Vol. 7, No. 2, Autumn & Winter, 2026, p. 313-332

Plant Production and Genetics

https://doi.org/10.22034/PLANT.2026.145306.1190

Evaluation of phenological stages and seed yield of canola cultivars in response to sowing dates and the application of sulfur and *Thiobacillus*

Sahar Kolahkaj[1], Mahroo Mojtabaie Zamani[*2], Jafar Pourreza[2], Mehran Mombeini[2]

1. Department of Agronomy, Ramh.C., Islamic Azad University, Ramhormoz, Iran
[*]Corresponding Author Email: Ma.Mojtabaie@iau.ac.ir

Received: 20-01-2026 **revised:** 06-05-2026 **Accepted**: 16-05-2026

Abstract

Introduction: Canola (*Brassica napus* L.) production, like that of many other field crops, faces several constraints in the calcareous soils of the country. Among the most important problems are relatively high soil pH, low organic carbon content, and limited availability of nutrients to plants. One of the most important factors for adapting crop production to climatic variability is planting date, which, compared with other agronomic factors, has the greatest influence on the phenological characteristics and yield of field crops. The aim of this study is to evaluate the effects of different planting dates, sulfur application, and Thiobacillus bacteria on the phenological stages, changes in growing degree days, and seed yield of canola cultivars under the climatic conditions of Ramhormoz County. In addition, changes in growing degree days are considered as a practical tool for predicting growth stages and optimizing crop yield. Furthermore, considering the specific characteristics of the region, including end-of-season heat and calcareous soils, this study seeks to determine the most appropriate planting date and the most effective nutritional combination for improving growth and increasing canola yield.

Materials and methods: An experiment was conducted to evaluate the phenological stages, variations in growing degree days, and seed yield of canola cultivars in response to different sowing dates and the application of sulfur and Thiobacillus bacteria under calcareous soil conditions during the 2019–2020 and 2020–2021 cropping seasons at the Agricultural Research Farm of Ramhormoz, Khuzestan Province, Iran. The experiment was conducted as a split-factorial arrangement based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications in calcareous soil containing 42% calcium carbonate. The main factor consisted of three sowing dates (T1: October 24, T2: November 19, and T3: December 17), while the sub-factor was a factorial combination of three canola genotypes (G1: Delgan, G2: Safar, and G3: Hyola 50) and three levels of sulfur application combined with Thiobacillus bacteria (S1: control, no sulfur; S2: 500 kg. ha^{-1} bentonite-coated sulfur + 10 kg. ha^{-1} Thiobacillus; S3: 1000 kg. ha^{-1} bentonite-coated sulfur + 20 kg. ha^{-1} Thiobacillus).

Results: The results of this study indicated that sowing date, cultivar, and sulfur application play a decisive role in regulating the phenological growth and seed yield of canola. Early sowing, particularly on October 24, provided more favorable thermal conditions during the early growth stages, leading to increased accumulation of growing degree days (GDD), extended vegetative and reproductive periods, and consequently higher seed yield. In contrast, delayed sowing until late December resulted in reduced effective heat accumulation, shortened growth stages, and a significant decrease in yield. This effect was especially pronounced in later-maturing cultivars such as Hyola 50. The highest seed yield in both years was obtained from the cultivar Safar under the late sowing date (2496 and 2782 kg. ha^{-1}, respectively). Moreover, sulfur application particularly at the rate of 500 kg. ha^{-1} in combination with Thiobacillus bacteria significantly enhanced both growing degree days and seed yield.

Conclusion: Overall, the results indicate that selecting an optimal sowing date (October 24), along with balanced sulfur application and the use of cultivars adapted to local climatic conditions, can enhance growth stability and improve seed yield in canola.

Keywords: Bentonite sulfur, Delgan, Hayola 50, Phenological stages, Yield optimization

Citation: Kolahkaj, S., Mojtabaie Zamani, M., Pourreza, J., & Mombeini, M. (2026). Evaluation of phenological stages and seed yield of canola cultivars in response to sowing dates and the application of sulfur and *Thiobacillus*. *Plant Production and Genetics*, *7*(2), 313-332. https://doi.org/10.22034/PLANT.2026.145306.1190

Copyrights:
Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

جلد۷، شماره۲، پاییز و زمستان، ۱۴۰۵، صفحات ۳۳۲-۳۱۳

تولید و ژنتیک گیاهی

https://doi.org/10.22034/PLANT.2026.145306.1190

ارزیابی مراحل فنولوژیک و عملکرد دانه ارقام کلزا در واکنش به تاریخ کاشت و کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس

سحر کلاه کج[۱]، مهرو مجتبایی زمانی*[۱]، جعفر پوررضا[۱]، مهران ممبینی[۱]

۱. گروه زراعت، واحد رامهرمز، دانشگاه آزاد اسلامی، رامهرمز، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: Ma.Mojtabaie@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۳۰ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۵/۰۲/۱۶ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۵/۰۲/۲۶

چکیده

مقدمه: تولید کلزا مانند بسیاری از محصولات زراعی دیگر در خاک‌های آهکی کشور با محدودیت‌هایی روبه‌رو است. از جمله مهم‌ترین مشکلات می‌توان به pH نسبتاً بالای خاک، پایین بودن درصد کربن آلی و دسترسی محدود گیاه به عناصر غذایی اشاره کرد. یکی از مهم‌ترین عوامل سازگار با تنوع اقلیمی در زراعت، تاریخ کاشت است؛ عاملی که در مقایسه با سایر مؤلفه‌های زراعی، بیشترین تأثیر را بر ویژگی‌های فنولوژیک و عملکرد گیاهان زراعی دارد. هدف از این پژوهش، ارزیابی اثر تاریخ‌های مختلف کاشت، کاربرد گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر مراحل فنولوژیک، تغییرات درجه‌روز رشد و عملکرد دانه ارقام کلزا در شرایط اقلیمی شهرستان رامهرمز است. علاوه بر این، بررسی تغییرات درجه‌روز رشد به‌عنوان یک ابزار کاربردی برای پیش‌بینی مراحل رشد و بهینه‌سازی عملکرد محصول، مد نظر قرار گرفته است. همچنین این مطالعه با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص منطقه، از جمله گرمای انتهای فصل و خاک‌های آهکی، در پی آن است تا مناسب‌ترین زمان کاشت و ترکیب تغذیه‌ای مؤثر بر بهبود رشد و افزایش عملکرد کلزا را تعیین کند.

مواد و روش‌ها: آزمایشی با هدف ارزیابی مراحل فنولوژیک، تغییرات درجه‌روز رشد و عملکرد دانه در ارقام کلزا در واکنش به تاریخ کاشت و کاربرد گوگرد و باکتری تیوباسیلوس در اراضی آهکی طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی شهرستان رامهرمز (استان خوزستان) اجرا شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت–فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در خاک آهکی حاوی ۴۲ درصد کربنات کلسیم انجام گرفت. عامل اصلی شامل تاریخ کاشت در سه سطح (T1: 2 آبان، T2: 29 آبان و T3: 26 آذر) و عامل فرعی به‌صورت فاکتوریل شامل ژنوتیپ کلزا در سه سطح (G1: دلگان، G2: صفار و G3: هایولا ۵۰) و کاربرد گوگرد به‌همراه تیوباسیلوس در سه سطح (S1: شاهد (عدم مصرف)، S2: مصرف ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بنتونیت‌دار همراه با ۱۰ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس، S3: مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بنتونیت‌دار همراه با ۲۰ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس) بود.

نتایج: نتایج این پژوهش نشان داد که تاریخ کاشت، رقم و مصرف گوگرد نقش تعیین‌کننده‌ای در مراحل فنولوژیک و عملکرد دانه کلزا دارند. کاشت‌های زودهنگام به‌ویژه در تاریخ ۲ آبان، با فراهم‌سازی شرایط حرارتی مناسب‌تر در مراحل اولیه رشد، موجب افزایش تجمع درجه‌روز رشد، طولانی‌تر شدن دوره رویشی و زایشی، و در نهایت افزایش عملکرد دانه شدند. در مقابل، تأخیر در کاشت تا اواخر آذر سبب کاهش تجمع حرارت مؤثر، کوتاه شدن مراحل رشد، و کاهش معنی‌دار عملکرد گردید. این امر به‌ویژه در ارقام دیررس‌تر مانند هایولا ۵۰ مشهود بود. بیشترین عملکرد دانه در هر دو سال در تاریخ کاشت تاخیری به رقم صفار (به‌ترتیب ۲۴۹۶ و ۲۷۸۲ کیلوگرم در هکتار) اختصاص داشت. همچنین مصرف گوگرد، به‌ویژه در سطح ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با باکتری تیوباسیلوس، موجب افزایش معنی‌دار درجه‌روز رشد طی دوره خورجین دهی تا رسیدگی و عملکرد دانه شد.

نتیجه‌گیری: نتایج بیانگر آن است که انتخاب تاریخ کاشت بهینه (۲ آبان) در کنار کاربرد متعادل گوگرد و استفاده از ارقام سازگار با شرایط اقلیمی منطقه، می‌تواند منجر به افزایش پایداری رشد و بهبود عملکرد دانه در کلزا شود.

کلید واژگان: بهینه‌سازی عملکرد، دلگان، گوگرد بنتونیت‌دار، مراحل فنولوژیک، هایولا ۵۰

منبع: کلاه کج، س.، مجتبایی زمانی ، م.، پوررضا ، ج.، و ممبینی ، م. (۱۴۰۵). ارزیابی مراحل فنولوژیک و عملکرد دانه ارقام کلزا در واکنش به تاریخ کاشت و کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس، *مجله تولید و ژنتیک گیاهی*، *۷* (۲)، ۳۳۲-۳۱۳. https://doi.org/10.22034/PLANT.2026.145306.1190

CC BY

مقدمه

کلزا به‌دلیل سازگاری مطلوب با شرایط اقلیمی ایران، تفاوت فصل رشد آن با سایر گیاهان روغنی و امکان استفاده در تناوب زراعی با غلات، روندی رو به رشد داشته است (Shafighi *et al*., 2021). روغن کلزا با دارا بودن درصد بالای اسیدهای چرب غیر اشباع و کمبود اسیدهای چرب اشباع در گروه روغن‌های خوراکی با کیفیت بالا قرار می‌گیرد (Ahmadi & Sarhangi, 2025; Eyni *et al*., 2023). در ایران، تقریباً ۹۰ درصد از روغن مصرفی از طریق واردات تأمین می‌شود، در حالی که زمین‌های کشاورزی وسیع پتانسیل مناسبی برای کشت دانه‌های روغنی دارند و می‌توان بخشی از نیاز کشور به روغن را با تولید داخلی این دانه‌ها تامین کرد (Tabatabaei *et al*., 2024). براساس آمار جهانی، در سال ۲۰۲۳ میلادی تولید دانه کلزا در جهان حدود ۹۲ میلیون تن و سطح زیر کشت آن نزدیک به ۴۳ میلیون هکتار بوده است. به این ترتیب، کلزا پس از سویا، دومین گیاه زراعی دانه روغنی مهم جهان محسوب می‌شود (Statista, 2024). در سال زراعی ۱۴۰۲–۱۴۰۱ نیز سطح زیر کشت کلزا در ایران حدود ۱۵۴ هزار هکتار بود و استان خوزستان بالاترین میزان تولید کلزا را در سطح کشور داشت (Agricultural Statistics, 2023).

