University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

Effect of Deficit Irrigation on Grain Yield and Quality Characteristics of Oil content of Sunflower (*Helianthus annus* L.)

Davoud Omidinasab[1]✉ | Moosa Meskarbashee[2]| Afrasiab Rahnama Ghahfarokhi[3]

1. Department of Production Engineering and Plant Genetics, College of Agriculture. Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Email: d-omidinasab@stu.scu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Production Engineering and Plant Genetics, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Email: mmeskarbashee@scu.ac.ir
3. Department of Production Engineering and Plant Genetics, College of agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Email: a.rahnama@scu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: January 19, 2023
Received in revised form: March 12, 2023
Accepted: March 15, 2023
Published online: September 23, 2023

Keywords:
Cultivar,
Felix,
impurity,
Labad,
oil percentage.

ABSTRACT

In order to evaluate the grain yield and the quality characteristics of sunflower grain oil in response to deficit irrigation (DI), a split plot experiment based on randomized complete block design with three replications and two factors was carried out at experimental farm of Safiabad agricultural and natural resources research and education center in 2019–2020 growing seasons. The factors were DI as the main factor (including control, moderate DI, and severe DI- based on the discharge of 50, 70, and 90% of field capacity) and cultivar as sub-factor (including Oscar, Felix, Shakira, Savana, Labad, and Monaliza). The results showed that deficit irrigation caused a significant difference in grain yield, grain number per head, grain weight per head, oil quality characteristics compared to the control. Deficit irrigation caused a significant reduction in grain yield, grain number per head, and oil yield by 49.94, 49.94, and 26.67%, respectively, compared to control. In addition, deficit irrigation increased iodine index, peroxide value, phosphorus, chlorophyll content, carotenoid content, and oil acidity; hence, impurity in oil and oil corruption was increased. In conclusion, Felix and Labad cultivars are recommend for cultivation in Dezful and similar regions due to having high grain yield and maintaining yield under deficit irrigation conditions.

Cite this article: Omidinasab, D., Meskarbashee, M., & Rahnama Ghahfarokhi, A. (2023). Effect of Deficit Irrigation on Grain Yield and Quality Characteristics of Oil content of Sunflower (*Helianthus annus* L.) . *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(3), 97-108. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.353827.654972.

© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2023.353827.654972

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۸۰۸۲

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های کیفیت روغن دانه ارقام آفتابگردان (*Helianthus annus* L.)

داود امیدی نسب[۱]✉ | موسی مسکرباشی[۲] | افراسیاب راهنما قهفرخی[۳]

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. رایانامه: d-omidinasab@stu.scu.ac.ir

۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:

درصد روغن،

رقم،

فلیکس،

لاباد،

ناخالصی.

چکیده

به‌منظور شناخت و بررسی عملکرد دانه و ویژگی‌های کیفی روغن دانه آفتابگردان تحت شرایط کم‌آبی، پژوهشی در سال زراعی ۱۳۹۹–۱۳۹۸ به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و با دو عامل: آبیاری به‌عنوان عامل اصلی (شاهد، کم‌آبیاری متوسط و کم‌آبیاری شدید – براساس تخلیه ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد از رطوبت قابل استفاده خاک) و رقم به‌عنوان عامل فرعی (شامل اسکار، فلیکس، شکیرا، ساوانا، لاباد و مونالیزا) در مزرعه آزمایشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد انجام گرفت. نتایج نشان داد که کم‌آبیاری بر تعداد و وزن دانه در طبق، عملکرد دانه و ویژگی‌های کیفی روغن دانه نسبت به شاهد در ارقام آفتابگردان، تفاوت آماری معنی‌دار ایجاد کرده است. تعداد دانه در طبق، وزن دانه در طبق، عملکرد و درصد روغن دانه به‌ترتیب ۴۵، ۴۹، ۵۰ و ۲۶ درصد، تحت تأثیر کم‌آبیاری شدید، کاهش پیدا کردند. همچنین کم‌آبیاری با افزایش شاخص‌های یدی، صابونی، میزان فسفر، ارزش پراکسید، کلروفیل، کاروتنوئید و اسیدیته روغن، موجب ایجاد ناخالصی و افزایش خاصیت فسادپذیری در روغن آفتابگردان شد. در نهایت ارقام فلیکس و لاباد باتوجه‌به عملکرد دانه بالا و حفظ عملکرد در شرایط کم‌آبیاری، به‌عنوان ارقام پُرمحصول و سازگار در منطقهٔ دزفول و مناطق مشابه پیشنهاد می‌شوند.

استناد: امیدی‌نسب، د.، مسکرباشی، م.، و راهنما قهفرخی، ا. (۱۴۰۲). تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های کیفیت روغن دانه ارقام آفتابگردان (*Helianthus annus* L.). *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۴(۳)، ۱۰۸-۹۷.

