

Original article

Evaluation of morpho-phenological, photosynthetic, and yield responses of new indehiscent sesame (*Sesamum indicum* L.) to irrigation regimes

Mehdi Attar Roshan¹, Afrasyab Rahnama^{2*}, Moosa Meskarbasheh³, Mohammad Reza Siahpoosh², Matthew Harrison⁴

1. Ph.D Student of Agrotechnology, Department of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
4. Professor, Tasmanian Institute of Agriculture, University of Tasmania, Newnham Drive, Launceston, Tasmania, Australia

Received: 18 June 2024; Revised: 13 July 2024; Accepted: 18 July 2024

Extended abstract

Introduction

The availability of water resources is a limiting factor for agricultural irrigation worldwide. Arid and semi-arid regions of the world are primarily characterized by water scarcity, which results in a decrease in available water for irrigation and consequently leads to a reduction in crop production. Water stress affects the phenological, morphological, and physiological processes of crops, resulting in reduced yield. Optimal irrigation intervals can significantly enhance water productivity without significant yield loss. This strategy can maximize crop water productivity in regions and seasons facing water scarcity. Our study aimed to investigate how different irrigation intervals affect the morpho-phenological and photosynthetic characteristics, as well as the yield, of new indehiscent sesame cultivars.

Materials and methods

To investigate the impact of different irrigation intervals on morpho-phenological, photosynthetic, and yield of new indehiscent sesame cultivars, a field experiment was conducted. The experiment was set up in a split-plot arrangement within a randomized complete block design with four replications in 2021-2022. The experiment was conducted in Dezful, Iran. Main plots included three irrigation regimes (irrigation after 8, 13, and 18 days), and subplots consisted of three indehiscent (Hamran, Mohajer, Barkat) and one dehiscent (Shevin) sesame cultivars. Irrigation intervals were implemented during the seedling establishment stage. The control treatment received adequate water every 8 days throughout the experiment.

Results and discussion

There were notable differences in most traits between the various cultivars and irrigation intervals. Different irrigation intervals significantly affected photosynthesis, morphological traits, and oil and grain yields of sesame cultivars. Irrigation after 18 days resulted in a significant decrease in various traits, including plant height, height of the first capsule, length of the capsule-bearing zone, days to flowering, days to the emergence of the first capsule, stomatal conductance, photosynthetic rate, transpiration rate, chlorophyll index, biomass yield, oil content, and both grain and oil yield across both years of the study. In irrigation after 13 days, only minor differences were observed in most traits. The

* Corresponding author: Afrasyab Rahnama; E-Mail: a.rahnama@scu.ac.ir



grain yield of all cultivars significantly decreased in irrigation after 18 days in 2021 and 2022, by 41% and 22%, respectively, compared to irrigation after 8 days. Similarly, the oil yield reduced by 49% and 26%, respectively, compared to the irrigation after 8 days. There was genetic variation in grain and oil yield across cultivars in response to irrigation intervals. Barkat and Mohajer cultivars, which showed the lowest reduction in grain yield, demonstrated greater stability in grain yield under deficit irrigation conditions compared to the Shevin cultivar, indicating seed-shattering resistance and a higher ability of these cultivars to translocate photoassimilates to reproductive structures, thereby maintaining grain yield.

Conclusion

Different irrigation intervals differently influenced the morpho-phenological and photosynthetic characteristics, as well as yield traits, of new indehiscent sesame cultivars. Irrigation after 13 days resulted in a slight decrease in grain and oil yield compared to the control, while saving approximately 28-31% of the available water. Therefore, irrigation intervals of 8 and 13 days are recommended, along with the use of Barkat and Mohajer cultivars, as a suitable strategy to improve sustainable sesame production in humid tropical areas.

Keywords: Days to flowering, Irrigation interval, Oil yield, Photosynthesis rate

ارزیابی واکنش‌های مورفولوژیک، فتوسنتزی و عملکردی ارقام جدید کنگد ناشکوف (Sesamum indicum L.) به رژیم‌های آبیاری

مهدی عطارروشن^۱، افراسیاب راهنما^{۲*}، موسی مسکرباشی^۳، محمدرضا سیاهپوش^۴، متیو هریسون^۵

۱. دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

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

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

۴. استاد، مؤسسه کشاورزی تاسمانی، دانشگاه تاسمانی، تاسمانی، استرالیا

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: تعداد روز تا گلدهی دور آبیاری سرعت فتوسنتز عملکرد روغن	محدودیت منابع آب برای کشاورزی و افزایش تقاضا برای تأمین غذا در سرتاسر جهان نیازمند راهبردهای بهینه مصرف آب مانند کم آبیاری و دستیابی به عملکرد بالاست. این پژوهش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در شرکت کشت و صنعت شهید رجایی دزفول اجرا شد. سه دور آبیاری (۸، ۱۳ و ۱۸ روز) در کرت‌های اصلی و سه رقم ناشکوفای جدید و یک رقم شکوفای محلی کنگد (به ترتیب برکت، مهاجر، چمران و شوبین) در کرت‌های فرعی قرار گرفت. نتایج نشان داد دوره‌های آبیاری به طور متفاوتی ویژگی‌های مورفولوژیک، فتوسنتزی و عملکرد دانه و روغن ارقام کنگد را تحت تأثیر قرار داد. در دور آبیاری ۱۳ روز تفاوت‌های معنی‌دار تنها در برخی صفات مشاهده شد، درحالی‌که دور آبیاری ۱۸ روز در مقایسه با ۸ روز منجر به کاهش قابل توجه ارتفاع بوته، طول ناحیه کپسول‌دهنده، تعداد روز تا گلدهی و ظهور کپسول، هدایت روزه‌ای، سرعت فتوسنتز و تعرق، شاخص سبزی‌نگی، عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و روغن شد، ولی بهره‌وری آب آبیاری را افزایش داد. بین ارقام از نظر عملکرد دانه و روغن در واکنش به دور آبیاری تنوع ژنتیکی وجود داشت. بیشترین عملکرد دانه مربوط به رقم مهاجر و برکت در دور آبیاری ۸ روز (به ترتیب ۱۴۹۰ و ۱۷۳۰ کیلوگرم در هکتار) بود. با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۸ روز ارقام برکت و مهاجر در مقایسه با شوبین عملکرد دانه و روغن بالاتری داشتند. به طور کلی، بیشترین کارایی مصرف آب آبیاری برای عملکرد دانه، در دور آبیاری ۱۳ روز حاصل شد و اعمال این دور آبیاری در سال اول و دوم موجب کاهش ۳۱ و ۲۸ درصدی آب مصرفی شد. به طور کلی، دور آبیاری ۸ تا ۱۳ روز و ارقام ناشکوفای برکت و مهاجر برای تولید پایدار کنگد در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری قابل توصیه هستند.

مقدمه

یک گیاه متحمل به خشکی کشت می‌شود، با این حال، به طور قابل توجهی به مقادیر آب آبیاری واکنش نشان می‌دهد (Islam et al., 2016). ریزش دانه کنگد قبل از رسیدگی فیزیولوژیک یا رسیدگی کامل دانه، یکی از مشکلات رایج کشت گسترده این گیاه است. ناشکوف بودن کپسول کنگد به دلیل مقاومت به ریزش دانه تا زمان رسیدگی کامل یکی از

کنجد، یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی و یک محصول تجاری جهان است که با مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری سازگار شده است. سطح زیر کشت کنگد در جهان ۱۲/۸۳ میلیون هکتار با تولید سالانه ۶/۷۴ میلیون تن (FAO, 2022) و سطح زیر کشت آن در ایران حدود ۳۹/۵ هزار هکتار و میزان تولید آن ۴۴/۸ هزار تن گزارش شده است (Ministry of Agriculture Jihad, 2022). کنگد به طور معمول به عنوان

مطالعات نشان داده‌اند که کم‌آبایی در مراحل مختلف رشد به‌طور متفاوتی عملکرد دانه، عملکرد روغن و راندمان مصرف آب کتان روغنی را در مقایسه با آبیاری مطلوب تغییر می‌دهد (Valipour et al., 2024). در پژوهشی گزارش شد که حذف یک نوبت آبیاری در مراحل حساس رشدی کنگد باعث کاهش ۴۰ درصدی عملکرد دانه می‌شود (Tantawy et al., 2007). گزارش‌های متعددی وجود دارد مبنی بر این‌که با کاهش تعداد دفعات آبیاری، عملکرد دانه و روغن کنگد کاهش می‌یابد (Rezvani Moqaddam, 2005; Tantawy et al., 2007; Golestani and Pakniyat, 2015). گزارش شده در شرایط کمبود آب در مرحله گلدهی و پر شدن دانه کنگد عملکرد دانه به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (Oweis, 2004). به هر جهت، رویکرد اعمال کم-آبیاری مستلزم وجود دانش کافی در خصوص واکنش گیاه به تنش رطوبتی است، چراکه تحمل به خشکی بسته به مرحله رشد، گونه گیاهی و ارقام متفاوت است.

تولید کنگد در استان خوزستان به‌عنوان کشت جایگزین برنج بسیار موردتوجه است و کشت آن در اواخر بهار و در تناوب با گندم می‌تواند باعث پایداری تولید در این استان شود. در این استان، منابع ناکافی آب در طی تابستان به‌طور طبیعی امکان تولید حداکثر عملکرد از اراضی فاریاب را نمی‌دهد. در این شرایط به دلیل کمبود آب در دسترس، تنش آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محسوب می‌گردد. با توجه به این‌که افزایش عملکرد کنگد در هر منطقه به مقدار کافی و مصرف به‌موقع آب آبیاری موردنیاز آن بستگی دارد و همچنین با توجه به اهمیت ارقام ناشکوفای کنگد با ویژگی مقاومت به ریزش دانه و عملکرد دانه بالا جهت توسعه کشت مکانیزه کنگد و ضرورت تعیین فاصله مناسب آبیاری این گیاه، این مطالعه با هدف تعیین واکنش ارقام جدید کنگد ناشکوفای به دوره‌های مختلف آبیاری جهت انتخاب مناسب‌ترین برنامه آبیاری برای کشت در منطقه خوزستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه آزمایشی شرکت کشت و صنعت شهید رجایی واقع در شهرستان دزفول با ارتفاع ۱۴۳ متر از سطح دریا و با مختصات طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و عرض ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی انجام شد. در این مطالعه، به‌منظور ارزیابی واکنش برخی صفات

ویژگی‌های بسیار مهم جهت کشت مکانیزه این گیاه است (Langham and Wiemers, 2001).

توسعه کشاورزی فاریاب نه‌تنها به وجود آب کافی، بلکه به استفاده مناسب از آب نیز بستگی دارد. اجرای صحیح برنامه‌های آبیاری امکان دستیابی به کیفیت و کمیت بهینه محصول را فراهم می‌آورد؛ بنابراین، تعیین مقادیر مناسب آب موردنیاز گیاهان در طول دوره رشد گیاه بسیار مهم است. علاوه بر این، انتخاب مناسب‌ترین برنامه آبیاری در مناطق مختلف برای تولید عملکرد بهینه گیاه ضروری است، زیرا مصرف آب گیاه در طول دوره رشد گیاه به مرحله رشد، وضعیت خاک و شرایط اقلیمی بستگی دارد (Ucan et al., 2007). کم‌آبایی از طریق افزایش دور آبیاری یکی از راهبردهای مهم مدیریتی صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری در بسیاری از نقاط جهان است (Fernández et al., 2013) که در آن آبیاری در مقادیر کمتر از نیاز آبی گیاه زراعی اعمال می‌شود و در نتیجه راندمان مصرف آب افزایش می‌یابد. افزایش دور آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل محدودیت دسترسی به آب در این مناطق و لزوم استفاده از روش‌های منتهی به افزایش بهره‌وری مصرف آب و بهبود عملکرد بسیار مهم است (Ma et al., 2020).

کنجد توانایی رشد در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای محدودیت آبی را دارد (Dossa et al., 2017). با این حال، تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده تولید کنگد است. مناطق خشک و نیمه‌خشک اغلب دماهای بالا و تشعشعات خورشیدی بالاتر را تجربه می‌کنند (Abady et al., 2019) که اغلب باعث تنش گرما و خشکی در آخر فصل رشد می‌شوند (Boureima et al., 2016; Rahnama et al., 2024a). عملکرد کنگد با کاهش میزان آبیاری به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (Tantawy et al., 2007; Kim et al., 2009). وقوع تنش رطوبتی به‌ویژه در مرحله رشد زایشی کنگد بر صفات زراعی (Bahrami et al., 2012; Hassanzadeh et al., 2009) فیزیولوژیکی (Kadkhodaie et al., 2014a) و کیفیت بذر (Kadkhodaie et al., 2014b) آن تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین، استفاده از ارقام متحمل به خشکی و به‌کارگیری راهبردهای مهم مدیریتی صرفه‌جویی در مصرف آب یکی از اهداف مهم پژوهشگران برای کاهش مشکلات تنش آبی و تضمین تولید پایدار کنگد در محیط‌های دارای محدودیت آب است.