تولید کلزا مانند بسیاری از محصولات زراعی دیگر در خاک‌های آهکی کشور با محدودیت‌هایی روبه‌رو است. از جمله مهم‌ترین مشکلات می‌توان به pH نسبتاً بالای خاک، پایین بودن درصد کربن آلی و دسترسی محدود گیاه به عناصر غذایی اشاره کرد (Adnan *et al*., 2025). برای رفع این موانع و بهبود وضعیت تغذیه گیاهان در چنین خاک‌هایی، استفاده از مواد اسیدی مانند گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس توصیه شده است (Al-Tee & Alamery, 2025). بررسی‌های متعددی نشان داده‌اند که در صورت مصرف گوگرد و فراهم بودن شرایط مناسب برای اکسیداسیون، بخش قابل‌توجهی از گوگرد مصرفی طی یک فصل زراعی توسط میکروارگانیسم‌های خاکزی، به‌ویژه باکتری‌های جنس تیوباسیلوس، اکسید می‌شود. این فرآیند با تولید اسید سولفوریک در نواحی اطراف ریشه‌ها، موجب افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی، بهبود جذب آن‌ها توسط گیاه و در نهایت ارتقای رشد و عملکرد گیاه می‌گردد (Vishnu *et al*., 2024; Ranadev *et al*., 2023; Besharati *et al*., 2016). دسترسی به اطلاعات دقیق درباره زمان رسیدگی و مراحل مختلف رشد گیاهان زراعی، نقشی اساسی در برنامه‌ریزی و اتخاذ تصمیم‌های مناسب برای انجام عملیات زراعی داشته و در نهایت موجب افزایش عملکرد و بهبود تولید محصول می‌شود (Tabatabaei *et al*., 2024). یکی از مهم‌ترین عوامل سازگار با تنوع اقلیمی در زراعت، تاریخ کاشت است؛ عاملی که در مقایسه با سایر مؤلفه‌های زراعی، بیشترین تأثیر را بر ویژگی‌های فنولوژیک و عملکرد گیاهان زراعی دارد. از این‌رو، با انتخاب زمان کاشت مناسب می‌توان بیشترین هماهنگی را میان روند رشد گیاه و شرایط اقلیمی برقرار کرد. بنابراین، برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه، انتخاب تاریخ کاشت مناسب در کشت کلزا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Rad *et al*., 2021). کاشت زودهنگام یا دیرهنگام کلزا، هر دو می‌تواند به کاهش کارایی فتوسنتزی، اختلال در رشد فنولوژیک و کاهش عملکرد دانه منجر شود. تاخیر در کاشت در مناطق گرم، اگرچه از نظر سرمازدگی دانه‌ها مشکلی ایجاد نمی‌کند، اما به‌دلیل قرار گرفتن مراحل حساس رشد گیاه در دوره‌های دمای بالا، کاهش عملکرد دانه را به‌همراه دارد (Shafighi *et al*., 2021; Nazeri *et al*., 2019). طول دوره رشد گیاه و مدت زمان هر مرحله فنولوژیکی می‌تواند با افزایش مصرف منابع یا کاهش تنش‌های محیطی تغییر یافته و به این ترتیب بر عملکرد گیاه تأثیرگذار باشد (Shen *et al*., 2024; Ghadirnezhad Shiade *et al*., 2023). تأخیر در کاشت کلزا باعث می‌شود مراحل حساس رشد، به‌ویژه گل‌دهی و پر شدن دانه، با شرایط خشکی و گرمای انتهای فصل هم‌زمان گردد؛ در نتیجه، عملکرد دانه و میزان روغن به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد (Ahmadi & Sarhangi, 2025). با تأخیر در کاشت، فرآیند گل‌دهی در کلزا تسریع شده و طول این مرحله کاهش می‌یابد. در نتیجه، بوته‌های کلزا با سطح برگ کمتر وارد مراحل تشکیل خورجین و پر شدن دانه می‌شوند، این وضعیت در نهایت موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Kalantarahmadi *et al*., 2014). هدف از این پژوهش، ارزیابی اثر تاریخ‌های مختلف کاشت، کاربرد گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر مراحل فنولوژیک، تغییرات درجه‌روز رشد و عملکرد دانه ارقام کلزا در شرایط اقلیمی شهرستان رامهرمز است. علاوه بر این، بررسی تغییرات درجه‌روز رشد به‌عنوان یک ابزار کاربردی برای پیش‌بینی مراحل رشد و بهینه‌سازی عملکرد محصول، مد نظر قرار گرفته است. همچنین این مطالعه با

در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص منطقه، از جمله گرمای انتهای فصل و خاک‌های آهکی، در پی آن است تا مناسب‌ترین زمان کاشت و ترکیب تغذیه‌ای مؤثر بر بهبود رشد و افزایش عملکرد کلزا را تعیین کند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی شهرستان رامهرمز از توابع استان خوزستان انجام شد. محل اجرای طرح در عرض ۳۱ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۶۰ متر است. به‌منظور بررسی تعیین ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، پیش از کشت از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه برداری شد. نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ ارائه شده است. اطلاعات درجه حرارت طی فصل زراعی در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

EC ($dc.m^{-1}$)	PH	TNV (٪)	کربن آلی (٪)	نیتروژن (٪)	فسفر قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)
۳	۷/۸	۴۲	۰/۳	۰/۰۳	۱۸	۱۸۵

ادامه جدول ۱

آهن ($mg.kg^{-1}$)	روی ($mg.kg^{-1}$)	منگنز ($mg.kg^{-1}$)	مس ($mg.kg^{-1}$)	بر ($mg.kg^{-1}$)	گوگرد ($mg.kg^{-1}$)	بافت
۴/۱۷	۲/۶۹	۶/۸۲	۰/۱۵	۰/۸۵	۱۰	لومی

این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در در مزرعه‌ای با خاک آهکی (حاوی ۴۲ درصد مواد قلیایی خنثی شونده معادل کربنات کلسیم) اجرا شد. در این پژوهش، عامل اصلی شامل تاریخ کاشت در سه سطح به فواصل ۲۷ روزه (T1: 2 آبان، T2: 29 آبان و T3: 26 آذر) و عامل فرعی به‌صورت فاکتوریل شامل ژنوتیپ کلزا در سه سطح (G1: دلگان، G: صفار وG3: هایولا ۵۰) و کاربرد گوگرد به‌همراه تیوباسیلوس در سه سطح (S1: شاهد (عدم مصرف)، S2: مصرف ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بنتونیت‌دار همراه با ۱۰ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس، S3: مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بنتونیت‌دار همراه با ۲۰ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس) بود. نسبت استفاده از کود گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری تیوباسیلوس به ازای هر ۵۰ کیلوگرم کود گوگرد بنتونیت‌دار، یک کیلوگرم مایه تلقیح حاوی دو نوع باکتری تیوباسیلوس (Thiobacillus strain T40 , T95) بود، که قبل از کاشت بطور همزمان با خاک مخلوط و بلافاصله کشت انجام شد. کود گوگرد عنصری دانه‌بندی شده حاوی ۷۵ درصد گوگرد، ۲۰ درصد بنتونیت و ۵ درصد رطوبت از شرکت کیمیا رویش مهر پارس (کودیران) تهیه شده است. باکتری تیوباسیلوس نیز از شرکت زیست فناور سبز تهیه شده و هر گرم مایه تلقیح حاوی ۱۰۷ تا ۱۰۸ باکتری تیوباسیلوس است.

جدول ۲- میانگین درجه حرارت روزانه محل آزمایش

	کاشت تا گلدهی		دوره گلدهی		خورجین دهی تا رسیدگی	
	تاریخ کاشت	میانگین متوسط درجه حرارت روزانه	میانگین حداکثر دمای روزانه	میانگین متوسط درجه حرارت روزانه	میانگین حداکثر دمای روزانه	میانگین متوسط درجه حرارت روزانه	میانگین حداکثر دمای روزانه
سال اول	۲ آبان	۱۸	۲۴	۱۷	۲۳	۱۹	۲۵
	۲۹ آبان	۱۶	۲۲	۱۸	۲۴	۲۲	۲۹
	۲۶ آذر	۱۶	۲۲	۲۳	۲۹	۲۵	۳۲
سال دوم	۲ آبان	۱۹	۲۴	۱۷	۲۳	۱۹	۲۵
	۲۹ آبان	۱۶	۲۲	۲۰	۲۶	۲۲	۲۹
	۲۶ آذر	۱۶	۲۱	۲۴	۳۱	۲۴	۳۴

به‌منظور آماده سازی مزرعه آزمایشی جهت کشت، آبیاری اولیه انجام شد و پس از گاورو شدن خاک مزرعه، با گاوآهن شخم عمیق زده شد. سپس دو دیسک عمود بر هم جهت خرد کردن کلوخه‌ها زده شده و با توجه به نتایج آزمون خاک، مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به خاک مزرعه اضافه شد. هر کرت آزمایشی به مساحت ۱۴/۴ متر مربع و در مجموع در هر تکرار ۲۷ کرت و در کل آزمایش ۸۱ کرت بود. فاصله بین کرت‌های اصلی ۱/۲ متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۰/۶ متر در نظر گرفته شد. هر رقم در ۸ خط ۶ متری به فواصل ۳۰ سانتیمتری در هر کرت آزمایشی با تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع کاشته شد. آبیاری اول بلافاصله پس از کاشت انجام و دومین آبیاری ۳ تا ۴ روز بعد انجام شد. آبیاری‌های بعدی نیز بر اساس نیاز گیاه اعمال گردید. در طول دوره رشد، مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی انجام شد. با توجه به نتایج آزمون خاک و پایین بودن میزان کربن آلی خاک، بر اساس دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه کلزا (Nourgholipour *et al*., 2015)، در مجموع ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در چهار قسط (پس از سبز شدن گیاهچه، درمرحله ۶ برگی، آغاز رشد طولی ساقه، شروع گلدهی) به‌صورت سرک مصرف شد.

مراحل فنولوژیکی شامل سبز شدن، تورم جوانه انتهایی، ظهور گل‌آذین سبز، آغاز گلدهی، پایان گلدهی، شروع تشکیل خورجین، آغاز دانه‌بندی و رسیدگی فیزیولوژیک با استفاده از کلید تشخیص مراحل رشد و نمو کلزا (Sylvester-Bradley & Makepeace, 1984) اندازه گیری شد. بدین منظور، یک متر طولی از ردیف دوم و هفتم هر کرت علامت‌گذاری شد و با پایش روزانه مزرعه، زمانی که ۹۰ درصد بوته‌های موجود در این بخش به مرحله نموی مورد نظر می‌رسیدند، تاریخ آن ثبت می‌شد. در ادامه، بر اساس داده‌های ثبت‌شده، طول دوره گلدهی و طول دوره دانه‌بندی تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک محاسبه و تمامی مراحل بر اساس درجه روز رشد مورد ارزیابی قرار گرفت. دمای تجمعی مورد نیاز برای طی هر یک از مراحل فنولوژیکی (درجه روز رشد) براساس رابطه زیر محاسبه شد.

