University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

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

Effect of Deficit Irrigation and Sowing Date on Physicochemical Characteristics, Seed Yield, and Oil Content of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars

Leyli Golchin[1] | Afshin Tavakoli[2]✉ | Vahideh Ghahreman Pour[3] | Soheila Zarringhalami[4]

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
2. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. Email: tavakoli@znu.ac.ir
3. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
4. Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: February 25, 2023
Received in revised form: June 16, 2023
Accepted: July 07, 2023
Published online: December 22, 2023

Keywords:
Chlorophyll content,
drought stress,
fatty acids composition,
oil quality,
safflower.

ABSTRACT

In order to investigate effects of deficit irrigation and sowing date on qualitative characteristics of oil and fatty acids in Safflower cultivars, a split factorial experiment was conducted based on a randomized complete blocks design with four replications at the research farm of Faculty of Agriculture, University of Zanjan, during the 2015-2016 growing season. In this experiment, irrigation levels included optimal irrigation and deficit irrigation (50% of water requirement) as main plots and combined two sowing dates including (20 March and 20 April) and three spring safflower cultivars (i.e. Gholdasht, Soffeh, and Sina) were allocated to subplots in a factorial arrangement. Drought stress and late sowing date decreased chlorophyll content, seed yield, and oil content. The results showed that deficit irrigation caused decrease in seed yield and oil content. Late sowing date caused a decrease in seed yield. The highest seed yield was obtained on optimal irrigation and on the sowing date 20 March (2036 kg/h) and the lowest seed yield was obtained on 50% of water requirement and the sowing date 20 April (1675.4 kg/h). Among the studied cultivars, the highest seed yield (1986.91 kg/ha) was obtained from Soffeh cultivar. With the sowing date and deficit irrigation, iodine number decreased and acid value increased. Among fatty acids, the content of linoleic and linolenic acids decreased due to deficit irrigation and late sowing date and the amount of oleic and stearic acids was the highest in the second sowing date, while palmitic acid had the highest amount in the first sowing date. Therefore, to obtain the highest yield and the highest oil quality Soffeh cultivar, optimal irrigation and early sowing date are recommended.

Cite this article: Golchin, L., Tavakoli, A., Ghahremanpoure, V., & Zarringhalami, S. (2023). Effect of deficit irrigation and sowing date on physicochemical characteristics, seed yield, and oil content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(3), 47-60. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.354782.654979.

© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2023.354782.654979

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۸۰۸۲

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

تأثیر کم‌آبیاری و تاریخ کاشت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، عملکرد دانه، و محتوای روغن ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)

لیلی گلچین[۱] | افشین توکلی[۲]✉ | وحیده قهرمان‌پور[۳] | سهیلا زرین‌قلمی[۴]

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: tavakoli@znu.ac.ir

۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۴- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:
ترکیب اسیدهای چرب،
تنش خشکی،
کیفیت روغن،
گلرنگ،
محتوی کلروفیل.

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات کم‌آبیاری و تاریخ کاشت بر ویژگی‌های کیفی روغن و اسیدهای چرب ارقام گلرنگ، پژوهشی به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال زراعی ۹۴–۱۳۹۳ اجرا شد. در این پژوهش سطوح آبیاری شامل آبیاری مطلوب و کم‌آبیاری (۵۰ درصد نیاز آبی) در کرت‌های اصلی قرارگرفتند و ترکیب تاریخ کاشت (۲۰ اسفند و ۲۰ فروردین) و سه رقم گلرنگ بهاره (گلدشت، صفه و سینا) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. تنش خشکی و تأخیر در کاشت باعث کاهش محتوی کلروفیل، عملکرد دانه و محتوی روغن شد. نتایج نشان داد که کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد دانه و محتوی روغن شد. تأخیر تاریخ کاشت نیز سبب کاهش عملکرد دانه شد. بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و در تاریخ‌های کاشت بیستم اسفند (۲۰۳۶ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری و تاریخ کاشت دوم (۱۶۷۵/۴ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. در بین ارقام مورد مطالعه، بیشترین عملکرد دانه (۱۹۸۶/۹۱ کیلوگرم در هکتار) از رقم صفه حاصل شد. با تأخیر در کاشت و کاهش آبیاری، عدد یدی کاهش یافته و عدد اسیدی نیز افزایش یافت. در بین اسیدهای چرب، محتوی لینولئیک و لینولنیک‌اسید در اثر کم‌آبیاری و تأخیر در کاشت کاهش یافت و میزان اسیدهای چرب اولئیک و استئاریک‌اسید در تاریخ کاشت دوم بیشترین مقدار را داشتند؛ درحالی‌که پالمتیک‌اسید در تاریخ کاشت اول بالاترین میزان را داشت. بنابراین، برای به‌دست‌آوردن بالاترین میزان عملکرد و بالاترین کیفیت روغن رقم صفه، آبیاری کامل و تاریخ کاشت زودهنگام به‌علت آبیاری کمتر توصیه می‌شود.

استناد: گلچین، ل.، توکلی، ا.، قهرمانپور، و زرین‌قلمی، س. (۱۴۰۲). تأثیرکم‌آبیاری و تاریخ کاشت بر عملکرد دانه، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و محتوای روغن ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۴(۴)، ۴۷-۶۰. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.354782.654979

© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) از دانه‌های روغنی است که دارای منابع مهم از اسیدهای چرب امگا ۳ و امگا ۶ می‌باشد (Omidi *et al*., 2014). گلرنگ بومی ایران بوده و به‌دلیل قابلیت‌هایی نظیر سازگاری بالا با شرایط نامساعد، مقاومت به شوری و خشکی و همچنین داشتن روغنی باکیفیت مورد توجه می‌باشد (Mohammadi *et al*., 2014). روغن دانهٔ گلرنگ کیفیت قابل ملاحظه‌ای داشته و به‌علت داشتن درجهٔ بالایی از اسیدهای چرب غیر اشباع و آلفاتوکوفرول و اسیدهای چرب اشباع‌نشده (اولئیک ۲۰–۱۶ درصد، لینولئیک ۷۵–۷۱ درصد و لینولنیک‌اسید ۱۲–۱۰ درصد) و همچنین اسیدهای چرب اشباع‌شده (پالمتیک‌اسید ۳–۲ درصد و استئاریک‌اسید ۱۶–۲۰ درصد) دارای روغن باکیفیت بسیار بالایی است (Bortolheiro & Silva, 2017).

خشکی را می‌توان به‌عنوان یک عامل تنش‌زای محیطی تعریف کرد که به‌دلیل کمبود بارندگی و عدم دستیابی ریشه به رطوبت ایجادشده، باعث کاهش محصول و ایجاد پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلف در گیاهان می‌شود (Hu *et al.,* 2013). گیاهان به تنش خشکی واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند و میزان واکنش و آسیب وارده به آن‌ها به نوع گیاه، میزان و مدت تنش واردشده، مرحله رشد و نوع گیاه بستگی دارد (Zlativ & Lidon, 2012). تنش خشکی در گیاهان باعث کاهش محتوی کلروفیل a، b و کارتنوئیدها می‌شود و این‌کار از طریق شکستن کلروپلاست‌ها انجام می‌شود (Hosseinzadeh *et al.,* 2016). تنش خشکی درگیاهان با ایجاد تنش‌های ثانویه مانند تنش اکسیداتیو نقش ویژه‌ای در آسیب به کلروپلاست و کاهش مقدار محتوای کلروفیل دارد که باعث کاهش توانایی فتوسنتز و در نهایت باعث کاهش عملکرد می‌شود (Sadak, 2016). درصد روغن و همچنین اسیدهای چرب آن تحت تأثیر محیط و تنش خشکی قرار می‌گیرد که توسط بسیاری از محققان گزارش شده است (Ozkan & Kulak, 2013).