مورفولوژیک، فتوسنتزی و عملکردی ارقام جدید کنجد ناشکופا به دور آبیاری، سه رقم جدید کنجد ناشکوفای تجاری و یک رقم محلی شکوفا از مناطق گرم به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو سال زراعی متوالی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ مورد بررسی قرار گرفتند، به گونه‌ای که سه دور آبیاری (۸، ۱۳ و ۱۸ روز) به عنوان عامل اصلی در کرت‌های اصلی و سه رقم ناشکوفای جدید و یک رقم شکوفای کنجد (به ترتیب برکت، مهاجر، چمران و شوین) به عنوان عامل فرعی در کرت‌های فرعی قرار گرفت.

با توجه به نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه (جدول ۱)، در سال اول آزمایش، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل و ۱۵۰ کیلوگرم کود پتاسیم

از منبع سولفات پتاسیم قبل از کاشت و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره در دو نوبت به صورت کود پایه هم‌زمان با کاشت و کود سرک در مرحله ۸ تا ۱۰ برگی بوته‌ها به خاک مزرعه اضافه شد. بذور کنجد در هر دو سال آزمایش از شرکت کشت و صنعت شهید رجایی تهیه گردید. ارقام جدید برکت، مهاجر و چمران دارای صفت ناشکوفایی کپسول در هنگام رسیدگی کامل دانه بوده، درحالی‌که رقم شوین دارای صفت شکوفایی کپسول و ریزش دانه در هنگام رسیدگی است. بر همین اساس میزان ریزش دانه در زمان رسیدگی کامل برای ارقام ناشکوفای مورد مطالعه کمتر از ۳ درصد و برای رقم شکوفای شوین بیش از ۹۰ درصد برآورد شده است (Siahpoosh et al., 2024).

جدول ۱. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

Table 1. The results of physical and chemical analysis of soil

سال	هدایت	عمق خاک	رطوبت حجمی	رطوبت حجمی	نقطه پژمردگی دائم	ظرفیت زراعی	اسیدیته	بافت خاک	الکتریکی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آزمایش
Year	EC	Soil depth	pH	FC	PWP	FC	pH	Soil texture	dS.m ⁻¹	%	mg.kg ⁻¹	K	Year
2021	1.1	0-30	7.79	32	13	32	7.79	Silty clay loam	1.1	0.55	11	149	2021
2022	2.8	0-30	7.35	34	14	34	7.35	Silty clay loam	2.8	0.57	21	221	2022

اعمال دوره‌های آبیاری دو هفته پس از کاشت و پس از استقرار کامل بوته‌ها به صورت نشتی انجام شد. جهت آگاهی از وضعیت رطوبتی خاک، درصد رطوبت حجمی نیم‌رخ خاک مزرعه تا عمق ۳۰ سانتی‌متر در طول فصل رشد و قبل از هر نوبت آبیاری با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج (ProCheck, Decagon Devices, USA) اندازه‌گیری و درصد آب قابل‌استفاده خاک در زمان آبیاری پایش شد. مقادیر متوسط درصد تخلیه آب قابل‌استفاده در هر دور آبیاری در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. عمق مؤثر ریشه‌دهی کنجد در شرایط معمول ۱-۱/۵ متر برآورد گردیده است (Allen et al., 1998). در این پژوهش، با توجه به وضعیت بافت خاک مزرعه مورد آزمایش، عمق توسعه ریشه برای این گیاه ۷۰-۸۰ سانتی‌متر و عمق آبیاری در حدود ۷۰ سانتی‌متر برآورد گردید. هدایت الکتریکی آب آبیاری برابر با ۰/۷۹۶ دسی‌زیمنس بر متر، pH برابر با ۷/۴۲، غلظت سدیم برابر با ۲/۵۲ میلی‌اکی‌والان در لیتر و نسبت جذب سدیم برابر با ۱/۵۴ بود. خصوصیات کیفی آب آبیاری در هر دو سال تقریباً مشابه بود.

کاشت هر چهار رقم کنجد در ۱۵ خردادماه انجام شد. پس از آماده‌سازی زمین به وسیله دیسک، ابعاد هر کرت آزمایشی ۳ در ۴ مترمربع در نظر گرفته شد. هر کرت شامل ۴ پشته با فاصله ۷۵ سانتی‌متر و طول ۴ متر بود. بذرها پس از ضدعفونی و مخلوط کردن با ماسه در دو طرف هر پشته با فاصله خطوط کاشت ۳۰ سانتی‌متر روی هر پشته در عمق دو تا سه سانتی‌متری کشت شد. فاصله خطوط کشت دو پشته از یکدیگر ۴۵ سانتی‌متر بود. به منظور جلوگیری از نشت رطوبت بین تیمارهای دور آبیاری، فاصله بین سطوح دور آبیاری سه متر و فاصله بین بلوک‌ها چهار متر در نظر گرفته شد. مقدار آب آبیاری با استفاده از روش حجمی و اندازه‌گیری حجم آب خروجی از سیفون با دبی ۰/۱۲ لیتر در ثانیه محاسبه شد. به این صورت که برای آبیاری هر کرت آزمایشی به مساحت ۱۲ مترمربع از ۴ عدد سیفون استفاده شد. با توجه به دبی ۴ عدد سیفون (۰/۴۸ لیتر در ثانیه) و مدت‌زمان لازم برای آبیاری کامل کرت آزمایشی (به طور متوسط ۲۷ دقیقه)، حجم آب آبیاری برای هر کرت آزمایشی در هر دور آبیاری (در حدود ۷۷۷ لیتر) محاسبه شد. بر همین اساس، حجم آب

آبیاری در هر دور آبیاری ۶۵۰ مترمکعب در هر هکتار برآورد گردید. درنهایت در هر تیمار دور آبیاری، حجم آب آبیاری بکار برده شده در کل دوره رشد از مجموع حجم آب مصرفی

در دفعات مختلف آبیاری محاسبه شد. بارندگی در دوره رشد در دو سال وجود نداشت.

جدول ۲. مقادیر درصد تخلیه آب قابل استفاده در عمق ۳۰ سانتی متری خاک در طول دوره رشد قبل از آبیاری

Table 2. The percentage depletion of available water (DAW) at 30 cm soil depth during the growth period before irrigation

دور آبیاری Irrigation interval	Irrigation date											
	% DAW											
۸ روز 8 days	Irrigation date	9 Jul	17 Jul	25 Jul	2 Aug	10 Aug	18 Aug	26 Aug	3 Sep	11 Sep	19 Sep	27 Sep
	% DAW	31	34	33	34	39	39	34	31	26	28	26
۱۳ روز 13 days	Irrigation date	8 Jul	21 Jul	4 Aug	17 Aug	30 Aug	12 Sep	25 Sep				
	% DAW	34	38	36	36	41	40	35	-	-	-	-
۱۸ روز 18 days	Irrigation date	8 Jul	26 Jul	13 Aug	31 Aug	18 Sep	-	-	-	-	-	-
	% DAW	70	63	54	49	48	-	-	-	-	-	-

۱۰ بوته انتخاب و صفات ارتفاع بوته و طول ناحیه کپسول دهنده اندازه گیری شد. جهت تعیین عملکرد دانه، در پایان فصل رشد و هنگام رسیدگی کامل دانه‌ها در ارقام ناشکوف، پس از حذف دو ردیف کاشت از دو طرف و نیم متر از بالا و پایین هر کرت آزمایشی از سطحی معادل چهار مترمربع، بوته‌ها برداشت و پس از قرار دادن آن‌ها در انبارهای مخصوص به مدت دو تا سه هفته و رسیدن رطوبت دانه به حدود ۷ درصد خشک شدند. ابتدا ماده خشک نمونه‌های آزمایشی توزین شد و پس از جدا کردن دانه‌ها و توزین دانه‌های هر نمونه، عملکرد دانه و درنهایت شاخص برداشت محاسبه شد. برداشت رقم شوین نیز به دلیل ویژگی شکوفایی کپسول و به منظور جلوگیری از ریزش دانه‌ها قبل از رسیدگی فیزیولوژیک انجام شد. محتوای روغن دانه با کمک حلال اتر و با روش سوکسله (FOSS, Model SOCCET 2050) اندازه‌گیری شد. عملکرد روغن از حاصل ضرب عملکرد دانه و محتوای روغن محاسبه شد. با محاسبه نسبت عملکرد دانه (کیلوگرم) به حجم آب مصرفی (مترمکعب)، بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب) تعیین شد.

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک انجام شد. با توجه به معنی‌دار شدن آزمون بارتلت برای بیشتر صفات، دو سال آزمایشی به صورت مجزا تجزیه و تحلیل شد. تجزیه آماری با استفاده از برنامه آماری SAS (ver 9.4) و

پس از جوانه‌زنی بذرها، عملیات تنک کردن در مرحله ۳ تا ۴ برگگی گیاهچه‌ها برای دستیابی به تراکم تقریبی ۵۰ بوته در مترمربع انجام شد. در طی مرحله داشت، وجین علف‌های هرز و سم‌پاشی جهت مبارزه با آفات و بیماری‌ها انجام شد. برای مبارزه با آفات مزرعه، در اوایل مرحله رویشی از سم دسیس (به میزان ۱/۵ در هزار) و در مرحله قبل از تشکیل کپسول از سم پروفنوفوس (به میزان ۲ در هزار) استفاده شد. در هر دو سال آزمایش، صفات مورفولوژیک، فنولوژیک، فتوسنتزی و عملکردی به صورت یکسان مورد بررسی قرار گرفت.

در مرحله ۵۰ درصد گلدهی، هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر (Delta-T AP4 Devices, UK) و سرعت فتوسنتز و تعرق با استفاده از دستگاه تحلیل گر مادون قرمز (IRGA, model LCA4, ADC Bioscientific Ltd.) (Hoddeston, UK) بین ساعت ۱۰ صبح تا ۱۳ ظهر بر روی سطح آخرین برگ‌های توسعه یافته پنج بوته اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری شاخص سبزی‌نگی نیز با استفاده از دستگاه Monilota SPAD-502 Chlorophyll meter,) SPAD (Japan) بر روی پنج نقطه از آخرین برگ‌های توسعه یافته انجام شد و میانگین مقادیر ثبت شد.

در طی دوره رشد صفات فنولوژیک شامل، تعداد روز تا شروع گلدهی و کپسول دهی، یادداشت برداری شدند. قبل از عملیات برداشت، به طور تصادفی از هر واحد آزمایشی، تعداد

مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته کنجد یکی از صفات مهم و تأثیرگذار بر عملکرد دانه در برداشت مکانیزه است. در هر دو سال آزمایش، ارتفاع بوته ارقام به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر دور آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۳).

در سال اول، ارتفاع بوته در دور آبیاری ۸ و ۱۳ روز تفاوت معنی‌داری نداشتند، ولی با افزایش دور آبیاری به ۱۸ روز با کاهش ۱۳ درصدی روبرو شد. بیشترین ارتفاع بوته در سال اول مربوط به رقم شوین (۱۸۱ سانتی‌متر) و کمترین مقدار مربوط به رقم چمران (۱۲۷ سانتی‌متر) بود (جدول ۴). در سال دوم، ارتفاع بوته در دور آبیاری ۸ روز از برتری معنی‌دار ۱۲ درصدی نسبت به دور آبیاری ۱۸ روز برخوردار بود (جدول ۴).