رابطه ۱

$$GDD = \sum_{i=1}^{n}\left(\left(\frac{T_{max}+T_{min}}{2}\right)-T_b\right)$$

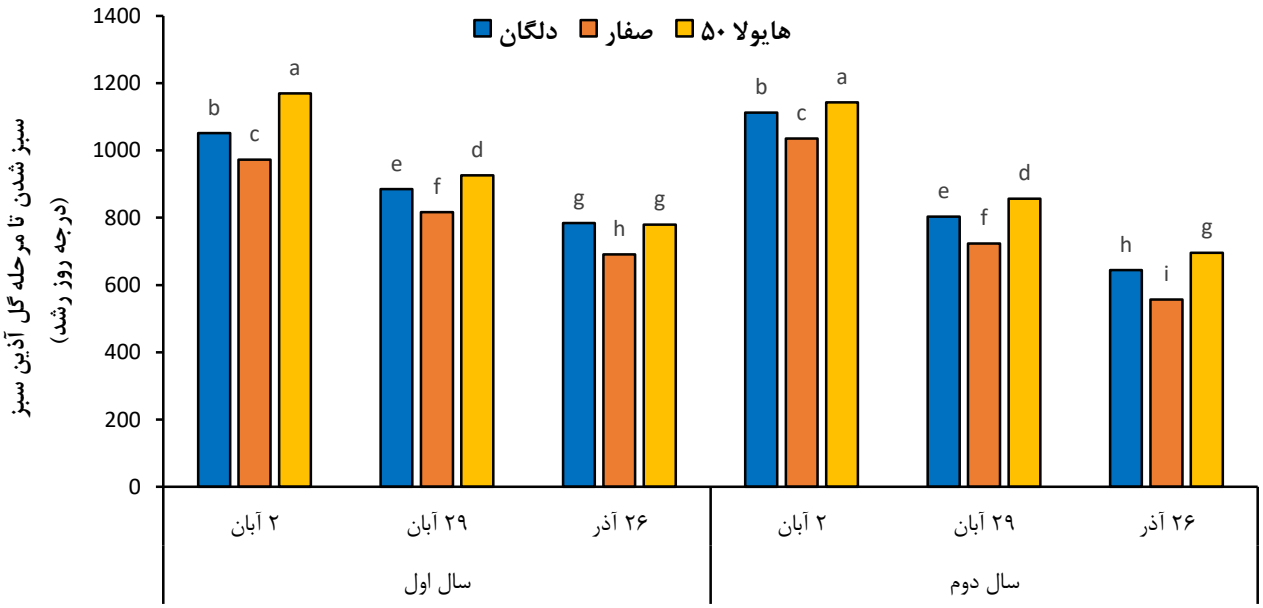
در این رابطه Tmax و Tmin به‌ترتیب حداکثر و حداقل دمای روزانه و Tb دمای پایه یا صفر فیزیولوژیک گیاه است که معادل ۴ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. در محاسبه میانگین دمای روزانه، اعداد بزرگتر از ۳۸ و کوچکتر از ۴ درجه سانتی‌گراد برابر با ۳۸ و ۴ در نظر گرفته شد (Madani *et al*., 2007). در زمان برداشت، برای تعیین عملکرد دانه، نمونه‌برداری از ردیف‌های میانی هر کرت (ردیف‌های چهارم و پنجم) انجام شد. برای این منظور، ابتدا یک متر از ابتدا و انتهای هر ردیف کاشت به‌عنوان حاشیه حذف شد و سپس ۸۰ بوته معادل یک متر مربع به‌صورت کف‌بر برداشت گردید. نمونه‌های هر کرت به‌طور جداگانه بوجاری شده و بذرهای خالص حاصل توزین شدند. وزن بذرها پس از محاسبه، به کیلوگرم در هکتار تبدیل شد و به‌عنوان عملکرد دانه ثبت گردید. قبل از انجام تجزیه آماری داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون‌های شاپیرو-والک و کولموگراف- اسمیرنوف و سپس یکنواختی خطاهای آزمایش با استفاده از روش بارتلت با نرم‌افزار SAS بررسی شد. سپس تجزیه مرکب داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۳ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

سبز شدن تا مرحله گل آذین سبز

بر اساس نتایج، اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد و اثر رقم و اثر متقابل سال × تاریخ کاشت × رقم در سطح یک درصد بر سبز شدن تا مرحله گل آذین سبز معنی‌دار بود، در حالی‌که سایر اثرات تأثیر معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد در هر دو سال آزمایش، بیشترین مقدار درجه روز رشد سبز شدن تا مرحله گل آذین سبز در رقم هایولا ۵۰ و تاریخ کاشت ۲ آبان مشاهده شد (۱۱۶۹/۴۱ و ۱۱۴۲/۳۹ درجه روز رشد) که نسبت به سال دوم و تاریخ کاشت ۲۶ آذر در رقم صفار ۵۲ درصد افزایش نشان داد. در بین ارقام، رقم هایولا ۵۰ در تمامی تاریخ‌های کاشت دارای بیشترین درجه روز رشد بود و پس از آن رقم دلگان و در نهایت رقم صفار قرار گرفت (شکل ۱). نتایج نشان داد که تاخیر در تاریخ کاشت باعث کاهش تجمع درجه روز رشد تا مرحله گل‌آذین سبز شده است، که بیانگر تاثیر منفی تاخیر در تاریخ کاشت بر طول

دوره رشد فنولوژیک کلزا است. تفاوت بین ارقام، به‌ویژه عملکرد بهتر هایولا ۵۰ نسبت به دلگان و صفار، می‌تواند بیانگر تفاوت‌های ژنتیکی در حساسیت به فتوپریود و کارایی تنظیم رشد فنولوژیک تحت شرایط طول روز بلندتر باشد. این نتایج با گزارش‌های پیشین همخوانی دارد که نشان می‌دهند در کشت‌های دیرهنگام، فتوپریود عامل غالب در کنترل زمان‌بندی فنولوژیک کلزا بوده و موجب تسریع گلدهی و کاهش طول دوره رشد می‌شود، حتی در شرایطی که افزایش معنی‌داری در دما رخ نمی‌دهد (Luo *et al.*, 2018). بنابراین، انتخاب ژنوتیپ مناسب همراه با مدیریت تاریخ کاشت و تغذیه بهینه می‌تواند طول دوره رشد فنولوژیک و عملکرد دانه را تحت شرایط اقلیمی متغیر بهبود بخشد.



شکل ۱- اثر سال، تاریخ کاشت و رقم بر دمای تجمعی از سبز شدن تا مرحله گل‌آذین سبز در کلزا

در هر سال میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

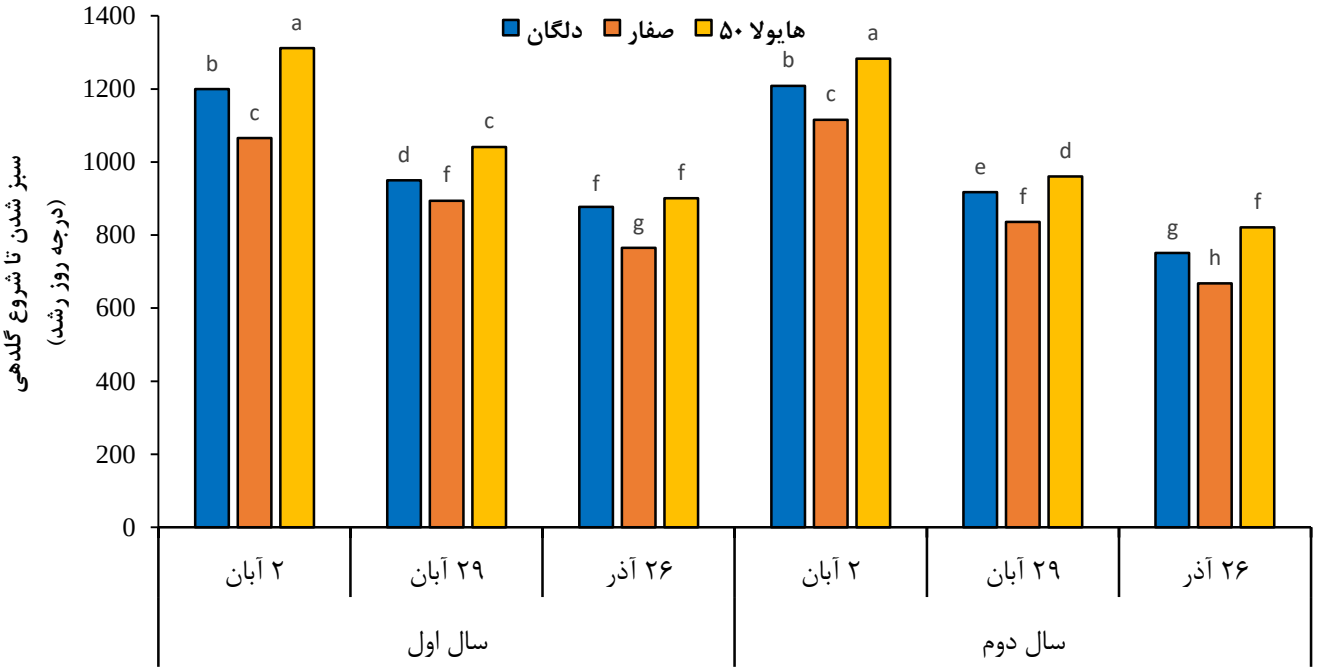
جدول ۳-تجزیه واریانس مرکب دمای تجمعی دریافتی در مراحل مختلف فنولوژیکی تحت تاثیر رقم، تاریخ کاشت و کاربرد گوگرد

منابع تغییرات	درجه آزادی	سبز شدن تا مرحله گل آذین سبز	سبز شدن تا شروع گلدهی	سبز شدن تا شروع نیام دهی	سبز شدن تا شروع دانه بندی	سبز شدن تا رسیدگی	دوره گلدهی	دوره خورجین دهی تا رسیدگی	دوره دانه بندی تا رسیدگی	عملکرد دانه
سال	۱	۱۲۸۰۴۹^{ns}	۹۹۴۹۳ ^{ns}	۵۰۲۶۷ ^{ns}	۹۶۵/۱۷ ^{ns}	۵۷۸۷/۳۳ ^{ns}	۶۱۱۳۷ ^{ns}	۹۰۱۶۷ ^{ns}	۱۱۴۷۹ ^{ns}	۲۱۰۶۲۶۴ ^{ns}
تکرار(سال)	۴	۶۸۹۸/۸۷	۷۶۵۰/۷۲	۵۱۴۳/۳۷	۴۸۵۹/۳۸	۴۰۹۷/۶۷	۳۷۶۲۷	۸۹۸/۷۹	۲۴۷/۵۲	۷۵۶۰۴۹
تاریخ کاشت	۲	۲۰۸۶۵۱۲*	۲۲۳۹۳۴۵*	۲۵۰۳۴۹۷ *	۲۵۵۱۵۱۳ *	۲۰۰۶۳۵۱ ^{ns}	۴۶۷۷۰ ^{ns}	۳۹۱۷۹ ^{ns}	۴۸۸۸۵ ^{ns}	۲۷۳۲۷۹۸۲۸**
سال×تاریخ کاشت	۲	۸۳۹۴۱*	۴۲۵۰۱*	۳۱۱۶۹*	۴۵۴۱۸ ^{ns}	۱۲۴۸۰۵ **	۲۱۴۷۸ ^{ns}	۴۹۲۶۸ *	۳۳۵۷۸ ^{ns}	۴۲۱۷۷۱ ^{ns}
خطای اصلی	۸	۲۲۸۹/۳۶	۳۴۸۰/۰۹	۲۴۴۵/۷۱	۱۳۸۷/۴۵	۱۷۹۲/۲۳	۱۶۲۶/۴۷	۸۷۰/۷۲	۳۰۰/۳۳	۴۴۸۸۵۳
رقم	۲	۲۲۹۳۲۵ **	۳۵۹۶۷۳ **	۲۸۸۶۳۶ **	۴۶۳۴۶۸ **	۳۱۴۹۸۳ **	۱۰۷۹۴۱ ^{ns}	۴۲۰۲/۶۲ ^{ns}	۱۴۶۸۷ ^{ns}	۲۲۱۹۰۵۰۰*
سال×رقم	۲	۱۷۲/۷۸ ^{ns}	۲۷۰۱/۱۲ ^{ns}	۶۳۰/۹۷ ^{ns}	۱۹۰۸/۴۵ ^{ns}	۱۵۸۶/۱۳ ^{ns}	۱۲۳۴۷ ^{ns}	۱۵۴۴/۸۲ ^{ns}	۶۹۷۲/۸۴ ^{ns}	۲۷۲۰۱۸ ^{ns}
تاریخ کاشت×رقم	۴	۳۳۴۵/۳۶ ^{ns}	۷۶۶۸/۶۱ ^{ns}	۶۵۶۳/۹۱ ^{ns}	۵۷۹۸/۷۹ ^{ns}	۶۰۲۲/۰۰ *	۹۶۹۸/۴۴ ^{ns}	۱۰۷۲۹ ^{ns}	۱۲۵۶۵ ^{ns}	۱۹۵۰۴۰۷۲ **
سال×تاریخ کاشت× رقم	۴	۸۲۳۱/۲۹ **	۴۷۷۱/۲۲ **	۱۳۴۹/۷۱ ^{ns}	۱۵۵۶/۱^{ns}	۵۸۲/۳۵ ^{ns}	۵۲۷۲/۷۴ *	۲۴۴۸/۳۷ ^{ns}	۲۱۰۴/۴۴ ^{ns}	۸۸۷۷۹۷ *
گوگرد	۲	۳۸/۵۴^{ns}	۱۵۳۲/۶۴ ^{ns}	۳۳۸۰۰^{ns}	۶۲۴۹۱ ^{ns}	۳۸۵/۲۹ ^{ns}	۱۵۵۲/۳۰^{ns}	۳۷۵۴۴ **	۶۷۵۴۳ *	۴۲۱۹۳۴۷۹ **
سال×گوگرد	۲	۱۲۳۷/۸۹ ^{ns}	۱۵۵۸/۰۵^{ns}	۳۷۶۰/۱۶ ^{ns}	۳۶۵۸/۸۹^{ns}	۱۹۷۵/۶۳ ^{ns}	۱۳۸۷/۸۸ ^{ns}	۲۸۷/۹۱ ^{ns}	۷۵۲/۱۹ ^{ns}	۷۹۱۸۶ ^{ns}
تاریخ کاشت×گوگرد	۴	۹۰۷/۸۰^{ns}	۱۶۱۴/۵۸ ^{ns}	۴۰۸۴/۶۸ ^{ns}	۴۹۴۲/۱۰ *	۶۱۰/۱۹ ^{ns}	۵۱۱۶/۰۳ ^{ns}	۶۶۰۱/۹۶ **	۷۳۵۵/۲۷ **	۱۷۵۰۹۰۷ *
سال×تاریخ کاشت ×گوگرد	۴	۴۹۸/۹۰ ^{ns}	۸۱۲/۵۶^{ns}	۱۲۹۷/۱۰^{ns}	۶۵۳/۶۵^{ns}	۱۲۵۹/۷۵ ^{ns}	۲۹۴۱/۱۱ ^{ns}	۳۹۶/۴۶ ^{ns}	۲۲۳/۲۳ ^{ns}	۱۳۴۳۳۸ ^{ns}
رقم×گوگرد	۴	۸۶۴/۴۵ ^{ns}	۴۲۰/۴۹ ^{ns}	۸۳۲/۰۷ ^{ns}	۲۱۷۷/۰۱ **	۴۴۶/۸۳ ^{ns}	۷۳۹/۸۳ ^{ns}	۱۶۷۳/۴۱ ^{ns}	۳۱۵۷/۵۲ ^{ns}	۷۸۴۵۴۰ *
سال×رقم×گوگرد	۴	۲۱۱/۳۹ ^{ns}	۲۰۷۳/۲۸ ^{ns}	۴۲۸/۲۶ ^{ns}	۱۱۲/۶۲ ^{ns}	۱۰۶۳/۷۲ ^{ns}	۸۵۱/۵۵ ^{ns}	۷۹۸/۵۹ ^{ns}	۱۰۱۶/۸۹^{ns}	۶۷۴۰۳ ^{ns}
تاریخ کاشت×رقم×گوگرد	۸	۱۲۰۲/۲۴ ^{ns}	۹۷۶/۹۲ ^{ns}	۲۷۱۳/۳۴ **	۱۲۲۸/۷۳ ^{ns}	۱۳۷۸/۰۲ ^{ns}	۱۲۰۹/۹۹ ^{ns}	۱۱۲۹/۲۸ ^{ns}	۳۲۳/۳۳^{ns}	۴۸۹۷۰۴ ^{ns}
سال×تاریخ کاشت×رقم×گوگرد	۸	۶۲۴/۹۱ ^{ns}	۶۴۷/۴۹ ^{ns}	۴۱۵/۴۵ ^{ns}	۱۰۶۷/۴۹ ^{ns}	۶۱۵/۸۷ ^{ns}	۸۲۶/۰۱ ^{ns}	۱۲۴۰/۵۹ ^{ns}	۱۶۴۴/۸۵**	۱۵۳۰۳۷ ^{ns}
خطای فرعی	۹۶	۱۸۳۵/۱۴	۱۶۷۲/۸۸	۲۰۱۶/۹۶	۱۲۰۶/۵۳	۱۴۵۷/۶۶	۸۷۷/۲۶	۶۹۸/۷۸	۳۹۴/۳۱	۴۴۰۴۷۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۴/۹۳	۴/۱۹	۴/۱۹	۲/۹۶	۲/۰۹	۶/۹۶	۳/۵۱	۳/۰۴	۱۶/۵۸

