‌متر و تنش کم‌آبیاری شدید با ۱۹/۰۳ درصد کاهش و میانگین ۱۵۶/۹۴ سانتی‌متر به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع ساقه را دارا بودند (جدول ۵). گزارش شده است که با کاهش پتانسیل آب در اثر خشکی، طویل شدن سلول‌ها کند شده و در نتیجه فاصله میانگره‌ها و ارتفاع بوته کاهش می‌یابد (سروری و همکاران ۲۰۱۶). با توجه به اینکه مواد غذایی به‌صورت محلول در آب جذب گیاه می‌شود، به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش آب، محدودیت در منابع آبی منجر به محدودیت در دسترسی به منابع غذایی شده و گیاه مجبور به کم کردن رشد رویشی و اتمام زودهنگام مرحلهٔ رشد رویشی و شروع مرحله زایشی می‌شود، در نتیجه دورهٔ رشدی، ارتفاع و عملکرد کاهش می‌یابد. نتایج مشابهی نیز توسط ثقه‌السلامی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شده است. در بین ارقام مورد بررسی نیز ارقام لاباد و مونالیزا به‌ترتیب با ۱۸۸/۴۰ و ۱۵۵/۱۶ سانتی‌متر، بلندترین و کوتاه‌ترین ارتفاع ساقه را دارا بودند (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد ویژگی‌های ژنتیکی ارقام و تفاوت در طول دورهٔ رویشی آن‌ها، موجب ایجاد رفتار متفاوت و اختلاف آماری معنی‌دار در طول ساقه گردیده است.

جدول ۴ - تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی آفتابگردان

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع ساقه	قطر ساقه	قطر طبق	تعداد دانه در طبق	وزن دانه‌ها در طبق	روغن دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک
تکرار	۲	۲۹۰۵/۵۸۲**	۶۴/۶۲۴**	۱/۱۰۸$^{n.s}$	۱۱۳۰۱/۹۷۶$^{n.s}$	۰/۴۲۰$^{n.s}$	۲۲/۴۲۸$^{n.s}$	۰/۰۰۴$^{n.s}$	۰/۴۴۱$^{n.s}$
تنش کم‌آبیاری	۲	۶۱۸۱/۹۵۶**	۱۴۱/۰۸۷**	۶۳/۰۱۲**	۳۶۶۹۷۲/۷۳۷**	۳۰۱/۴۱۵**	۳۲۱/۰۸۲**	۳/۶۵۳**	۹۵/۳۴۴**
خطای اصلی	۴	۳۴۶/۶۸۲	۹/۱۰۹	۰/۷۱۵	۲۱۰۴۸/۹۷۹	۴/۶۲۰	۱۹/۹۴۷	۰/۰۵۶	۱/۲۷۵
رقم	۵	۱۸۰۲/۶۱۸**	۱۱/۰۹۲$^{n.s}$	۱/۱۱۷$^{n.s}$	۲۲۴۰۸۴/۶۹۶**	۲۶۱/۶۶۱**	۱۱۸/۹۱۷**	۲/۶۲۲**	۱۱/۱۹۳**
تنش کم‌آبیاری × رقم	۱۰	۴۶/۳۲۷$^{n.s}$	۲/۹۲۸$^{n.s}$	۰/۳۶۱$^{n.s}$	۲۸۷۴۳/۱۴۴*	۲۰/۷۶۳*	۳/۵۸۸$^{n.s}$	۰/۲۵۱*	۴/۸۰۷*
خطای فرعی	۳۰	۴۰۴/۲۱۵	۵/۹۲۵	۳/۵۰۹	۱۲۷۵۱/۲۰۵	۹/۵۷۵	۱۵/۳۲۰	۰/۱۱۵	۲/۲۱۲
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۱/۳۹	۱۳/۵۱	۱۴/۰۷	۹/۳۱	۸/۴۵	۱۲/۹۵	۸/۴۳	۱۰/۳۷

n.s، * و ** به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد احتمال می باشد.

جدول ۵ - مقایسه میانگین اثرات تنش کم‌آبیاری بر روی صفات زراعی و کیفی آفتابگردان

تیمار آبیاری	ارتفاع ساقه (Cm)	قطر ساقه (mm)	قطر طبق (Cm)	روغن دانه (٪)
شاهد	۱۹۳/۸۴$_{a}$	۲۰/۵۴$_{a}$	۱۵/۲۸$_{a}$	۳۴/۸۸$_{a}$
تنش متوسط	۱۷۸/۴۳$_{ab}$	۱۸/۴۷$_{ab}$	۱۳/۰۵$_{b}$	۲۹/۰۶$_{b}$
تنش شدید	۱۵۶/۹۴$_{b}$	۱۵/۰۰$_{b}$	۱۱/۵۶$_{c}$	۲۶/۶۷$_{b}$

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

جدول ۶ – مقایسه میانگین اثرات رقم بر روی صفات زراعی و کیفی آفتابگردان.