DOI: 10.22059/ijfcs.2023.353827.654972

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان

۱. مقدمه

آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) یکی از دانه‌های روغنی عمده در جهان است که به‌دلیل مناسب‌بودن نیازهای زراعی، عملکرد بالای روغن، بالابودن ارزش غذایی و نداشتن عوامل ضد تغذیه‌ای، سطح زیر کشت آن افزایش یافته است (Machekposhti *et al*., 2017). کشور ایران برای رفع نیازهای داخلی سالانه میلیون‌ها دلار صرف واردات روغن‌های گیاهی و کنجاله دانه‌های روغنی می‌کند و متأسفانه ۹۰ درصد روغن خوراکی مورد نیاز کشور از محل واردات تأمین و تنها ۱۰ درصد روغن در کشور تولید می‌شود (Kazemalilou *et al*., 2017). بنابراین، کاهش واردات روغن‌های گیاهی مستلزم برنامه‌ریزی همه‌جانبه و اصولی در زمینه حمایت از توسعه کشت دانه‌های روغنی می‌باشد. کم‌آبی ملایم از عوامل اصلی محدودکننده تولید آفتابگردان و کاهش‌دهندهٔ عملکرد در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آید (Moradi-Ghahderijani *et al*., 2017). بااین‌حال میزان کاهش عملکرد، به‌شدّت به کمبود آب و خصوصیات رقم بستگی دارد (Ghaffari *et al*., 2012). توانایی آفتابگردان در تحمل دوره‌های کوتاه تنش کمبود آب و با کاهش عملکرد در حد قابل قبول، یک خصوصیت ارزشمند برای این گیاه محسوب می‌شود؛ امّا دوره‌های طولانی‌مدّت کمبود شدید آب مخصوصاً در مراحل حساس رشد، موجب کاهش معنی‌دار تولید دانه می‌شود (Cheraghizade, 2018). از سوی دیگر ناخالصی‌های روغن نظیر رنگدانه‌ها، از جمله عوامل اصلی افزایش پراکسید در روغن خوراکی بوده و به‌نظر می‌رسد تحت تأثیر تنش‌های محیطی میزان آن‌ها در روغن افزایش می‌یابد. برای تهیه یک روغن با کیفیت خوب، رنگدانه‌های موجود در آن باید تا جای ممکن کاهش پیدا کنند. برخی ویژگی‌های کیفی روغن دانهٔ آفتابگردان عبارتند از عدد یدی (وزن ید مصرفی برای اشباع‌سازی اتصال‌های مضاعف در ۱۰۰ گرم روغن می‌باشد)، عدد صابونی (به میلی‌گرم هیدروکسید پتاسیمی گفته می‌شود که توسط یک گرم روغن جذب می‌شود و به‌عنوان شاخصی برای بررسی وزن مولکولی یا طول زنجیره اسیدهای چرب موجود در چربی‌ها و لیپیدها استفاده می‌شود)، عدد پراکسید (مقدار محصولات اوّلیه اکسیداسیون روغن (هیدرو پراکسیدها)، در مراحل اوّلیه فساد اکسیداتیو را نشان می‌دهد، یعنی خیلی قبل‌تر از اینکه بو و طعم نامطلوب قابل درک شده باشند)، فسفر روغن (در روغن‌های گیاهی؛ همراه با تری‌گلیسرید، معمولاً مقداری فسفولیپید وجود دارد که در آن اسیدفسفریک (و در اکثر موارد همراه با ترکیباتی دیگر از جمله یک باز آمینه مثل کولین)، جایگزین یک مولکول اسید چرب شده است)، اسیدیته آزاد روغن (نشان‌دهندهٔ میزان اسیدهای چرب آزاد برحسب اولئیک‌اسید است و پارامتر مهّمی است که کیفیت روغن را تعریف و بر حسب درصد بیان می‌شود)، کلروفیل (رنگدانهٔ سبزرنگی است که در روغن‌های تصفیه‌نشده، شروع فرآیندهای فتوشیمیایی را تحت تأثیر قرار داده و تبدیل اکسیژن را به یک حالت منفرد که باعث اکسیداسیون اسیدهای چرب اشباع نشده می‌شود، تسهیل می‌کند) و کاروتنوئیدها (هیدروکربن‌های غیر اشباع و رنگدانه‌های زرد، نارنجی و قرمز محلول در چربی هستند که از هشت واحد ایزوپرن سنتز شده‌اند، بنابراین اسکلت ساختمانی آن‌ها از حدود ۴۰ کربن تشکیل شده است). این ناخالصی‌ها طعم و مزه روغن را تغییر داده و موجب کاهش پایداری روغن در مقابل اکسیداسیون و در نتیجه کاهش زمان ماندگاری روغن می‌شوند و هدف اصلی از تصفیه روغن‌های خوراکی، جداسازی و کاهش ناخالصی‌های زیاد؛ از جمله اسیدهای چرب آزاد، ترکیبات صمغی و رنگدانه‌ها می‌باشد. بااین‌حال، ازبین‌بردن ناخالصی‌ها و سفیدکردن روغن، تبعات نامطلوبی هم دارد؛ چرا که موجب حذف ترکیباتی مانند کاروتن‌ها، فیتوسترول‌ها و اسکالن‌ها که جنبه‌های مفید تغذیه‌ای دارند، نیز می‌شوند (Mukasa *et al*., 2014). در پژوهش‌های دیگر از جمله (Alirezalu *et al*., 2011)، (Shirazi *et al*., 2018)، (Sha'bani *et al*., 2019) و (Hojjati, 2020) نیز به تأثیر ناخالصی‌ها در افزایش خاصیت فسادپذیری روغن اشاره شده است. لذا بررسی عواملی که در تعیین میزان ناخالصی‌های روغن تأثیرگذارند، حائز اهمیت است. باتوجه‌به اینکه بخش وسیعی از اراضی زیر کشت ایران در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک با میانگین بارندگی سالانه حدوداً ۲۴۰ میلی‌متر قرار دارند، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی عملکرد و کیفیت روغن دانهٔ ارقام مختلف آفتابگردان درارابطه‌با پاسخ به شرایط کم‌آبیاری اجرا شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر، به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در سال زراعی ۱۳۹۹ – ۱۳۹۸ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد دزفول اجرا شد. دزفول یکی از شهرستان‌های شمالی استان

خوزستان با طول جغرافیایی شرقی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی 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، در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

Bulkdensity (gcm^{-3})	Soil texture	Volumetric humidity		pH	EC (ds/m^{-1})	Depth
		PWP[2] (%)	FC[1] (%)			
1.61	Silty.Clay.Loamy	17.9	33	7.64	1.3	0 - 40

کم‌آبیاری به‌عنوان عامل اصلی (A) در سه 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 به‌عنوان عامل فرعی (B) در شش سطح، شامل ارقام: (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 شدند. ارقام مورد بررسی آفتابگردان همگی از نوع هیبرید سینگل‌کراس و خصوصیات آن‌ها نیز در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مشخصات ارقام مورد آزمایش.

Cultivar	Length of growing period (day)	Stem height (cm)	Head diameter (cm)	Thousand grain weight (gr)	Grain oil (%)	Grain yield (t/ha)
Oscar	118-133	163-205	14-19	33-44	35-49	1632-4917
Felix	118-133	165-201	14-18	31-48	34-49	1951-4806
Shakira	104-125	144-185	13-18	31-53	37-48	1631-4105
Savana	118-133	165-196	13-17	31-44	39-51	1948-4618
Labad	118-133	166-209	11-18	32-65	25-45	1895-5810
Monaliza	104-125	139-185	11-18	38-50	33-50	2832-4232

منبع: شرکت شهید رجائی شهرستان دزفول.

کاشت در تاریخ بیست و سوم اسفندماه ۱۳۹۸ به‌صورت دستی، در تراکم ۱۱ بوته در متر مربع و فواصل بین بوته‌ای ۱۲ سانتی‌متر انجام شد. تا مرحله هشت‌برگی، آبیاری‌ها بر اساس تخلیه ۵۰ درصد رطوبت از ظرفیت زراعی خاک در عمق توسعه مؤثر ریشه (صفر تا ۴۰ سانتی‌متر) در همه تیمارها انجام و از این مرحله به بعد تیمارهای آبیاری دقیقاً اعمال شد. عملیات آماده‌سازی زمین قبل از کشت به‌صورت شخم، دو دیسک عمود برهم و ایجاد جوی و پشته انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط کاشت به‌طول چهار متر با فاصله خطوط ۷۵ سانتی‌متر بود. بین کرت‌ها در هر تکرار، دو متر و بین تکرارها نیز سه فارو کشت‌نشده (به‌میزان ۱/۵ متر)، به‌عنوان فاصله در نظر گرفته شد. مراقبت‌های زراعی از جمله کوددهی و حذف علف‌های هرز، حسب نیاز انجام شد. به‌منظور تعیین درصد رطوبت خاک و زمان دقیق آبیاری در تیمارهای کم‌آبیاری، بلافاصله پس از آبیاری، به‌صورت روزانه و متوالی و بااستفاده‌از آگر از عمق صفر تا ۴۰ سانتی‌متری خاک، نمونه‌برداری و بلافاصله به آزمایشگاه خاک‌شناسی مرکز تحقیقات صفی‌آباد منتقل شد. پس از اندازه‌گیری وزن تر و خشک نمونه‌ها، از رابطهٔ یک جهت تعیین درصد رطوبت وزنی استفاده شد.