*، **، ns: به‌ترتیب به مفهوم معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی‌دار می‌باشد.

سبز شدن تا شروع گلدهی

تجزیه واریانس نشان داد که اثر تاریخ کاشت و اثرمتقابل سال در تاریخ کاشت در سطح پنج درصد بر سبز شدن تا شروع گلدهی معنی‌دار بود و اثر رقم و سال در تاریخ کاشت در رقم در سطح یک درصد معنی‌دار بود. (جدول ۳). بررسی تغییرات درجه روز رشد از سبز شدن تا آغاز گلدهی نشان می‌دهد که این صفت به‌طور چشمگیری تحت تأثیر تاریخ کاشت و رقم قرار گرفته است. در هر دو سال آزمایش، بیشترین میزان تجمع حرارت مؤثر در رقم هایولا ۵۰ و تاریخ کاشت ۲ آبان مشاهده شد (۱۳۱۲/۲۲ و ۱۲۸۳/۳۲ درجه روز رشد) و با تأخیر در کاشت ۲۹ آبان و ۲۶ آذر در هر سه رقم ، مقدار آن به‌تدریج کاهش یافت (شکل ۲). یافته‌ها نشان می‌دهد که تجمع درجه روز رشد از سبز شدن تا آغاز گلدهی تحت تاثیر همزمان تاریخ کاشت و ژنوتیپ قرار دارد و تاخیر در کاشت موجب کاهش تدریجی این تجمع حرارت مؤثر و کوتاه‌تر شدن دوره رویشی می‌شود، به‌طوری‌که گیاه زودتر وارد مرحله زایشی می‌گردد. رقم هایولا ۵۰ با بالاترین تجمع حرارت، نیاز حرارتی بیشتری داشته و دیرتر گلدهی را آغاز می‌کند، در حالی که ارقام دلگان و صفار زودتر گلدهی را شروع کردند، که نشان‌دهنده تفاوت ژنتیکی در استفاده از حرارت و سازگاری فنولوژیکی است. این نتایج با مطالعات پیشین همسو است که کاهش طول دوره گلدهی و تسریع ورود به مرحله زایشی در اثر تاخیر کاشت و افزایش طول روز را گزارش کرده‌اند (Kaur *et al.*, 2018; Moradi Telavat *et al.*, 2016). همچنین، یافته‌ها تأکید دارند که مدیریت تاریخ کاشت همراه با انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب می‌تواند طول دوره رشد و توزیع مراحل فنولوژیک را در شرایط محیطی متغیر بهینه سازد.



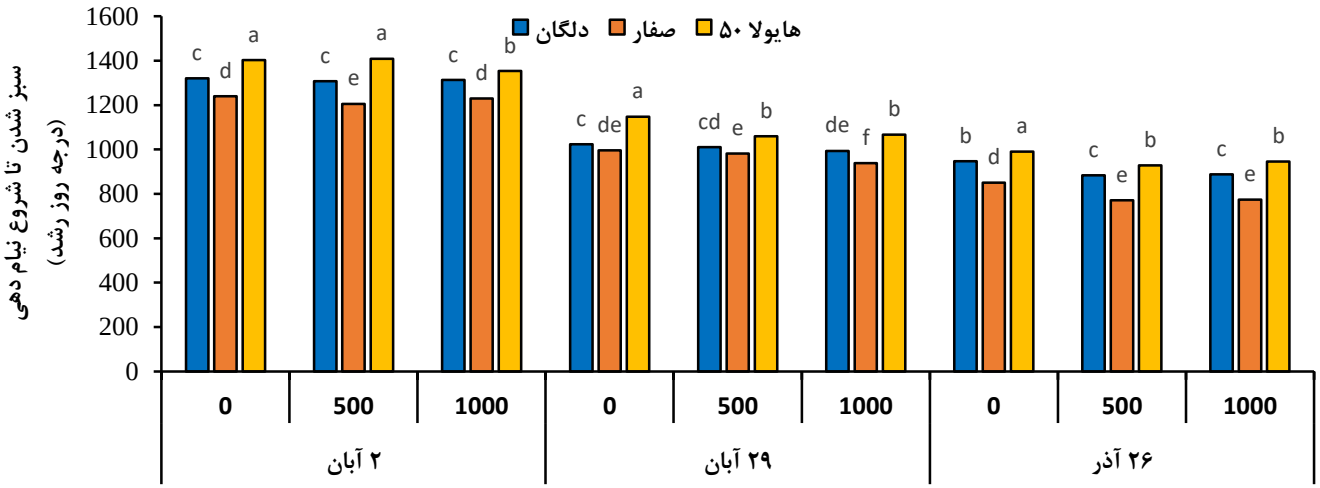
شکل ۲ - اثر سال، تاریخ کاشت و رقم بر دمای تجمعی از سبز شدن تا شروع گلدهی در کلزا

در هر سال میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

سبز شدن تا شروع نیام دهی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی تاریخ کاشت و رقم بر سبز شدن تا شروع نیام دهی معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم × گوگرد در سطح یک در صد بر این صفت معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین طول دوره از سبز شدن تا شروع نیام دهی نشان داد که بیشترین درجه روز رشد به رقم هایولا ۵۰ در دو سطح عدم مصرف و مصرف ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بنتونیت‌دار همراه با ۱۰ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس در تاریخ کاشت ۲ آبان اختصاص داشت و با تاخیر در کاشت، درجه روز رشد از سبز شدن تا شروع نیام دهی در هر سه رقم کاهش یافت (شکل ۳). با تأخیر در کاشت موجب کوتاه‌تر شدن دوره رویشی و در نتیجه کاهش

حرارت تجمع‌یافته طول دوره از سبز شدن تا شروع نیام دهی شد. مقایسه میان ارقام نشان داد که رقم هایولا ۵۰ در تمامی تاریخ‌های کاشت، بیشترین درجه روز رشد را دارا بوده و در مقابل، رقم صفار سپس دلگان مقادیر کمتری نشان دادند. این موضوع حاکی از آن است که رقم هایولا ۵۰ از نظر نیاز حرارتی و طول دوره رشد دارای ویژگی دیررس‌تری نسبت به سایر ارقام است. در این پژوهش مصرف گوگرد در هر سه رقم، به‌ویژه در دو تاریخ کاشت دوم و سوم، منجر به کاهش تعداد روز تا شروع نیام‌دهی شد (شکل ۳). مطالعات نشان دادند مصرف گوگرد و میکروارگانیسم‌های خاکزی مانند تیوباسیلوس، رشد ریشه، جذب عناصر غذایی و توانایی فتوسنتزی گیاه را بهبود می‌بخشد و می‌تواند اثرات منفی کاهش طول دوره رویشی ناشی از تاخیر کاشت را تعدیل کند (Ghaderi *et al*., 2021; Mirzapour *et al*., 2018). همچنین، این یافته‌ها با پژوهش واریک و همکاران (Waraich *et al*., 2022) همسو است که گزارش کرده‌اند محلول‌پاشی گوگرد موجب بهبود ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کلزا تحت شرایط تنش گرما می‌شود و بنابراین انتخاب ژنوتیپ مناسب همراه با مدیریت تغذیه‌ای مناسب می‌تواند عملکرد و موفقیت تشکیل نیام را در شرایط محیطی متغیر افزایش دهد.