جدول ۳. میانگین مربعات صفات فنولوژیک کنجد ناشکופا تحت تأثیر رقم و دور آبیاری

Table 3. Mean squares of phenological traits of sesame as affected by cultivar and irrigation interval

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	ارتفاع بوته		طول ناحیه کپسول دهنده		روز تا شروع گلدهی		روز تا ظهور اولین کپسول	
			Plant height		Length of capsule bearing zone		Days to flowering		Days to the first capsule emergence	
			سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
Block	بلوک	3	169 ^{ns}	192 ^{ns}	29.8 ^{ns}	191 ^{ns}	2.02 ^{ns}	1.19 ^{ns}	0.298 ^{ns}	1.55 ^{ns}
Irrigation interval (I)	دور آبیاری	2	1680 ^{**}	877 [*]	546 [*]	69.2 ^{ns}	91 ^{**}	23.58 ^{**}	51.6 ^{**}	40.1 ^{**}
Error (a)	خطای اصلی	6	101	301	195	127	0.94	4.27	2.02	2.31
Cultivar (C)	رقم	3	5839 ^{**}	2154 ^{**}	1401 ^{**}	33.9 ^{ns}	590 ^{**}	923 ^{**}	550 ^{**}	794 ^{**}
I × C	دور آبیاری × رقم	6	120 ^{ns}	67.3 ^{ns}	133 ^{ns}	93.2 ^{ns}	6.22 [*]	14.0 ^{**}	1.50 ^{ns}	27.1 ^{**}
Error (b)	خطای فرعی	27	244	98	164	46.1	2.43	1.62	1.24	1.48
C.V (%)	ضریب تغییرات		10.3	8.61	13.7	11.3	3.93	3.14	2.40	2.65

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns: غیرمعنی‌دار

ns: not significant; *and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively

نتایج هر دو سال آزمایش نشان داد که در میان ارقام مورد مطالعه، رقم شوین بیشترین ارتفاع بوته را نسبت به سایر ارقام داشت که علاوه بر دیررس بودن این رقم نشان از پتانسیل رشدی بالاتر آن داشت. از سوی دیگر با افزایش دور آبیاری به ۱۸ روز، ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری در هر دو سال کاهش یافت. اگرچه گفته می‌شود ارتفاع بوته به‌طور معمول تحت تأثیر ویژگی‌های ژنتیکی گیاه است (Gedifew et al., 2024)، اما به نظر می‌رسد تنش رطوبتی ناشی از افزایش دور آبیاری سبب ایجاد رقابت بیش‌ازحد بین بوته‌ها برای به دست آوردن آب و در نهایت کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی

به ساقه و کوتاهی ارتفاع گیاه شود. همسو با نتایج این پژوهش، در مطالعه دیگری نیز گزارش شد که تنش خشکی منجر به کاهش ۲۱/۹ و ۱۴/۹ درصدی به ترتیب ارتفاع ساقه و ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد و کاهش ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی به کاهش فشار تورژسانس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلول نسبت داده شد (Momeni et al., 2020). تنش خشکی از طریق ایجاد رقابت بر سر رطوبت موجب کاهش تولید مواد فتوسنتزی و در نتیجه کاهش تخصیص مواد پرورده به ساقه کنجد می‌شود (Gholamhoseini et al., 2025). یافته‌های سایر محققان

(۲۳ درصد) و همچنین بیشترین کاهش طول ناحیه کپسول دهنده (۲۲ درصد) را از خود نشان داد (داده‌ها نشان داده نشده است). احتمال می‌رود این صفت نقش مهمی در ثبات عملکرد دانه کنگد در شرایط نامساعد محیطی داشته باشد. در همین راستا، رابطه مثبت و معنی‌داری بین طول ناحیه کپسول دهنده و عملکرد دانه گزارش شده است (Teklu et al., 2017; Gedifew et al., 2024). در سال اول، منطبق با نتایج عملکرد دانه، مقادیر بالای طول ناحیه کپسول دهنده در ارقام مهاجر و برکت و مقادیر کمتر کاهش آن در دور آبیاری ۱۸ روز در مقایسه با ۸ روز (به ترتیب ۵ و ۱۶ درصد کاهش) نیز مؤید این نکته است.

تعداد روز تا شروع گلدهی

در هر دو سال آزمایش، تعداد روز تا گلدهی تحت تأثیر دور آبیاری، رقم و برهم‌کنش دور آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۳). در سال اول، بیشترین تعداد روز تا شروع گلدهی مربوط به رقم شوین در دور آبیاری ۸ و ۱۳ روز (۵۲ روز) بود. دور آبیاری ۱۳ روز تنها منجر به کاهش معنی‌دار تعداد روز تا گلدهی رقم چمران (۵ روز) شد، درحالی‌که تعداد روز تا گلدهی همه ارقام در دور آبیاری ۱۸ روز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌گونه‌ای که میزان کاهش در مقایسه با دور آبیاری ۸ روز در ارقام چمران، شوین، مهاجر و برکت به ترتیب ۴، ۵، ۵ و ۶ روز بود (شکل ۱).

نیز نشان داد که با کاهش مقدار آب آبیاری و افزایش دور آبیاری، ارتفاع بوته کنگد کاهش می‌یابد (Rezvai Moghadam et al., 2005; Mehrabi zadeh and Ehsanzade, 2012).

طول ناحیه کپسول دهنده

طول ناحیه کپسول دهنده تنها در سال اول آزمایش تحت تأثیر دور آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۳). در سال اول، میان ارقام از نظر طول ناحیه کپسول دهنده تفاوت معنی‌داری مشاهده شد به‌گونه‌ای که ارقام مهاجر، شوین و برکت دارای بیشترین و رقم چمران دارای کمترین مقدار بود. منطبق با نتایج سایر مطالعات (Abdipour et al., 2018; Kiani et al., 2022; Gedifew et al., 2024) میان ارقام کنگد از نظر طول ناحیه کپسول دهنده تنوع ژنتیکی وجود داشت. طول ناحیه کپسول دهنده در دور آبیاری ۸ روز برابر با ۱۰۰ سانتی-متر بود و با افزایش دور آبیاری از ۸ روز به ۱۸ روز مقدار آن به‌طور معنی‌داری به میزان ۱۲ درصد کاهش یافت (جدول ۴). به نظر می‌رسد با افزایش دور آبیاری و کاهش ارتفاع بوته، طول ناحیه کپسول دهنده نیز متناسب با ارتفاع بوته کاهش می‌یابد و می‌توان چنین عنوان کرد که با افزایش دور آبیاری، همسو با کاهش ارتفاع بوته و ارتفاع اولین کپسول از سطح زمین، طول ناحیه کپسول دهنده نیز کاهش می‌یابد. در همین راستا، در بین ارقام مورد مطالعه رقم چمران در دور آبیاری ۱۸ روز نسبت به ۸ روز بیشترین کاهش ارتفاع بوته

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و رقم بر صفات مورفوفیزیولوژیک کنگد

Table 6. Mean comparison of the effect of irrigation regimes and cultivars on morphophysiological traits of sesame

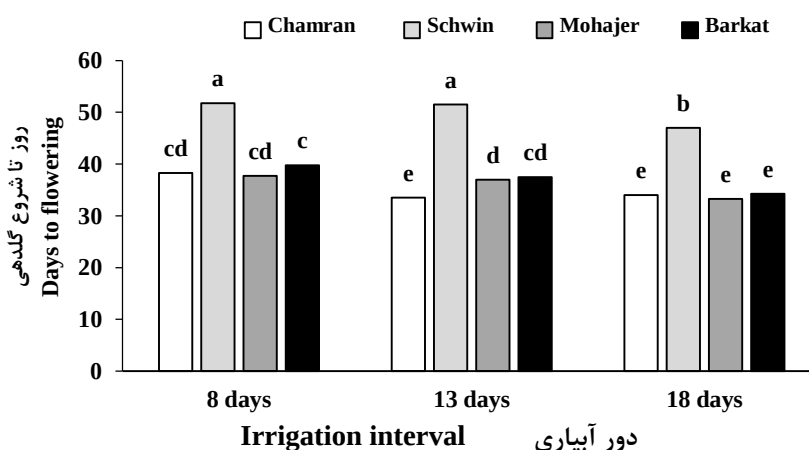
Treatments	تیمارها	ارتفاع بوته Plant height		طول ناحیه کپسول دهنده Length of capsule bearing zone		هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	
		سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
Irrigation interval	دور آبیاری	cm				mmol m ⁻² , s ⁻¹	
8 days	۸ روز	161 ^a	121 ^a	100 ^a	63 ^a	283 ^a	287 ^a
13 days	۱۳ روز	153 ^a	117 ^a	93 ^a	60 ^a	278 ^a	281 ^a
18 days	۱۸ روز	141 ^b	107 ^b	88 ^b	59 ^a	254 ^b	255 ^b
Cultivars	ارقام						
Chamran	چمران	127 ^c	107 ^b	78 ^b	58 ^a	283 ^a	276 ^{ab}
Shevin	شوین	181 ^a	135 ^a	97 ^a	62 ^a	288 ^a	289 ^a
Mohajer	مهاجر	149 ^b	109 ^b	101 ^a	61 ^a	256 ^b	265 ^b
Barkat	برکت	150 ^b	108 ^b	99 ^a	60 ^a	260 ^b	268 ^b

Table 6. Continued

		جدول ۴. ادامه							
Treatments	تیمارها	سرعت فتوسنتز Photosynthetic rate		سرعت تعرق Transpiration rate		شاخص سبزی‌نگی Greenness index		شاخص برداشت Harvest index	
		سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
Irrigation interval	دور آبیاری	mmol m ⁻² . s ⁻¹						%	
8 days	۸ روز	53.7 ^a	45.6 ^a	1.31 ^a	1.35 ^a	26.8 ^{ab}	28.4 ^b	9.69 ^{ab}	11.76 ^a
13 days	۱۳ روز	50.1 ^{ab}	42.8 ^{ab}	1.08 ^{ab}	1.07 ^b	27.9 ^a	30.6 ^a	10.96 ^a	12.93 ^a
18 days	۱۸ روز	46.1 ^b	36.5 ^b	0.88 ^b	0.92 ^b	25.1 ^b	29.6 ^{ab}	9.15 ^b	9.80 ^b
Cultivars	ارقام								
Chamran	چمران	52.8 ^a	42.6 ^a	1.10 ^a	1.11 ^a	25.4 ^b	26.1 ^c	12.33 ^a	13.67 ^a
Shevin	شوین	46.9 ^b	39.3 ^a	1.12 ^a	1.16 ^a	33.9 ^a	34.1 ^a	5.30 ^b	4.45 ^b
Mohajer	مهاجر	49.7 ^{ab}	41.1 ^a	1.08 ^a	1.09 ^a	24.3 ^b	29.8 ^b	11.61 ^a	14.30 ^a
Barkat	برکت	50.3 ^{ab}	43.4 ^a	1.05 ^a	1.09 ^a	23.8 ^b	28.1 ^b	10.40 ^a	13.58 ^a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر صفت در هر ستون و هر عامل آزمایشی در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

Means followed by the same letters for each trait in each column and each experimental factor at 5% probability level did not differ significantly.



شکل ۱. مقایسه میانگین تعداد روز تا شروع گلدهی ارقام کنگد تحت سطوح مختلف دور آبیاری در سال اول

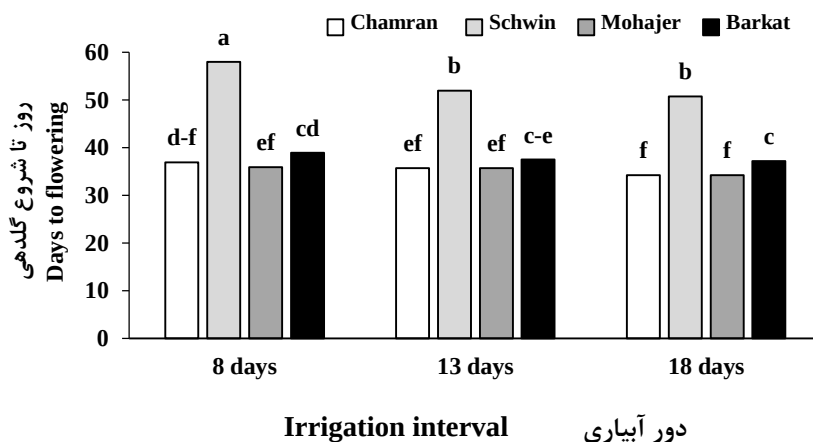
Fig. 1. Mean comparison of days to flowering for sesame cultivars under different levels of irrigation interval in 2021

در هر دو سال، تعداد روز تا گلدهی با افزایش دور آبیاری کاهش یافت و رقم شوین بیشترین طول روز تا شروع گلدهی را در هر سه دور آبیاری به خود اختصاص داد. سایر محققان نیز گزارش دادند که تنش خشکی سبب القای گلدهی و کاهش تعداد روز تا گلدهی در گیاه می‌شود و میزان کاهش تعداد روز تا گلدهی به سطح و مدت تنش، نوع گونه گیاهی و مرحله بلوغ گیاه بستگی دارد (Bannayan et al., 2008; Alinian and Razmjoo, 2014). اگرچه نتایجی نیز مبنی بر عدم کاهش تعداد روز تا گلدهی در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Mawanamwenge et al., 1999).

در سال دوم، بیشترین تعداد روز تا شروع گلدهی مربوط به رقم شوین در دور آبیاری ۸ روز (۵۸ روز) بود. دوره‌های آبیاری ۱۳ و ۱۸ روز در مقایسه با دور آبیاری ۸ روز تنها منجر به کاهش معنی‌دار تعداد روز تا گلدهی رقم شوین (به ترتیب ۶ و ۷ روز) شد، درحالی‌که کاهش‌ها برای سایر ارقام معنی‌دار نبود (شکل ۲). واکنش متفاوت تعداد روز تا گلدهی ارقام به دوره‌های آبیاری می‌تواند به دلیل تفاوت‌های ژنتیکی میان ژنوتیپ‌های کنگد باشد که در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Gedifew et al., 2024).