$$\text{درصد رطوبت خاک بر حسب وزن خشک} = \frac{\text{وزن خشک نمونه خاک} - \text{وزن تر نمونه خاک}}{\text{وزن خشک نمونه خاک}} \times 100 \qquad \text{رابطهٔ ۱}$$

پس از مشخص‌شدن درصد رطوبت وزنی خاک، درصد رطوبت حجمی از حاصل ضرب درصد رطوبت وزنی در وزن مخصوص ظاهری خاک (جدول ۱) محاسبه و سپس بااستفاده‌از رابطهٔ دو، درصد آب قابل استفاده (D) (Martin *et al.*, 1990) تعیین شد:

$$D(\%) = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}\frac{FCi - \theta i}{FCi - Wp} \times 100 \qquad \text{رابطهٔ ۲}$$

1. Field Capacity
2. Permanent Wilting Point

که در آن n تعداد نمونه خاک گرفته‌شده از عمق مؤثر توسعه ریشه، FCi رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه در نمونه iام، θi رطوبت خاک در نمونه iام و Wp رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم می‌باشد و درصد تخلیه آب قابل استفاده نیز بااستفاده‌از رابطهٔ سه محاسبه شد (Vanclooster *et al*., 1994).

رابطهٔ ۳ تخلیه آب قابل استفاده (٪) = ۱۰۰ − D

پس از جداسازی دانه‌ها از طبق، دانه‌های پُر در پنج نمونه تصادفی طبق، شمارش و بعد از بوجاری به‌وسیلهٔ ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین انجام، سپس میانگین آن‌ها محاسبه و ثبت شد. بعد از عملیات بوجاری نیز، دانه‌ها از طبق‌های برداشت‌شده هر کرت در دمای حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد 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 دانهٔ آفتابگردان، از بذور به‌دست‌آمده از هر کرت، یک نمونهٔ تصادفی ۱۰ گرمی جدا و پس از آسیاب‌کردن، درصد روغن پودر دانه‌ها در آزمایشگاه، توسط دستگاه سوکسله (Model 2050) و استخراج پیوسته بااستفاده‌از حلال غیر قطبی هگزان تعیین شد. برای تعیین اسیدیته روغن به ۱۰ گرم از نمونه‌های روغن آفتابگردان، ۵۰ میلی‌لیتر حلال اتانول: کلروفرم (به نسبت ۵۰:۵۰) اضافه، سپس در مجاورت معرف فنل فتالئین با پتاس یک‌دهم نرمال تیتر شد.

رابطهٔ ۴ $$\%\text{Free Fatty Acid} = \frac{(\text{mL of titrant})(\text{Nof titrant})(\text{Mwt. of fatty acid})}{(\text{sample wt.})(10)}$$

که در این رابطه، N: نرمالیته، M: وزن مولکولی اسیداولئیک (۲۸۲) و mL: حجم پتاس مصرفی می‌باشد. غلظت کلروفیل و کاروتنوئید نمونه‌های روغن آفتابگردان نیز بااستفاده‌از روش Roca & Minguez (2001) و بااستفاده‌از دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد. برای اندازه‌گیری شاخص یدی، شاخص صابونی و ارزش پراکسید روغن دانهٔ آفتابگردان، از روش انجمن شیمیدانان روغن آمریکا[1] استفاده شد. همچنین مقدار فسفر روغن بر اساس استاندارد IUPAC با شمارهٔ IID. 16. 20 از طریق خاکسترکردن روغن و تهیهٔ خاکستر محلول در اسید تعیین شد. میزان جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. سپس با رسم منحنی استاندارد فسفات و مقایسه با نمونه‌های استاندارد، غلظت فسفر در هر نمونه تعیین شد (Paquot, 1970). در نهایت، تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.4 انجام و میانگین‌ها نیز بااستفاده‌از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات کم‌آبیاری و رقم بر درصد روغن دانهٔ آفتابگردان، فسفر روغن دانه و همچنین برهمکنش کم‌آبیاری و رقم بر شاخص یدی روغن دانه، شاخص صابونی روغن دانه، کلروفیل روغن دانه و درصد اسیدیته روغن دانه در سطح احتمال یک درصد و بر تعداد دانهٔ پُر در طبق، وزن دانهٔ پُر در طبق و عملکرد دانه، ارزش پراکسیداز روغن دانه و کاروتنوئید روغن دانه در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت آماری معنی‌دار بود (جدول تجزیه واریانس گزارش نشده است).

۳–۱. تعداد دانهٔ پُر در طبق

بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش کم‌آبیاری و رقم (جدول ۴)، با کاهش رطوبت قابل استفاده برای گیاه، از تعداد دانه در هر طبق به‌میزان ۴۵/۶۹ درصد کاسته شد، به‌طوری‌که رقم اسکار در تیمار شاهد با میانگین ۱۶۸۷/۷۳ و رقم شکیرا در تنش شدید کم‌آبیاری با میانگین ۹۱۶/۴۷، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد دانهٔ پُر در هر طبق را تولید کردند. به‌نظر می‌رسد برخورد دوران رشد رویشی و زایشی گیاه با تنش رطوبتی، به‌ویژه در مرحله گل‌دهی و گرده‌افشانی، باعث خشک‌شدن دانه‌های گرده، کلاله مادگی و اختلال در گرده افشانی شده و در نتیجه افزایش سقط گلچه‌های درون طبق، یکی از دلایل کاهش تعداد دانه در طبق بوده است. در پژوهشی مشابه نیز اظهار شده است که کمبود آب طی مرحله زایشی باعث کاهش قدرت مقصد[2] در جذب مواد فتوسنتزی شده

1. American Oil Chemists' Society (AOCS)
2. Sink

و همین موضوع عاملی در اُفت تعداد گلچه‌های بارور طبق بوده است (Mojaddam, 2016). از طرف دیگر، با کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی و کاهش قطر طبق، از پتانسیل تولید دانه در طبق نیز کاسته می‌شود (Asadzadeh *et al*., 2017).

۳-۲. وزن دانهٔ پُر در طبق

مقایسه میانگین‌های برهمکنش کم‌آبیاری و رقم (جدول ۴)، نشان از کاهش ۴۹/۹۴ درصدی در وزن دانه در طبق در اثر کم‌آبیاری داشت، به‌طوری‌که در تیمار شاهد (بدون کم‌آبیاری)، رقم اسکار با ۴۸/۵۳ گرم، بیش‌ترین وزن دانه در طبق و در تیمار کم‌آبیاری شدید، رقم شکیرا با ۲۴/۲۹ گرم، کم‌ترین وزن دانه در طبق را به خود اختصاص دادند. 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 کرد. 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. گزارش شده است که کاهش رطوبت خاک در طول دورهٔ رشد، به‌ویژه در مرحله زایشی، باعث نقصان فتوسنتز به‌عنوان مبدأ[1] مهم پرشدن دانه و کاهش سرعت و طول دوره پرشدن دانه و در نتیجه کاهش معنی‌دار وزن دانه‌ها در طبق می‌شود، درصورتی‌که تقاضای زیاد دانه‌ها (مقصد) همچنان وجود دارد (Karimi-Kakhaki & Sepehri, 2010). بنابراین، این احتمال وجود دارد که کم‌آبیاری با کاهش سطح برگ، همچنین تأثیر در بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز، موجب محدودشدن انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه‌ها شده و در نتیجه مدّت زمان پرشدن دانه‌ها و وزن آن‌ها کاهش پیدا کرده است.