عدد پراکسید یکی از شاخص‌های مهم تعیین مقدار اکسیداسیون روغن است و به‌همراه عدد اسیدی جزء پارامترهای کیفی روغن به‌شمار می‌رود و در هنگام تصفیه روغن تقریبا اسیدهای چرب آزاد از بین می‌روند، اما در روغن‌های تصفیه‌نشده مقدار قابل توجهی از این اسیدهای چرب آزاد دیده می‌شود (Nazari *et al.,* 2017). یکی دیگر از شاخص‌های مهمی که غیر اشباع‌بودن روغن‌ها را نشان می‌دهد عدد یدی است که پایداری روغن‌ها را در اکسیدشدن نشان می‌دهد (Nazari *et al.,* 2017). محققان گزارش کردند که تحت تنش خشکی اسیداولئیک کاهش و میزان اسیداستئاریک و پالمتیک روغن دانه گلرنگ افزایش یافته است (Bayati *et al.,* 2020). در آزمایشی روی درصد و کیفیت روغن آفتابگردان در شرایط تنش خشکی نشان داده شد که درصد روغن در شرایط تنش خشکی ۱۰/۵۲ درصد کاهش یافت. در شرایط تنش خشکی میزان اسیدهای چرب غیر اشباع اولئیک و لینولئیک رقم‌ها نیز کاهش معنی‌داری داشته و عدد یدی ۵/۱۷ درصد نسبت‌به آبیاری مطلوب کاهش یافت و رقم گلشن کاهش ۹۸ درصدی اسیدلینولئیک را داشت (Ali *et al.,* 2011). تاریخ کاشت اولین نقطه محوری در تصمیمات مدیریت تولید گیاهان زراعی است و ازطریق انطباق مراحل رشد و نمو گیاه با وضعیت حرارتی خاک و هوا، طول روز، پتانسیل تبخیر و تعرق، بارندگی، رطوبت هوا و سایر خصوصیات جوی، بر رشد رویشی و زایشی و در نهایت، عملکرد کمی و کیفی محصول تأثیرمی‌گذارد (Zhu *et al*., 2015).

بر این اساس، چنانچه در هر یک از نواحی دمایی بتوان زودتر به کشت گلرنگ اقدام کرد، عملکرد بالاتری حاصل می‌شود. در بررسی تاثیر تاریخ‌های کاشت بر کیفیت روغن چند گیاه دانه روغنی و دارای ارزش دارویی ازجمله گیاه مغربی (*Oenothera biennis* L.) و کاملینا (*Camelina sativa* L.) نشان داده شد که تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر ترکیب اسیدهای چرب و کیفیت روغن دارد (Gilbertson *et al*., 2010). در آزمایش دیگری که روی گیاه خردل انجام شد محققان نشان دادند که تأخیر در کاشت باعث کاهش محتوای روغن شد (Kumar *et al*., 2018). محققان نشان دادند که تأخیر در کاشت باعث کاهش اسیداولئیک در دو ژنوتیپ گیاه کنجد که از عمده‌ترین اسیدهای چرب گیاه کنجد است، شده است (Ozkan & Kulak, 2013). باتوجه‌به اهمیت دانه‌های روغنی در تغذیه انسان، تأمین امنیت غذایی، کاهش وابستگی به واردات دانه‌های روغنی و همچنین مقاومت بالای آن به شرایط نامساعد محیطی، تحقیقات روی قابلیت کشت گیاه گلرنگ در داخل کشور ضروری است. هدف از انجام این پژوهش بررسی امکان افزایش درصد روغن و بهبود کیفیت روغن گلرنگ در شرایط تنش کم‌آبیاری و همچنین بررسی ارقام برتر از نظر مقاومت به کم‌آبیاری و تاریخ کاشت دیرهنگام بود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه زنجان واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و۲۴ دقیقهٔ غربی و ارتفاع ۱۵۹۴ متری از سطح دریا در سال زراعی ۹۴-۹۳ به‌صورت آزمایش اسپلیت‌فاکتوریل بر پایهٔ طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل آبیاری (در دو سطح آبیاری معمول و کم‌آبیاری) و عامل فرعی شامل ترکیب دو تاریخ کاشت (۲۰ اسفند و۲۰ فروردین) و سه رقم گلرنگ بهاره سینا، گلدشت، و صفه بود. آماده‌سازی زمین در پاییز ۱۳۹۳ انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف به‌طول پنج متر بود. کاشت روی پشته‌ها با فاصلهٔ پنج سانتی‌متر انجام شد. فاصله پشته‌ها نیز ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تراکم نهایی بوته‌ها در هر متر مربع ۴۰ بوته بود. بذرها ضدعفونی شده و عملیات کاشت با دست و در تاریخ‌های ۲۰ اسفند و ۲۰ فروردین ۱۳۹۴ انجام گرفته و بلافاصله آبیاری انجام شد (جدول ۱). درطول فصل رشد از کود یا عناصر غذایی استفاده نشد. عمل تنک‌کردن بوته‌ها و وجین علف‌های هرز با دست انجام شد. پس از کاشت ارقام تمام کرت‌ها تقریبا تا تاریخ ۱۰ خردادماه ۱۳۹۴ به‌صورت یکسان آبیاری شدند. آغاز اعمال تنش کم‌آبیاری در تمام کرت‌های تحت این تیمار در مرحله تقریبا ۵۰ درصد تکمه‌بندی انجام شد. تنش کم‌آبی برای تمام ارقام به‌طور یکسان و در ۱۴ تیرماه مصادف با ۴۰ درصد مرحله گلدهی آغاز شد. علت انتخاب دهم خردادماه جهت شروع اعمال تیمار کم‌آبیاری این بود که بر اساس منحنی آمبروترمیک منطقه باکمک داده‌های طولانی‌مدت (۴۲ سال) که از ایستگاه هواشناسی زنجان به‌دست آمد، فصل خشک در این منطقه از این تاریخ شروع می‌شود. پس از آن در تیمارکم‌آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه آب در اختیار گیاه قرار گرفت و اعمال کم‌آبیاری از ۵۰ درصد مرحلهٔ تکمه‌بندی ارقام کاشت‌شده که تقریبا مصادف با شروع فصل خشک شده تا انتهای فصل رشد ادامه داشت. در تیمار شاهد ۱۰۰ درصد نیاز آبی تأمین شد. نیاز آبی بااستفاده‌از داده‌های به‌روز هواشناسی و باکمک روابط زیر محاسبه شد (جدول ۲).

۲-۱. محاسبه مقادیر نیاز آبی

۲-۱-۱. محاسبه مقادیر تبخیر-تعرق گیاه (ET0)

بااستفاده‌از داده‌های روزانه پارامترهای ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی زنجان و رابطه استاندارد فائو-پنمن-مانیت (رابطه ۱) مقادیر روزانه ET0 محاسبه شد:

$$ET_0=\frac{0.48\Delta(Rn-G)+\gamma\, 900/(T+273)u2(ea-ed)}{\Delta+\gamma(1+34u2)} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

ET_0: تبخیر-تعرق گیاه مرجع (mm/day)، Rn: تابش خالص ورودی به سطح گیاه ($MJ/m^2/day$)، G: شار گرمای خاک ($MJ/m^2/day$)، T: میانگین روزانه دمای هوا (ºC)، U2: میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری (m/sec)، ea: فشار بخار اشباع (Kpa)، ed: فشار بخار واقعی (Kpa)، ea-ed: کمبود فشار بخار اشباع (Kpa)، Δ: شیب منحنی فشار بخار اشباع (Kpa/ºC)، γ: ضریب ثابت سایکرومتری (Kpa/ºC)، ۹۰۰ ضریبی برای گیاه مرجع (KgºK/KJ/day) و ۰/۳۴: ضریب باد برای گیاه مرجع (sec/m).