ارقام مورد بررسی	ارتفاع ساقه (Cm)	روغن دانه (٪)
اسکار	۱۸۳/۶۹$_{a}$	۳۵/۹۲$_{a}$
فلیکس	۱۸۸/۱۱$_{a}$	۳۱/۰۴$_{b}$
شکیرا	۱۶۲/۳۵$_{bc}$	۲۹/۰۱$_{b}$
ساوانا	۱۸۰/۷۱$_{ab}$	۳۰/۴۸$_{b}$
لاباد	۱۸۸/۴۰$_{a}$	۲۴/۶۲$_{c}$
مونالیزا	۱۵۵/۱۶$_{c}$	۳۰/۱۷$_{b}$

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

قطر ساقه

قطر ساقه معیاری از رشد رویشی است و قطر بیش‌تر ساقه در استحکام و مقاومت گیاه به عوامل نامساعد محیطی نقش مهمی دارد. نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد، اثرات ساده تنش کم‌آبیاری بر روی قطر ساقه دارای اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثرات تنش کم‌آبیاری بر روی قطر ساقه نشان از کاهش ۲۶/۹۷ درصدی قطر ساقه با افزایش شدّت تنش کم‌آبیاری نسبت به تیمار شاهد می‌باشد، به‌طوری‌که تیمار شاهد با ۲۰/۵۴ میلی‌متر و تیمار تنش شدید کم‌آبیاری با ۱۵ میلی‌متر به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین قطر ساقه را به‌وجود آوردند (جدول ۵). افزایش قطر ساقه در شرایط آبیاری نرمال، نشان‌دهندهٔ شرایط رویشی مطلوب و به‌دور از تنش می‌باشد، یعنی گیاه با افزایش فتوسنتز خود در شرایط مطلوب دوره رویشی، مقدار آسمیلات بیش‌تری را به ساقه جهت ذخیره‌سازی ارسال کرده است. دلیل کاهش قطر ساقه در اثر تنش خشکی، کاهش رشد رویشی و کاهش تقسیم سلولی آن می‌باشد (طباطبائی و شاکری ۲۰۱۲). در گزارشات حیدری و همکاران (۲۰۱۹) و ایزان و همکاران (۲۰۲۰)، نیز به کاهش قطر ساقه آفتابگردان در اثر تنش خشکی اشاره شده است. ارتفاع و قطر ساقه گیاهان بسیار به شرایط آب و هوایی و خاک بستگی دارد و هرگونه تنش خشکی به‌شدّت بر این دو صفت تأثیر منفی دارد و به همین دلیل تنش کم‌آبیاری موجب کاهش همزمان این صفات در طول فصل رشد گردید (جدول ۸).

قطر طبق

قطر طبق از اساسی‌ترین صفاتی است که تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری کاهش می‌یابد و روی سایر اجزاء عملکرد نیز تأثیر می‌گذارد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد؛ اثرات تنش کم‌آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر روی قطر طبق اختلاف آماری معنی‌دار ایجاد نموده است. تنش کم‌آبیاری با توجه به تخلیه رطوبت قابل استفاده از محدوده ریشه، موجب کاهش ۲۴/۳۴ درصدی در اندازه قطر طبق گردید و آنچنان‌که بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد، تیمار شاهد (بدون تنش) با ۱۵/۲۸ سانتی‌متر و تنش شدید کم‌آبیاری با ۱۱/۵۶ سانتی‌متر به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین قطر طبق را داشتند (جدول ۵). کاهش قطر طبق در اثر کمبود آب را می‌توان به این صورت توجیه کرد که گل‌های سطح طبق در طی گل‌دهی به‌تدریج رشد کرده و هر روز چند لایه از این گل‌ها از سمت محیط بیرون به‌طرف داخل طبق شروع به باز شدن می‌کنند و قسمت اعظم قطر طبق در این مرحله تشکیل می‌شود و چون در مرحله گل‌دهی، ارقام مورد بررسی با کمبود آب و عدم حفظ فشار تورگر مواجه هستند، در نتیجه رشد و توسعه عادی سلول‌های طبق از حالت طبیعی خارج شده و گسترش کم‌تری پیدا می‌کنند. در پژوهشی مشابه نیز اثبات گردید که تنش کم‌آبی در آفتابگردان باعث کاهش تولید و ارسال مواد فتوسنتزی در مرحله ظهور و ایجاد طبق شده و موجب کاهش تعداد دانه در طبق و در نتیجه کاهش قطر آن می‌گردد (سرخی ۲۰۱۹). همچنین گزارش شده است که در شرایط تنش شدید خشکی؛ قطر طبق آفتابگردان و

بالتبع تعداد دانه در طبق دچار کاهش شدید می‌شود (رحیمی‌زاده و همکاران ۲۰۱۰). رئوف و همکاران (۲۰۱۲) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

تعداد دانهٔ پُر در طبق

با توجه به نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) اثرات تنش کم‌آبیاری، رقم و برهمکنش آن‌ها بر روی صفت تعداد دانه در طبق، به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات دوگانه تنش کم‌آبیاری و رقم (جدول ۷)، با کاهش رطوبت قابل استفاده برای گیاه در تیمارهای با تنش کم‌آبی نسبت به شاهد، از تعداد دانه در هر طبق به‌میزان ۴۵/۶۹ درصد کاسته می‌گردد، به‌طوری‌که رقم اسکار در تیمار شاهد (بدون تنش کم‌آبیاری) با میانگین ۱۶۸۷/۷۳ عدد و رقم شکیرا در تنش شدید کم‌آبیاری با میانگین ۹۱۶/۴۷ عدد، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد دانه در هر طبق را تولید نمودند. همچنین رقم ساوانا با دامنه تغییرات ۷/۳۶ – ۲/۸۹ درصد و میانگین کلی ۵/۱۲ درصد کاهش و رقم شکیرا نیز با دامنه تغییرات ۲۷/۹۷ – ۲۴/۴۶ درصد و میانگین کلی ۲۶/۲۲ درصد کاهش، به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین تغییر تولید دانه در هر طبق نسبت به تیمار آبیاری نرمال (شاهد)، در شرایط تنش کم‌آبیاری متوسط و شدید را داشتند. به‌نظر می‌رسد برخورد دوران رشد رویشی و زایشی گیاه با تنش رطوبتی، به‌خصوص در مرحله گل‌دهی و گرده‌افشانی، باعث خشک شدن دانه‌های گرده، کلاله مادگی و اختلال در گرده افشانی شده و در نتیجه افزایش سقط گل‌چه‌های درون طبق یکی از دلائل کاهش تعداد دانه طبق بوده است. در پژوهشی مشابه نیز اظهار گردیده است، کمبود آب طی مرحله زایشی باعث کاهش قدرت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی شده و همین عامل در اُفت تعداد گل‌چه‌های بارور طبق مؤثر می‌باشد (مجدم ۲۰۱۶). از طرفی، کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی و کاهش قطر طبق از سوی دیگر نیز باعث می‌گردد، به‌مقدار زیادی از تولید دانه در طبق کاسته شود (اسدزاده و همکاران ۲۰۱۷). پورتقی و همکاران (۲۰۱۱) نیز در تحقیقات خود به کاهش تعداد دانه در طبق در شرایط تنش کم‌آبی اشاره کرده‌اند.