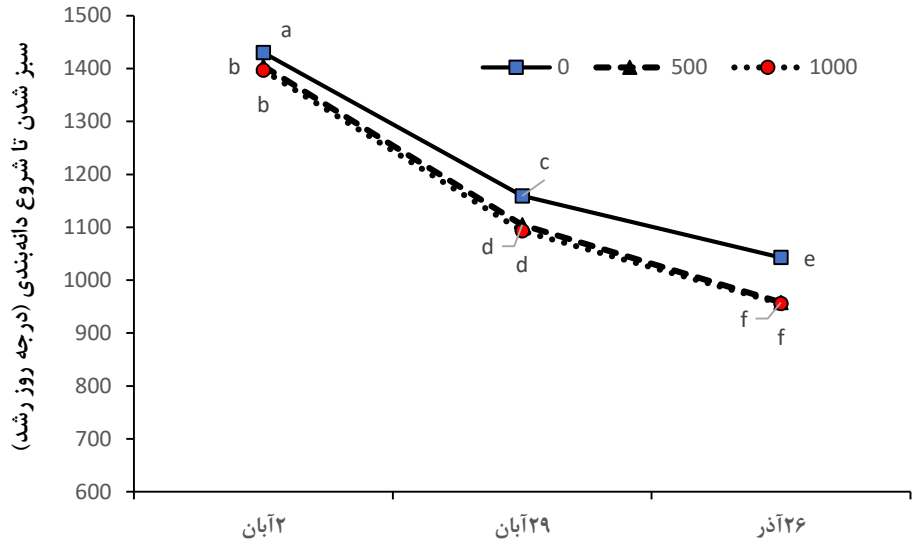


شکل ۳- اثر متقابل تاریخ کاشت، گوگرد و رقم بر دمای تجمعی از سبز شدن تا شروع نیام دهی در کلزا

در هر تاریخ کاشت، میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

سبز شدن تا شروع دانه بندی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل تاریخ کاشت × گوگرد در سطح ۵ درصد و رقم × گوگرد در سطح ۱ درصد بر دوره سبز شدن تا شروع دانه بندی معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، افزایش سطوح مصرف گوگرد موجب کاهش مقدار دمای تجمعی از سبز شدن تا شروع دانه بندی در تمامی تاریخ‌های بررسی‌شده (۲ آبان، ۲۹ آبان و ۲۶ آذر) گردید. بیشترین درجه روز رشد از سبزشدن تا شروع دانه‌بندی در تاریخ ۲ آبان و کمترین آن در ۲۶ آذر مشاهده شد که بیانگر تأثیر شرایط دمایی و زمان کاشت بر این صفت است (شکل ۴). واکنش این صفت به مصرف گوگرد در دو سطح مصرف ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، یکسان و در مقایسه با شرایط عدم مصرف گوگرد، بطور معنی‌داری میزان دمای تجمعی از سبز شدن تا شروع دانه‌بندی کاهش یافت (شکل ۴). این موضوع حاکی از تاثیر مصرف گوگرد بر تسریع ورود به مرحله دانه‌بندی است. این یافته با مطالعات قاسم و همکاران (Ghasem *et al*., 2021) همسو است که گزارش کردند کاربرد گوگرد، به‌ویژه همراه با باکتری تیوباسیلوس، موجب بهبود صفات فیزیولوژیکی و رشد فنولوژیکی کلزا می‌شود. چنین بهبودی می‌تواند پاسخ گیاه به محرک‌های محیطی از جمله طول روز را تقویت کرده و ورود به فاز زایشی را تسریع نماید. همچنین، حبیبی و همکاران (Habibi *et al*., 2016) نیز گزارش کردند که مصرف گوگرد با افزایش تعداد شاخه‌های فرعی و خورجین همراه بوده است که بیانگر تقویت ظرفیت رشد زایشی است. این افزایش ظرفیت زایشی، به‌ویژه تحت شرایط فتوپریودی القاکننده، می‌تواند موجب پیشرفت سریع‌تر مراحل پس از گلدهی از جمله دانه‌بندی شود.

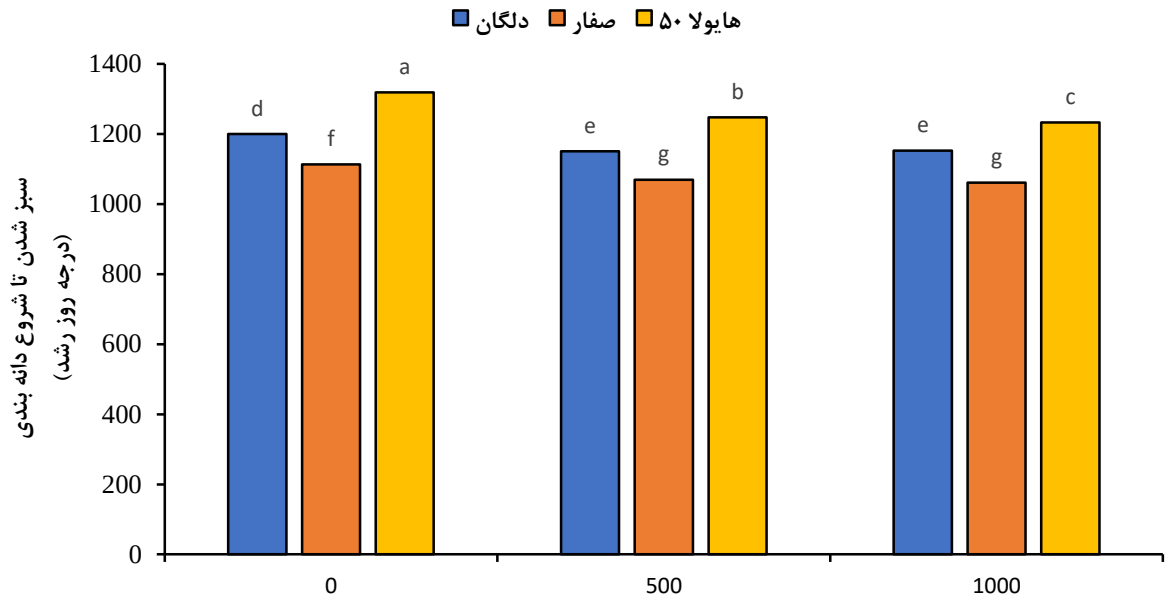


شکل ۴- تاثیر مصرف گوگرد و تاریخ کاشت بر دمای تجمعی از سبز شدن تا شروع دانه‌بندی کلزا

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

با افزایش میزان گوگرد از صفر تا ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار، مقدار درجه‌روز رشد کاهش پیدا کرد، به‌گونه‌ای که بیشترین درجه‌روز در تیمار شاهد (بدون مصرف گوگرد) مشاهده شد. این امر بیانگر آن است که مصرف گوگرد موجب تسریع مراحل رشدی و کاهش نیاز حرارتی تا شروع دانه‌بندی می‌گردد. در مقایسه ارقام، رقم هایولا ۵۰ در تمامی سطوح مصرف گوگرد بالاترین مقدار درجه‌روز رشد را نشان داد، در حالی‌که رقم صفار کمترین مقدار را داشت و رقم دلگان در حد فاصل این دو قرار گرفت(شکل ۵). تفاوت مشاهده‌شده میان ارقام بیانگر نقش ژنتیکی در تعیین نیاز حرارتی تا شروع دانه‌بندی و حساسیت آن‌ها به تغذیه گوگردی است. به نظر می‌رسد افزایش مصرف گوگرد تا ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار منجر به کاهش معنی‌دار مدت‌زمان لازم برای ورود به مرحله دانه‌بندی شد که این امر احتمالاً به بهبود فعالیت‌های متابولیکی و تسهیل انتقال مواد فتوسنتزی در اثر تغذیه گوگردی مرتبط است.

نتایج مشابهی توسط محققان گزارش شده که نشان می‌دهد مصرف گوگرد به‌همراه تیوباسیلوس موجب افزایش فعالیت متابولیکی، رشد ریشه و انتقال مؤثر اسیمیلات شده و طول دوره رویشی و نیاز حرارتی تا دانه‌بندی را کاهش می‌دهد(Ghaderi *et al*., 2021; Mirzapour *et al*., 2018). همچنین، یافته‌های دیگر محققان نشان داد که گوگرد باعث افزایش عملکرد دانه، تعداد پنجه‌های بارور در متر مربع، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیکی و صفات فنولوژیکی شد (Shah *et al*., 2018). کاربرد گوگرد همراه با تیوباسیلوس موجب افزایش وزن خشک ساقه و مراحل رشد زایشی را تسریع می‌کند (Jashni *et al*., 2017).

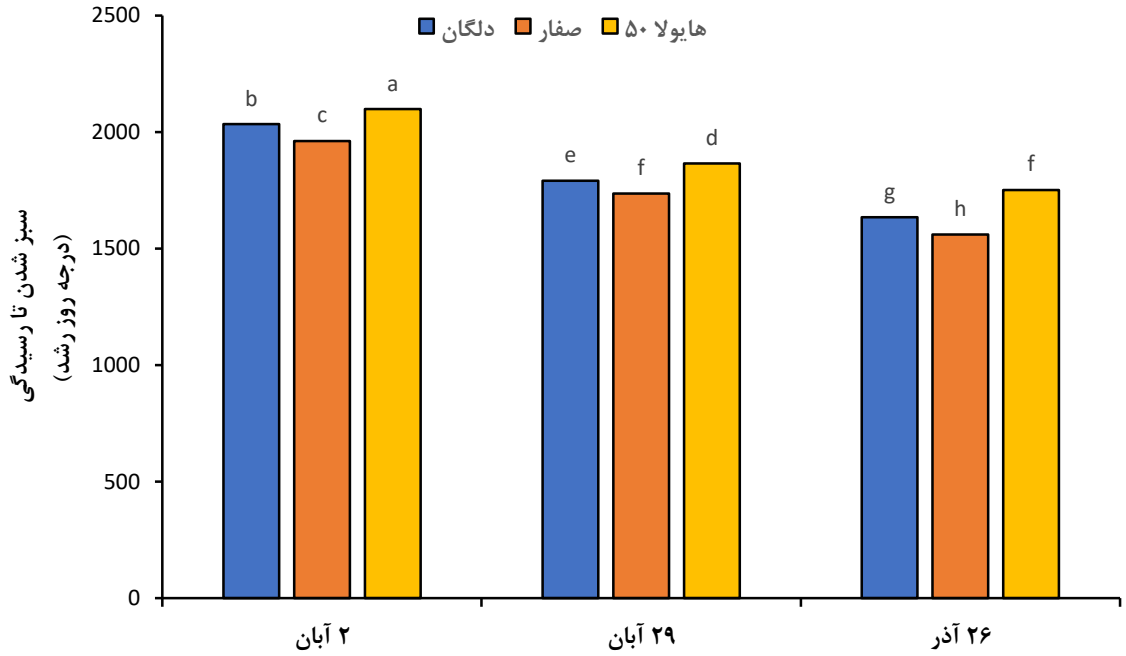


شکل ۵- اثر متقابل رقم × گوگرد بر دمای تجمعی از سبز شدن تا شروع دانه بندی در کلزا

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

سبز شدن تا رسیدگی

نتایج نشان داد که اثر رقم در سطح یک درصد معنی‌دار بود و اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم در سطح پنج درصد بر سبز شدن تا رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد که با تأخیر در تاریخ کاشت، مقدار دمای تجمعی از سبز شدن تا رسیدگی در هر سه رقم کاهش یافته است.. این روند بیانگر آن است که تاخیر در کاشت تاثیر منفی بر طول دوره رشد گیاه دارد. تغییر طول روز در کشت دیرهنگام موجب کوتاه شدن مرحله رویشی و تسریع آغاز فاز زایشی می‌شود. همچنین قرار گرفتن گیاه در دماهای بالاتر طی دوره زایشی، سرعت مراحل فنولوژیکی پیش‌رو را افزایش داده و فرآیند رسیدگی را تسریع می‌کند.در تاریخ کاشت ۲ آبان رقم هایولا ۵۰ بیشترین (۲۰۹۸/۵۷ درجه روز رشد) و رقم صفار در تاریخ کاشت ۲۶ آذر (۱۵۶۰/۵۹ درجه روز رشد) کمترین درجه روز رشد از سبز شدن تا رسیدگی را به خود اختصاص دادند که می‌تواند به تفاوت‌های ژنتیکی و واکنش هر رقم به شرایط محیطی مرتبط باشد (شکل ۶). یافته‌های مشابه توسط کائور و همکاران (Kaur *et al.*, 2018) گزارش شده که نشان می‌دهد تاخیر در کاشت منجر به کوتاه‌تر شدن طول دوره گلدهی تا رسیدگی و کاهش عملکرد دانه می‌گردد. همچنین، مرادی تلاوت و همکاران (Moradi Telavat *et al.*, 2016) بیان کردند که تأخیر در کاشت سبب کاهش شاخص سطح برگ، محتوی نسبی آب برگ و افزایش دمای سایه‌انداز شده و این عوامل کوتاه شدن دوره رشد و کاهش عملکرد دانه را توجیه می‌کنند. کلاه‌کج و مجتبایی زمانی (Kolahkaj & Mojtabai Zamani, 2022) نیز نشان دادند که تاخیر در کاشت تأثیر معناداری بر کاهش تعداد گل‌ها، خورجین و دانه دارد و به‌ویژه در ارقام حساس‌تر اثرات منفی بیشتر است. تفاوت میان ارقام مورد بررسی، مانند بالاتر بودن درجه روز رشد در هایولا ۵۰ و کم بودن آن در صفار، بیانگر نقش ژنتیکی در پاسخ فنولوژیکی و کارایی استفاده از حرارت است که با انتخاب رقم مناسب و زمان کاشت زودهنگام می‌توان از کاهش طول دوره رشد و پیامدهای منفی آن جلوگیری کرد.