بااستفاده‌از رابطه ۲ مقادیر تبخیر و تعرق گیاه در مراحل رشد محاسبه خواهد شد.

$$ET_c=K_c.ET_0 \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

ET_C: تبخیر- تعرق گیاه (mm/day)، ET_0: تبخیر و تعرق مرجع (mm/day) و KC: ضریب گیاه. مقادیر KC برای دوره‌های مختلف رشد هر یک از گیاهان از نشریه شماره ۵۶ سازمان فائو استخراج شد. بااستفاده‌از روابط ۳ و ۷ حجم آب آبیاری در هر دور محاسبه شد.

$$Td=Ud(0.1*P_d^{0.5}) \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

$$d_n = T_d \,.f \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

$$LR=\frac{ECiw}{2(MaxECe)} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

$$d=\frac{100dn}{Eu(1-LR)} \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

$$G=K.d.Sp.S_r \quad \text{(رابطه ۷)}$$

Td: مقدار تعرق روزانه گیاه (mm/day)، Ud: مقدار تبخیر–تعرق روزانه گیاه (mm/day)، Pd: سطح سایه‌انداز (٪)، dn: عمق خالص آبیاری در هر نوبت آبیاری (mm)، f: دور آبیاری (روز)، LR: نیاز آبشویی (%)، EC_{iw}: هدایت الکتریکی آب آبیاری (ds/m)، MaxECe: حداکثر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک که در آن تولید محصول به‌علت ازبین‌رفتن گیاه صفر خواهد بود (ds/m)، d: عمق ناخالص آبیاری در هر نوبت آبیاری (mm)، EU: ضریب یکنواختی طراحی (٪)، در این پژوهش EU=90% در نظر گرفته خواهد شد، G: حجم ناخالص آب مورد نیاز در هر نوبت آبیاری، K (lit): ضریب تبدیل واحدها، K=1 در سیستم واحدهای Sr، Sp: فاصله بوته روی ردیف (m)، Sr: فاصله ردیف‌ها (m).

براین‌اساس مجموع میزان آب مورد نیاز در شرایط معمول، در طول فصل رشد برای تاریخ کاشت اول ۸۲۶/۸۱ متر مکعب و برای تاریخ کاشت دوم ۹۴۶/۲۵ متر مکعب به‌دست آمد. نیاز آبی کم‌آبیاری از حاصل ضرب مقدار آب محاسبه‌شده برای تیمار شاهد در میزان کم‌آبیاری درنظرگرفته‌شده یعنی ۰/۵ حاصل شد.

جدول ۱. مشخصات ارقام گلرنگ.

ارقام	ارتفاع (سانتی‌متر)	رنگ گلبرگ	مقاومت به خشکی	درصد روغن	طول رسیدگی
سینا	۱۰۳/۵ (خاردار)	نارنجی تیره	مقاوم	۲۸	۱۳۰–۱۰۰
صفه	۸۰–۷۸ (بدون خار)	نارنجی تیره	نسبتا مقاوم	۳۲–۳۱	۱۲۰–۱۰۰
گلدشت	۸۰–۶۰ (بدون خار)	قرمز تیره	حساس	۳۵–۳۰	۱۰۰–۹۰

۲–۲. محتوی کلروفیل و کارتنوئیدها

محتوی کلروفیل در جوان‌ترین برگ‌های توسعه‌یافته و در مرحله شروع گلدهی اندازه‌گیری شد (Arnon, 1994). برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، پس از رسیدگی و خشک‌شدن بوته‌ها با حذف اثر حاشیه‌ای (نیم‌متر از انتها و دو متر بالای کرت‌های فرعی) در مجموع چهار متر مربع برداشت انجام شده و دانه‌ها از بوته‌های برداشت‌شده توسط دستگاه کمباین ثابت جدا شده و سپس دانه‌ها تمیز و توزین شده و عملکرد دانه محاسبه شد. اندازه‌گیری درصد روغن به‌روش سوکسله انجام شد. به این منظور مقداری از بذور هر واحد آزمایشی در آون در دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. سپس بذور با آسیاب پودر شده و دو گرم از بذور پودرشدهٔ هر واحد آزمایشی با دقت توزین شد. نمونه‌ها به‌مدت ۱۱ ساعت در دستگاه سوکسله (Bushi extraction. System B.811. Germany) قرار داده شدند تا روغن آنها به‌طور کامل استخراج شود. سپس نمونه‌ها از دستگاه خارج و دو باره در آون در دمای ۸۰ در جه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده و توزین شدند (Ullah & Bano, 2011). درصد روغن به‌کمک رابطهٔ زیر محاسبه شد:

$$\text{درصد روغن} = (\text{وزن اولیه}/\text{اختلاف وزن نمونه قبل و بعد از استخراج روغن}) \times ۱۰۰ \quad \text{(رابطه ۸)}$$

جدول ۲. داده‌های هواشناسی سال ۱۳۹۳–۱۳۹۲ محل اجرای آزمایش.

اطلاعات	اسفند (March)	فروردین (April)	اردیبهشت (May)	خرداد (June)	تیر (July)	مرداد (August)	شهریور (September)
مجموع بارش ماهانه (cm)	۲/۷	۰/۴۵	۲/۲	۱/۳۸	۰	۰/۰۲۲	۰/۰۵
میانگین دمای ماهانه (°C)	۶/۵	۱۱/۸	۱۳/۳	۱۶/۲	۲۶/۳	۲۵/۸	۲۱/۸
حداکثر دما (°C)	۹/۳	۱۸/۷۴	۲۸/۶	۳۰/۱	۳۵/۲	۳۸/۶	۳۰/۴
حداقل دما (°C)	۳/۷	۴/۲	۸/۴	۱۳/۶	۱۸/۶	۱۷/۴	۱۷/۶
رطوبت نسبی (٪)	۵۷/۳	۴۶/۸	۶۱/۵	۵۷/۹	۳۵/۷	۴۱/۳	۴۲/۳

۲–۳. اندازه‌گیری عدد پراکسید

۳۰ میلی‌لیتر اسیداستیک–کلروفرم به پنج گرم نمونه روغن اضافه شد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر محلول اشباع‌شده یدید پتاسیم و پس از یک دقیقه ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر نیز به آن افزوده شد. برای ازبین‌رفتن رنگ زرد، تیتراسیون با تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ نرمال انجام

شد. برای ازبین‌رفتن رنگ آبی به نمونه ۰/۵ میلی‌لیتر نشانگر نشاسته افزوده شد. همراه‌با نمونه‌ها گذاشتن نمونه شاهد نیز ضروری است. پس از محاسبه عدد پراکسید، نتایج بر حسب $meqO_2/Kg\ Oil$ گزارش شد (ACOS, 1993).

اندیس پراکسید= (S×M×1000)/W (رابطه ۹)

S: میزان تیتران مصرفی، M مولاریته محلول تیوسولفات سدیم (۰/۰۱ نرمال)، W وزن نمونه.

۲-۴. اندازه‌گیری عدد اسیدی

به پنج گرم نمونه روغن، ۱۰ میلی‌لیتر اتانول افزوده شد تا نمونه‌ها کاملا در اتانول حل شوند. سپس به محلول حاصل فنل‌فتالئین اضافه شد و محلول با سود استاندارد تا ثابت‌شدن رنگ ارغوانی تیتر شد. سپس برای محاسبه عدد اسیدی روغن از فرمول زیر استفاده شده و نتایج بر حسب $mgNaOH/g\ Oil$ گزارش شد (ACOS, 1993).

عدد اسیدی= (56.1×C×V)/m (رابطه ۱۰)

C: مولاریته تیتران (۰/۱ نرمال)، V: حجم تیتران مصرفی، m: وزن نمونه.

۲-۵. اندازه‌گیری عدد یدی

۰/۲۵ گرم نمونه روغن وزن شده و به آن ۱۰ میلی‌لیتر کلروفرم اضافه شد. سپس ۲۵ میلی‌لیتر معرف هانوس به نمونه‌ها اضافه شد. سپس ارلن حاوی نمونه روغن، به‌مدت ۳۰ دقیقه در یک محل تاریک قرار داده شد. پس از این مدت ۱۰ میلی‌لیتر محلول یدید پتاسیم ۰/۱ نرمال و ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر جوشیده و سردشده به محتویات ارلن اضافه شد. با محلول تیوسولفات سدیم ۰/۱ نرمال تیتراسیون انجام شد تا رنگ زرد کم‌رنگی حاصل شود. در این مرحله یک میلی‌لیتر شناساگر نشاسته به آن اضافه شده و عمل تیتراسیون با تیوسولفات ۰/۱ نرمال، تا ازبین‌رفتن کامل رنگ آبی ادامه یافت تا محلول شفاف و سفید حاصل شد. حجم تیتران مصرفی نشان‌دهنده مقدار ید جذب‌شده توسط اسیدهای چرب است. یک نمونه نیز برای شاهد در نظر گرفته شد که به‌صورت زیر آماده شد: ۲۵ میلی‌لیتر از محلول هانوس با ۱۰ میلی‌لیتر محلول یدید پتاسیم و سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و با محلول تیوسولفات ۰/۱ نرمال تیتراسیون انجام شد. حجم مصرفی را به‌عنوان شاهد یادداشت کرده و بااستفاده‌از فرمول زیر اندیس یدی محاسبه و نتایج بر حسب $gI_2/100gOil$ محاسبه شد (ACOS, 1993).