جدول ۷ - مقایسه میانگین برهمکنش تنش کم‌آبیاری و رقم بر روی صفات مورد بررسی آفتابگردان.

ابرهمکنش تنش کم‌آبیاری و رقم	تعداد دانه در طبق	وزن دانه‌ها در طبق (g)	عملکرد دانه ($t.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک ($t.ha^{-1}$)
شاهد × رقم اسکار	۱۶۸۷/۷۳$_{a}$	۴۸/۵۳$_{a}$	۵/۳۴$_{a}$	۱۶/۲۵$_{abc}$
شاهد × رقم فلیکس	۱۳۶۳/۶۰$_{bcd}$	۳۸/۷۲$_{bcdef}$	۴/۲۶$_{bcdef}$	۱۸/۶۱$_{a}$
شاهد × رقم شکیرا	۱۲۷۲/۴۹$_{def}$	۳۳/۰۵$_{gh}$	۳/۶۳$_{gh}$	۱۷/۲۳$_{ab}$
شاهد × رقم ساوانا	۱۱۹۷/۱۳$_{def}$	۴۲/۶۷$_{bc}$	۴/۶۹$_{bc}$	۱۵/۷۶$_{bc}$
شاهد × رقم لاباد	۱۱۳۳/۹۳$_{efgh}$	۴۳/۶۸$_{ab}$	۴/۸۰$_{ab}$	۱۶/۰۹$_{bc}$
شاهد × رقم مونالیزا	۱۴۶۶/۰۲$_{bc}$	۴۱/۰۷$_{bcd}$	۴/۵۲$_{bcd}$	۱۶/۵۲$_{ab}$
تنش متوسط × رقم اسکار	۱۴۷۹/۱۳$_{b}$	۳۵/۳۴$_{efgh}$	۳/۸۸$_{efgh}$	۱۴/۷۶$_{bcd}$
تنش متوسط × رقم فلیکس	۱۳۱۴/۳۳$_{bcde}$	۳۸/۹۷$_{bcde}$	۴/۲۸$_{bcde}$	۱۵/۷۵$_{bc}$
تنش متوسط × رقم شکیرا	۹۶۱/۲۰$_{hij}$	۲۵/۰۳$_{i}$	۲/۷۵$_{i}$	۱۱/۰۳$_{fg}$
تنش متوسط × رقم ساوانا	۱۱۶۲/۴۷$_{efg}$	۳۷/۹۰$_{cdefg}$	۴/۱۷$_{cdefg}$	۱۶/۱۱$_{bc}$
تنش متوسط × رقم لاباد	۱۰۹۷/۴۷$_{fghij}$	۴۰/۱۱$_{bcde}$	۴/۴۱$_{bcde}$	۱۲/۱۳$_{efg}$
تنش متوسط × رقم مونالیزا	۱۲۸۵/۶۷$_{cdef}$	۳۱/۷۸$_{h}$	۳/۴۹$_{h}$	۱۴/۸۶$_{bcd}$
تنش شدید × رقم اسکار	۱۱۹۲/۸۷$_{defg}$	۳۵/۶۶$_{efgh}$	۳/۹۲$_{efgh}$	۱۲/۰۳$_{efg}$
تنش شدید × رقم فلیکس	۱۲۵۷/۴۷$_{def}$	۳۷/۴۷$_{defg}$	۴/۱۲$_{defg}$	۱۴$_{cde}$
تنش شدید × رقم شکیرا	۹۱۶/۴۷$_{j}$	۲۴/۲۹$_{i}$	۲/۶۷$_{i}$	۱۰/۲۲$_{g}$
تنش شدید × رقم ساوانا	۱۱۰۹$_{fghi}$	۳۳/۶۳$_{fgh}$	۳/۷۰$_{fgh}$	۱۱/۴۲$_{fg}$
تنش شدید × رقم لاباد	۹۲۶/۸۰$_{ij}$	۳۸/۸۹$_{bcde}$	۴/۲۸$_{bcde}$	۱۲/۴۷$_{defg}$
تنش شدید × رقم مونالیزا	۱۰۰۵/۴$_{ghij}$	۳۲/۲۰$_{h}$	۳/۵۴$_{h}$	۱۲/۸۱$_{def}$