۳-۳. عملکرد دانه

مقایسه میانگین برهمکنش کم‌آبیاری و رقم نشان داد که تیمار کم‌آبیاری نسبت به تیمار شاهد، موجب کاهش ۵۰ درصدی در عملکرد دانه شد (جدول ۴)، به‌طوری‌که رقم اسکار در تیمار شاهد (بدون تنش خشکی) با میانگین عملکرد دانه ۵/۳۴ تن در هکتار و رقم شکیرا در شرایط کم‌آبیاری شدید با میانگین عملکرد دانه ۲/۶۷ تن در هکتار، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه در هکتار را تولید کردند. بیش‌ترین عملکرد دانه در شرایط 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 کم‌آبیاری متوسط و شدید واکنش‌های متفاوتی از لحاظ عملکرد دانه داشتند، به‌طوری‌که رقم اسکار با میانگین کاهش ۲۶/۹۶ درصدی در دامنه تغییرات ۲۷/۳۴-۲۶/۵۹ درصد و رقم فلیکس با میانگین ۳/۲۸ درصد کاهش، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش عملکرد دانه را نسبت به حالت آبیاری معمول داشتند. در پژوهشی مشابه نیز گزارش شد که در نتیجهٔ کاهش اجزای عملکرد دانه، تنش کمبود آب در مرحله گل‌دهی می‌تواند موجب کاهش بیش از ۵۰ درصدی عملکرد شود (Maghsoudi *et al*., 2019). به‌نظر می‌رسد هر گونه تأخیر در آبیاری منجر به کاهش عملکرد دانه از طریق کاهش طول دورهٔ مرحلهٔ زایشی، تولید تعداد کم‌تر بذر و عدم امکان انتقال آسیمیلات‌ها برای پرشدن دانه‌ها می‌شود. همچنین 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 (Izan *et al*., 2020)، 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 (Sezen *et al*., 2011).

۳-۴. درصد روغن دانه

کم‌آبیاری با ۲۳/۵۳ درصد کاهش در میزان روغن موجب شد تا کم‌ترین درصد روغن دانه با میانگین ۲۶/۶۷ درصد در کم‌آبیاری شدید و بیش‌ترین درصد روغن دانه با میانگین ۳۴/۸۸ درصد در تیمار شاهد، به‌دست آید (جدول ۳). احتمالاً کاهش درصد روغن در شرایط تنش کم‌آبی، تسریع در رسیدگی دانه جهت فرار گیاه از خشکی است، چرا که در دانه‌ها ابتدا کربوهیدرات‌ها تجمع می‌یابند و سپس این ماده به روغن و یا هر ماده دیگر تبدیل می شود، پس هرچه طول مدّت پر شدن دانه بیش‌تر باشد، درصد روغن نیز بالاتر خواهد رفت. گزارش شده است که تسریع در رسیدگی فرصت کافی برای سنتز روغن از پروتئین‌های ذخیره‌شده در دانه را از گیاه سلب کرده، بنابراین درصد روغن کاهش خواهد یافت (Tahramooz & Ghalavand, 2018). ارقام مورد بررسی

2. Source

نیز با دا شتن ویژگی‌های خاص هر رقم و تحت تأثیر عوامل محیطی، دارای اختلاف ۳۱/۴۵ در صدی در میزان در صد روغن دانه بودند، به‌طوری که رقم اســکار با میانگین ۳۵/۹۲ و رقم لاباد با میانگین ۲۴/۶۲ درصــد، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین محتوای روغن دانه را تولید کردند (جدول ۳). Alahdadi *et al.* (2011) هم در تحقیقی جداگانه به وجود اختلاف معنی‌دار در میزان در صد روغن دانه ارقام آفتابگردان اشاره داشتند. این احتمال وجود دارد که ظرفیت دانه‌بندی متفاوت در ارقام آفتابگردان، باتوجه‌به ژنتیک و واکنش خاص هر رقم به شرایط آبیاری، موجب تولید درصد مختلف روغن در دانه‌ها شده باشد و همان‌طور که همبستگی درصد روغن و تعداد دانهٔ پُر در طبق نشــان می‌دهد (جدول ۵)، با افزایش تعداد دانه در طبق، درصــد روغن دانه نیز افزایش پیدا کرده است.

جدول ۳. میانگین اثرات کم‌آبیاری و رقم بر صفات کیفی آفتابگردان.

Irrigation treatments	Grain oil (%)	Oil phosphorus (µg/g)
Control	34.88[a]	13.31[c]
Moderate deficit irrigation	29.06[b]	14.47[b]
Severe deficit irrigation	26.67[b]	15.25[a]
Cultivars		
Oscar	35.92[a]	11.32[d]
Felix	31.04[b]	15.80[b]
Shakira	29.01[b]	14.94[b]
Savana	30.48[b]	20.27[a]
Labad	24.62[c]	10.54[d]
Monaliza	30.17[b]	13.17[c]

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵).

۳–۵. شاخص یدی روغن

بررسی نتایج، نشان از افزایش ۶۹/۵۳ درصدی شاخص یدی تحت تأثیر کم‌آبیاری دارد؛ به‌طوری‌که رقم لاباد در تیمار شاهد با میانگین ۵۴/۹۶ گرم ید در ۱۰۰ گرم روغن و رقم شکیرا در تنش شدید کم‌آبیاری با میانگین ۱۸۰/۴ گرم ید در ۱۰۰ گرم روغن، به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین میزان شاخص یدی روغن را در کل تیمارهای مورد بررسی دارا بودند (جدول ۴). میزان شاخص یدی در روغن‌هایی که حالت نرم و مایع دارند، بالاست؛ بنابراین در بسیاری از موارد با اندازه‌گیری سریع این اندیس می‌توان تاحدودی به نوع روغن پی برد و به‌طور کلی هدف از اندازه‌گیری اندیس یدی تعیین میزان غیر اشباعیت روغن می‌باشد. به‌نظر می‌رسد افزایش اسیدیته روغن در زمان کم‌آبیاری موجب افزایش درصد اسیدهای چرب آزاد و بالارفتن عدد یدی و در نتیجه خاصیت خشک‌شوندگی بیش‌تر در ارقام آفتابگردان شده است. گزارش شده است که افزایش عدد یدی باعث افزایش غیر اشباعیت روغن شده و حساسیت به اکسیداسیون بیش‌تر می‌شود (Alirezalu *et al.*, 2011). بررسی وضعیت ارقام آفتابگردان تحت تأثیر تیمارهای آبیاری نشان داد که رقم اسکار در کم‌آبیاری متوسط و شدید، به‌ترتیب ۱۰/۱۱ و ۱۸/۲۵ درصد نسبت به تیمار شاهد، رقم فلیکس ۱۴/۴۸ و ۱۸/۱۱ درصد، رقم شکیرا ۱۸/۶۰ و ۴۱/۲۴ درصد، رقم ساوانا ۴/۱۶ و ۹/۱۱ درصد، رقم لاباد ۴۱/۰۹ و ۵۳/۳۵ درصد و رقم مونالیزا ۳۸/۱۹ و ۴۰/۷۸ درصد، افزایش در شاخص یدی روغن نشان دادند (جدول ۴). در ارقام مختلف آفتابگردان تحت شرایط کم‌آبیاری، احتمالاً به‌دلیل متفاوت‌بودن میزان اسیدهای چرب آزاد (برحسب اولئیک‌اسید) و همچنین تعداد اتصال‌های مضاعف روغن دانه باتوجه‌به خصوصیات هر رقم، شاخص یدی روغن دانه متفاوت بوده است.