اندیس یدی= {(B-S)×M×12.69}/W (رابطه ۱۱)

B: حجم تیتران مصرفی برای نمونه شاهد، S: حجم تیتران مصرفی برای نمونه اصلی، M: مولاریته تیتران، W: وزن نمونه.

۲-۶. مشتق‌سازی از اسیدهای چرب

برای تعیین ترکیب اسیدهای چرب به‌روش کروماتوگرافی، اسیدهای چرب مشتق‌سازی شد. برای این منظور از سود دو درصد BF3، هگزان و محلول استاندارد داخلی C15، برای هیدرولیز چربی به گلیسرول و اسیدهای چرب و سپس تبدیل آن به متیل‌استر مربوطه استفاده شد. برای این منظور ۵۰ میکرولیتر از نمونه روغن را در یک لوله آزمایش درب‌دار ریخته و یک میلی‌لیتر محلول متانولی هیدروکسید پتاسیم دو نرمال به آن اضافه شد. بعد از هم‌زدن، درب لوله را بسته و به‌مدت چهار ساعت در حمام ۶۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. سپس ۲۰۰ میکرولیتر آب مقطر و دو میلی‌لیتر n هگزان به آن اضافه شد و بعد از تکان‌دادن و بعد از گذشت زمان لازم جهت دو فازشدن محتویات داخل لوله آزمایش، فاز هگزانی را خارج کرده و به یک لوله آزمایش دیگر که حاوی مقداری سولفات سدیم (جهت حذف رطوبت اضافی) بود انتقال داده شد. در زمان تزریق به دستگاه، یک میکرولیتر از این فاز هگزانی مورد استفاده قرار گرفت (Metcolf *et al.*, 1966).

۲-۷. بررسی نوع اسیدهای چرب بااستفاده‌از دستگاه GC/Mass

بر اساس عملکرد دانه و درصد روغن بالا در بین ارقام مورد مطالعه از رقم صفه با بالاترین عملکرد دانه (با میانگین ۱۹۸۶) و محتوی روغن با میانگین (۳۳ درصد) و باتوجه‌به هزینه‌بربودن آزمایش‌ها اندازه‌گیری فقط روی یک رقم انجام شد. آنالیز داده‌های مربوطبه ترکیب اسیدهای چرب نیز به‌صورت طرح اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک انجام و جهت نمونه‌برداری برای تعیین ترکیب اسیدهای چرب انتخاب شد. پس از انجام مشتق‌سازی روغن نمونه‌های گلرنگ، برای تعیین انواع اسیدهای چرب، از دستگاه GC/Mass استفاده شد: طول ستون ۳۰ متر، قطر داخلی ستون ۰/۲۵ میلی‌متر، قطر فاز ساکن ۰/۲۵ میکرون، نوع فلز ساکن

Aglient, Hp5 MS، فاز متحرک گاز هلیم با درصد خلوص ۹۹/۹۹۹ درصد و با سرعت جریان ۰/۸ میلی‌متر بر دقیقه و فشار ۵/۲۹ Psi بود. نمونه‌ها در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و به‌مدت ۱۲ ثانیه تنظیم شد. سپس با همین سرعت (۰/۸ میلی‌متر بر دقیقه) تا ۲۵ درجهٔ سانتیگراد و سپس تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد گرم شده، ۱۲ ثانیه در همین دما مانده، سپس تا ۲۴۰ درجه افزایش یافته و ۱۷ دقیقه در این دما نگه داشته شد، سپس ۱۵ دقیقه به دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد رسانده و تا پایان در این دما نگه داشته شد. آشکارسازی یونی مورد استفاده با دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد و حجم مصرفی یک میکرولیتر بود (Metcolf *et al.*, 1966). تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌کمک نرم‌افزار SAS (نسخه 9.1) انجام شد. برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. نمودارها نیز بااستفاده‌از نرم‌افزار Excel (2013) ترسیم شد.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

۳-۱. محتوی کلروفیل

اثرکم‌آبیاری، تاریخ کاشت و رقم در سطح احتمال پنج درصد بر محتوی کلروفیل معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده این است که در شرایط کم‌آبیاری میزان کلروفیل a، b و (a+b) کاهش و محتوی کارتنوئید افزایش یافت (جدول ۴). در بین ارقام مورد مطالعه رقم گلدشت بیشترین محتوی کلروفیل و رقم گلدشت و صفه بیشترین میزان کارتنوئید را داشتند (جدول ۴). کاهش کلروفیل یکی از علائم بارز تنش خشکی در برگ‌ها بوده (Dawood & Sadak, 2014) که به‌نوعی بیانگر اختلال در کلروپلاست‌ها است. کاهش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی از طریق کاهش فتوسنتز سبب افت عملکرد و تنش اکسیداتیو می‌شود (Sadak, 2016).بیشترین محتوی کلروفیل a، b، (a+b) مربوط‌به تاریخ کاشت اول (۲۰ اسفند) بود (جدول ۴). در شرایط تنش ملایم با کاهش آب برگ، غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ افزایش می‌یابد و به‌عبارت دیگر، غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ افزایش می‌یابد، هرچه تلفات آب و انقباض سلول‌ها بیشتر شود غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ افزایش می‌یابد، درحالی‌که تنش شدید باعث توقف کلروفیل‌سازی می‌شود. در این آزمایش، احتمالا اعمال تنش خشکی در رقم‌هایی که به‌ترتیب کاهش و افزایش محتوای کلروفیل a و (a+b) را داشتند، تنش وارده یکسان، اما پاسخ ارقام به تنش وارده متفاوت بوده است. بیوسنتز کلروفیل یکی از فرآیندهای حساس به دما محسوب می‌شود و به‌همین‌جهت در شناخت و بررسی تأثیر گرما روی گیاهان از آن استفاده می‌شود. با افزایش دما و تنش خشکی آنزیم کلروفیلاز در گیاه افزایش یافته و باعث کاهش محتوی کلروفیل می‌شود (Sadak, 2016). کاهش محتوی کلروفیل در گلرنگ توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Golchin *et al.*, 2022). تنش خشکی باعث افزایش ۲۵/۷۶ درصدی میزان کارتنوئید شد، همچنین میزان کارتنوئیدها در تاریخ کاشت دوم نسبت به تاریخ کاشت اول ۱۵/۶۶ درصد افزایش یافت (جدول ۴). تنش خشکی نقش ویژه‌ای در تخریب غشای سلولی و کلروپلاستی، کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و متعاقب آن کاهش توانایی فتوسنتز را داشته که در این راستا، گیاهان قادرند با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نظیر آنتوسیانین‌ها و کارتنوئیدها از ساختارهای سلولی خود در برابر رادیکال‌های فعال تولیدشده در شرایط تنش محافظت کنند (Bettaieb *et al.*, 2011). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین کارتنوئیدها متعلق به تاریخ کاشت دوم (۲۰ فروردین‌ماه) بود (جدول ۴). علت این افزایش کارتنوئیدها بر اثر تنش خشکی ناشی از اثر دفاعی این رنگیزه‌ها است. کارتنوئیدها علاوه‌بر داشتن نقش رنگدانه فرعی، به‌عنوان یک عامل آنتی‌اکسیدانی هم عمل کرده و نقش موثر در حفاظت از فرآیندهای فتوشیمیایی و حفظ و ادامه آن‌ها بازی می‌کنند (Armand *et al.*, 2016).

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک، عملکرد دانه، روغن و ترکیب اسیدهای چرب دانهٔ ارقام گلرنگ تحت شرایط آبیاری و تاریخ‌های کاشت.