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

وزن دانه‌های پُر در طبق

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش (جدول ۴) نشان داد؛ اثرات تنش کم‌آبیاری و رقم بر روی وزن دانه‌ها در طبق در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش آن‌ها نیز بر روی این صفت در سطح احتمال پنج درصد، اختلاف آماری معنی‌دار ایجاد نموده است. برهمکنش تنش کم‌آبیاری و رقم (جدول ۷)، حاکی از کاهش ۴۹/۹۴ درصدی در وزن دانه‌ها در طبق در اثر تنش کم‌آبیاری است، به‌طوری‌که در تیمار شاهد (بدون تنش کم‌آبیاری)، رقم اسکار با ۴۸/۵۳ گرم، بیش‌ترین وزن دانه‌ها در طبق و در تیمار تنش شدید کم‌آبیاری، رقم شکیرا با ۲۴/۲۹ گرم، کم‌ترین وزن دانه‌ها در طبق را دارا بودند، رقم لاباد نیز در هر دو شرایط تنش کم‌آبیاری متوسط و شدید با میانگین وزن دانه‌های ۴۰/۱۱ گرم در هر طبق، بهترین عملکرد را در این صفت نسبت به سایر ارقام ایجاد نمود. در شرایط تنش کم‌آبیاری، رقم فلیکس با میانگین ۳/۲۲ درصد کاهش و رقم اسکار با میانگین ۲۶/۸۴ درصد کاهش در دامنه تغییرات ۲۷/۱۷ – ۲۶/۵۱ درصد در شرایط تنش متوسط و شدید، به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین کاهش را در وزن دانه‌های هر طبق در بین ارقام مورد بررسی نسبت به حالت آبیاری معمول (شاهد) داشتند. کاهش رطوبت خاک در طول دورهٔ رشد، به‌ویژه در مرحله زایشی، باعث نقصان فتوسنتز به‌عنوان مبدأ مهم پر شدن دانه و کاهش سرعت و طول دوره پر شدن دانه و در نتیجه کاهش معنی‌دار وزن دانه‌ها در طبق می‌گردد، در صورتی که تقاضای زیاد دانه‌ها (مقصد) همچنان وجود دارد (کریمی و سپهری ۲۰۱۰). بنابراین این احتمال وجود دارد که تنش کم‌آبیاری با کاهش سطح برگ، همچنین تأثیر در بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز، موجب محدود شدن انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه‌ها شده و در نتیجه مدّت زمان پرشدن دانه‌ها و وزن آن‌ها کاهش پیدا کرده است. از سوی دیگر دانه‌های با وزن بالاتر، از سرعت پر شدن بالاتری نسبت به دانه‌های با وزن کم‌تر برخوردار می‌باشند (سیدشریفی ۲۰۱۷). کاظم‌علیلو و همکاران (۲۰۱۷) نیز به نتایج مشابهی دست پیدا کردند. به‌نظر می‌رسد کمبود آب طی مرحله زایشی باعث کاهش قدرت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی شده و همین عامل در اُفت تعداد گل‌چه‌های بارور طبق و همچنین کاهش وزن دانه‌های تولید شده مؤثر می‌باشد و در نتیجه تنش کم‌آبیاری در طول مرحله تشکیل دانه، موجب کاهش در روند هر دو صفت تعداد و وزن دانه‌های پُر در هر طبق گردید (جدول ۸).

جدول ۸ – ضرائب همبستگی عملکرد دانه آفتابگردان و سایر صفات مورد بررسی.

صفات مورد بررسی	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
ارتفاع ساقه (X_1)	۱							
قطر ساقه (X_2)	۰/۸۵۱**	۱						
قطر طبق (X_3)	۰/۷۸۲**	۰/۸۲۷**	۱					
تعداد دانه در طبق (X_4)	۰/۴۸۷*	۰/۵۴۰*	۰/۶۷۲**	۱				
وزن دانه‌ها در طبق (X_5)	۰/۷۶۲**	۰/۶۹۸**	۰/۵۷۹**	۰/۵۹۰**	۱			
درصد روغن دانه (X_6)	۰/۵۵۶**	۰/۷۰۱**	۰/۷۴۴**	۰/۸۵۴**	۰/۴۵۸*	۱		
عملکرد بیولوژیک (X_7)	۰/۶۹۷**	۰/۸۱۶**	۰/۸۳۰**	۰/۶۹۴**	۰/۵۹۹**	۰/۷۱۶**	۱	
عملکرد دانه (X_8)	۰/۷۶۲**	۰/۶۹۹**	۰/۵۷۹**	۰/۵۸۹**	۰/۹۹۹**	۰/۴۵۸*	۰/۵۹۹**	۱

n.s، * و ** به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد احتمال می باشد.

درصد روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشـــان داد، اثرات تنش کم‌آبیاری و رقم بر روی درصـــد روغن دانه در ســـطح احتمال یک درصـــد دارای اختلاف آماری معنی‌دار اســـت (جدول ۴). تنش کم آبیاری با ۲۳/۵۳ درصـــد کاهش در میزان روغن موجب گردید تا کم‌ترین درصـــد روغن دانه