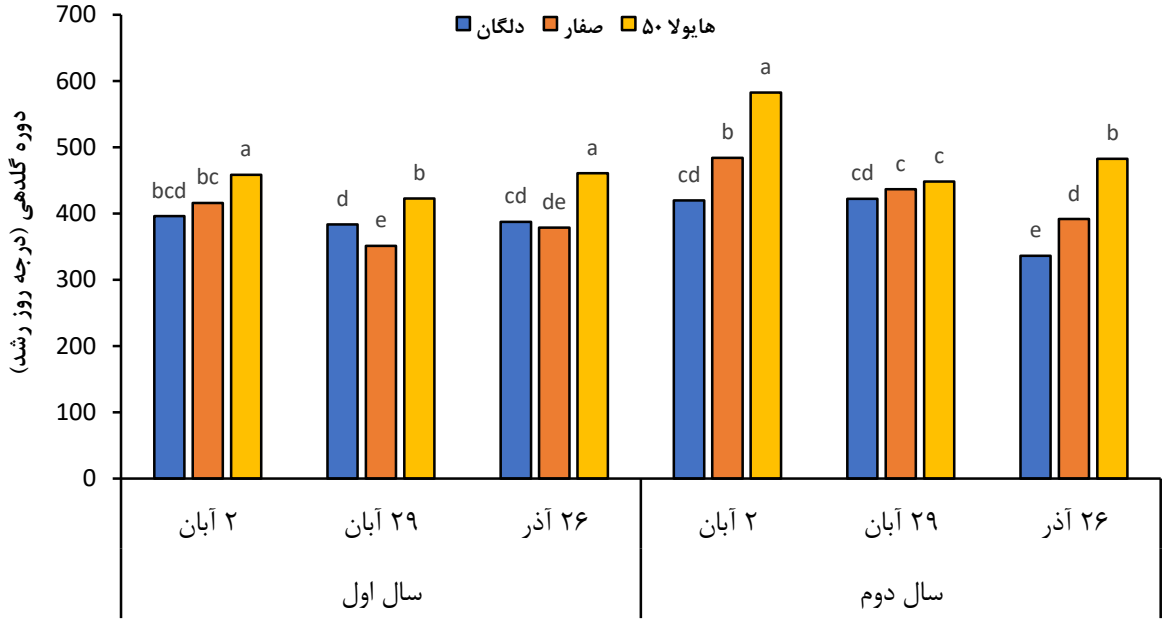


شکل ۶- اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم بر دمای تجمعی از سبز شدن تا رسیدگی در کلزا

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

دوره گلدهی

تجزیه واریانس نشان داد تنها اثر متقابل سال × تاریخ کاشت × رقم در سطح احتمال پنج درصد بر درجه روز رشد طی دوره گلدهی معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد بیشترین درجه روز رشد در طول دوره‌ی گلدهی در سال دوم مربوط به رقم هایولا ۵۰ و تاریخ کاشت ۲ آبان (۵۸۲/۵۱ درجه روز رشد) بدست آمد، در حالی‌که کمترین مقدار در تاریخ کاشت ۲۶ آذر و در رقم دلگان (۳۳۶/۴۹ درجه روز رشد) دیده شد (شکل ۷). این نتایج نشان می‌دهد که تأخیر در کاشت موجب کاهش معنی‌دار دمای تجمعی در طول دوره‌ی گلدهی می‌گردد. همچنین تفاوت بین ارقام نشان می‌دهد که هایولا ۵۰ نسبت به شرایط محیطی سازگاری بهتری دارد و دوره‌ی گلدهی طولانی‌تری را حفظ می‌کند. نتایج پوخارل و همکاران (Pokharel *et al*., 2020) حاکی از آن است که دما و طول روز نقش مهمی در تعیین طول دوره گلدهی دارند و کاهش دما و کوتاه شدن روزها موجب محدود شدن رشد رویشی و زایشی می‌شود. تفاوت مشاهده‌شده میان ارقام نیز با مطالعات رضایی‌زاده و همکاران (Rezaeizadeh *et al*., 2020) هم‌راستا است که نشان دادند برخی ژنوتیپ‌ها مانند هایولا ۵۰ نسبت به شرایط محیطی مقاومت و سازگاری بیشتری داشته و توانایی حفظ دوره گلدهی طولانی را دارند.



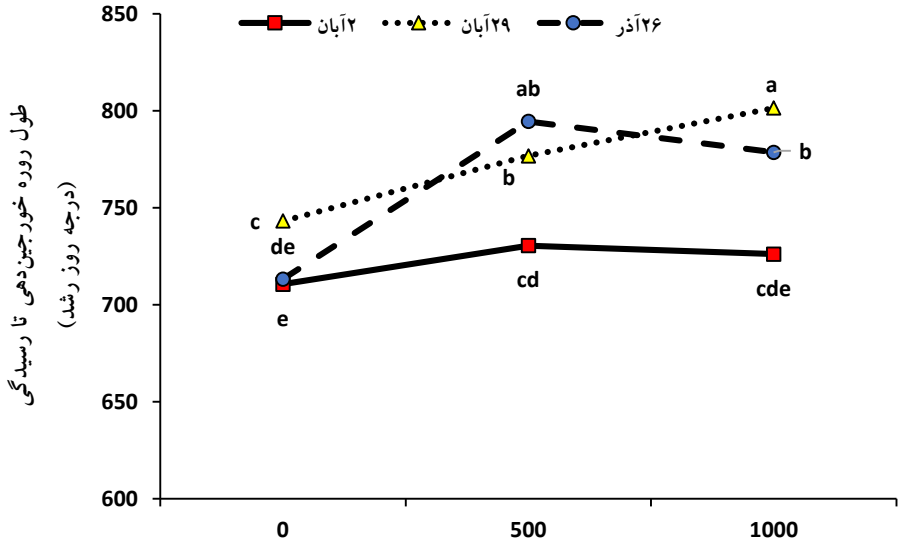
شکل ۷- اثر متقابل رقم × گوگرد بر دمای تجمعی طی دوره گلدهی در کلزا

در هر سال، میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

دوره خورجین دهی تا رسیدگی

نتایج نشان داد که اثر ساده گوگرد و اثر متقابل تاریخ کاشت × گوگرد بر درجه روز رشد طی دوره خورجین دهی تا رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد که با مصرف گوگرد، بطور معنی‌داری درجه روز رشد طی دوره خورجین دهی تا رسیدگی در همه تاریخ‌های کاشت افزایش یافته است که حاکی از تاثیر مثبت گوگرد بر طول دوره خورجین دهی و دانه‌بندی تا رسیدگی است. بیشترین میزان در تاریخ کاشت ۲۹ آبان در سطح ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به میزان ۸۰۱/۴۲ درجه روز رشد مشاهده شد و کمترین مقدار مربوط به تاریخ کاشت ۲ آبان در حالت عدم مصرف گوگرد به میزان ۷۱۰/۵۹ درجه روز رشد بدست آمد (شکل ۸). در دو تاریخ کاشت تاخیری ۲۹ آبان و ۲۶ آذر در سطوح تیماری مصرف گوگرد، مجموع دمای دریافتی طی دوره خورجین دهی تا رسیدگی، بطور معنی‌داری بالاتر از تاریخ کاشت ۲ آبان در شرایط مصرف و عدم گوگرد بود. در حقیقت با افزایش دمای محیط در مراحل زایشی کشت های تاخیری از یک سو، و تاثیر مثبت گوگرد برافزایش طول دوره خورجین دهی تا رسیدگی از سوی دیگر، مجموع دمای دریافتی در این دوره افزایش یافت. نتایج نشان داد که در کاشت‌های دیرتر (به‌ویژه ۲۹ آبان و ۲۶ آذر)، تجمع درجه‌روز رشد در فاصله خورجین‌دهی تا رسیدگی افزایش یافته است. اگرچه بخشی از این افزایش به دمای بالاتر در دوره‌های پایانی رشد مربوط می‌شود، اما یافته‌های حاضر نشان می‌دهد که نقش اصلی در افزایش تجمع حرارتی، مصرف گوگرد و تأثیر آن بر طولانی‌تر شدن دوره خورجین‌دهی تا رسیدگی بوده است. مصرف گوگرد موجب افزایش طول مدت فعالیت فیزیولوژیک اندام‌های زایشی و تمدید مرحله خورجین‌دهی و دانه‌بندی شد، به‌گونه‌ای که گیاه توانست این مرحله حساس را در بازه زمانی طولانی‌تری طی کند. در چنین شرایطی، به‌دلیل هم‌زمانی این دوره طولانی‌تر با دماهای نسبتاً بالاتر، تجمع درجه‌روز رشد نیز افزایش یافت. بنابراین، افزایش درجه‌روز رشد در تیمارهای دارای گوگرد، بیش از آنکه صرفاً ناشی از دما باشد، بازتابی از افزایش طول دوره رشد زایشی تحت تأثیر تغذیه گوگردی است. طولانی‌تر شدن مرحله خورجین‌دهی تا رسیدگی تحت تأثیر گوگرد، از نظر فیزیولوژیکی اهمیت بالایی دارد، زیرا این مرحله تعیین‌کننده ظرفیت پر شدن دانه است. افزایش طول دوره دانه‌بندی موجب افزایش مدت انتقال و تجمع مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شده و در نتیجه می‌تواند به افزایش وزن دانه و عملکرد نهایی منجر شود. در این راستا، مصرف گوگرد با بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه و افزایش کارایی فرآیندهای متابولیکی، شرایط لازم برای تداوم فعالیت منبع–مخزن در دوره زایشی را فراهم کرده

است (Zenda *et al*., 2021). همان‌طور که قادری و همکاران (Ghaderi *et al*., 2021) و میرزاپور و همکاران (Mirzapour *et al*., 2018) گزارش کردند، مصرف گوگرد عنصری همراه با باکتری تیوباسیلوس باعث افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود رشد گیاه در خاک‌های آهکی می‌شود که این موضوع می‌تواند توضیح‌دهنده افزایش درجه‌روز رشد در دوره خورجین‌دهی تا رسیدگی باشد. علاوه بر این، واریک و همکاران (Waraich *et al*., 2022) نشان دادند که محلول‌پاشی گوگرد در مرحله گرده‌افشانی سبب بهبود صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد در شرایط تنش گرما می‌شود، که با مشاهده افزایش طول دوره خورجین‌دهی تا رسیدگی در تیمارهای دارای گوگرد هم‌خوانی دارد. بنابراین، در کاشت‌های دیرتر، ترکیب شرایط حرارتی مناسب با اثر مستقیم گوگرد در افزایش طول دوره خورجین‌دهی تا رسیدگی منجر به افزایش تجمع درجه‌روز رشد، بهبود پر شدن دانه و در نهایت افزایش عملکرد دانه شده است.