شروع گلدهی، ممکن است تعداد کپسول در بوته کاهش یابد، اما از سوی دیگر از طریق افزایش تعداد دانه در هر کپسول عملکرد دانه افزایش خواهد یافت. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد روز تا شروع گلدهی و عملکرد دانه در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Teklu et al., 2017; Gedifew et al., 2024).

بر اساس نتایج این پژوهش، اعمال تنش رطوبتی ناشی از افزایش دور آبیاری سبب کاهش تعداد روز تا شروع گلدهی و به دنبال آن کپسول‌دهی می‌شود و درنهایت به دلیل کوتاه شدن طول دوره رویش گیاه و عدم رشد رویشی کافی قبل از شروع رشد زایشی منجر به کاهش عملکرد دانه خواهد شد. بنابراین، با افزایش تعداد روز تا شروع گلدهی عملکرد دانه افزایش خواهد یافت. به عبارتی اگرچه با افزایش تعداد روز تا



شکل ۲. مقایسه میانگین تعداد روز تا شروع گلدهی ارقام کنگد تحت سطوح مختلف دور آبیاری در سال دوم

Fig. 2. Mean comparison of days to flowering for sesame cultivars under different levels of irrigation interval in 2022

کپسول و درنهایت منجر به کاهش عملکرد دانه خواهد شد. بنابراین، هرچه تعداد روز تا ظهور کپسول افزایش یابد، به دنبال آن عملکرد دانه نیز افزایش خواهد یافت. در همین راستا، همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد روز تا کپسول‌دهی و عملکرد دانه در مطالعات سایر پژوهشگران حاکی از ارتباط بین تعداد روز تا کپسول‌دهی و عملکرد دانه است (Teklu et al., 2017; Gedifew et al., 2024). واکنش متفاوت ارقام از نظر تعداد روز تا ظهور کپسول می‌تواند به دلیل تفاوت‌های ژنتیکی بین آن‌ها باشد. به گونه‌ای که رقم شوین بیشترین تعداد روز تا ظهور کپسول را در هر سه دور آبیاری به خود اختصاص داد. مطالعات پیشین نیز تفاوت قابل توجهی میان ژنوتیپ‌های کنگد از نظر تعداد روز تا ظهور کپسول گزارش داده‌اند (Teklu et al., 2017).

هدایت روزنه‌ای

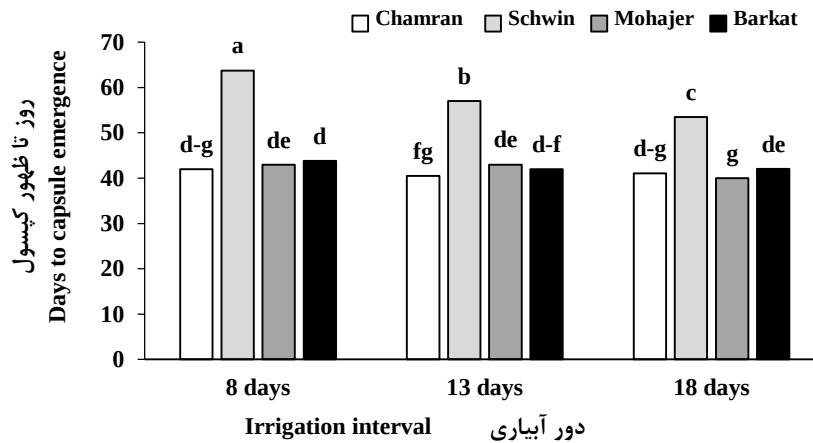
در سال اول آزمایش، هدایت روزنه‌ای تحت تأثیر دور آبیاری، رقم و برهم‌کنش آن گرفت (جدول ۵).

تعداد روز تا ظهور اولین کپسول

در سال اول، نتایج حاکی از تأثیرپذیری معنی‌دار تعداد روز تا ظهور اولین کپسول از دور آبیاری و رقم بود (جدول ۳). با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۸ روز، تعداد روز تا ظهور اولین کپسول به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (۴ روز). همچنین کمترین تعداد روز مربوط به ارقام ناشکوف (۴۳ روز) و بیشترین آن مربوط به رقم شکوفای شوین (۵۷ روز) بود (داده‌ها نشان داده نشده است).

در سال دوم، تعداد روز تا ظهور اولین کپسول تحت تأثیر دور آبیاری، رقم و برهم‌کنش دور آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین تعداد روز تا ظهور اولین کپسول مربوط به رقم شوین در دور آبیاری ۸ روز (۶۴ روز) بود. دور آبیاری ۱۳ و ۱۸ روز تنها منجر به کاهش معنی‌دار تعداد روز تا ظهور اولین کپسول رقم شوین (به ترتیب ۷ و ۱۰ روز) شد، درحالی‌که مقادیر کاهش برای سایر ارقام معنی‌دار نبود (شکل ۳).

همانند نتایج تعداد روز تا گلدهی، نتایج این پژوهش نشان داد افزایش دور آبیاری سبب کاهش تعداد روز تا ظهور اولین



شکل ۳. مقایسه میانگین تعداد روز تا ظهور اولین کپسول ارقام کنگد تحت سطوح مختلف دور آبیاری در سال دوم
 Fig. 3. Mean comparison of days to the first capsule emergence for sesame cultivars under different levels of irrigation interval in 2022

جدول ۵. میانگین مربعات ویژگی‌های فتوسنتزی کنگد ناشکופا تحت تأثیر رقم و دور آبیاری

Table 4. Mean squares of photosynthetic traits of sesame as affected by cultivar and irrigation interval

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance		سرعت فتوسنتز Photosynthetic rate		سرعت تعرق Transpiration rate		شاخص سبزی‌نگی Greenness index	
			سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
Block	بلوک	3	491 ^{ns}	110 ^{ns}	14.1 ^{ns}	50.5 ^{ns}	0.12 ^{**}	0.132 ^{ns}	12.43 ^{ns}	3.38 ^{ns}
Irrigation interval (I)	دور آبیاری	2	3846 ^{**}	4489 ^{**}	230 ^{**}	344 ^{**}	0.733 ^{**}	0.761 ^{**}	34.62 [*]	19.2 [*]
Errorr (a)	خطای اصلی	6	600	349	107	72.3	0.129	0.079	10.43	6.32
Cultivar (C)	رقم	3	3138 ^{**}	1363 ^{**}	69.2 [*]	38.7 ^{ns}	0.011 ^{ns}	0.015 ^{ns}	215 ^{**}	136 ^{**}
I × C	دور آبیاری × رقم	6	977 [*]	389 ^{ns}	17.8 ^{ns}	15.6 ^{ns}	0.043 ^{ns}	0.028 ^{ns}	10.97 ^{ns}	6.93 ^{ns}
Errorr (b)	خطای فرعی	27	391	484	26.25	35.2	0.025	0.074	8.95	5.45
C.V (%)	ضریب تغییرات		7.3	8.1	10.2	14.3	14.7	24.5	11.3	7.91

**معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns: غیرمعنی‌دار

ns: not significant; *and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively

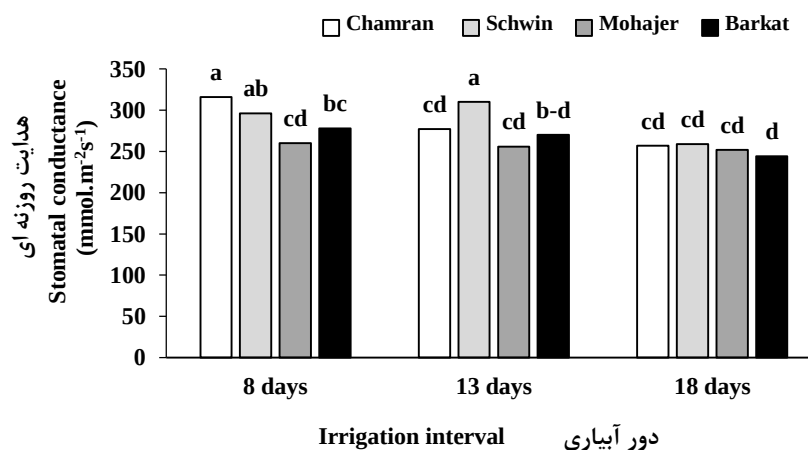
نشان ندادند که این امر نشان‌دهنده کاهش سطح بسته شدن روزنه و تضمین وضعیت مطلوب آب در این ارقام است. در مطالعه واکنش لاین‌های کنگد به خشکی نیز مشخص شد مقدار هدایت روزنه‌ای در میان لاین‌ها متفاوت بود و میانگین مقدار آن در شرایط مطلوب آبیاری (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) برابر با ۶۲۴ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه بود، ولی با اعمال تنش خشکی ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) با کاهش ۳۲ درصدی روبرو شد و مقدار آن به ۴۲۶ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه رسید (Kouighat et al., 2024). این مشاهدات بیانگر این است که گیاهان در شرایط تنش اسمزی

بیشترین مقدار هدایت روزنه‌ای مربوط به رقم چمران و شوین در دور آبیاری ۸ روز (به ترتیب ۳۱۶ و ۲۹۶ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) بود. دور آبیاری ۱۳ روز در مقایسه با ۸ روز تنها منجر به کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای رقم چمران (۱۲ درصد) شد، درحالی‌که در دور آبیاری ۱۸ روز هدایت روزنه‌ای همه ارقام به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و میزان کاهش آن در مقایسه با دور آبیاری ۸ روز در ارقام چمران، شوین، مهاجر و برکت به ترتیب ۱۹، ۱۳، ۳ و ۱۲ درصد بود (شکل ۴). نکته قابل‌توجه این که ارقام شوین، مهاجر و برکت در دور آبیاری ۱۳ روز کاهش معنی‌داری در هدایت روزنه‌ای

نشده است). به‌هرحال در شرایط دور آبیاری ۱۳ روز تغییر چندانی در هدایت روزنه‌ای مشاهده نشد و به نظر می‌رسد ارقام با حفظ هدایت روزنه‌ای و جذب کارآمد دی‌اکسید کربن و جلوگیری از اتلاف بیش‌ازحد آب، شرایط حفظ فعالیت فتوسنتزی خود را فراهم کنند (Rahnama et al., 2010). تفاوت در واکنش هدایت روزنه‌ای ارقام می‌تواند به دلیل به‌کارگیری راهبردهای متفاوت تنظیم آب در بین ارقام مورد مطالعه باشد. کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط اعمال رژیم‌های کم‌آبیاری در پژوهش‌های دیگری گزارش شده است (Zandi et al., 2024).

تبادل آب را از طریق تغییر دهانه روزنه و هدایت روزنه‌ای تنظیم می‌کنند (Rahnama et al., 2010; Richardson et al., 2017).

در سال دوم، نیز هدایت روزنه‌ای تنها تحت تأثیر دور آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۴). با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۸ روز هدایت روزنه‌ای ارقام به‌طور معنی‌داری به میزان ۱۱ درصد کاهش یافت. همچنین رقم شوین و چمران دارای بیشترین مقدار هدایت روزنه‌ای بود و تفاوت معنی‌داری با سایر ارقام نشان داد. از سوی دیگر در هر دو سال بیشترین مقدار کاهش هدایت روزنه‌ای با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۸ روز در رقم چمران مشاهده شده بود (داده‌ها نشان داده



شکل ۴. مقایسه میانگین هدایت روزنه‌ای ارقام کنگد تحت سطوح مختلف دور آبیاری در سال اول

Fig. 4. Mean comparison of stomatal conductance for sesame cultivars under different levels of irrigation interval in 2021

در دور آبیاری ۱۸ روز با کاهش ۲۰ درصدی روبرو شد و به ۳۶/۵ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه رسید (جدول ۴). میان ارقام از نظر سرعت فتوسنتز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در هر دو سال آزمایش و همسو با نتایج هدایت روزنه‌ای به نظر می‌رسد ارقام در واکنش به تنش رطوبتی ناشی از افزایش دور آبیاری، از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای، جذب کارآمد دی‌اکسید کربن را کاهش داده و این امر در نهایت منجر به کاهش فعالیت فتوسنتزی گردیده است. نتایج پژوهشی نیز نشان داد که با افزایش شدت کم‌آبیاری، میزان سرعت فتوسنتز کاهش یافت (Zandi et al., 2024).