با میانگین ۲۶/۶۷ درصد در تنش کم‌آبیاری شدید نسبت به بیش ترین درصد روغن دانه با میانگین ۳۴/۸۸ درصد در تیمار شاهد، به‌دست آید (جدول ۵). شاید به‌توان دلیل کاهش درصد روغن در شرایط تنش خشکی را تسریع در رسیدگی دانه که عاملی است برای فرار گیاه از خشکی، توجیه کرد؛ زیرا در دانه‌ها ابتدا کربوهیدرات‌ها تجمع می‌یابند و سپس این ماده به روغن و یا هر ماده دیگر تبدیل می‌شود، پس هرچه طول مدّت پر شدن دانه بیش‌تر باشد، درصد روغن نیز بالاتر خواهد رفت. طاهرآموز و قلاوند (۲۰۱۸) نیز گزارش دادند، تسریع در رسیدگی فرصت کافی برای سنتز روغن از پروتئین های ذخیره شده در دانه را از گیاه سلب کرده، بنابراین درصد روغن کاهش خواهد یافت. دلیل دیگر کاهش درصد روغن دانه در زمان تنش کم‌آبی را می توان به افزایش تنفس گیاه و انرژی نگهداری پایه گیاه و کاهش ذخایر چربی و همچنین نوسان فتوسنتز جاری در نتیجه کمبود آب و کاهش ارسال مواد پرورده به دانه ها و کاهش توانایی دانه ها در تبدیل ساکارز به نشاسته و در نهایت تولید روغن دانه نسبت داد. در تحقیقات داودی و همکاران (۲۰۱۹) هم به کاهش درصد روغن در اثر تنش کم آبی اشاره شده است. ارقام مورد بررسی با داشتن ویژگی های خاص هر رقم و تحت تأثیر عوامل محیطی، دارای اختلاف ۳۱/۴۵ درصدی در میزان درصد روغن دانه بودند، به‌طوری‌که رقم اسکار با میانگین ۳۵/۹۲ درصد و رقم لاباد با میانگین ۲۴/۶۲ درصد روغن دانه، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین محتوای روغن دانه را تولید نمودند (جدول ۶). اله‌دادی و همکاران (۲۰۱۱) هم در تحقیقی جداگانه به وجود اختلاف معنی‌دار در میزان درصد روغن دانه ارقام آفتابگردان اشاره داشتند. با توجه به اینکه خشکی یکی از بزرگ ترین عوامل محدود کننده در سیستم‌های زراعی می‌باشد، شناسایی و استفاده ارقام متحمل به خشکی در مناطق کم آب، یکی از راه‌های مؤثر در کاهش خسارت عملکرد روغن پائین در آفتابگردان است.

عملکرد دانه

عملکرد دانه آفتابگردان همبستگی بالایی با آب قابل دسترس در خاک دارد و با افزایش سطح کمبود آب، جذب عناصر غذایی از خاک به کندی صورت گرفته و عملکرد به‌شدّت کاهش می‌یابد. بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از پژوهش (جدول ۴) نشان داد؛ اثرات تنش کم‌آبیاری و رقم بر روی عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش آن‌ها نیز بر روی این صفت در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود. بر طبق بررسی مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی و رقم (جدول ۷) بر روی عملکرد دانه؛ تنش کم‌آبیاری نسبت به حالت بدون تنش (شاهد)، موجب کاهش ۵۰ درصدی در عملکرد دانه گردیده است، به‌طوری‌که رقم اسکار در تیمار شاهد (بدون تنش خشکی) با میانگین عملکرد دانه ۵/۳۴ تن در هکتار و رقم شکیرا در شرایط تنش کم‌آبیاری شدید با میانگین عملکرد دانه ۲/۶۷ تن در هکتار، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه در هکتار را تولید نمودند. در پژوهش‌ی مشابه نیز گزارش گردید، در نتیجهٔ کاهش اجزای عملکرد دانه، تنش کمبود آب در مرحله گل‌دهی می‌تواند موجب کاهش بیش از ۵۰ درصدی عملکرد شود (مقصودی و همکاران ۲۰۱۹). بیش‌ترین عملکرد دانه در شرایط تنش کم‌آبیاری متوسط و شدید نیز توسط رقم لاباد، به‌ترتیب با میانگین‌های ۴/۴۱ و ۴/۲۸ تن در هکتار تولید شد. ارقام مورد بررسی نیز در شرایط تنش کم‌آبیاری متوسط و شدید واکنش‌های متفاوتی از لحاظ عملکرد دانه داشتند، به‌طوری‌که رقم اسکار با میانگین کاهش ۲۶/۹۶ درصدی در دامنه تغییرات ۲۶/۵۹ – ۲۷/۳۴ درصد و رقم فلیکس با میانگین ۳/۲۸ درصد کاهش، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش عملکرد دانه را نسبت به حالت آبیاری معمول داشتند. علی‌رغم بیش‌ترین کاهش عملکرد دانه رقم اسکار در شرایط تنش خشکی، بالاترین عملکرد دانه تولیدی در آزمایش حاضر نیز به این رقم تعلق داشت که این موضوع نشان از ظرفیت دانه‌بندی مناسب رقم اسکار (به‌عنوان رقم شاهد منطقه) در شرایط آبیاری نرمال (شاهد) در بین ارقام مورد بررسی است. احتمال دارد تنش رطوبتی در روند فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد

ذخیره‌ای از دیگر اندام‌ها به دانه‌ها تأثیر منفی گذاشته و همچنین با متأثر کردن فعالیت‌های آنزیمی، منجر به کاهش وزن دانه‌ها و چروکیدگی آن‌ها و در نهایت کاهش عملکرد دانه شده باشد. کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش کمبود آب به کاهش تعداد دانه و وزن آن‌ها در طبق و قطر طبق و افزایش درصد پوکی دانه‌ها نسبت داده شده است (ایزان و همکاران، ۲۰۲۰)، زیرا همبستگی بسیار مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و اجزای عملکرد از قبیل تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه و قطر طبق وجود دارد (سیزن و همکاران ۲۰۱۱). نتایج مشابهی نیز توسط الِنا و پائولا (۲۰۱۰) و برخی دیگر از محقّقین به‌دست آمده است.