۳–۶. شاخص صابونی روغن

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، کم‌آبیاری موجب افزایش ۴۴/۳۶ درصد در شاخص صابونی روغن دانه در ارقام آفتابگردان شد، به‌طوری‌که رقم شکیرا در تیمار شاهد با میانگین ۵۹ میلی‌گرم هیدروکسید پتاسیم در هر گرم روغن و رقم مونالیزا در کم‌آبیاری شدید با میانگین ۱۹۲ میلی‌گرم هیدروکسید پتاسیم در هر گرم روغن، به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین شاخص صابونی را در بین تمامی سطوح تیمارهای آزمایشی دارا بودند (جدول ۴). علّت افزایش عدد صابونی در شرایط تنش کم‌آبی، احتمالاً به‌خاطر افزایش هیدرولیز تری‌گلیسریدهای روغن و افزایش اسیدهای چرب آزاد در آن می‌باشد. بررسی واکنش رقم به رقم در تیمارهای کم‌آبیاری

متوسط و شدید نیز نشان داد که عدد صابونی روغن در ارقام اسکار، فلیکس، شکیرا، ساوانا، لاباد و مونالیزا در تنش‌های کم‌آبیاری متوسط و شدید، به‌ترتیب ۴/۱۳ و ۹/۳۷، ۵/۴۳ و ۴۷/۲۷، ۵۰/۴۲ و ۶۴/۲۴، ۵/۶۹ و ۱۳/۴۳، ۱۵/۶۸ و ۴۷/۸۷، ۱۹/۲۶ و ۵۴/۱۶ درصد نسبت به تیمار شاهد، افزایش پیدا کردند. مقدار نسبتاً بالای عدد صابونی در ارقام آفتابگردان نشانهٔ مقدار زیادتری آسیل-گلیسرول‌ها با وزن مولکولی پایین می‌باشد، و بالا بودن آن در زمان کم‌آبی حاکی از نسبت بیشتر اسیدهای چرب با وزن مولکولی کم در ترکیب روغن می‌باشد و باتوجه‌به مقاومت هر رقم به شرایط کم‌آبیاری، میزان آن در ارقام مورد بررسی متفاوت بود.

۳-۷. ارزش پراکسید روغن

بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کم‌آبیاری اثر افزایشی بر ارزش پراکسید روغن دانه ارقام آفتابگردان دارد، به‌طوری‌که رقم لاباد در تیمار شاهد با میانگین ۰/۶۲ میلی‌اکی‌والان اکسیژن فعال در هر کیلوگرم روغن و رقم شکیرا در تیمار کم‌آبیاری شدید با ۶۳/۷۴ درصد افزایش و میانگین ۱/۷۱ میلی‌اکی‌والان اکسیژن فعال در هر کیلوگرم روغن، به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین ارزش پراکسید روغن را در تمامی تیمارهای آزمایشی دارا بودند (جدول ۴). مهّم‌ترین فرآیند تخریب روغن‌ها و چربی‌ها، رخ‌دادن واکنش اکسیداسیون در آن‌هاست که موجب پلی‌مریزاسیون و تندشدن طعم روغن‌ها و چربی‌ها و در نهایت کاهش ارزش تغذیه‌ای و ویژگی‌های کیفی فرآورده‌های غذایی حاوی چربی و همچنین کاهش زمان ماندگاری و پایداری در آن‌ها می‌شود (Sha'bani *et al*., 2019). به‌نظر می‌رسد در این پژوهش با افزایش پیوندهای دوگانه در ارقام آفتابگردان با عدد یدی بالا، روغن زودتر با اکسیژن ترکیب و نقاط فعال برای اکسیداسیون افزایش یافته که در نهایت منجر به افزایش پراکسید و کاهش پایداری اکسیداتیو در نمونه‌های تحت بررسی شده است. به‌طور کلی هر قدر که درجه غیر اشباعی روغن‌ها و چربی‌ها افزایش یابد حساسیت اکسیداتیوی بیش‌تر می‌شود (Alirezalu *et al*., 2011).

۳-۸. فسفر روغن

نتایج نشان داد که کم‌آبیاری موجب افزایش محتوای فسفر روغن شده است، به‌طوری‌که تیمار شاهد با میانگین ۱۳/۳۱ میکروگرم در هر گرم روغن و کم‌آبیاری شدید با ۱۲/۷۲ درصد رشد و میانگین ۱۵/۲۵ میکروگرم در هر گرم روغن، به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین میزان فسفر روغن را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۳). غلظت فسفر موجود در نمونه‌های روغن، شاخصی برای تعیین غلظت فسفولیپیدها است، فسفاتیدها به دو دلیل به‌منزلهٔ ماده زیان‌آور محسوب می‌شوند؛ اوّل اینکه این مواد دارای خاصیت امولسیفایری هستند و از این نظر در عملیات تصفیه روغن می‌توانند مقدار قابل توجهی از تری‌گلیسریدها را همراه با سایر ناخالصی‌ها جدا کرده و سبب کاهش بازده تولید شوند و دلیل دیگر این است که فسفاتیدها تحت اثر حرارت‌های بالا باعث تیره‌شدن رنگ روغن می‌شودند که این نیز قابل قبول نیست. در بین ارقام نیز باتوجه‌به ویژگی‌های کیفی روغن آن‌ها و تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی و شرایط محیط رشد، رقم ساونا با میانگین ۲۰/۲۷ و رقم لاباد با میانگین ۱۰/۵۴ میکروگرم فسفر در هر گرم روغن، بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت فسفر روغن دانه را دارا بودند (جدول ۳).