سرعت تعرق

سرعت تعرق در هر دو سال آزمایش تنها تحت تأثیر دور آبیاری قرار گرفت (جدول ۵). در سال اول سرعت تعرق ارقام

سرعت فتوسنتز

در سال اول، سرعت فتوسنتز تحت تأثیر دور آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۵). سرعت فتوسنتز ارقام در دور آبیاری ۸ و ۱۳ روز (به ترتیب ۵۳/۷ و ۵۰/۱ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) تفاوت معنی‌داری نداشتند، ولی با افزایش دور آبیاری به ۱۸ روز با کاهش ۱۴ درصدی روبرو شد و به ۴۶/۱ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه رسید. بیشترین سرعت فتوسنتز مربوط به رقم چمران (۵۲/۸ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) و کمترین مقدار مربوط به رقم شوین (۴۶/۹ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) بود (جدول ۴). در سال دوم، سرعت فتوسنتز تنها تحت تأثیر دور آبیاری قرار گرفت (جدول ۵). سرعت فتوسنتز در دور آبیاری ۱۳ روز (۴۵/۶ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) تغییر معنی‌داری نسبت به دور آبیاری ۸ روز (۴۲/۸ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) نشان نداد، درحالی‌که

تحمل بالاتری نسبت به سایر ارقام است، همچنان که گزارش شده است که ارقام دارای محتوای کلروفیل بیشتر برای مناطق خشک مناسب‌تر هستند (Blum, 2011). در مورد تأثیر تنش رطوبتی بر محتوای کلروفیل نتایج متناقضی وجود دارد. در مطالعات قبلی در گندم (Rahnema et al., 2024b) و گلرنگ (Zandi et al., 2023) با افزایش شدت تنش رطوبتی میزان کلروفیل کاهش یافت، درحالی‌که در مطالعات دیگری در چغندرقد (Baigy et al., 2012) با افزایش شدت تنش میزان کلروفیل افزایش نشان داده است. اخیراً در مطالعه واکنش لاین‌های کنجد به تنش خشکی، کاهش مقادیر شاخص سبزی‌نگی در واکنش به خشکی مشاهده شد به‌گونه‌ای که میانگین شاخص سبزی‌نگی در شرایط مطلوب آبیاری (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) برابر با ۵۰/۲۰ بود، ولی با اعمال تنش خشکی شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) مقدار آن با کاهش ۳۳/۹۶ درصدی روبرو شد و به ۳۳/۹۶ رسید (Kouighat et al., 2024). به نظر می‌رسد افزایش شاخص سبزی‌نگی در دور آبیاری ۱۳ روز به‌صورت کاهش جزئی سطح برگ و افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ نمایان شده باشد.

عملکرد دانه

در هر دو سال آزمایش، عملکرد دانه تحت تأثیر برهم‌کنش دور آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۶). در سال اول، برهم‌کنش دورهای آبیاری ۸ و ۱۸ روز منجر به واکنش متفاوت عملکرد دانه در هر چهار رقم شد. بیشترین عملکرد دانه مربوط به رقم مهاجر و برکت در دور آبیاری ۸ روز (به ترتیب ۱۴۹۰ و ۱۷۳۰ کیلوگرم در هکتار) بود. دور آبیاری ۱۳ روز در مقایسه با ۸ روز تنها منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه رقم برکت (۳۳ درصد کاهش) شد، درحالی‌که عملکرد دانه همه ارقام در دور آبیاری ۱۸ روز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین مقدار کاهش عملکرد نیز برای رقم برکت و مهاجر (به ترتیب ۶۲ و ۵۶ درصد) رخ داد (شکل ۵). همان‌طور که ملاحظه می‌گردد میزان کاهش عملکرد دانه ناشی از دورهای آبیاری در ارقام مختلف کنجد یکسان نبوده و عملکرد مطلوب در دور آبیاری ۸ روز به دلیل استفاده بهینه گیاه از شرایط مطلوب محیطی و تکمیل چرخه زندگی خود و عدم برخورد با شرایط نامساعد محیطی در طی دوره رشد حاصل گردیده است. یکی از دلایل احتمالی کاهش عملکرد دانه به‌ویژه رقم شوین در این پژوهش

در دور آبیاری ۸ برابر با ۱/۳۱ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه بود که با مقدار آن در دور آبیاری ۱۳ روز تفاوت معنی‌داری نداشت، ولی با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۸ روز، سرعت تعرق با کاهش ۳۳ درصدی روبرو شد. در سال دوم نیز سرعت تعرق ارقام در دور آبیاری ۸ برابر با ۱/۳۵ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه بود و دور آبیاری ۱۳ و ۱۸ روز به ترتیب سبب کاهش ۲۱ و ۳۲ درصدی سرعت تعرق در مقایسه با آبیاری ۸ روز شد (جدول ۴).

به‌هرروی، علیرغم کاهش تعرق ارقام در شرایط تنش رطوبتی ناشی از افزایش دور آبیاری، مشخص شده است که سازوکارهای ویژه مختص به کنجد از جمله موم‌های کوتیکولی نقش مهمی در حفظ وضعیت مناسب آب این گیاه دارد. تریکوم غده‌ای در این گیاه سبب ترشح ترکیبات فعال اسمزی مانند موم‌های کوتیکولی می‌شوند که به کاهش دمای برگ کمک می‌کند و از دست دادن آب از طریق تعرق را محدود می‌کند (Bedigian et al., 2010). این امر سبب حفظ آب در بافت‌های گیاه و ثبات و پایداری عملکرد در شرایط تنش خشکی می‌شود. علاوه بر این، به نظر می‌رسد ویژگی‌های ریشه این گیاه در بین ارقام مختلف نیز نقش مهمی در جذب آب و جبران آب ازدست‌رفته در اثر تعرق داشته باشد.

شاخص سبزی‌نگی

شاخص سبزی‌نگی در هر دو سال تحت تأثیر دور آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۵). در هر دو سال، میان ارقام از نظر شاخص سبزی‌نگی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد به‌گونه‌ای که رقم شوین دارای بیشترین شاخص سبزی‌نگی (۳۴) بود. همچنین تیمارهای مختلف آبیاری از نظر شاخص سبزی‌نگی تفاوت معنی‌داری نشان دادند، به‌گونه‌ای که در سال اول مقدار شاخص سبزی‌نگی در دور آبیاری ۸ روز برابر با ۲۶/۸ بود، ولی در دور آبیاری ۱۳ روز مقدار آن به‌طور جزئی افزایش (۲۷/۹) و با افزایش دور آبیاری به ۱۸ روز مقدار آن (۲۵/۱) کاهش یافت (جدول ۴).

شاخص سبزی‌نگی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نشان‌دهنده تنش‌های محیطی وارد بر گیاه در دور آبیاری ۱۸ روز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و دلیل آن را کاهش سنتز این رنگ‌دانه و اختلال در فعالیت آنزیم‌های دخیل در سنتز آن دانسته‌اند (Manvelian et al., 2021). با توجه به مقادیر بالای این رنگ‌دانه در رقم شوین به نظر می‌رسد بخشی از عوامل غیر روزه‌ای مرتبط با فتوسنتز این رقم در برابر خسارت تنش رطوبتی ناشی از افزایش دور آبیاری دارای

آب آبیاری در مقایسه با آبیاری ۸ روز به نظر می‌رسد دور آبیاری ۸ تا ۱۳ روز به‌عنوان دور آبیاری مناسب برای دستیابی به عملکرد مناسب دانه کنجد در این منطقه در نظر گرفته شود.

کاهش تعداد روز تا گلدهی و کپسول دهی در شرایط تنش خشکی است (شکل ۱). در دور آبیاری ۱۳ روز مقادیر کاهش عملکرد دانه برای ارقام مهاجر و برکت به ترتیب برابر با ۵ و ۳۳ درصد بود که با توجه به عدم کاهش معنی‌دار عملکرد دانه رقم چمران و شوین و صرفه‌جویی ۳۱ درصدی در مقدار

جدول ۶. میانگین مربعات صفات عملکردی کنجد ناشکوفات تحت تأثیر رقم و دور آبیاری

Table 5. Mean squares of yield traits of sesame as affected by cultivar and irrigation interval

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield		عملکرد زیست توده Biological yield		شاخص برداشت Harvest index	
			سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
Block	بلوک	3	11401 ^{ns}	4220 ^{ns}	27341142 ^{ns}	1824807 ^{ns}	12.9 ^{ns}	3.80 ^{ns}
Irrigation interval (I)	دور آبیاری	2	1411936 ^{**}	344689 ^{**}	143824852 ^{**}	298613 ^{ns}	37.8 ^{**}	50.3 ^{**}
Error (a)	خطای اصلی	6	30072	16980	10059061	203474	1.96	3.38
Cultivar (C)	رقم	3	660874 ^{**}	504989 ^{**}	64281805 ^{**}	229310518 ^{**}	48.86 [*]	266 ^{**}
I × C	دور آبیاری × رقم	6	265552 ^{**}	43535 [*]	36622102 ^{**}	4932580 ^{**}	37.32 [*]	7.72 ^{ns}
Error (b)	خطای فرعی	27	45641	19121	9565279	1395450	8.14	3.71
C.V (%)	ضریب تغییرات		21.7	13.7	31.06	11.6	26.55	16.69

Table 5. Continued

جدول ۶. ادامه

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد روغن Oil yield		بهره‌وری مصرف آب Water productivity	
			سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
Block	بلوک	3	2845 ^{ns}	1401 ^{ns}	0.00048 ^{ns}	0.00001 ^{ns}
Irrigation interval (I)	دور آبیاری	2	368622 ^{**}	89309 ^{**}	0.0086 ^{**}	0.0315 ^{**}
Error (a)	خطای اصلی	6	9394	4303	0.0010	0.0004
Cultivar (C)	رقم	3	165362 ^{**}	74040 ^{**}	0.0132 ^{**}	0.0153 ^{**}
I × C	دور آبیاری × رقم	6	56756 ^{**}	7190 ^{ns}	0.0042 [*]	0.0003 ^{ns}
Error (b)	خطای فرعی	27	9637	4509	0.0014	0.0006
C.V (%)	ضریب تغییرات		21.1	14.16	22.85	13.90

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns: غیرمعنی‌دار

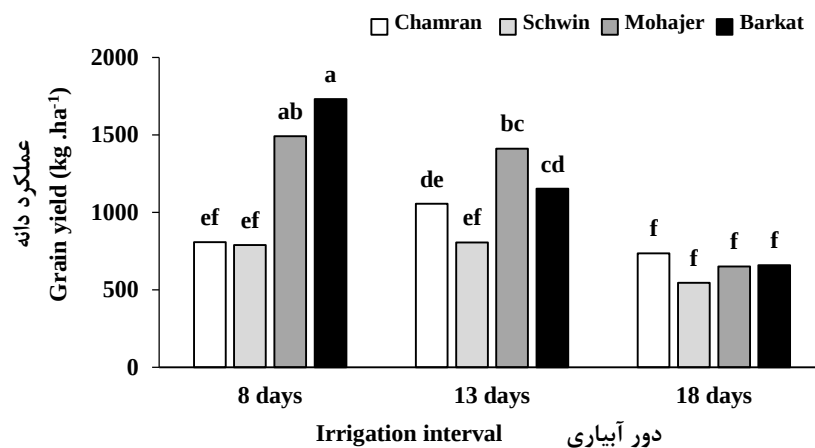
ns: not significant; *and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively

۱۲۶۱ کیلوگرم در هکتار) بود. در دور آبیاری ۱۳ روز کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه ارقام مشاهده نشد، درحالی‌که در دور آبیاری ۱۸ روز میانگین عملکرد دانه به‌شدت کاهش یافت

در سال دوم، بیشترین عملکرد دانه مربوط به رقم مهاجر و برکت در دور آبیاری ۸ روز (به ترتیب ۱۳۷۲ و ۱۱۶۷ کیلوگرم در هکتار) و دور آبیاری ۱۳ روز (به ترتیب ۱۲۶۴ و

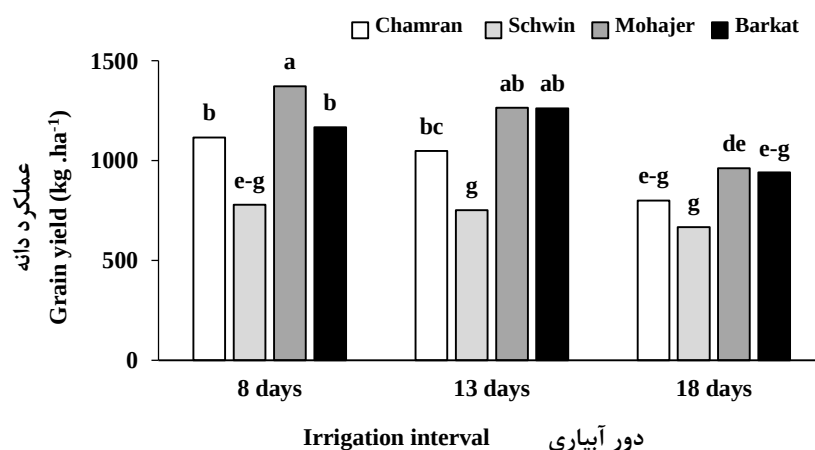
سه دور آبیاری از میانگین بالاتری برخوردار بود، درحالی‌که کمترین مقادیر مربوط به رقم شوین بود و با سایر تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری داشت (شکل ۶).