عملکرد بیولوژیک

یکی از اوّلین نشانه‌های کمبود آب، کاهش تورژسانس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌هاست. نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد؛ اثرات تنش کم‌آبیاری، رقم و برهمکنش آن‌ها بر روی صفت عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک و پنج درصد اختلاف آماری معنی‌دار ایجاد نموده است. آنچنان‌که از نتایج مقایسه میانگین برهمکنش‌ها (جدول ۷) پیداست؛ تنش کم‌آبیاری با کاهش آب قابل دسترس گیاه موجب کاهش ۴۵/۰۸ درصدی در عملکرد بیولوژیک تولید شده در هر هکتار گردید، به‌طوری‌که رقم فلیکس در شرایط نرمال آبیاری با میانگین ۱۸/۶۱ تن در هکتار، بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک و رقم شکیرا در شرایط تنش شدید کم‌آبیاری با میانگین ۱۰/۲۲ تن در هکتار، کم‌ترین عملکرد بیولوژیک را تولید نمودند. افزایش عملکرد بیولوژیک در شرایط نرمال آبیاری می‌تواند ناشی از افزایش شاخص سطح برگ باشد که منجر به افزایش سرعت رشد محصول گردیده است (رفیعی و همکاران ۲۰۱۳). بدیهی است که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه و در نهایت عملکرد آن دچار نقصان می‌شود (کورل و همکاران ۲۰۱۲). با کاهش رشد سلول، اندازهٔ اندام محدود شده و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی بر روی گیاهان را می‌توان با اندازهٔ کوچک‌تر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان (جلیلیان و همکاران ۲۰۱۲) و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی تشخیص داد (حیدری و همکاران ۲۰۱۹). همچنین گزارش شده است که تنش کمبود آب؛ توزیع هورمون‌ها و تولید و انتقال کربوهیدرات‌ها در گیاهان را کاهش داده و موجب کاهش عملکرد بیولوژیک می‌شود (مرادی‌قهدریجانی و همکاران ۲۰۱۷). محتوای منیزیم، فسفر و مس در برگ‌های همهٔ ژنوتیپ‌های آفتابگردان تحت تنش کمبود آب کاهش یافته و می‌تواند به‌عنوان معیار انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به کم‌آبی استفاده گردد (کاناوار و کاپتان ۲۰۱۴). در تحقیقات مهرپویان و همکاران (۲۰۱۰) نیز بیش‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک در شرایط نرمال آبیاری به‌دست آمد.

همبستگی صفات مورد بررسی آفتابگردان

نتایج بررسی همبستگی صفات مورد بررسی آفتابگردان (جدول ۸) نشان داد، بیش‌ترین میزان همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با وزن دانه‌ها در طبق (۰/۹۹۹**) وجود دارد و اثبات می‌نماید هر عاملی که موجب افزایش در وزن دانه‌های طبق شود، بهره‌وری عملکرد دانه در هکتار را بالا می‌برد. در بین صفات رویشی نیز، بیش‌ترین میزان همبستگی عملکرد دانه (۰/۷۶۲**) با ارتفاع ساقه و کم‌ترین میزان آن با قطر طبق (۰/۵۷۹**) وجود داشت. همچنین درصد روغن دانه بیش‌ترین (۰/۸۵۴**) و (۰/۷۱۶**) همبستگی را به‌ترتیب با تعداد دانه در طبق و عملکرد بیولوژیک دارا بود، به‌نظر می‌رسد با افزایش تعداد دانه‌ها در طبق، اندازهٔ دانه‌ها کوچک‌تر و نسبت مغز به پوسته بیش‌تر شده است و افزایش در میزان ماده‌خشک کل گیاه، نیز نشان از تولید و ذخیرهٔ بیش‌تر مواد فتوسنتزی و در نتیجه اسکلت‌های کربنی بیش‌تر برای تولید روغن دانه دارد. پوست دانهٔ آفتابگردان مقدار زیادی سلولز دارد و این سلولز می‌تواند مقدار زیادی از روغن را جذب کند و میزان آن را در مغز دانه کاهش دهد (امامی‌بیستگانی و همکاران، ۲۰۱۱). گزارش شده است، همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری بین عملکرد دانه آفتابگردان از یک‌طرف و قطر ساقه،

تعداد کل دانه در هر طبق و وزن دانه‌ها در طبق از طرف دیگر وجود دارد (هلادنی و همکاران ۲۰۱۰).