S.O.V		chla content	chlb content	Total Chlorophyll content	Carotenoid content	Seed yield	Oil content	Acid value	Iodine number	Linoleic acid	Linolenic acid	Oleic acid	Palmitic acid	Stearic acide
Replication	3	0.00537^{ns}	0.000489^{ns}	0.0081^{ns}	83.78^{ns}	149784^{ns}	7.21^{ns}	1.09^{ns}	49.23^{ns}	0.00733^{ns}	0.00000001^{ns}	0.000234^{ns}	0.0000376^{ns}	0.0000061^{ns}
Irrigation	1	0.00668*	0.00332**	0.0194*	817.11**	5390663**	54.4*	3.10*	646.4*	0.4074*	0.0000503**	0.81356**	0.02602**	0.004923**
Error 1	3	0.000382	0.000038	0.000651	5.86	96752	3.51	0.14	19.27	0.000385	0	0.0000091	0.00000179	0.0000003
Sowing date	1	0.0155*	0.00171*	0.0275*	205.91*	308345*	0.046^{ns}	3.28**	329.43*	2.41077**	0.0000496**	2.3043**	0.02153**	0.005107**
Cultivar	2	0.011*	0.000771*	0.0175*	156*	1027123**	86.3**	0.060**	41.61^{ns}	-	-	-	-	-
Irrigation*Sowing Date	1	0.00119^{ns}	0.000113^{ns}	0.00193^{ns}	17.55^{ns}	56732**	0.72^{ns}	0.04^{ns}	109.18^{ns}	2.47964**	0.0000497**	1.769**	0.00608**	0.012848**
Irrigation*Cultivar	2	0.000074^{ns}	0.000079^{ns}	0.000121^{ns}	1.1^{ns}	34106^{ns}	5.32^{ns}	0.01^{ns}	2.59^{ns}	-	-	-	-	-
Cultivar*Sowing Date	2	0.00557^{ns}	0.000194^{ns}	0.00784^{ns}	96.2^{ns}	112795^{ns}	5.31^{ns}	1.20**	73.79^{ns}	-	-	-	-	-
Irrigation*Cultivar* Sowing Date	2	0.0000743^{ns}	0.0000079^{ns}	0.0000121^{ns}	1.1^{ns}	185961^{ns}	5.23^{ns}	0.02^{ns}	172.72*	-	-	-	-	-
Error 2	30	0.00236	0.00024	0.00402	43.25	55975	4.62	0.035	42.8	0.000294	0.0004502	0.000012	0.00000153	0.00000029
CV(%)		23.89	28.4	24.6	18.46	13.9	7.02	12.1	5.02	0.021	0.19	0.26	0.22	0.023

^{ns}، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

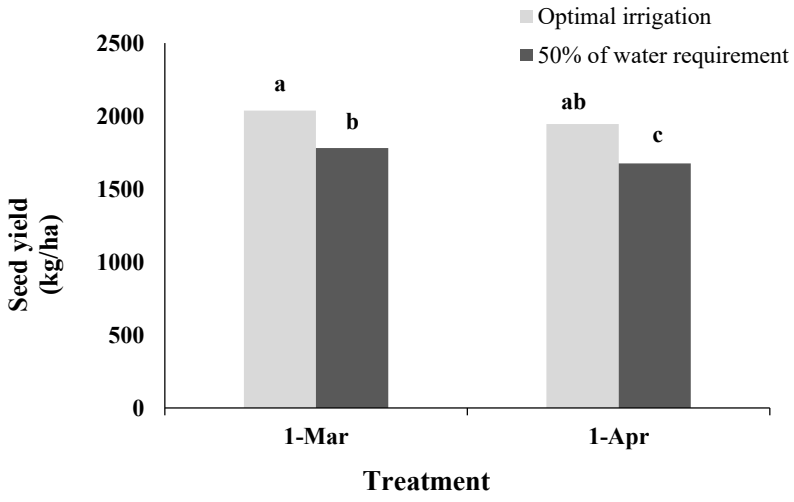
جدول ٤. مقایسهٔ میانگین صفات فیزیولوژیک، عملکرد دانه، روغن و ترکیب اسیدهای چرب دانه ارقام گلرنگ تحت شرایط آبیاری و تاریخ‌های کاشت.

	Chla ($mg.g^{-1}Fw$)	Chlb ($mg.g^{-1}Fw$)	Total content ($mg.g^{-1}FW$)	Carotenoid content ($mg.g^{-1}FW$)	Seed yield ($kg.h^{-1}$)	Oil content (%)	Peroxide number ($mq/o_2/kg$ oil)	Acid Value (mgNaOH/ gOil)	Iodine number ($gI_2/100gOil$)	Linoleic acid (%)	Linolenic acid (%)	Oleic acid (%)	Palmitic acid (%)	Stearic acid (%)
Irrigation level														
Optimal irrigation	0.21a	0.061a	0.27a	30.77b	2036.05a	31.66 a	0	1.27b	134.32a	0.09a	78.63a	12.58b	5.56b	2.22b
50% of water requiremen	0.19b	0.045b	0.23b	41.45a	1365.81b	29.53b	0	1.85a	125.85b	0.08b	77.79b	13.21a	5.68a	2.27a
Sowing date														
20 March	0.22a	0.059a	0.27a	32.19b	1781.08a	30.63a	0	1.26b	133.11a	0.09a	78.76a	12.42b	5.65a	2.21b
20 April	0.18b	0.048b	0.22b	38.17a	1620.78b	30.57a	0	1.86a	127.06b	0.08b	77.65b	13.37a	5.59b	2.29a
Cultivar														
Goldasht	0.24a	0.064a	0.3a	39.8a	1504.49b1	28.63b	0	1.34c	128.61a	-	-	-	-	-
Sina	0.18b	0.051b	0.24b	35.1b	1611.39b	33.16b	0	1.55a	132.18a	-	-	-	-	-
Soffeh	0.18b	0.049b	0.23b	32.25ab	1986.91a	30.01a	0	1.79 b	129.46a	-	-	-	-	-

میانگین‌های با حرف مشابه در یک صفت، مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

۳-۲. عملکرد دانه

اثر متقابل شرایط آبیاری و تاریخ کاشت در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و تاریخ کاشت اول (۲۰ اسفند) با میانگین ۲۰۳۶ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری و تاریخ کاشت دوم (۲۰ فروردین) با میانگین ۱۶۷۵/۴ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (شکل ۱). تنش خشکی با تأثیری که بر محتوی کلروفیل گذاشت باعث کاهش کلروفیل و در نهایت باعث کاهش فتوسنتز شده و با کاهش فتوسنتز عملکرد دانه نیز کاهش یافت (جدول ۴). با کاهش فتوسنتز و فراهمی مواد فتوسنتزی و با کاهش فتوسنتز عملکرد دانه کاهش کاشت اول (۲۰ اسفند) به‌دست آمد (جدول ۴). عملکرد گیاه با طول دوره رشد گیاه رابطه مستقیمی دارد، زیرا هرچه مدت رشد رویشی طولانی‌تر می‌شود، میزان مواد پرورده تولیدشده توسط بخش رویشی افزایش یافته و باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. در تاریخ کاشت اول (۲۰ اسفند) چون درجه حرارت شبانه‌روز بیشتر از صفر فیزیولوژیکی گلرنگ (دمای پنج درجه سانتی‌گراد) بوده، در نتیجه گیاه به‌راحتی به رشد و نمو خود ادامه داده و دوره رشد طولانی‌تری نسبت‌به تاریخ اول کاشت (۲۰ فروردین) داشته و با برخورداری از درجه حرارت مناسب در دوران رشد رویشی توانسته حداکثر مواد پرورده را تولید و باعث افزایش عملکرد دانه شده است (Ghanbari *et al*., 2013).