و میزان کاهش در مقایسه با دور آبیاری ۸ روز در ارقام چمران، شوین، مهاجر و برکت به ترتیب ۱۵، ۳۰ و ۱۹ درصد بود (شکل ۶). عملکرد دانه ارقام مهاجر و برکت در هر



شکل ۵. مقایسه میانگین عملکرد دانه ارقام کنگد تحت سطوح مختلف دور آبیاری در سال اول

Fig. 5. Mean comparison of grain yield for sesame cultivars under different levels of irrigation interval in 2021



شکل ۶. مقایسه میانگین عملکرد دانه ارقام کنگد تحت سطوح مختلف دور آبیاری در سال دوم

Fig. 6. Mean comparison of grain yield for sesame cultivars under different levels of irrigation interval in 2022

به‌طور کلی نتایج این پژوهش بیانگر برتری معنی‌دار ارقام ناشکופا نسبت به رقم محلی شوین بود. ارقام ناشکופا به‌واسطه ناشکوپا بودن کپسول زمینه برداشت مکانیزه را فراهم می‌آورند. همچنین نتایج نشان داد دور آبیاری مطلوب می‌تواند در تعیین عملکرد نهایی دانه نقش به‌سزایی داشته باشند و اعمال دور آبیاری ۱۳ روز به دلیل صرفه‌جویی در مصرف آب با حداقل کاهش در میزان عملکرد می‌تواند در شرایط محدودیت آب در کشت تابستانه کنگد قابل توصیه باشد. نتایج پژوهش‌های دیگر بر روی گیاه کنگد نیز نشان داد که

همانند نتایج سال اول، از دلایل احتمالی کاهش عملکرد دانه در این پژوهش به‌ویژه در رقم شوین می‌توان به کاهش تعداد روز تا گلدهی و کپسول‌دهی در شرایط تنش رطوبتی ناشی از افزایش دور آبیاری اشاره کرد (شکل ۲ و ۳) و با توجه به عدم کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در دور آبیاری ۱۳ روز و با توجه به صرفه‌جویی ۲۸ درصدی مقادیر آب آبیاری، توصیه دور آبیاری ۸ تا ۱۳ روز به‌عنوان دور آبیاری مناسب برای کنگد در این منطقه مورد تأیید قرار می‌گیرد.

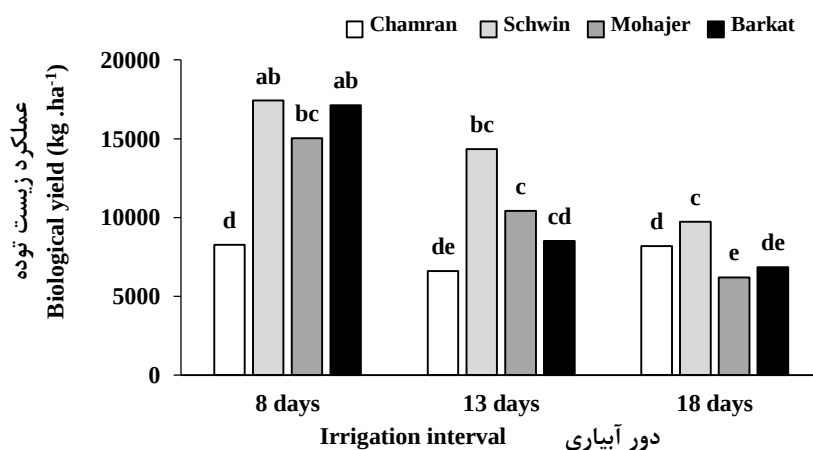
عملکرد زیست‌توده کمتری بود (شکل ۸). به‌طور کلی در سال اول آزمایش، یا افزایش دور آبیاری عملکرد زیست‌توده همه ارقام به‌جز چمران به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در سال دوم آزمایش نیز تنها عملکرد زیست‌توده رقم چمران در دور آبیاری ۱۸ روز در مقایسه با ۸ روز کاهش یافت. این امر به دلیل افزایش رقابت گیاهان بر سر منابع آب در فواصل آبیاری طولانی بود. در هر دو سال رقم شوین دارای بیشترین زیست‌توده تولیدی بود و دیررس بودن و تولید کپسول بالا حاکی از پتانسیل بالای این رقم در تولید ماده خشک کل بود. به نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش عملکرد زیست‌توده در شرایط فواصل آبیاری طولانی به‌ویژه در شرایط گرم و خشک خوزستان از دست رفتن آب در اثر تبخیر از سطح خاک است. به عبارتی، تنش رطوبتی، سرعت رشد و تقسیم سلولی و در نتیجه رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرفی با کاهش هدایت روزنه‌ای، سرعت ورود دی‌اکسیدکربن به داخل سلول کاهش‌یافته و منجر به کاهش سرعت انتقال مواد فتوسنتزی به برگ‌ها شده و در نهایت منجر به کاهش سطح برگ می‌شود. به‌علاوه در شرایط تنش تخصیص مواد غذایی به ریشه نسبت به ساقه افزایش می‌یابد، لذا گیاه قادر به تأمین کربوهیدرات‌های موردنیاز برای ادامه رشد نخواهد بود، در نتیجه وزن خشک اندام هوایی گیاه کاهش می‌یابد (Sharifi and Mohammadkhani, 2016).

با افزایش فواصل آبیاری، میزان عملکرد دانه کنگد کاهش یافت (Mehrabiz zadeh and Ehsanzadeh, 2012). علاوه بر این، کاهش عملکرد دانه ممکن است به دلیل کاهش دسترسی به مواد مغذی همراه با کاهش انتقال مواد فتوسنتزی از منبع باشد. همچنین کاهش عملکرد دانه با افزایش تنش رطوبتی می‌تواند ناشی از تخصیص ترجیحی زیست‌توده به سمت ریشه باشد (Yin et al., 2005).

عملکرد زیست‌توده

در هر دو سال آزمایش، عملکرد زیست‌توده، تحت تأثیر ارقام، دوره‌های آبیاری و برهم‌کنش آن قرار گرفت (جدول ۶). در سال اول، در دور آبیاری ۱۳ روز عملکرد زیست‌توده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به‌گونه‌ای که میزان کاهش در مقایسه با دور آبیاری ۸ روز در ارقام چمران، شوین، مهاجر و برکت به ترتیب ۲۰، ۱۷، ۴۲ و ۳۱ درصد بود. در دور آبیاری ۱۸ روز در مقایسه با دور آبیاری ۸ روز مقادیر کاهش در ارقام چمران، شوین، مهاجر و برکت به ترتیب ۱، ۴۴، ۵۹ و ۶۰ درصد بود (شکل ۷).

در سال دوم، بیشترین عملکرد زیست‌توده به رقم شوین در هر سه دور آبیاری تعلق داشت. در مقابل رقم چمران دارای



شکل ۷. مقایسه میانگین عملکرد زیست‌توده ارقام کنگد تحت سطوح مختلف دور آبیاری در سال اول

Fig. 7. Mean comparison of biological yield for sesame cultivars under different levels of irrigation interval in 2021

دنبال آن سبب کاهش ماده خشک تولیدی می‌گردد (Mehrabiz zadeh and Ehsanzadeh, 2012). نتایج سایر مطالعات نیز بیانگر این بود که کاهش دفعات آبیاری کل

دلیل کاهش عملکرد زیست‌توده به دلیل کاهش شاخص سطح برگ در شرایط تنش خشکی نسبت داد شده است که از این طریق جذب نور در جامعه گیاهی کاهش‌یافته و به

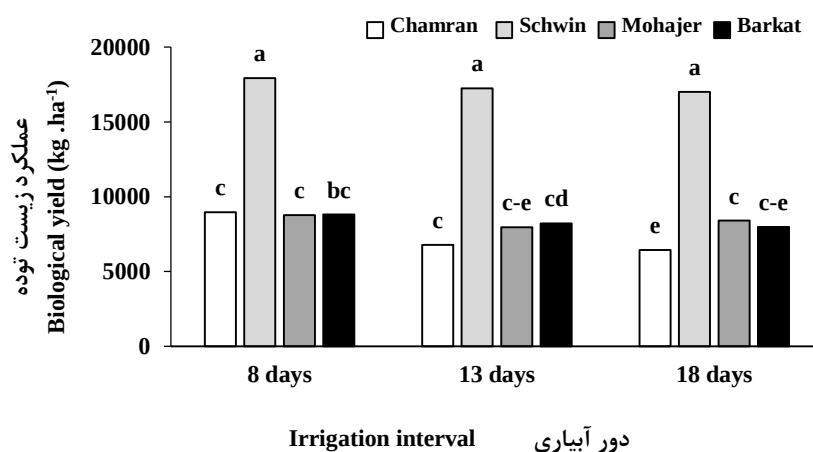
بالاتری نسبت به رقم شوین در هر سه دور آبیاری بود (شکل ۹).

در سال دوم، نتایج حاکی از تأثیرپذیری معنی‌دار شاخص برداشت از دور آبیاری و رقم بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۸ روز شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و مقادیر آن از ۱۱/۷۶ به ۹/۸۰ درصد رسید (جدول ۴). همچنین ارقام ناشکופا بیشترین شاخص برداشت را نشان دادند و کمترین مقدار مربوط به رقم شوین بود (جدول ۵). شاخص برداشت به‌عنوان معیاری از کارایی انتقال مواد فتوسنتزی تولید گیاه به دانه محسوب می‌شود. کاهش شاخص برداشت کنجد در شرایط کمبود آب در مطالعات گذشته نیز گزارش شده است (Asadi et al., 2020).

ماده خشک تولیدی گیاه را کاهش می‌دهد (Rezvani, Moqaddam, 2005). مشخص شده که گیاهان تحت خشکی تولید زیست‌توده خود را کاهش می‌دهند و زیست‌توده بیشتری را به سمت ریشه در راستای کاهش مصرف و افزایش جذب آب انتقال می‌دهند (Yin et al., 2005).

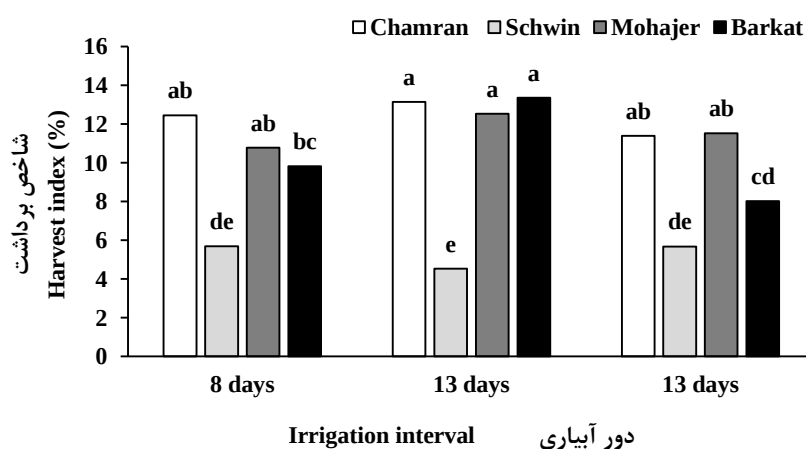
شاخص برداشت

در سال اول آزمایش شاخص برداشت تحت تأثیر برهم‌کنش دور آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بین ارقام چمران و مهاجر در آبیاری ۸ و ۱۳ روز تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت و دارای میانگین



شکل ۸. مقایسه میانگین عملکرد زیست‌توده ارقام کنجد تحت سطوح مختلف دور آبیاری در سال دوم

Fig. 8. Mean comparison of biological yield for sesame cultivars under different levels of irrigation interval in 2022



شکل ۹. مقایسه میانگین شاخص برداشت ارقام کنجد تحت سطوح مختلف دور آبیاری در سال اول

Fig. 9. Mean comparison of harvest index for sesame cultivars under different levels of irrigation interval in 2021

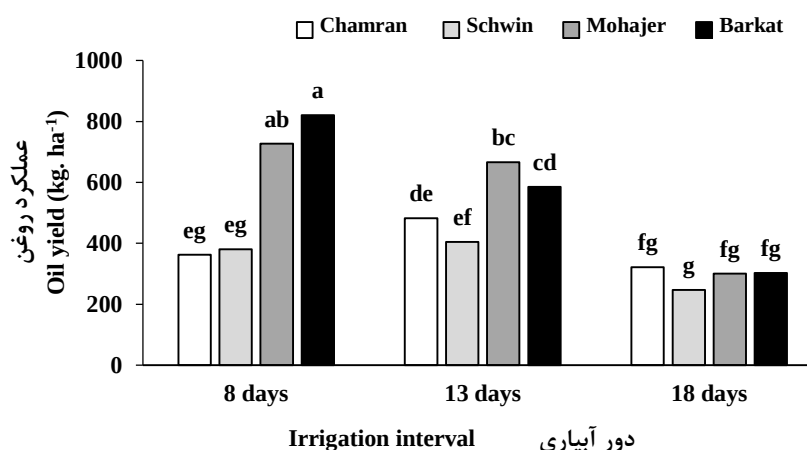
روز بیشترین و دور آبیاری ۱۸ روز کمترین عملکرد روغن را به خود اختصاص داد. همچنین در دور آبیاری ۸ و ۱۳ روز ارقام مهاجر و برکت دارای بیشترین و ارقام شوین و چمران دارای کمترین میزان عملکرد روغن بود، درحالی‌که در دور آبیاری ۱۸ روز تفاوت معنی‌داری بین ارقام وجود نداشت (جدول ۳).