نتیجه‌گیری

به‌نظر می‌رسد علی‌رغم مقاومت نسبی آفتابگردان به تنش کم‌آبی، حداکثر عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال تولید می‌گردد. ارقام اسکار، شکیرا و مونالیزا در تنش کم‌آبیاری متوسط و شدید با وجود کاهش در عملکرد دانه نسبت به حالت شاهد، امّا تفاوت آماری معنی‌داری در سطوح کم‌آبیاری ندارند و این موضوع نشان از مقاومت نسبی این ارقام به تنش کمبود آب شدید می‌باشد، ارقام فلیکس و لاباد هم در برابر تنش کمبود آب، مقاومت بالایی دارند و با کاهش آبیاری در هر دو تیمار متوسط و شدید نسبت به حالت آبیاری نرمال، کاهش آماری معنی‌داری در عملکرد دانه در هیچ از یک تیمارهای آبیاری ایجاد نمی‌گردد و در رقم ساوانا نیز بین تیمار کم‌آبیاری متوسط با دو تیمار آبیاری دیگر، اختلاف آماری معنی‌دار وجود ندارد. بنابراین رقم فلیکس با توجه به کم‌ترین کاهش عملکر دانه در شرایط کم آبی شدید و رقم لاباد نیز با توجه به بیش‌ترین میزان عملکرد دانه تولیدی در هر دو سطح تنش کم‌آبی نسبت به تیمار آبیاری معمول، به‌عنوان ارقام برتر در شرایط تنش کمبود آب معرفی و در نهایت نیز پیشنهاد می‌گردد در مناطق با کمبود آب آبیاری در ناحیه شمال خوزستان، به‌منظور صرفه‌جوئی و مصرف بهینه آب، ضمن بررسی شرایط موجود، نسبت به انتخاب تیمارهای جایگزین آبیاری در زمان کشت ارقام مورد نظر، اقدام و آب مازاد به‌مصرف کشت‌های دیگر اختصاص یابد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حوزه معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز به جهت تامین هزینه مورد نیاز این تحقیق که قسمتی از قرارداد پژوهانه به شماره ۹۸/۳/۰۵/۱۴۹۰۹ مورخ ۱۳۹۸/۰۳/۱۱ بود و نیز از مهندس محمود شاهی، مسئول مزارع کشاورزی مرکز تحقیقات صفی‌آباد شهرستان دزفول، به جهت همکاری و در اختیار قرار دادن امکانات اجرایی آزمایش تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

Alahdadi I, Oraki H and Parhizkar Khajani F. 2011. Investigation of the fatty acid compositions and some chemical characteristics in sunflower hybrids under water deficit stress. Journal of Food Science and Technology (Iran), 8 (28). 9 – 18. (In Persian).

Asadzadeh N, Moosavi S GH, and Seghatoleslami MJ. 2017. Effect of irrigation regimes and application of nano and conventional ZnO and SiO2 fertilizers on yield, yield components and water use efficiency of sunflower (*Helianthus annus* L.). Applied Research in Field Crops, 30 (1 – 114). 1 - 17. (In Persian).

Banaei - Asl F, Toorchi M, Norouzi M and Shakiba M. 2013. Effect of drought stress on yield and yield components of some sunflower recombinant inbred lines. International Journal Biosciences, 3. 50 - 60.

Canavar Ö, and Kaptan M A. 2014. Changes In macro and micro plant nutrients of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress. Scientific Papers. Series A. Agronomy, 57 (1). 136 – 139.

Corell M, Garcia MC, Contreras JI, Segura ML and Cermeño P. 2012. Effect of water stress on S alvia officinalis L. bioproductivity and Its bioelement concentrations. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 43 (1 - 2). 419 - 425.

Davoudi SH, Mirshekari b, Mirmahmodi T, Farahvash F and Yazdanseta S. 2019. The effect of seed priming with salicylic acid and ascorbic acid on antioxidant activity, seed yield and oil percentage of sunflower (*Helianthus annuus L.*) under normal and water stress conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences, 12 (4). 1251 – 1262. (In Persian).

Elena B and Paula I. 2010. The water stress resistance to some foreign sunflower hybrids. Journal of horticulture, Forestry and Biotechnology, 3. 81 - 84.

Emami Bistgani Z, Siadat S A, Bakhshande A, Alami Saeid KH and Shiresmaeili GH H. 2011. Effect of plant density on yield and quality traits of four sunflower genotypes. Journal of Crop Production and Processing, 1 (2). 91 – 103. (In Persian).

Fernández - Luqueño F, López - Valdez F, Miranda - Arámbula M, Rosas - Morales M, Pariona N and Espinoza - Zapata R. 2014. An introduction to the sunflower crop. Nova Science Publishers Inc: 978 – 1 – 63117 - 347-9. 1 – 18.

Ghaffari M, Toorchi M, Valizadeh M and Shakiba MR. 2012. Morpho - physiological screening of sunflower inbred lines under drought stress condition. Turkish journal of Field Crops, 17 (2). 185 - 190.

Heidari M, Paydar A, Baradarn Firozabad M and Abedinin Esfalati M. 2019. The effect of drought stress and application of humic on quantitative yield, photosynthetic pigments, and mineral nutrients content in sunflower seeds. Iranian Journal of Field Crop Science, 50 (4) – 51 – 62. (In Persian).

Hladni N, Jocić S, Miklič V, Mijić A, Saftić - Panković D and Škorić D. 2010. Effect of morphological and physiological traits on seed yield and oil content in sunflower. Helia, 33 (53). 101 - 116.

Izan T, Javanmard A, Shekari F, Sabaghnia N and Amin abbasi A. 2020. Evaluation of yield, yield components and some physiological traits of sunflower with integrative application of biological, chemical, and organic fertilizers under different irrigation levels. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30 (3). 87 – 111. (In Persian).

Jalilian J, Modarres - Sanavy SAM, Saberali S F and Sadat - Asilan K. 2012. Effects of the combination of beneficial microbes and nitrogen on sunflower seed yields and seed quality traits under different irrigation regimes. Field Crops Research, 127. 26 - 34.

Karimi - Kakhaki M and Sepehri A. 2010. Effect of deficit irrigation at reproductive growth stage on remobilization of dry matter in four sunflower (*Helianthus annus* L.) cultivars. Journal of Crop Plants of Sciences Iran, 12 (4) 422 – 435. (In Persian).

Kaya MD and Kolsarici Ö. 2011. Water use features of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids irrigated at different growth stages. Tarla bitkileri merkez araştırma enstitüsü dergisi, 20 (1). 1 – 5.