شکل ۸- اثر متقابل رقم × گوگرد بر دمای تجمعی طی دوره خورجین دهی تا رسیدگی در کلزا

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

دوره دانه بندی تا رسیدگی

بررسی نتایج نشان داد که تنها اثر اصلی گوگرد در سطح پنج درصد بر درجه روز رشد طی دوره دانه بندی تا رسیدگی معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل سال × تاریخ کاشت× رقم× گوگرد و تاریخ کاشت × گوگرد در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد بیشترین دوره دانه بندی تا رسیدگی در تیمار ۲۶ آذر و رقم هایولا ۵۰ و کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به میزان ۷۲۷/۳۷ درجه روز رشد بدست آمد که نسبت به تاریخ کاشت ۲ آبان و رقم هایولا ۵۰ و عدم مصرف گوگرد ۳۷/۷ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). تفاوت بین ارقام در سال اول و تاریخ کاشت ۲۹ آبان نشان می‌دهد که رقم صفار نیاز حرارتی بیشتری برای تکمیل دوره دانه‌بندی دارد، در حالی‌که رقم هایولا ۵۰ با نیاز حرارتی کمتر سریع‌تر به مرحله رسیدگی می‌رسد، که این امر می‌تواند ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی در واکنش به دما و شرایط محیطی باشد (Kolahkaj & Mojtabai Zamani, 2022). افزایش مصرف گوگرد نیز تأثیر مثبتی بر افزایش درجه‌روز رشد دوره دانه بندی تا رسیدگی داشت، به‌گونه‌ای که کاربرد ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به‌طور میانگین باعث افزایش حرارت تجمعی نسبت به شاهد شد. این نتایج نشان می‌دهد که شرایط آب‌وهوایی مساعد در سال دوم و کاشت زودهنگام همراه با مصرف گوگرد نسبت به سال اول، دوره رشد زایشی گیاه را طولانی‌تر و نیاز حرارتی را افزایش داده است. این یافته‌ها با گزارش‌های قبلی مطابقت دارد که نشان می‌دهد گوگرد با بهبود فعالیت فتوسنتزی، افزایش توانایی جذب عناصر غذایی و تقویت متابولیسم، دوره رشد زایشی و نیاز حرارتی گیاه را تحت شرایط مساعد آب‌وهوایی طولانی‌تر می‌کند (Waraich *et al*., 2022; Ghaderi *et al*., 2021).

جدول ۴- برهمکنش سال در تاریخ کاشت در رقم در گوگرد بر دوره دانه بندی تا رسیدگی

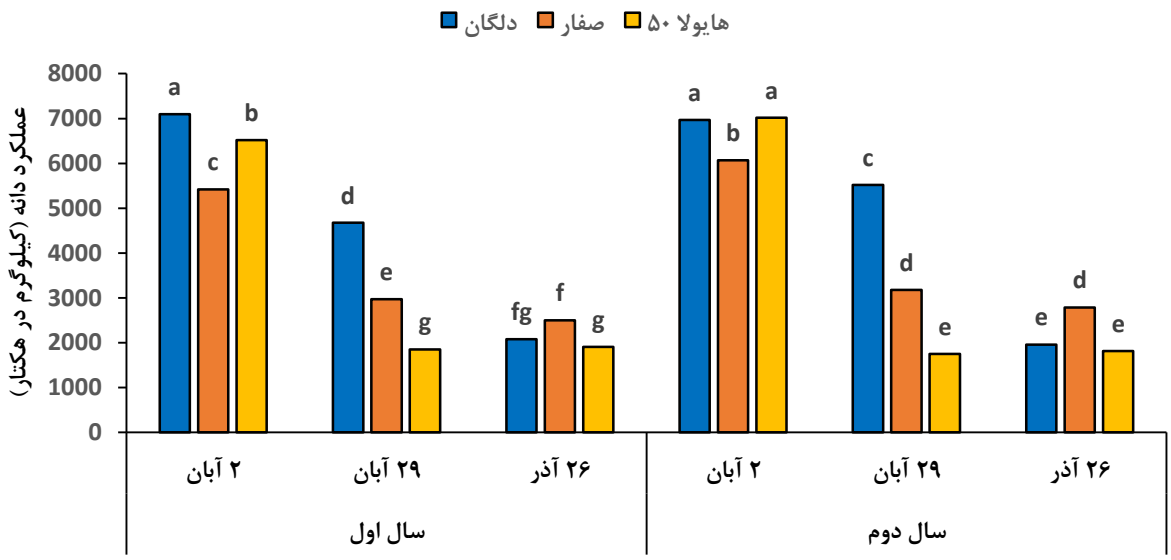
تاریخ کاشت	رقم	گوگرد	سال اول	سال دوم
۲ آبان	دلگان	شاهد	۵۸۵/۴۳ ijkl	۶۴۵/۹۰ hijk
		۵۰۰	۵۸۶/۸۶ ijkl	۶۷۹/۴۰ defg
		۱۰۰۰	۵۸۱/۰۰ jkl	۶۸۲/۱۳ cdefg
	صفار	شاهد	۶۱۲/۰۳ ghij	۶۵۷/۵۳ ghij
		۵۰۰	۶۰۸/۵۳ ghijk	۷۱۴/۸۷ ab
		۱۰۰۰	۶۲۶/۷۶ fgh	۶۸۸/۷۷ bcdefg
	هایولا ۵۰	شاهد	۵۲۷/۸۶ n	۵۷۹/۶۰ l
		۵۰۰	۵۷۷/۶۳ klm	۶۲۸/۱۳ jk
		۱۰۰۰	۵۷۰/۹۳ lm	۶۱۸/۷۳ k
۲۹ آبان	دلگان	شاهد	۶۶۴/۲۵ de	۶۶۴/۷۰ fghi
		۵۰۰	۷۲۱/۳۳ ab	۷۰۰/۶۳ abcde
		۱۰۰۰	۷۲۹/۴۳ ab	۶۸۱/۵۷ defg
	صفار	شاهد	۶۸۱/۶۰ cd	۶۳۳/۸۷ ijk
		۵۰۰	۷۰۴/۶۳ bc	۶۷۰/۶۰ efgh
		۱۰۰۰	۷۳۶/۹۰ a	۷۰۶/۲۰ abcd
	هایولا ۵۰	شاهد	۶۲۵/۳۰ fgh	۵۶۳/۵۷ l
		۵۰۰	۶۸۲/۴۹ cd	۶۵۸/۳۰ ghij
		۱۰۰۰	۷۰۰/۵۴ bc	۶۹۰/۹۰ bcdef
۲۶ آبان	دلگان	شاهد	۵۴۵/۵۷ mn	۶۱۷/۱۳ k
		۵۰۰	۶۵۳/۱۸ def	۷۰۱/۵۰ abcde
		۱۰۰۰	۶۱۲/۴۰ ghi	۶۸۶/۵۷ bcdefg
	صفار	شاهد	۶۰۰/۳۳ hijkl	۶۳۵/۳۰ ijk
		۵۰۰	۷۰۷/۲۰ abc	۶۸۵/۲۰ bcdefg
		۱۰۰۰	۷۲۴/۱۳ ab	۶۹۵/۰۳ bcdef
	هایولا ۵۰	شاهد	۶۳۷/۸۸ efg	۵۶۳/۲۷ l
		۵۰۰	۷۰۹/۹۳ abc	۷۲۷/۳۷ a
		۱۰۰۰	۷۲۲/۹۳ ab	۷۱۳/۹۷ abc

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

عملکرد دانه

اثر متقابل تاریخ کاشت×رقم در سطح یک درصد و سال × تاریخ کاشت × رقم، تاریخ کاشت × گوگرد و رقم × گوگرد در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که در هر دو سال با تاخیر در کاشت عملکرد دانه کاهش یافت و شدت این کاهش با توجه به نوع رقم متفاوت بود. در سال اول رقم دلگان و پس از آن هایولا ۵۰ و در سال دوم هر دو رقم دلگان و هایولا ۵۰ در تاریخ کاشت بهینه ۲ آبان از عملکرد دانه بالاتری نسبت به رقم صفار برخوردار بودند، ولی در تاریخ کاشت تاخیری ۲۶ آذر، عملکرد دانه دو رقم مذکور به شدت کاهش یافت و بیشترین عملکرد دانه در هر دو سال در تاریخ کاشت تاخیری به رقم صفار (به‌ترتیب ۲۴۹۶ و ۲۷۸۲ کیلوگرم در هکتار) اختصاص داشت (شکل ۹). این نتایج با یافته‌های قبلی مبنی بر تاثیر منفی تاخیر در کاشت بر رشد و عملکرد زایشی کلزا همسو است؛ کاهش عملکرد دانه در کاشت‌های دیرهنگام می‌تواند

ناشی از کوتاه شدن طول دوره رشد زایشی، کاهش تعداد خورجین و دانه در هر خورجین، و افزایش احتمال وقوع تنش گرمایی در مراحل گلدهی و دانه‌بندی باشد (Kaur *et al*., 2018; Moradi Telavat *et al*., 2016). علاوه بر این، تفاوت بین ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد که رقم صفار در شرایط کاشت دیرهنگام توانایی نسبی بیشتری در حفظ عملکرد دارد، که احتمالاً به سازگاری بهتر این رقم با دما در دوره‌های زایشی مرتبط است (Rezaeizadeh *et al*., 2020; Wu *et al*., 2020).



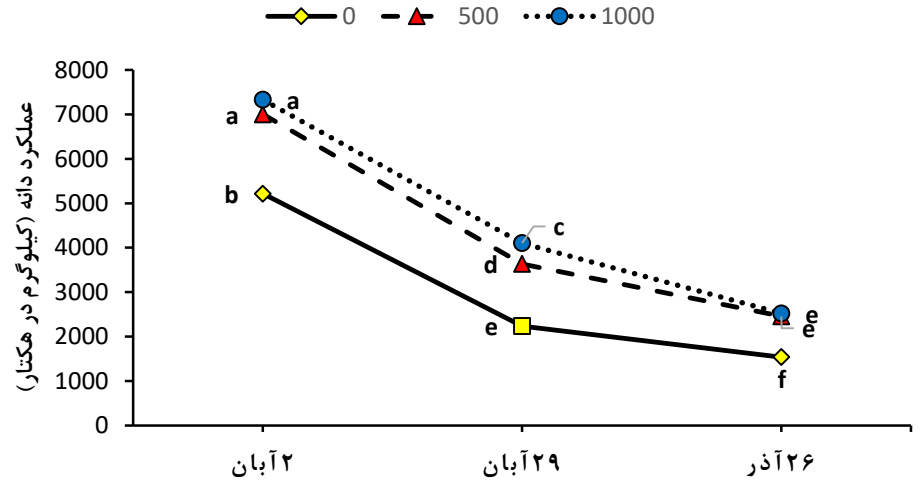
شکل ۹- اثر متقابل سال× تاریخ کاشت × رقم بر عملکرد دانه کلزا

در هر سال میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

واکنش عملکرد دانه ارقام مورد بررسی به مصرف گوگرد نیز مثبت ولی شدت واکنش متفاوت بود. با مصرف ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس عملکرد دانه در هر سه رقم افزایش معنی‌داری یافت، ولی با افزایش مصرف گوگرد تا سطح ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه رقم دلگان تغییر معنی‌داری نیافت و افزایش عملکرد تنها در دو رقم صفار و هایولا ۵۰ مشاهده شد. (شکل ۱۰). مصرف گوگرد در هر سه تاریخ کاشت نیز با افزایش عملکرد دانه همراه بود و بین دو سطح مصرف ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد در تاریخ کاشت بهینه ۲ آبان و تاخیری ۲۶ آذر تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد دانه مشاهده نشد (شکل ۱۱). گوگرد نه تنها به تامین نیاز تغذیه‌ای گیاه کمک می‌کند، بلکه با افزایش جذب عناصر غذایی، بهبود شاخص سطح برگ و ارتقای فرآیندهای فتوسنتزی، عملکرد دانه را در شرایط مختلف محیطی به‌ویژه در خاک‌های آهکی افزایش می‌دهد (Brunel-Muguet *et al*., 2015; Waraich *et al*., 2022; Habibi *et al*., 2016).