۳-۹. کلروفیل روغن

براساس نتایج، کم‌آبیاری محتوای کلروفیل روغن دانه را افزایش داد، به‌طوری‌که رقم فلیکس در تیمار شاهد با میانگین ۳/۱۰ میکروگرم در هر گرم روغن و رقم شکیرا در کم‌آبیاری شدید با ۸۰/۸۶ درصد افزایش و میانگین ۱۶/۲۰ میکرو گرم در هر گرم روغن، به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین میزان کلروفیل روغن دانه را دارا بودند (جدول ۴). رنگدانه‌های موجود در دانه روغنی علاوه‌بر ایجاد رنگ قهوه‌ای یا سبز نامطلوب در روغن، به‌عنوان پراکسیدان عمل کرده و سرعت اکسیداسیون روغن در حضور نور را افزایش می‌دهند، به‌طور کلی روغن‌های گیاهی حاوی این رنگدانه‌ها، از طرق مختلف آلوده می‌شوند (Hojjati, 2020). تأثیر کلروفیل در تولید گونه‌های فعال اکسیژن درون دانه نیز توسط (Smolikova *et al*., 2011) به اثبات رسیده است. در حالی‌که به‌نظر می‌رسد کاروتنوئیدها به‌عنوان نگهدارندهٔ طبیعی هستند، در عین حال نتایج تحقیق Mahoney *et al*. (2018) نیز نشان داد که هیچ تأثیر قابل توجهی از رنگ‌های گیاهی (که در آن سهم کلروفیل و کاروتنوئید متغیر بود) بر مقدار پراکسید روغن‌های تصفیه‌نشده وجود ندارد. در مراحل پایانی جنین‌زایی بذر، سیستم گرانای کلروپلاست دچار اختلال و کلروپلاست‌ها به آمیلوپلاست و الائوپلاست تبدیل می‌شوند؛ در طی این تبدیل، کلروفیل‌ها به‌طور کامل تجزیه نمی‌شوند و در پلاستید بذر باقی می‌مانند. بنابراین دانه‌ها حاوی مقادیری

کلروفیل هستند که در طول دورهٔ رسیدگی دانه و هم‌زمان با تجمع روغن، دچار تجزیه می‌شوند و چنانچه این دوره در شرایط تنش کوتاه شود، موجب تجمع محتوای کلروفیل باقیمانده و کاهش تحمل بذر در برابر تنش‌های غیر زنده می‌شود و در چنین شرایطی نیز محتوای کاروتنوئید، به‌عنوان آنتی‌اکسیدان در دانه افزایش می‌یابد. تخریب کلروفیل در طول رسیدن دانه ممکن است توسط اسیدآبسیزیک تنظیم شود (Smolikova *et al*., 2011).

۳–۱۰. کاروتنوئید روغن

بررسی نتایج مقایسات میانگین نشان داد که کم‌آبیاری موجب افزایش ۹۳/۱۳ درصدی میزان کاروتنوئید روغن دانه ارقام آفتابگردان می‌شود، به‌طوری‌که رقم فلیکس با میانگین ۲/۸۰ میکروگرم در هر گرم روغن در تیمار شاهد و رقم مونالیزا با میانگین ۴۰/۸۰ میکروگرم در هر گرم روغن در تیمار کم‌آبیاری شدید، به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین محتوای کاروتنوئید روغن را دارا بودند (جدول ۴). کاروتنوئیدها هیدروکربن‌های غیر اشباع و رنگدانه‌های زرد، نارنجی و قرمز محلول در چربی هستند که از هشت واحد ایزوپرن سنتز شده‌اند، بنابراین اسکلت ساختمانی آن‌ها از حدود ۴۰ کربن تشکیل شده است (Salmanizadeh & Piravivanak, 2013). باتوجه‌به اینکه با افزایش طول دورهٔ رسیدگی دانه، کلروفیل و کاروتنوئید روغن دچار تجزیه و از غلظت آن‌ها کاسته می‌شود؛ بنابراین، این احتمال وجود دارد که با کاهش طول دورهٔ رسیدگی دانه در شرایط تنش کم‌آبی، مدّت زمان تجزیه رنگدانه‌ها نیز کاهش یافته و موجب افزایش غلظت کلروفیل و کاروتنوئید محلول در روغن دانه، نسبت به تیمار شاهد شده باشد. گزارش شده است که میزان رنگیزه‌های کلروفیل و کاروتنوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی روغن با افزایش رسیدگی میوه، به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Ghasemnezhad *et al*., 2017). بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان افزایش کاروتنوئید نسبت به کلروفیل در روغن دانه بالاتر بود. افزایش چشم‌گیر میزان کاروتنوئیدها در مرحلهٔ پرشدن دانه و همچنین افزایش آن تحت تنش کم‌آبی، نشان‌دهندهٔ نقش آن در تعدیل میزان رادیکال‌های فعال اکسیژن می‌باشد (Navabpour *et al*., 2015).

۳–۱۱. اسیدیته روغن

به‌طور کلی، کم‌آبیاری شدید، اسیدیته آزاد روغن را به‌میزان ۷۶/۳۹ درصد نسبت به شاهد افزایش داد، به‌طوری‌که رقم فلیکس در تیمار شاهد با میانگین ۴/۰۶ درصد و رقم مونالیزا در تیمار کم‌آبیاری شدید با میانگین ۱۷/۲۰ درصد، به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین میزان اسیدیته روغن را دارا بودند (جدول ۴). عمدتاً افزایش اسیدیته، ناشی از هیدرولیز تری‌گلیسریدها است که این فرآیند با اکسایش روغن نیز تشدید می‌شود (Shirazi *et al*., 2018). آنزیم‌های لیپولیتیک درست در زیر پوسته نازک دانه واقع شده‌اند و در سلول‌های صدمه‌ندیده قادر نخواهند بود به چربی‌ها حمله کنند، امّا با تغییرات فیزیکی در سلول، این آنزیم‌ها فعالیت خود را آغاز و باعث تشدید فرآیند لیپولیز و تجزیه تری‌گلیسریدها به گلیسرول و اسیدهای چرب آزاد و در نهایت افزایش اسیدیته روغن می‌شوند (Bakhshabadi *et al*., 2017). بنابراین به‌نظر می‌رسد تغییرات فیزیکی ناشی از تأثیرات منفی کم‌آبیاری، احتمالاً موجب تشدید فرآیند آنزیم لیپولیز و افزایش سطح اسیدهای چرب آزاد در روغن ارقام آفتابگردان شده است.

۳–۱۲. همبستگی صفات مورد بررسی

نتایج بررسی همبستگی صفات مورد بررسی آفتابگردان (جدول ۵) نشان داد که بیش‌ترین میزان همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و وزن دانه‌ها در طبق (۰/۹۹۹**) وجود دارد و نشان می‌دهد هر عاملی که موجب افزایش در وزن دانه‌های طبق شود، بهره‌وری عملکرد دانه در هکتار را بالا می‌برد. همچنین درصد روغن دانه بیش‌ترین همبستگی (۰/۸۵۴**) را با تعداد دانه در طبق دارا بود. به‌نظر می‌رسد با افزایش تعداد دانه‌ها در طبق، اندازهٔ دانه‌ها کوچک‌تر و نسبت مغز به پوسته افزایش و موجب بیش‌ترشدن ذخیره روغن دانه شده است. همبستگی میزان پراکسیداسیون روغن با صفاتی نظیر شاخص یونی، شاخص صابونی و شاخص کلروفیل مثبت و معنی‌دار، امّا با شاخص کاروتنوئید به‌دلیل خاصیت تعدیل‌کنندگی آن، غیر معنی‌دار بود. به‌طور کلی، افزایش ناخالصی‌های روغن، موجب اکسیداسیون بیش‌تر و کاهش کیفیت و پایداری روغن شده است.