Kazemalilou S, Najafi N and Reyhanitabar A. 2017. Increasing the yield and yield components of sunflower by integrated application of phosphorus and sewage sludge under optimum and limited irrigation conditions. Journal of Water and Soil, 31 (6). 1637 - 1650. (In Persian).

Maghsoudi1 B, Lak Sh, Ghaffari M, Alavi Fazel M and Sakinezhad T. 2019. Effect of agronomic traits and drought resistance indices on determination of susceptible and tolerant sunflower lines. Agricultural Research Journal, 11 (4). 339 - 358. (In Persian).

Martin DL, Stegman EC and Fereres E. 1990. Irrigation scheduling principles. IN: Management of Farm Irrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph. MI. 1990, p 155 – 203. 19 fig. 9 tab. 81 ref.

Mehrpouyan M, Gulshan AN and Sayfzadea S. 2010. Effect of irrigation stop at different growth stages on some agronomic traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under three plant densities in Takestan region. Iran. Plant Ecophysiology, 2. 137 - 144.

Melnyk A, Akuaku J and Makarchuk A. 2017. State and prospects of sunflower production in ukraine. Agroforestry, 2 (3). 116 – 123.

Mojaddam M. 2016. Effect of drought stress on physiological characteristics and performance Sunflower grain yield at different levels of nitrogen. Electronic Journal Crop Production, 9 (4). 121 – 136. (In Persian).

Moradi - Ghahderijani M, Jafarian S and Keshavarz H. 2017. Alleviation of water stress effects and improved oil yield in sunflower by application of soil and foliar amendments. Rhizosphere, 4. 54 - 61.

Nagarathna TK, Shadakshari YG, Parama VR, Jagadish KS and Puttarangaswamy KT. 2012. Examination of root characters, isotope discrimination, physiological and morphological traits and their relationship used to identify the drought tolerant sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes. Helia, 35 (56). 1 - 8.

Onemli F and Gucer T. 2010. Response to drought of some wild species of Helianthus at seedling growth stage. Helia, 33 (53). 45 - 53.

Pekcan V, Evci G, Yilmaz M I, Nalcaiyi A S B, Erdal S Ç, Cicek N, ... and Kaya Y. 2015. Drought effects on yield traits of some sunflower inbred lines. Poljoprivreda i sumarstvo, 61 (4). 101–107.

Pourtaghi A, Darvish F, Habibi D, Nourmohammadi G and Daneshian J. 2011. Effect of irrigation water deficit on antioxidant activity and yield of some sunflower hybrids. Australian journal of Crop Science, 5 (2). 197–204.

Rafiei F, Darbaghshahi M R N, Rezai A and Nasiri B M. 2013. Survey of yield and yield components of sunflower cultivars under drought stress. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 1. 1628 - 1638.

Rahimizadeh M, Kashani A, Zare fizabady A, Madani H and Soltani E. 2010. Effect of micronutrient fertilizers on sunflower growth and yield in drought stress condition. Electronic journal Crop Production, 3 (1). 57-72. (In Persian).

Rauf A, Maqsood M, Ahmad A and Gondal A S. 2012. Yield and oil content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) as influenced by spacing and reduced irrigation condition. Crop Production, 1 (1). 41 - 45.

Sarvari M, Darvishzadeh R and Najafzadeh R. 2016. Morphological and molecular responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) lines to drought stress. Iranian journal of Genetics and Plant Breeding, 5 (1). 40 - 56.

Seghatoleslami M J, Bradaran R, Ansarinia E L H A M and Mousavi S G. 2012. Effect of irrigation and nitrogen level on yield, yield components and some morphological traits of sunflower. Pakistan Journal of Botany, 44 (5). 1551 - 1555.

Seyed Sharifi R and Seyed Sharifi R. 2017. Effect of irrigation withholding in reproductive stages and biofertilizers on quantity and quality of yield and grain filling duration of sunflower (*Helianthus annus* L.). Journal of Crop Production and Processing, 7 (3). 99 -113. (In Persian).

Sezen S M, Yazar A, Kapur B and Tekin S. 2011. Comparison of drip and sprinkler irrigation strategies on sunflower seed and oil yield and quality under Mediterranean climatic conditions. Agricultural Water Management, 98 (7). 1153 - 1161.

Sheidaie S, Sadeghi H, Yari L, Oskouei B and Rahmani M. 2012. Effect of seed treatments on germination indices of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids under drought stress conditions. Technical journal of Engineering and Applied Sciences, 2 (7). 157 - 161.

Sorkhi F. 2019. Reaction of sunflower iroflor cultivar to water deficit tension and methods of bio phosphate fertilizer application in miandoab area. Scientific Journal of Crop Physiology, 41. 95 – 110. (In Persian).

Tabatabaei A and Shakeri E. 2012. Comparison of qualitative and quantitative traits and tolerance indices of sunflower cultivars under drought stress and non-stress conditions. Agronomi knowledge, 5 (8). 15 – 26. (In Persian).

Tahramooz A and Ghalavand A. 2018. Reducing the effects of water stress using vermicompost and mineral zeolite in sunflower (*Helianthus annus* L.). Journal of Agroecology, 10 (1). 81 – 93. (In Persian).

Totsky I V and Lyakh V A. 2015. Pollen selection for drought tolerance in sunflower. Helia, 38 (63). 211–220.

Vanclooster M, Gonzalez C, Vanderborght J, Mallants D and Diels J. 1994. An indirect calibration procedure for using TDR in solute transport studies. Special Publicatin (SP), 19 - 94. US Dep. of Interior. Bureau of Mines; Washington; DC, 215 - 226.