شکل ۱. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و تاریخ کاشت برعملکرد دانه. میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

۳-۳. درصد روغن

اثرکم‌آبیاری در سطح احتمال پنج درصد و رقم در سطح احتمال یک درصد بر درصد روغن معنی‌دار بود، درحالی‌که تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر درصد روغن نداشت (جدول ۳). درصد روغن در شرایط کم‌آبیاری ۶/۸ درصد کاهش یافت (جدول ۴). تنش خشکی باعث کاهش کم معنی‌دار درصد روغن دانه شد. مقدار درصد روغن دانه صفت کمی است و توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود، بنابر این احتمال آسیب‌دیدن تمامی ژن‌های کنترل‌کننده این صفت بسیار کم است که می‌تواند دلیل کاهش اندک درصد روغن در بین ارقام باشد. تحقیقات نشان داده که درصد روغن دانه در گیاه گلرنگ بستگی زیادی به مغز دانه داشته و با آن همبستگی مثبت دارد. اعمال تنش خشکی در دوره پرشدن دانه‌ها باعث افزایش نسبت پوسته به مغز دانه شده که در نهایت موجب کاهش درصد روغن می‌شود. نتایج مطالعه برخی پژوهشگران نشان داد که درصد روغن دانه گلرنگ در اثر اعمال تیمارهای مختلف آبیاری تغییر اندکی می‌کند (Golchin *et al*., 2020). مهمترین عاملی که برای کاهش درصد روغن در تنش خشکی می‌توان عنوان کرد این است که تنش خشکی باعث بروز اختلال در پرشدن دانه‌ها شده و طول دوره پرشدن دانه‌ها را کاهش می‌دهد، در نتیجه درصد روغن کاهش می‌یابد. در واقع تنش خشکی به‌ویژه در هنگام رسیدگی دانه‌ها درصد روغن را کاهش می‌دهد که این حالت

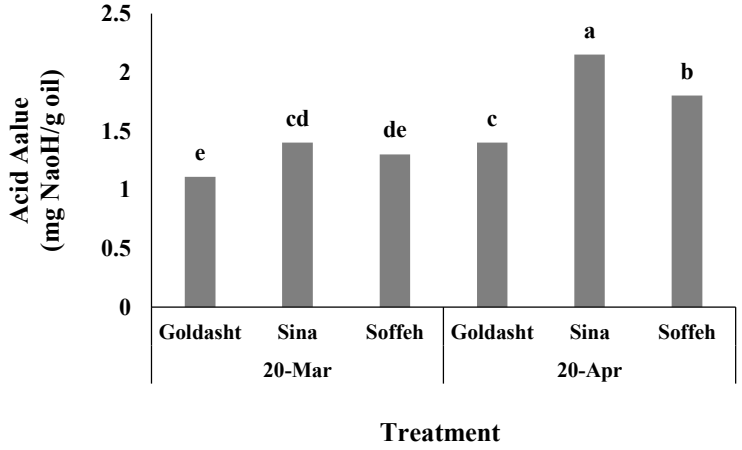
به‌دلیل تسریع در رسیدگی گیاه است (Omidi *et al.*, 2014). در بین ارقام مورد مطالعه رقم صفه (با میانگین ۳۳/۱۶ درصد) بیشترین و رقم گلدشت (با میانگین ۲۸/۶۳ درصد) کمترین درصد روغن را به خود اختصاص داد (جدول ۴). وجود تفاوت معنی‌دار بین ارقام مختلف می‌تواند نشان‌دهنده کنترل ژنتیکی درصد روغن باشد.

۳-۴. عدد پراکسید

نتایج تجزیه واریانس صفت عدد پراکسید نشان‌دهنده عدم تاثیر معنی‌دار شرایط آبیاری، رقم و تاریخ کاشت است. نتایج مقایسه میانگین عدد پراکسید در این آزمایش برای تمام نمونه‌ها صفر بود (جدول ۳) که نشان‌دهنده شرایط محیطی مناسب رشد دانه، استخراج، نگهداری و در نتیجه کیفیت بالای روغن می‌باشد. پراکسیدها محصولات اولیهٔ اکسیداسیون روغن‌ها هستند و به‌همراه عدد اسیدی جزء پارامترهای کیفی روغن به‌شمار می‌روند. مقدار عدد پراکسید در روغن‌ها می‌تواند بین (۴۰-۰) میلی‌اکی‌والان گرم اکسیژن فعال باشد (Khan *et al.*, 2018).

۳-۵. عدد اسیدی

اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم در سطح احتمال یک درصد بر عدد اسیدی معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عدد اسیدی در تیمار کم‌آبیاری با میانگین ۱/۸۵ (میلی‌گرم هیدروکسید سدیم در گرم روغن) و تاریخ کاشت دوم با میانگین ۱/۸۶ میلی‌گرم (هیدروکسید سدیم در گرم روغن) به‌دست آمد (جدول ۴). تنش خشکی و تأخیر در کاشت هر دو سبب افزایش میزان عدد اسیدی در روغن ارقام گلرنگ شده‌اند. بالاترین عدد اسیدی برای رقم سینا در تاریخ کاشت دوم با میانگین ۲/۱۵ (هیدروکسید سدیم در هرگرم روغن) بود که با سایر ارقام در این شرایط تفاوت معنی‌داری نشان داد و کمترین عدد اسیدی مربوط‌به رقم گلدشت در تاریخ کاشت اول با میانگین ۱/۱۱ (هیدروکسید سدیم در هرگرم روغن) به‌دست آمد. میزان عدد اسیدی در تمامی ارقام در تاریخ کاشت دوم نسبت‌به تاریخ کاشت اول افزایش یافت و این افزایش در رقم سینا نسبت‌به ارقام دیگر بیشتر بود (شکل ۲). کم‌آبیاری و تأخیر در کاشت با افزایش مقدار آنزیم‌های هیدرولیزکننده باعث افزایش عدد اسیدی در تیمارهای تحت تنش شده و از کیفیت روغن کاسته است. میزان عدد اسیدی در روغن‌های گیاهی نشانگر میزان اسیدهای چرب آزاد است و یک شاخص مهم برای کیفیت روغن‌ها به‌شمار می‌رود (Nasir *et al*., 2009; Rajko *et al.*, 2016).

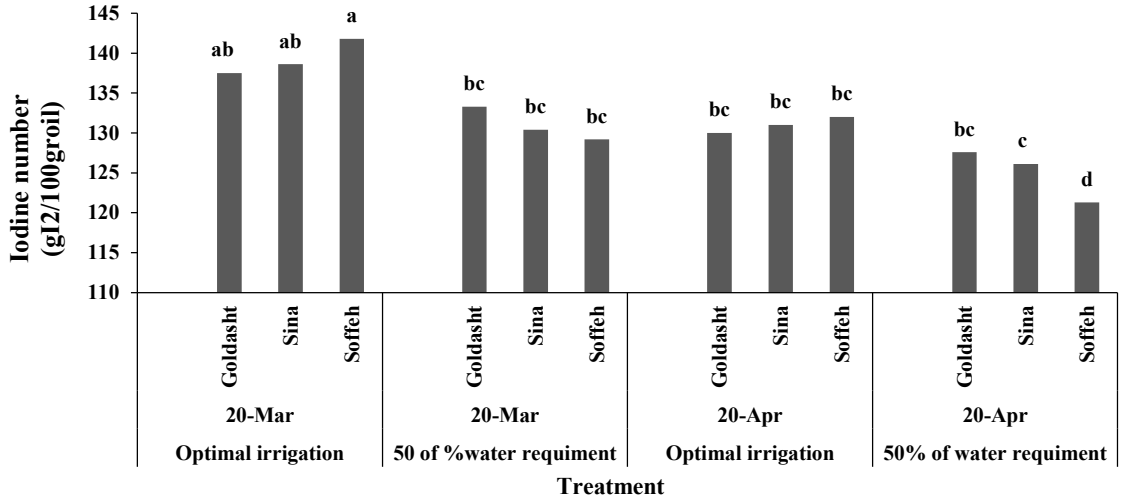


شکل ۲. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر عدد اسیدی. میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

۳-۶. عدد یدی

اثر متقابل شرایط آبیاری، تاریخ کاشت و رقم در سطح احتمال یک درصد بر عدد یدی معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد رقم صفه در تیمار شاهد و تاریخ کاشت اول بالاترین عدد یدی با میانگین ۱۴۳/۶ (گرم ید جذب‌شده در صد گرم روغن) را داشت که با ارقام سینا و گلدشت کاشته‌شده در این تیمار آبی و تاریخ کاشت تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). کمترین میزان عدد یدی نیز