در سال دوم آزمایش نیز دور آبیاری ۱۸ روز سبب کاهش ۲۶ درصدی عملکرد روغن در مقایسه با دور آبیاری ۸ روز شد. همچنین از نظر عملکرد روغن در میان ارقام تفاوت وجود داشت. اگرچه مقادیر عملکرد روغن در رقم شوین و چمران بیشتر از رقم مهاجر و برکت بود (داده‌ها نشان داده نشده است). کاهش عملکرد روغن در شرایط تنش کم‌آبی در پژوهش‌های متعددی گزارش گردیده است (Zandi et al., 2023; Rezvani Moqaddam, 2005). عملکرد روغن تحت تأثیر تغییرات عملکرد دانه و محتوای روغن قرار می‌گیرد. در این پژوهش مقادیر کاهش عملکرد روغن در تیمارهای دور آبیاری منطبق با مقادیر کاهش عملکرد دانه بود. گفته می‌شود تنش رطوبتی طول دوره پر شدن دانه را کاهش داده و زمان بیشتری برای تجمع پروتئین در دانه فراهم می‌کند، در نتیجه درصد روغن دانه کاهش می‌یابد (Farasat et al., 2012). در این پژوهش، عملکرد بالای روغن رقم برکت و مهاجر را می‌توان به عملکرد بالای دانه این دو رقم نسبت داد (شکل ۵ و ۶).

تغییرات شاخص برداشت در دوره‌های متفاوت آبیاری به تأثیر متفاوت تنش خشکی بر عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه بستگی دارد. در این پژوهش مشاهده شد که شاخص برداشت با افزایش فواصل آبیاری از ۸ به ۱۳ روز تا حدودی افزایش یافت، ولی با افزایش دور آبیاری به ۱۸ روز کاهش یافت. بر اساس نتایج به نظر می‌رسد تأثیرپذیری عملکرد دانه از عملکرد زیست‌توده نسبت به تغییر دور آبیاری بیشتر باشد. از طرفی در بین ارقام موردبررسی نیز مشاهده شد که رقم شوین کمترین شاخص برداشت را تحت تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری داشت. مقادیر پایین شاخص برداشت این رقم به دلیل عملکرد بالای زیست‌توده و عملکرد پایین دانه این رقم و همچنین تا حدودی مرتبط با ریزش دانه در طی برداشت بود. همچنان که در هر دو سال آزمایش به علت برداشت رقم شوین در اوایل رسیدگی فیزیولوژیک، ریزش دانه تا حدودی مشاهده شد و از سوی دیگر به دلیل دیررس بودن و پتانسیل بالای تولید زیست‌توده، میزان شاخص برداشت در این رقم به شدت کاهش یافت. به‌طورکلی، بالا بودن مقادیر شاخص برداشت ارقام مهاجر و برکت در دوره‌های آبیاری ۱۳ و ۱۸ روز را می‌توان به بالا بودن عملکرد دانه این دو رقم در مقایسه با عملکرد زیست‌توده آن‌ها نسبت داد (شکل ۵، ۶، ۷ و ۸).

عملکرد روغن

در سال اول، عملکرد روغن تحت تأثیر دور آبیاری، رقم و برهم‌کنش آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۶). دور آبیاری ۸



شکل ۱۰. مقایسه میانگین عملکرد روغن ارقام کنجد تحت سطوح مختلف دور آبیاری در سال اول

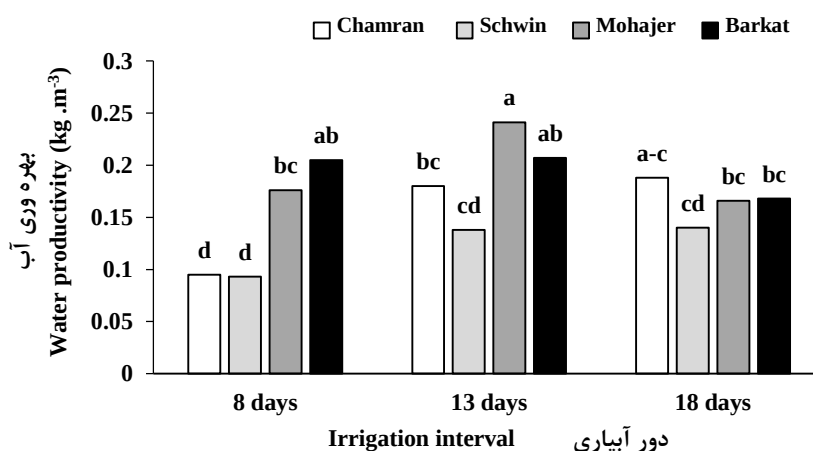
Fig. 10. Mean comparison of oil yield for sesame cultivars under different levels of irrigation interval in 2021

بهره‌وری آب

در سال اول آزمایش، بهره‌وری آب بر اساس عملکرد دانه تحت تأثیر دور آبیاری، رقم و برهم‌کنش آن قرار گرفت (جدول ۶). بیشترین مقدار بهره‌وری آب مربوط به رقم مهاجر در دور آبیاری ۱۳ روز (۰/۲۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب) و کمترین مقدار مربوط به رقم چمران و شوین در دور آبیاری ۸ روز (به ترتیب ۰/۰۹۵ و ۰/۰۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب) بود. دور آبیاری ۱۳ روز در مقایسه با ۸ روز منجر به افزایش بهره‌وری آب ارقام چمران، شوین، مهاجر و برکت به میزان به ترتیب ۸۹، ۴۸، ۳۷ و ۱ درصد شد، درحالی‌که در دور آبیاری ۱۸

روز بهره‌وری آب ارقام مهاجر و برکت تا حدودی کاهش یافت و میزان کاهش آن در مقایسه با دور آبیاری ۸ روز به ترتیب برابر با ۶ و ۱۲ درصد بود (شکل ۱۱).

منطبق با نتایج عملکرد دانه در دور آبیاری ۸ روز ارقام مهاجر و برکت در مقایسه با چمران و شوین دارای بیشترین مقدار بهره‌وری آب بر اساس عملکرد دانه بود و بین دو رقم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، بهره‌وری آب همه ارقام به دلیل کاهش مصرف آب ناشی از دور آبیاری ۱۳ روز نسبت به دور آبیاری ۸ روز و صرفه‌جویی در مصرف آب علیرغم کاهش عملکرد دانه افزایش یافت (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. مقایسه میانگین بهره‌وری آب ارقام کنگد تحت سطوح مختلف دور آبیاری در سال اول

Fig. 11. Mean comparison of water productivity for sesame cultivars under different levels of irrigation interval in 2021

یافت (Alinian and Razmjoo, 2014). این نتایج مؤید این نکته است که با تغییر دور آبیاری و اعمال مدیریت کم-آبیاری، می‌توان راندمان مصرف آب گیاه کنگد را افزایش داد. به‌طورکلی، در این پژوهش مقادیر تقریبی آب آبیاری مصرف‌شده در کل دوره رشد برای تیمارهای دور آبیاری ۸، ۱۳ و ۱۸ روز در سال اول به ترتیب ۵۸۵۰، ۸۴۵۰ و ۳۹۰۰ و در سال دوم به ترتیب ۸۰۶۰، ۵۸۵۰ و ۳۷۲۰ مترمکعب در هکتار و تعداد دفعات آبیاری در هر دو سال به ترتیب ۱۳، ۹ و ۶ نوبت بود. به عبارتی در سال اول و دوم، دور آبیاری ۱۳ روز در مقایسه با دور آبیاری ۸ روز، با کاهش به ترتیب ۳۱ و ۲۸ درصدی میزان آب مصرفی موجب کاهش چهار نوبت آبیاری شد. بنابراین در سال اول و دوم آزمایش، دور آبیاری ۱۳ روز به لحاظ کاهش حجم آب مصرفی (به ترتیب ۳۱ و ۲۸ درصد)، کاهش دفعات آبیاری (به ترتیب ۳۱ و ۳۴ درصد) و افزایش کارایی مصرف آب (به ترتیب ۳۳ و ۳۴

در سال دوم، بهره‌وری آب تنها تحت تأثیر دور آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۶). بهره‌وری آب ارقام در دور آبیاری ۸ روز برابر با ۰/۱۳۷ کیلوگرم بر مترمکعب بود، ولی با افزایش دور آبیاری به ۱۳ و ۱۸ روز با افزایش به ترتیب ۳۴ و ۶۴ درصدی روبرو شد و به ترتیب به ۰/۱۸۴ و ۰/۲۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب رسید. بیشترین بهره‌وری آب مربوط به رقم مهاجر و برکت (به ترتیب ۰/۲۱۴ و ۰/۲۰۴ کیلوگرم بر مترمکعب) و کمترین مقدار مربوط به رقم چمران و شوین (به ترتیب ۰/۱۷۷ و ۰/۱۳۴ کیلوگرم بر مترمکعب) بود. منطبق با نتایج این پژوهش، در بررسی اثر تنش رطوبتی و دماهای بالا بر گیاه کلزا گزارش شد که بهره‌وری آب بر مبنای عملکرد دانه با افزایش شدت تنش رطوبتی افزایش یافت (Faraji et al., 2009). همچنین ارزیابی فنولوژیک و عملکردی زیره سبز تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی ناشی از کم‌آبیاری میزان بهره‌وری آب افزایش

در دور آبیاری ۱۳ روز و پس‌از آن در دور آبیاری ۱۸ روز به دست آمد. بنابراین از نظر دستیابی به حداکثر بهره‌وری آب کشاورزی، دور آبیاری ۱۳ روز قابل توصیه است. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در شرایط محدودیت آب در کشت تابستانه کنگد در منطقه دزفول و مناطق مشابه اقلیمی می‌توان این محصول را در بازه زمانی ۸ تا ۱۳ روز یک‌بار آبیاری کرد، به‌گونه‌ای که این نحوه برنامه‌ریزی آبیاری موجب کاهش هزینه‌های آبیاری، صرفه‌جویی در مصرف آب و دستیابی به حداکثر کارایی مصرف آب آبیاری خواهد شد.

سپاسگزاری

نویسندگان از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در راستای تأمین بخشی از هزینه‌های اجرای این پژوهش به شماره پژوهانه SCU.AA1400.96 و همچنین از حمایت‌های شرکت کشت و صنعت شهید رجایی دزفول سپاسگزاری می‌نمایند.

درصد)، در مقابل کاهش جزئی عملکرد دانه (به ترتیب ۸ و ۳ درصد) در مقایسه با دور آبیاری ۸ روز برتری داشت.