جدول ٤. برهمکنش کم‌آبیاری و رقم بر صفات کمّی و کیفی آفتابگردان.

Interaction irrigation treatments and cultivar	Number of grains /head	Grains weight/head (g)	Grain yield (t/ha)	Iodine index (gi/100 g oil)	Soap index (mg HK/g oil)	Peroxide value (me/kg oil)	Chlorophyll (µg/g)	Carotenoid (µg/g)	Acidity(%)
$A_1 \times B_1$	1687.73^{a}	48.53^{a}	5.34^{a}	80^{k}	116^{ef}	0.90^{h}	15^{bc}	19.80^{fg}	8.60^{f}
$A_1 \times B_2$	1363.60^{bcd}	38.72^{bcdef}	4.26^{bcdef}	111.36^{gh}	87^{i}	0.98^{gh}	3.10^{h}	2.80^{k}	4.06^{h}
$A_1 \times B_3$	1272.49^{def}	33.05^{gh}	3.63^{gh}	106^{gh}	59^{j}	0.88^{hi}	13.86^{d}	15.20^{h}	4.30^{h}
$A_1 \times B_4$	1197.13^{def}	42.67^{bc}	4.69^{bc}	149.50^{cd}	116^{ef}	1.05^{fg}	9.56^{e}	24.03^{cde}	15.10^{b}
$A_1 \times B_5$	1133.93^{efgh}	43.68^{ab}	4.80^{ab}	54.96^{l}	86^{i}	0.62^{k}	6.30^{f}	12.70^{i}	6.50^{g}
$A_1 \times B_6$	1466.02^{bc}	41.07^{bcd}	4.52^{bcd}	83.50^{k}	88^{i}	0.78^{ij}	6.80^{f}	34.56^{b}	11.26^{d}
$A_2 \times B_1$	1479.13^{b}	35.34^{efgh}	3.88^{efgh}	89^{jk}	121^{de}	1.35^{cd}	15.30^{abc}	20.16^{fg}	9.10^{ef}
$A_2 \times B_2$	1314.33^{bcde}	38.97^{bcde}	4.28^{bcde}	130.23^{ef}	92^{hi}	1.07^{fg}	4.20^{g}	3.10^{k}	4.30^{h}
$A_2 \times B_3$	961.20^{hij}	25.03^{i}	2.75^{i}	130.23^{ef}	119^{def}	1.21^{e}	14.36^{cd}	18.50^{g}	6.50^{g}
$A_2 \times B_4$	1162.47^{efg}	37.90^{cdefg}	4.17^{cdefg}	156^{bc}	123^{cde}	1.15^{ef}	9.80^{e}	25.56^{cd}	15.10^{b}
$A_2 \times B_5$	1097.47^{fghij}	40.11^{bcde}	4.41^{bcde}	93.30^{ijk}	102^{gh}	0.75^{j}	6.83^{f}	14.70^{h}	6.50^{g}
$A_2 \times B_6$	1285.67^{cdef}	31.78^{h}	3.49^{h}	135.10^{e}	109^{fg}	0.99^{gh}	7.06^{f}	36.10^{b}	12.90^{c}
$A_3 \times B_1$	1192.87^{defg}	35.66^{efgh}	3.92^{efgh}	97.86^{hij}	128^{cd}	1.48^{b}	15.90^{ab}	20.76^{f}	9.70^{e}
$A_3 \times B_2$	1257.47^{def}	37.47^{defg}	4.12^{defg}	136^{de}	165^{b}	1.26^{de}	7.30^{f}	5.23^{j}	8.60^{f}
$A_3 \times B_3$	916.47^{i}	24.29^{i}	2.67^{i}	180.40^{a}	165^{b}	1.71^{a}	16.20^{a}	23.90^{de}	8.60^{f}
$A_3 \times B_4$	1109^{fghi}	33.63^{fgh}	3.70^{fgh}	164.50^{b}	134^{c}	1.40^{bc}	10.26^{e}	25.86^{c}	15.46^{b}
$A_3 \times B_5$	926.80^{ij}	38.89^{bcde}	4.28^{bcde}	117.83^{fg}	165^{b}	1.23^{de}	15.80^{ab}	23^{e}	8.60^{f}
$A_3 \times B_6$	1005.4^{ghij}	32.20^{h}	3.54^{h}	141^{de}	192^{a}	1.34^{cd}	14.90^{bcd}	40.80^{a}	17.20^{a}

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵).

جدول ۵. همبستگی صفات مورد بررسی

Investigated Traits	Oil phosphorus (µg/g)	Peroxide value (me/kg oil)	Iodine index (gi/100 g oil)	chlorophyll (µg/g)	Carotenoid (µg/g)	Acidity (%)	Soap index (mg HK/g oil)	Grain oil (%)	Number of grains/head	Grains weight/head (g)	Grain yield (t/ha)
Oil phosphorus (µg/g)	1										
Peroxide value (me/kg oil)	$0.432^{n.s}$	1									
Iodine index (gi/100 g oil)	0.846^{**}	0.666^{**}	1								
Chlorophyll (µg /g)	$-0.143^{n.s}$	0.591^{**}	$0.124^{n.s}$	1							
Carotenoid (µg /g)	$0.047^{n.s}$	$0.196^{n.s}$	$0.227^{n.s}$	$0.399^{n.s}$	1						
Acidity (%)	0.461*	$0.316^{n.s}$	0.466^{*}	$0.195^{n.s}$	0.791^{**}	1					
Soap index (mg HK/g oil)	$0.223^{n.s}$	0.728^{**}	0.520^{**}	0.490^{*}	$0.369^{n.s}$	0.516^{*}	1				
Grain oil (%)	$-0.109^{n.s}$	$-0.295^{n.s}$	$-0.364^{n.s}$	$-0.045^{n.s}$	$-0.097^{n.s}$	$-0.077^{n.s}$	-0.467^{*}	1			
Number of grains / head	$-0.255^{n.s}$	$-0.408^{n.s}$	-0.506^{*}	$-0.247^{n.s}$	$-0.167^{n.s}$	$-0.158^{n.s}$	-0.487^{*}	0.854^{**}	1		
Grains weight / head gr)	$-0.283^{n.s}$	-0.633^{**}	-0.586^{**}	$-0.375^{n.s}$	$-0.236^{n.s}$	$-0.056^{n.s}$	$-0.325^{n.s}$	0.458^{*}	0.589^{**}	1	
Grain yield (t/ha)	$-0.282^{n.s}$	-0.633^{**}	-0.586^{**}	$-0.375^{n.s}$	$-0.237^{n.s}$	$-0.056^{n.s}$	$-0.325^{n.s}$	0.457^{*}	0.589^{**}	0.999^{**}	1

n.s، * و ** به‌ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد احتمال (آزمون دانکن).