متعلق‌به رقم گلدشت با میانگین ۱۱۸/۳ (گرم ید جذب‌شده در صد گرم روغن) در تیمار کم‌آبیاری و تاریخ کاشت دوم بود که با رقم صفه در این شرایط تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۳). عدد یدی شاخصی از تعداد پیوندهای دوگانه می‌باشد. معمولا در دمای معمولی روغن‌های حاوی اسیدهای چرب اشباع‌نشده به‌صورت مایع است. بنابراین عدد یدی با نقطه ذوب یا نرمی و سختی روغن در ارتباط است و از طرف دیگر این نکته را هم باید مد نظر قرار داد که مقدار عدد یدی پایین نشان‌دهنده پایداری روغن‌ها و حساسیت کمتر آن‌ها به فساد اکسیداتیو است و روغن‌هایی که عدد یدی پایین‌تر و اسیدهای چرب اشباع‌شده بیشتری دارند در برابر فساد و اکسیدشدن مقاوم هستند (Afolayan *et al.*, 2014). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تنش خشکی اثر منفی بر ویژگی تغذیه‌ای روغن دارد؛ اما از طرفی اسیدهای چرب غیر اشباع در روغن‌های گیاهی باعث افزایش سلامت قلب و عروق و مانع از ایجاد بیماری‌های قلبی و عروقی می‌شوند.



شکل ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و تاریخ کاشت و رقم بر عدد یدی. میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

۳-۷. ترکیب اسیدهای چرب

نتایج مقایسه میانگین نشان داد اعمال کم‌آبیاری و تاریخ کاشت اثرات متفاوت افزایشی و کاهشی بر میزان اسیدهای چرب موجود در روغن گلرنگ داشت (جدول ۳). بیشترین میزان لینولئیک و لینولنیک‌اسید (اسیدهای چرب غیر اشباع) در تیمار آبیاری مطلوب و تاریخ کاشت اول گزارش شد. برخلاف این دو اسید که از دسته اسیدهای چرب امگا ۶ و۳ هستند، بیشترین میزان اولئیک‌اسید که یک اسید چرب غیر اشباع است در تیمار تنش خشکی و تاریخ کاشت دوم به‌دست آمد (جدول ۳). باتوجه‌به اینکه میزان لینولئیک‌اسید در شرایط کنترل و تاریخ کاشت اول بالاترین مقدار بود، پس تنش خشکی و تأخیر در کاشت سبب کاهش میزان لینولئیک‌اسید و کیفیت روغن گلرنگ می‌شود (جدول ۴). از لحاظ ارزش تغذیه‌ای، مهمترین اسید چرب غیر اشباع لینولئیک‌اسید می‌باشد، به‌طوری‌که کمبود آن در رژیم غذایی باعث انسداد عروق و نهایتا منجر به سکته قلبی می‌شود. شرایط محیطی به‌واسطه تأثیرگذاری بر قدرت جذب آب و مواد غذایی ریشه گیاه، ترکیب و خصوصیات روغن دانه‌های روغنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. محققان نشان دادند که تغییرات در ترکیب اسیدهای چرب گلرنگ به‌ویژه اسیدلینولئیک و اولئیک در تاریخ‌های مختلف کاشت تا حد زیادی مربوط‌به تفاوت آب و هوایی فصلی، به‌خصوص رطوبت و دما در طول فصل رشد می‌باشد (Ashrafi & Razmjoo, 2010). افزایش اسیداولئیک و کاهش اسیدلینولئیک می‌تواند به‌دلیل افزایش تجمع چربی و کاهش فعالیت D_{12} desaturase باشد، آنزیم D_{12} desaturase یک آنزیم غیر اشباع‌کننده است که اولئیک‌اسید را به لینولئیک‌اسید تبدیل می‌کند. کمبود رطوبت و افزایش دما باعث کاهش این آنزیم و کاهش اسید چرب لینولئیک و افزایش اسیداولئیک می‌شود (Yeilaghi *et al.*, 2012). بین اسیدلینولئیک و اسیداولئیک که هر دو جزء اسیدهای چرب غیر اشباع هستند رابطهٔ معکوس وجود دارد، افزایش اسیدلینولئیک باعث کاهش اسیداولئیک می‌شود و بالعکس.

اولئیک‌اسید به‌فرم 18:1 در پلاستیدها ساخته می‌شود و این درحالی است که فرم غیر اشباع آن به‌صورت 18:2 و 18:3 در سیتوزول ساخته می‌شود؛ ازآنجایی‌که لینولئیک و لینولنیک‌اسید از دو اسید چرب یادشده از اولئیک‌اسید تولیدشده، ساخته می‌شوند، تنش‌های محیطی مانند خشکی مانع از انتقال و سنتز اسیدهای چرب لینولئیک و لینولنیک از اسید چرب اولئیک می‌شود (Reihanisamani *et al.,* 2018). این درحالی است که هر چقدر میزان اسیدلینولئیک در روغن بالا باشد، نشان‌دهندهٔ کیفیت تغذیه‌ای بالاتر آن است. جدا از مقدار روغن یکی از مهم‌ترین اهداف اصلاحگران افزایش کیفیت روغن گلرنگ و اسیدهای چرب آن به‌خصوص، لینولئیک است که به‌شدت تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد (Enjalbert *et al*., 2013). گزارش شده است که درمقایسه‌با شرایط آبیاری مطلوب، اعمال تنش خشکی در مرحلهٔ گلدهی باعث کاهش اسیدهای چرب غیر اشباع مانند لینولئیک-اسید و لینولنیک‌اسید در روغن سویا شد (Ghassemi-Golezani *et al*., 2018). با کاهش اسیدهای چرب غیر اشباع میزان اسیدهای چرب اشباع (استئاریک و پالمتیک) افزایش یافت (جدول ۴). بیشترین میزان استئاریک‌اسید نیز در تیمار تنش خشکی و تاریخ کاشت دوم گزارش شد، درحالی‌که بیشترین میزان پالمتیک‌اسید در تیمار تنش خشکی و تاریخ کاشت اول به‌دست آمد. هرچه میزان استئاریک‌اسید در روغن بیشتر باشد از قابلیت تجاری آن کاسته می‌شود. محققان دیگر نیز کاهش اسیدهای چرب غیر اشباع و افزایش اسیدهای چرب اشباع پالمتیک و استئاریک‌اسید را در شرایط تنش خشکی گزارش کرده‌اند (Bayati *et al*., 2020; Moghadam *et al*., 2011).

۴. نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده اثرات نامطلوب تنش خشکی و کم‌آبیاری بر محتوی کلروفیل، عملکرد دانه، درصد روغن و کیفیت روغن و اسید چرب گلرنگ بود. تأخیر در کاشت با کاهش طول دوره رویشی باعث کاهش عملکرد و درصد روغن شد. تاریخ کاشت اول(۲۰ اسفندماه) با فراهم‌آوردن دوره رشد رویشی مناسب باعث افزایش عملکرد دانه و درصد روغن شد. در بین ارقام مورد مطالعه، بیشترین عملکرد دانه (۱۹۸۶/۹۱ کیلوگرم در هکتار) از رقم صفه حاصل شد. به‌نظر می‌رسد در بین ارقام مورد مطالعه از لحاظ عملکرد دانه و درصد روغن و تحمل به کم‌آبیاری و کیفیت روغن رقم صفه، رقم بهتری بوده است. عدد پراکسید که باعث کاهش کیفت روغن می‌شود در این پژوهش برای تمام نمونه‌ها صفر بود که نشانگر شرایط مناسب استخراج و نگهداری روغن بود. عدد اسیدی که نمایانگر میزان اسیدهای چرب آزاد است در این مطالعه تحت تأثیر تنش خشکی و تاریخ کاشت قرار گرفته و افزایش یافت؛ اما میزان آن در محدودهٔ استاندارد بود. بالاترین میزان عدد اسیدی برای رقم سینا در تاریخ کاشت دوم با میانگین ۲/۱۵ (هیدروکسید سدیم در گرم روغن) و کمترین میزان عدد اسیدی مربوط‌به رقم گلدشت در تاریخ کاشت اول با میانگین ۱/۱۱ (هیدروکسید سدیم در گرم روغن) به‌دست آمد. افزایش تنش خشکی و تأخیر در کاشت عدد یدی را نیز کاهش داد و میزان آن در شرایط کنترل و تاریخ کاشت اول زیادتر بود. این عدد نشان‌دهندهٔ میزان اسید چرب غیر اشباع زیادتر در شرایط کنترل و کشت زودهنگام بود. همچنین اعمال کم‌آبیاری و تأخیر درکاشت اثرات افزایشی و کاهشی بر میزان اسیدهای چرب گلرنگ داشت که باعث کاهش اسیدهای چرب غیر اشباع و افزایش اسیدهای چرب اشباع شد. در نهایت برای به‌دست‌آوردن بیشترین عملکرد و کیفیت روغن آبیاری نرمال و تاریخ کاشت زودهنگام به‌علت آبیاری کمتر توصیه می‌شود.