نتیجه‌گیری نهایی

در این پژوهش اعمال دوره‌های آبیاری به‌طور متفاوتی صفات مورفوفنولوژیک و فتوسنتزی کنگد را تحت تأثیر قرار داد و موجب کاهش عملکرد دانه و عملکرد روغن شد، ولی بهره‌وری آب آبیاری را افزایش داد. ارقام ناشکופا به‌ویژه مهاجر و برکت به دلیل عملکرد دانه بالاتر دارای مقادیر عملکرد روغن بالاتری بودند به‌گونه‌ای که در هر دو سال آزمایش در دور آبیاری ۸ و ۱۳ روز و در سال دوم در دور آبیاری ۱۸ روز عملکرد دانه و بهره‌وری آب آبیاری آن‌ها بیشتر از سایر ارقام بود که این امر ممکن است با سازگاری بهتر این ارقام با شرایط تنش رطوبتی ناشی از افزایش دور آبیاری مرتبط باشد. به نظر می‌رسد این دو رقم به دلیل مقاومت به ریزش دانه و حفظ عملکرد در شرایط کم‌آبیاری و از سوی دیگر بهره‌وری آب بالاتر از طیف سازگاری نسبتاً خوبی در تحمل به شرایط کم‌آبیاری برخوردار باشند. بیشترین کارایی مصرف آب آبیاری برای عملکرد دانه،

منابع

- Abdipour, M., Ramazani, S.H.R., Younessi-Hmazekhanlu, M., Niazian, M., 2018. Modeling oil content of sesame (*Sesamum indicum* L.) using artificial neural network and multiple linear regression approaches. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 95, 283-297. <https://doi.org/10.1002/aocs.12027>
- Abadya, S., Shimelis, H., Pasupuleti, J., Mashilo, J., Chaudhari, S., Manohar, S.S., 2021. Assessment of the genetic diversity of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) genotypes for kernel yield, oil and fodder quantity and quality under drought conditions. *Crop Science*. 61, 1926-1943. <https://doi.org/10.1002/csc2.20483>
- Alinian, S., Razmjoo, J., 2014. Phenological, yield, essential oil yield and oil content of cumin accessions as affected by irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*. 54, 167-174. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.028>
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*. 56, 300. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001>
- Asadi, H., Baradaran, R., Seghatoleslami, M.J., Moosavi, S.G., 2020. Evaluation of drought tolerance in some sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes based on stress tolerance indices. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 18, 413-433. [In Persian with English summary] <https://doi.org/10.22067/jcsc.2020.88165>
- Bahrami, H., Razmjoo, J., Jafari, A.O., 2012. Effect of drought stress on germination and seedling growth of sesame cultivars (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of AgriScience*. 2, 423-428.
- Baigy, M.J., Sahebi, F.G., Purkhiz, E., Ejlali, F., Asgari, A., 2012. Effect of water stress on sugar beet product in the tape drip irrigation. *International Journal of Agriculture, Research and Review*. 2, 1032-1036.
- Bannayan, M., Nadjafi, F., Azizi, M., Tabrizi, L., Rastgoo, M., 2008. Yield and seed quality of *Plantago ovata* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. *Industrial Crops and Products*. 27, 11-16. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.05.002>

- Bedigian, D. 2010. Sesame: The genus *Sesamum* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13601>
- Boureima, S., 2016. Screening for sources of tolerance to drought in sesame induced mutants: Assessment of indirect selection criteria for seed yield. International Journal of Pure and Applied Bioscience. 4, 45-60. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.2218>
- Blum, A., 2011. Plant Breeding for Water Limited Environments. Springer, p. 53-152. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7491-4>
- Boydak, E., Karaaslan, D., Simsek, M., Gercek, S., Kirnak, H., Kasap, Y., Ozturk, I., 2007. Effect of irrigation methods and irrigation intervals on yield and some yield components of sesame growing in semi-arid area. Journal of Agronomy. 6, 439-443. <https://doi.org/10.3923/ja.2007.439.443>
- Dossa, K., Yehouessi, L., Likeng-Li-Ngue, B.C., Diouf, D., Liao, B., Zhang, X., Cissé, N., Bell, J., 2017. Comprehensive screening of some West and Central African sesame genotypes for drought resistance probing by agromorphological, physiological, biochemical and seed quality traits. Agronomy. 7, 83. <https://doi.org/10.3390/agronomy7040083>
- FAO. 2022. Food and Agriculture Organization statistical databases (FAOSTAT). <https://www.fao.org/faostat>
- Faraji, A., Latifi, N., Soltani, A., Shirani rad, A.H., 2009. Seed yield and water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. Agricultural Water Management. 96, 132-140 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.07.014>
- Farasat, M., Sajedi, N.A Mirzakhani, M., 2012. Effects of drought stress on yield and yield components in safflower genotypes (*Carthamus tinctorius*). Iranian Journal of Field Crops Research. 10, 346-353. [In Persian with English summary]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v10i2.16221>
- Fernández, J.E., Perez-Martin, A., Torres-Ruiz, J.M., Cuevas, M.V. Rodriguez-Dominguez, C.M., Elsayed-Farag, S., Morales-Sillero, A., García, J.M., Hernandez-Santana, V., Diaz-Espejo, A., 2013. A regulated deficit irrigation strategy for hedgerow olive orchards with high plant density. Plant and Soils. 372, 279-295 <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1704-2>
- Gedifew, S., Demelash, H., Abate, A., Abebe, T.D., 2024. Association of quantitative traits and genetic diversity in Ethiopian sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. Heliyon. 19; 10e26676. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26676>
- Gholamhoseini, M., Kiani, D., Norouzi, M., Shariati, F., Ghodrati, G.R. 2025. Evaluation of seed yield and water productivity of a promising sesame line under different irrigation treatments in Borazjan region, Bushehr province. Plant Productions. 48(1), 53-68. <https://doi.org/10.22055/ppd.2024.47304.2185>
- Golestani, M., Pakniyat, H., 2015. Evaluation of traits related to drought stress in sesame (*Sesamum indicum* L.) Genotypes. Journal of Asian Scientific Research. 5, 465-472, 2015. <https://doi.org/10.18488/journal.2/2015.5.9/2.9.465.472>
- Hassanzadeh, M., Asghari, A., Jamaati-E-Somarin, S., Saeidi, M., Zabihi-E-Mahmoodabad, R., Hokmalipour, S., 2009. Effects of water deficit on drought tolerance indices of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in Moghan region. Research Journal of Environmental Sciences. 3, 116-121. <https://doi.org/10.3923/rjes.2009.116.121>
- Islam, F., Gill, R.A., Ali, B., Farooq, M.A., Xu, L., Najeeb, U., Zhou, W., 2016. Sesame In Breeding Oilseed Crop for Sustainable Production: Opportunities and Constraints (Gupta S.K., ed.), pp. 135-147. Cambridge, MA: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801309-0.00006-9>
- Kadkhodaie, A., Razmjoo, J., Zahedi, M., Pessarakli, M., 2014a. Selecting sesame genotypes for drought tolerance based on some physiochemical traits. Agronomy Journal. 106, 111-118. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0260>
- Kadkhodaie, A., Razmjoo, J., Zahedi, M., Pessarakli, M., 2014b. Oil content and composition of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes as affected by irrigation regimes. Journal of the American Oil Chemists' Society. 91, 1737-1744. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2524-0>
- Kiani, D., Ghodrati, G., Mansouri, S., 2022. Evaluation of genetic diversity for phenological and grain yield-related traits of sesame in the Dashtestan region with

- multivariate statistical methods. *Plant Genetic Researches*. 9, 99-116.
- Kim, M.J., Lee, J.E., Kim, J.T., Jung, G. H., Lee, Y.Y., Kim, S.L., Kwon, Y.U., 2006. Influence of drought stress on chemical composition of sesame seed. *Korean Journal of Crop Science*. 51, 73-80.
- Kouighat, M., Kettani, R., El Fectali, M., Nabloussi, A., 2024. Exploring mechanisms of drought-tolerance and adaptation of selected sesame mutant lines. *Journal of Agriculture and Food Research*. 15, 100911. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100911>
- Langham, D.R., Wiemers, T. 2001. Progress in mechanizing sesame in the US through breeding. In: Janick, J., Whipkey, A. (Eds.), *Trends in New Crops and New Uses*. ASHS Press, Alexandria, VA, pp. 157-173.
- Ma, L.S., Li, Y.J., Wu, P.T., Zhao, X.N., Gao, X.D., Chen, X.L., 2020. Recovery growth and water use of intercropped maize following wheat harvest in wheat/maize relay strip intercropping. *Field Crops Research*. 256. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107924>
- Manvelian, J., Weisany, W., Tahir, N.A.R., Jabbari, H., Diyanat, M., 2021. Physiological and biochemical response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars to zinc application under drought stress. *Industrial Crops and Products*. 172, 15. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.05.011406905>
- Mawanamwenge, J., Loss, S.P., Seddique, K.H.M., Cocks, P.S., 1999. Effect of water stress during floral initiation flowering and poding on growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy*. 11, 1-11. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(99\)00003-9](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00003-9)
- Mehrabi zadeh, Z., Ehsanzade, P., 2012. A study on physiological attributes and grain yield of sesame cultivars under different soil moisture regimes. *Journal of Crops Improvement*. 13, 75-88. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/20.1001.1.83372008.1390.13.2.7.3>
- Ministry of Agriculture Jihad. 2022. Annual harvested area, production, and yield in 2021-2022. [In Persian].
- Momeni, S., Fahmideh, L., Emamjomeh, A., Solouki, M. Zahiri, J., 2020. Effect of drought stress on morphological and physiological traits of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*. 15, 61-78. <https://doi.org/20.1001.1.76712423.1399.15.60.5.4>
- Oweis, T., 1994. Supplemental irrigation: an option for improved water use efficiency, in *Proceedings of Regional Seminar on the Optimization of Irrigation in Agriculture*, pp. 21-24, Amman, Jordan.
- Rahnama, A., Poustini, K., Munns, R., James, R.A., 2010. Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil. *Functional Plant Biology*. 37, 255-263. <https://doi.org/10.1071/fp09148>
- Rahnama, A., Salehi, F., Meskarbashee, M., Mehdi Khanlou, K., Ghorbanpour, M., Harrison, M.T. 2024a. High temperature perturbs physicochemical parameters and fatty acids composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *BMC Plant Biology*. 24, 1080. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05781-3>
- Rahnama, A., Hosseinalipour, B., Farrokhan Firouzi, A., Harrison M.T., Ghorbanpour, M. 2024b. Root architecture traits and genotypic responses of wheat at seedling stage to water-deficit stress. *Cereal Research Communications*. 52, 1499-1510. <https://doi.org/10.1007/s42976-023-00481-4>
- Rezvani Moqaddam, P., Norouzpour, G., Nabati, J., Mohammadabadi, A.A., 2005. Study on morphological traits, seed yield and oil yield of sesame at different plant densities and irrigation intervals. *Iranian Journal of Agricultural Research*. 3, 57-68. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22067/GSC.V3I1.1292>
- Richardson, F., Brodribb, T.J., Jordan, G.J., 2017. Amphistomatic leaf surfaces independently regulate gas exchange in response to variations in evaporative demand. *Tree Physiology*. 37, 869-878. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpx073>
- Sharifi, P. Mohammadkhani, N., 2016. Effects of drought stress on photosynthesis factors in wheat genotypes during anthesis. *Cereal Research Communications*. 44, 229-239. <https://www.jstor.org/stable/24689549>
- Siahpoosh, M.R., Nejad Sadeghi, L., Siahpoosh, M.S., Sheidaie, S., Rezvani, E., Sadeghi, H., 2024. Introduction and evaluation of agronomic features of commercial nonshattering (indehiscent) sesame cultivars named Barkat, Mohajer, Chamran and Dezful.

- Plant Production, 46, 473-490. [In Persian with English Summary].
<https://doi.org/10.22055/ppd.2024.46295.2149>
- Tantawy, M.M., Ouda, S.A., Khalil, F.A., 2007. Irrigation optimization for different sesame varieties grown under water stress conditions. The Journal of Applied Sciences Research. 3, 7-12.
- Teklu, D.H., Kebede, S.A., Gebremichael, D.E., 2017. Assessment of genetic variability, genetic advance, correlation and path analysis for morphological traits in sesame genotypes. International Journal of Novel Research in Life Sciences. 4, 34-44.
- Ucan, K., Killi, F., Gencoglan, C., Merdun H., 2007. Effect of irrigation frequency and amount on water use efficiency and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) under field conditions. Field Crops Research. 101, 249-258.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.11.011>
- Valipour, M., Rahnama, A., Hassibi, P. Monsefi, A., 2024. Evaluation of morphological traits and seed yield of oilseed flax (*Linum usitatissimum* L.) genotypes in response to deficit irrigation regimes at different growth stages. Environmental Stresses in Crop Sciences. 18(2), 263-281. [In Persian with English Summary].
<https://doi.org/10.22077/escs.2024.7074.2258>
- Yin, Ch., Wang, X., Duan, B., Luo, J.F., Li, C., 2005. Early growth, dry matter allocation and water use efficiency of two sympatric *Populus* species as affected by water stress. Environmental and Experimental Botany. 53, 315-322.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.04.007>
- Zandi, R., Rahnama, A., Meskarbashi, M., 2023. Effect of deficit irrigation regimes on photosynthetic, morpho-physiological and yield traits of safflower (*Carthamus tinctorious* L.) in Ahvaz climate condition. Crop Physiology Journal. 15, 19-40. [In Persian with English Summary].
<http://cpj.ahvaz.iau.ir/article-1-1614-fa.html>
- Zandi, R., Rahnama, A., Meskarbashi, M., 2024. Effects of deficit irrigation management on physiological and biochemical properties of two safflower cultivars. Applied Field Crops Research, 35, 24-1. [In Persian with English Summary]
<https://doi.org/10.22092/aj.2023.359982.1624>