همبستگی مثبت و معنی‌دار عدد یدی و اسیدیته (**۰/۴۶۶) نشان می‌دهد که افزایش اسیدهای چرب آزاد و در نتیجه بیش‌ترشدن تعداد اتصال‌های مضاعف روغن دانه در چنین شرایطی، موجب شده است که خاصیت صابونی و خشک‌شوندگی و در نهایت میزان اکسیداسیون روغن نیز افزایش پیدا کند. عملکرد دانه دارای همبستگی منفی با صفات کیفی روغن بود و نشان می‌دهد که در شرایط نرمال نسبت به کم‌آبیاری، روغن دانه ناخالصی کم‌تر و کیفیت بهتری دارد.

۴. نتیجه‌گیری

به‌نظر می‌رسد برخلاف مقاومت نسبی آفتابگردان به کم‌آبی، حداکثر عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال تولید می‌شود؛ به‌طوری‌که در پژوهش حاضر بالاترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال و در رقم فلیکس به‌میزان ۵/۳۴ تن در هکتار تولید شد. علاوه‌برآن کم‌آبیاری با افزایش ناخالصی‌های روغن، موجب افزایش شاخص‌های یدی، صابونی و اسیدیته روغن و در نتیجه اکسیداسیون بیش‌تر و کاهش کیفیت و پایداری روغن نسبت به حالت آبیاری معمول می‌شود. در نهایت نیز رقم فلیکس باتوجه‌به کم‌ترین کاهش عملکرد دانه در شرایط کم‌آبی شدید و رقم لاباد نیز باتوجه‌به بیش‌ترین میزان عملکرد دانه تولیدی در هر دو سطح کم‌آبی، احتمالاً به‌دلیل کاهش کم‌تر در روند فتوسنتز جاری، فعالیت آنزیمی و انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از دیگر اندام‌ها به دانه‌ها و در نتیجه کاهش کم‌تر در وزن دانه‌های پُر ارقام، به‌عنوان ارقام برتر در شرایط کمبود آب معرفی می‌شوند.

۵. منابع

Alahdadi, I., Oraki, H., & 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).

Alirezalu, A., Alirezalu, K., Karimzadeh, G., & Omidbeigi, R. (2011). Investigating the effect of environmental factors on the physicochemical properties of castor oil (*Ricinus communis* L.). *Journal of Medicinal Plants*, *4*(40), 97–106. (In Persian).

Asadzadeh, N., Moosavi, S.G.H., & Seghatoleslami, M.J. (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).

Bakhshabadi, H., Rostami, M., Moghimi, M., Bojmehrani, A., Bahalkeh, A.B., & Toorani, B.N. (2017). Optimizing the operating parameters of cooker during oil extraction and production of sunflower meal on an industrial scale, *Iranian Food Science and Technology*, *13*(1), 27–37.

Cheraghizade, M., Shahnazari, A., & Ziatabarrahmadi, M. (2018). Evaluation of the effect of irrigation interval by conducting partial rootzone drying (PRD) deficit irrigation and full irrigation (FI) on sunflower plant. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *49*(2), 439–451. (In Persian).

Davoudi, S.H., Mirshekari, B., Mirmahmodi, T., Farahvash, F., & 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).

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

Ghasemnezhad, M., Meighani, H., & Eftekhari, S. (2017). The effect of ripening index on fruit and oil quality of three cultivars olive in Rodbar region. *Journal of Crops Improvement*, *19*(2), 273–286. (In Persian).

Hojjati, M. (2020). The qualitative characteristics of the oils prepared in the extraction oil stores in the presence of the customer. *Journal of Food Science and Technology*, *17*(108), 1–15. (In Persian).

Izan, T., Javanmard, A., Shekari, F., Sabaghnia, N., & 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).

Karimi-Kakhaki, M., & 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).

Kazemalilou, S., Najafi, N., & 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).

Machekposhti, M.F., Shahnazari, A., Ahmadi, M.Z., Aghajani, G., & Ritzema, H. (2017). Effect of irrigation with sea water on soil salinity and yield of oleic sunflower, *Agricultural Water Management*, *188*, 69-78.

Maghsoudi, B., Lak, S., Ghaffari, M., Alavi Fazel, M., & 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).

Mahoney, E.Y., Milewska, M., Mironczuk-Chodakowska, I., & Terlikowska, K.M. (2018). The influence of carotenoid and chlorophyll content on the oxidative processes in the selected vegetable oils. *Progress in Health Sciences*, *8*, 144-151.

Martin, D.L., Stegman, E.C., & 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.

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., & 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.

Mukasa-Tebandeke, I.Z., Ssebuwufu, P.J.M., Nyanzi, S.A., Schumann, A., Nyakairu, G.W., & Lugolobi, F. (2014). Using trace metals, peroxide, acid and iodine values to characterize oils bleached using clays from central and Eastern Uganda. *American Journal of Analytical Chemistry*, *5*, 1302–1312.

Navabpour, S., Ramezanpour, S.S., & Mazandarani, A. (2015). Evaluation of enzymatic and non-enzymatic defense mechanism in response to drought stress during growth stage in soybean. *Plant Production Technology*, *15*(2), 39–54. (In Persian).

Paquot, C. (1970). *International Union of Pure and Applied Chemistry*, standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives, (6th edn.). Pergamon Press, U. K.

Roca, M., & Minguez-Mosquera, M.I. (2001). Change in the natural ratio between chlorophylls and carotenoids in olive fruit during processing for virgin olive oil, *Journal of the American Oil Chemists Society*, *78*, 133-138.

Salmanizadeh, S., & Piravivanak, Z. (2013). Effect of climate of the growth of the olives fruit on the pigments of the Irainian extra virgin olive oils. *Journal of Food Science and Technology*, *10*(39), 19–29. (In Persian).

Sezen, S.M., Yazar, A., Kapur, B., & 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.

Sha'bani, J., Rashidi, L., Piravivanak, Z., & Golami, Z. (2019). Comparative investigation of oxidative stability, peroxide number, iodine number with the type, amount and activity of synthetic antioxidants extracted from edible oils. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, *11*(4), 139-150. (In Persian).

Shirazi, M.K., Ghorbani, M., Sadeghi Mahoonak, A.R., Ziaiifar, A.M., & Hosseini, H. (2018). Investigation of thermal stabilities of sesame oil and its blend with canola oil and palm olein. *Journal of Food Science and Technology*, *80*(15), 267–279.

Smolikova, G.N., Laman, N.A., & Boriskevich, O.V. (2011). Role of chlorophylls and carotenoids in seed tolerance to abiotic stressors. *Russian Journal of Plant Physiology*, *58*(6), 965-973.

Tahramooz, A., & 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).

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