۵. منابع

Afolayan, M., Fausat, A., & Idowu, D. (2014). Extraction and physicochemical analysis of some selected seed oils. *International Journal of Advanced Chemistry, 2*(2), 70-73.

Ali, Z., Basra, S.M.A., Munir, H., Mahmood, A., & Yousaf, S. (2011). Mitigation of drought stress in maize by natural and synthetic growth promoters. *Journal of Agriculture and Social Sciences*, *7*(2), 56-62.

AOCS. (1993). Official methods and recommended practices of the american oil chemists' society (Methods Ag 1–65 and Ce 1–62), Champaign: *American Oil Chemistry and Technology.*

Armand, N., Amiri, H., & Ismaili, A. (2016). Interaction of methanol spray and water-deficit stress photosynthesis and biochemical characteristics of *Phaseolus vulgaris* (L.). *Photochemistry and Photobiology, 2*(1), 102-110.

Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris* (L.). *Plant Physiology, 24*(1), 1-15.

Ashrafi, E., & Razmjoo, K. (2010). Effect of irrigation regimes on oil content and composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *American Oil Chemistry and Technology, 87*(5), 499-506.

Bayati, P., Karimmojeni, H., & Razmjoo, J. (2020). Changes in essential oil yield and fatty acid contents in black cumin (*Nigella sativa* L.) genotypes in response to drought stress. *Industrial Crop Production*, *155*, 112764. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112764.

Bettaieb, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F., & Marzouk, B. (2011). Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* (L.). *Acta Physiologiae Plantarum, 33*(4), 1103-1111.

Bortolheiro, F.P., & Silva, M.A. (2017). Physiological response and productivity of safflower lines under water deficit and rehydration. *Anais da Academia Brasileira De Ciências*, *89*(4), 3051-3066.

Dawood, M.G., & Sadak, M.S. (2014). Physiological role of glycinebetaine in alleviating the deleterious effects of drought stress on canola plants (*Brassica napus* L.). *Middle East Journal Agricultural Reserch, 3*(4), 943-954.

Enjalbert, J.N., Zheng, S., Johnson, J.J., Mullen, J.L., Byrne, P.F., & McKay, J.K. (2013). Brassicaceae germplasm diversity for agronomic and seed quality traits under drought stress. *Industrial Crop Production*, *47*, 176–185. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.02.037.

Ghanbari-Odivi, A., Hashemzade, H., Bahrampour, B., & Saeidi, M. (2013). *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, *3*(14), 1405-1410.

Ghassemi-Golezani, K., & Farhangi-Abriz, S. (2018). Changes in oil accumulation and fatty acid composition of soybean seeds under salt stress in response to salicylic acid and jasmonic acid1. *Russian Journal of Plant Physiology, 65*(2), 229-236.

Giiberson, P.K., Johnson, M.T., Berti, M.T., & Halvorson, M.A. (2014). Seeding date and performance of speciaity oil seed in North Dakota. *Journal of Janick and A. ASHS Press, Alexandria, VA,* 105-110.

Golchin, L., Tavakoli, A., & Mohsenifard, E. (2020). Evaluation of the effects of 6-benzyl aminopurine application on safflower cultivars production under drought stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, *23*(2), 321-324.

Golchin, L., Tavakoli, A., & Mohsenifard, E. (2022). Effect of cytokinin application on photosynthesis, gas exchange and seed yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *23*(2), 214-228.

Hosseinzadeh, S., Amiri, H., & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica, 54*, 87-92.

Hu, Y.Y., Zhang, Y.L., Yi, X.P., Zhan, D.X., Luo, H.H., Soon, C.W., & Zhang, W.F. (2014). The relative contribution of non-foliar organs of cotton to yield and related physiological characteristics under water deficit. *Journal of Integrative Agriculture, 13*(5), 975-989.

Khan, M.A.R., Ara, M.H., & Mamun, S.M. (2018). Fatty acid composition and chemical parameters of *Liza parsia*. *Journal Basic Applied Chemistery, 8*, 1-8.

Kumar, A., Singh, P., Gangwar, C.S., Sharma, S.K., Srivastava, A., & Yadav, A.K. (2018). Maximization of adjusting date of sowing and nutrient level in mustard (*Brassica juncea* czern & Coss). *Journal Pharmacogen Phytochem, 7*(1), 938-940.

Metcolfe, L.D., Schmitz, A.A., & Pelka. J.R. (1966). Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. *Analytical chemistry, ACS Publications*, 515 p.

Moghadam, H.R.T., Zahedi, H., & Ghooshchi, F. (2011). Oil quality of canola cultivars in response to water stress and super absorbent polymer application. *Pesqui Agropecuária Trop.*, *41*, 579–586. https://doi.org/ 10.5216/pat.v41i4.1336.

Mohammadi, M., Tavakoli, A., & Saba, J. (2014). Effects of foliar application of 6-benzlaminopurne on yield and oil content in two spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Plant Growth Regual.*, *73*, 219-226.

Nasir, M., Butt, M.S., Anjum, F.M., Jamil, A., & Ahmad, I. (2009). Physical and sensory properties of maize germ oil fortifie cakes. *International Journal Agriculture Biology*, *11*, 311-315.

Nazari, M., Ramezani, A., & Zeyae Nasab, M. (2017). The effect of poor irrigation and use of phosphate-soluble biofertilizer on yield and yield components of safflower. *Journal of Ecology*, 32-42. (In Persian).

Ozkan, A., & Kulak, M. (2013). Effects of water stress on growth, oil yield, fatty acid composition and mineral content of *Sesamum indicum* (L.). *Journal of Animal Plant Sciences*, *23*, 1686-1690.

Omidi, F., & Sepehri, A. (2014). Effect of sodium nitroprusside on growth, yield and components of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science, 45*, 243-254. DOI: 10.22059/IJFCS.2014.51903.

Reiahisamani, N., Esmaeili, M., Khoshkholgh Sima, N.A., Zaefarian, F., & Zeinalabedini, M. (2018). Assessment of the oil content of the seed produced by *Salicornia* (L.), along with its ability to produce forage in saline soils. *Genetic Resources and Crop Evolution*, *65*, 1879–1891.

Rajko, V., Sergeja, V., & Helena, A. (2016). Biochemical parameters and oxidative resistance to thermal treatment of refined and unrefined vegetable edible oils. *Czech Journal of Food Scimago, 28*, 376-384.

Sadak, M.S. (2016). Mitigation of drought stress on fenugreek plant by foliar application of trehalose. *International Journal of Chemistry Technology Research, 9*, 147-155.

Ullah, F., & Bano, A. (2011). Effect of plant growth regulators on oil yield and biodiesel production of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Brazilian Journal Plant of Physiology*, *23*, 27–31.

Yeilaghi, H., Arzani, A., Ghaderian, M., Fotovat, R., Feizi, M., & Pourdad, S.S. (2012). Effect of salinity on seed oil content and fatty acid composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. *Food Chemistry, 130*, 618–625. doi:10.1016/j.foodchem.2011.07.08.

Zlatev, Z., & Lidon, F.C. (2012). An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, *24*, 57-72.

Zhu, Y., Taylor, C., Sommer, K., Wilkinson, K., & Wirthensohn, M. (2015). Influence of deficit irrigation strategies on fatty acid and tocopherol concentration of almond (*Prunus dulcis*). *Food Chemistry*, 173-188.