شکل ۱۰- اثر متقابل گوگرد × رقم بر عملکرد دانه کلزا



شکل ۱۱- واکنش عملکرد دانه کلزا به تغییر تاریخ کاشت و سطوح مختلف مصرف گوگرد

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که تاریخ کاشت، رقم و مصرف گوگرد نقش تعیین‌کننده‌ای در تنظیم رشد فنولوژیک و عملکرد دانه کلزا دارند. کاشت‌های زودهنگام به‌ویژه در تاریخ ۲ آبان، با فراهم‌سازی شرایط حرارتی مناسب‌تر در مراحل اولیه رشد، موجب افزایش تجمع درجه‌روز رشد، طولانی‌تر شدن دوره رویشی و زایشی، و در نهایت افزایش عملکرد دانه شدند. در مقابل، تأخیر در کاشت تا اواخر آذر سبب کاهش تجمع حرارت مؤثر، کوتاه شدن مراحل رشد، و کاهش معنی‌دار عملکرد گردید. این امر به‌ویژه در ارقام دیررس‌تر مانند هایولا ۵۰ مشهود بود. از میان ارقام بررسی‌شده، هایولا ۵۰ در شرایط زودکاشت و صفار در شرایط دیرکاشت، عملکرد مطلوب‌تری داشتند که نشان‌دهنده‌ی تفاوت ژنتیکی در سازگاری فنولوژیکی و نیاز حرارتی است. همچنین مصرف گوگرد، به‌ویژه در سطح ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با باکتری تیوباسیلوس، موجب افزایش معنی‌دار درجه‌روز رشد در طی دوره خورجین دهی تا رسیدگی و دانه‌بندی تا رسیدگی و عملکرد دانه شد. افزایش مصرف گوگرد تا ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار نیز اثر افزایشی بر عملکرد داشت، هرچند این اثر در برخی ارقام مانند دلگان به حد اشباع نزدیک شد. گوگرد با بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش کارایی فتوسنتز و تحریک فعالیت‌های آنزیمی، به‌ویژه در مراحل گلدهی و دانه‌بندی، سبب تسریع رشد و بهبود پرشدن دانه گردید. در مجموع، نتایج بیانگر آن است که انتخاب تاریخ کاشت بهینه (۲ آبان) در کنار کاربرد متعادل گوگرد و استفاده از ارقام سازگار با شرایط اقلیمی منطقه، می‌تواند منجر به افزایش پایداری رشد و بهبود عملکرد دانه در کلزا شود.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت‌های معنوی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رامهرمز به انجام رسیده است و مستخرج از رساله دکتری تخصصی سحر کلاه کج است. از مسئولان و کارکنان محترم دانشگاه که در فراهم‌سازی امکانات و شرایط لازم برای انجام این پژوهش همکاری نمودند، قدردانی می‌گردد.

منابع

Adnan, M., Fahad, S., Saleem, M. H., & Lal, R. (2025). Sustainable phosphorus management in calcareous soils: problems and prospects. *Journal of Plant Nutrition*, 1-22. https://doi.org/10.1080/01904167.2025.2477269

Agricultural Statistics. (2023). Agricultural Statistics, Volume 1 (crops) (2023). Statistics Center, Information and Communication Technology, Economic Planning Deputy, Ministry of Agricultural Jihad. Tehran, Iran

Ahmadi, S. A. K., & Sarhangi, M. (2025). Optimizing sowing date for enhanced heat stress tolerance in canola (*Brassica napus* L.): Investigating impacts on seed yield, oil content, and fatty acids composition. *Heliyon*, *11*, (2). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42138

Al-Tee, E. A. O., & Alamery, A. A. (2025). Effect of sulfur, thiobacillus bacteria, and nano-zinc on biochemical characteristics and grain yield of maize in calcareous soil. *SABRAO Journal of Breeding & Genetics*, *57*(2), 851-860. https://doi.org/10.54910/sabrao2025.57.2.41

Besharati, H., Khosravi, H., Mostashari, M., Mirzashahi, K., Ghaderi, J., & Zabihi6, H. (2016). Evaluation of Effects of Thiobacillus, Sulfur and Phosphorous on Corn (*Zea mays* L.) Growth Indices in some Regions of Iran. *Applied Soil Research*, *4*(1), 103-113.

Brunel-Muguet, S., d'Hooghe, P., Bataillé, M. P., Larré, C., Kim, T. H., Trouverie, J., ... & Dürr, C. (2015). Heat stress during seed filling interferes with sulfur restriction on grain composition and seed germination in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Frontiers in plant science*, *6*, 213. https://doi.org/10.3389/fpls.2015a

Cao, Z. Y., Chen, Z. H., Tang, B., Zeng, Q., Guo, H. L., Huang, W. H., ... & Zhou, S. L. (2024). The effects of sowing date on maize: Phenology, morphology, and yield formation in a hot subtropical monsoon region. *Field Crops Research*, *309*, 109309. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109309

Eyni, H., Mirzaei Heydari, M., & Fathi, A. (2023). Investigation of the application of urea fertilizer, mycorrhiza, and foliar application of humic acid on quantitative and qualitative properties of canola. *Crop Science Research in Arid Regions*, *4*(2), 405-420. (In Persian). https://doi.org/10.22034/csrar.2022.333487.1209

Ghaderi, J., Davoodi, M. H., & Khvazi, K. (2021). Effect of elemental sulfur and Thiobacillus bacteria on yield and some quality characteristics of canola. *Iranian Journal of Soil Research*, *35*(3), 235-251. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijsr.2021.354082.595

Ghadirnezhad Shiade, S. R., Fathi, A., Taghavi Ghasemkheili, F., Amiri, E., & Pessarakli, M. (2023). Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches—A review. *Journal of plant Nutrition*, *46*(9), 2198-2230. https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2105720

Ghasem, B. S., Majidian, P., Rameeh, V., Gerami, M., & Masoudi, B. (2021). Effect of sulfur application inoculated with Thiobacillus bacteria on some physiological characteristics of promising line of L17 canola

(*Brassica napus* L.) under rainfed conditions of Mazandaran. *Crop Physiology Journal*, *12* (48), 115-131. (In Persian). http://cpj.ahvaz.iau.ir/article-1-1408-en.pdf

Habibi, M., Majidian, M., Shoja, T., & Rabiee, M. (2016). Effects of S, B and Zn, on seed yield, nutrient concentration and seed quality of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Oil Plants Production*, *2*(2), 1-12. (In Persian). http://yujs.yu.ac.ir/article-1-53-en.pdf

Jashni, R., Fateh, E., & Aynehband, A. (2017). Effect of thiobacillus and nitrocara biological fertilizers and foliar application of zinc and iron on some qualitative characteristic and remobilization of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Plant Productions*, *40*(1), 1-14. (In Persian). https://doi.org/10.22055/ppd.2017.12067

Kalantarahmadi, S. A., Ebadi, A., Siadat, S. A., & Hasanaklou, H. T. (2014). Effect of heat stress due to sowing date on grain yield of rapeseed cultivars in north Khuzestan conditions in Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 2014; 16 (1) :62-76. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2021.299946.2372

Kaur, L., Sardana, V., & Sharma, P. (2018). Effect of sowing dates and nitrogen application on growth and productivity of canola oilseed rape (*Brassica napus*). *Journal of Oilseed Brassica*, *9*(2), 114-121.

Kolahkaj, S., & Mojtabai Zamani, M. (2022). Effect of terminal heat stress on agronomic traits and seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes in Ramhormoz. *Journal of Crop Plant Ecophysiology*, 16(3), 339–356. (In Persian).

Luo, T., Zhang, J., Khan, M. N., Liu, J., Xu, Z., & Hu, L. (2018). Temperature variation caused by sowing dates significantly affects floral initiation and floral bud differentiation processes in rapeseed (*Brassica napus* L.). Plant Science, 271, 40-51. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.03.004

Madani, H., Noor-Mohammadi, G., Majidi, E., & Shoar, M. D. (2007). The explaining of temperature ecophysiology of rapeseed production program in Iran. *Journal of Agricultural Sciences of Islamic Azad University*. 12 (4):867-876. (In Persian).

Mirzapour, M. H., Khavazi, K., & Naeini, M. R. (2018). Effect of Sulfur, Thiobacillus and phosphorous application on canola yield and some soil chemical characteristics. *Journal of Sol Biology*, *5*(2), 109-121. (In Persian). https://doi.org/10.22092/SBJ.2018.115683

Moradi Telavat, M., Kazemi, Z., & Siadat, S. A. (2016). Canola physiological, growth and yield response to boron application affected by heat stress due to late planting dates. *Journal of Crops Improvement*, *18*(1), 55-67. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2016.56572

Nazeri, P., Shirani Rad, A. H., Valadabadi, S. A., Mirakhori, M., & Hadidi Masoule, E. (2019). The effect of planting date and late season drought stress on Eco-physiological characteristics of the new varieties of Canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Agroecology*, *11*(1), 261-276. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.67311

Nourgholipour, F., Rezaei, H., Mirzashahi, K., Haghighatnia, H., Ramezanpour, M. R., Arzansh, M. H., Mirzapour, H., Asadi Rahmani, H., Zamani, S. A., Mohammadi-Kia, R., & Afzali, M. (2015). *Guidelines for Integrated Management of Soil Fertility and Canola Nutrition*. Soil and Water Research Institute, First Edition. (In Persian).

Pokharel, M., Chiluwal, A., Stamm, M., Min, D., Rhodes, D., & Jagadish, S. K. (2020). High night-time temperature during flowering and pod filling affects flower opening, yield and seed fatty acid composition in canola. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *206*(5), 579-596. https://doi.org/10.1111/jac.12408

Rad, A. H. S., Ganj-Abadi, F., Jalili, E. O., Eyni-Nargeseh, H., & Safavi Fard, N. (2021). Zn foliar spray as a management strategy boosts oil qualitative and quantitative traits of spring rapeseed genotypes at winter sowing dates. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *21*(2), 1610-1620. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00465-5

Ranadev, P., Revanna, A., Bagyaraj, D. J., & Shinde, A. H. (2023). Sulfur oxidizing bacteria in agro ecosystem and its role in plant productivity—a review. *Journal of Applied Microbiology*, *134*(8), lxad161. https://doi.org/10.1093/jambio/lxad161

Rezaeizadeh, A., Mohammadi, V., Zeinali Khanghah, H., & Zali, A. (2020). Physiological responses of tolerant and susceptible rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars to heat stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *50*(4), 89-98. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.263800.654513

Shafighi, A., Ardakani, M. R., Rad, A. H. S., Alavifazel, M., & Rafiei, F. (2021). Grain yield and associated physiological traits of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under different planting dates and drought stress at the flowering stage. *Italian Journal of Agronomy*, *16*(1), 1648. https://doi.org/10.4081/ija.2020.1648

Shah, S., Hussain, M., Jalal, A., Khan, M. S., Shah, T., Ilyas, M., & Uzair, M. (2018). Nitrogen and sulfur rates and timing effects on phenology, biomass yield and economics of wheat. *Sarhad Journal of Agriculture*, *34*(3), 671-679. https://doi.org/10.1002/jobm.202400239

Shen, M., Wang, S., Jiang, N., Sun, J., Cao, R., Ling, X., ... & Fu, B. (2022). Plant phenology changes and drivers on the Qinghai–Tibetan Plateau. *Nature Reviews Earth & Environment*, *3*(10), 633-651. https://doi.org/10.1038/s43017-022-00317-5

Statista., (2024). Worldwide oilseed production in 2024/2025, by type (in million metric tons).

Sylvester-Bradley, R. (1984). A code for stages of development in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Aspects of Applied Biology*, *6*, 399-418.

Tabatabaei, S. A., Anagholi, A., & Jabbari, H. (2024). Evaluation of rapeseed cultivars in different planting dates using comparative performance analysis method in yield components and phenological stages of development. *Crop Science Research in Arid Regions*, *6*(2), 295-312. (In Persian). https://doi.org/10.22034/csrar.2024.370984.1293

Vishnu, Sharma, P., Kaur, J., Gosal, S. K., & Walia, S. S. (2024). Characterization of Sulfur Oxidizing Bacteria and Their Effect on Growth Promotion of *Brassica napus* L. *Journal of Basic Microbiology*, *64*(12), e2400239.

Waraich, E. A., Hussain, A., Ahmad, Z., Ahmad, M., & Barutçular, C. (2022). Foliar application of sulfur improved growth, yield and physiological attributes of canola (*Brassica napus* L.) under heat stress conditions. *Journal of plant nutrition*, *45*(3), 369-379. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1985138

Wu, W., Shah, F., Duncan, R. W., & Ma, B. L. (2020). Grain yield, root growth habit and lodging of eight oilseed rape genotypes in response to a short period of heat stress during flowering. *Agricultural and Forest Meteorology*, *287*, 107954. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107954