

The Effect of Irrigation Regimes on Morphological Traits and Agronomic Characteristics of Summer Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Under the Application of Bentonite Sulfur and *Acidithiobacillus* spp. Bacteria

Hamid Alahdadi¹, Alireza Yadavi^{2*} , Mohsen Movahedi Dehnavi², Hamidreza Balouchi²

Received: 8 October 2024

Accepted: 26 April 2025

1- Graduated M.Sc. Student in Agrotechnology-Crop Physiology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.

2 -Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Iran.

*Corresponding Author Email: yadavi@yu.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: This study aims to investigate the synergistic effects of bentonite sulfur and *Acidithiobacillus* bacterial on improving morphological traits, grain and oil yield and water use efficiency under different irrigation regimes in safflower.

Materials and methods: A split-factorial experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications at the Research Farm of the Faculty of Agriculture, Yasouj University (Dashtroom region), Iran, in summer 2022. Irrigation regimes at three levels (full irrigation, irrigation cut-off from the beginning of flowering stage (severe stress), and irrigation cut-off from the beginning of seed filling stage (moderate stress)) were assigned as the main factor, and bentonite sulfur (B-sulfur) at three levels (0, 150, and 300 kg ha⁻¹) and *Acidithiobacillus* spp. at two levels (application and no application) were considered as sub-factors. The measured traits included plant height, number of side branches, main stem diameter, main head diameter, leaf area index (LAI), number of heads per plant, number of seeds per head, 1000-seed weight, grain yield, oil percentage, oil yield, crop water use efficiency (WUE), and sulfur use efficiency (SUE).

Results: Severe drought stress (irrigation cut-off from flowering stage) caused significant reductions in plant height (26.05%), number of side branches (48.59%), main stem diameter (10.31%), main head diameter (11.71%), grain yield (61.22%), and oil yield (95.82%) compared to full irrigation. Under full irrigation, the highest grain yield (3708 kg ha⁻¹) and oil yield (1157.87 kg ha⁻¹) were obtained from the application of 300 kg ha⁻¹ bentonite sulfur + *Acidithiobacillus*. Under moderate stress (irrigation cut-off from seed filling stage), the application of 300 kg ha⁻¹ bentonite sulfur + *Acidithiobacillus* resulted in a 46.54% increase in grain yield and a 1.03-fold increase in oil yield compared to the control. Moreover, bacterial application under full irrigation and moderate stress increased oil percentage by 18.05% and 15.33%, respectively, and improved crop water use efficiency and sulfur use efficiency. The highest sulfur use efficiency (23.32 kg kg⁻¹) was achieved under full irrigation with 150 kg ha⁻¹ bentonite sulfur.

Conclusion: The integrated application of 300 kg ha⁻¹ bentonite sulfur combined with *Acidithiobacillus* bacteria, through improving morphological traits, yield components, and water and sulfur use efficiencies, can be recommended as an effective strategy to enhance grain and oil yield tolerance of summer safflower (cv. Faraman) to irrigation cut-off stress from the seed-filling stage in the Dashtroom region..

Keywords: Grain Yield, Irrigation Cut Off, Oil Percent, Sulfur Use Efficiency, Water Use Efficiency



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright© 2026 Alireza Yadavi Email: yadavi@yu.ac.ir

<https://doi.org/10.22034/saps.2025.63999.3297>



تأثیر رژیم‌های آبیاری بر خصوصیات ریخت‌شناسی و زراعی گلرنگ تابستانه (*Carthamus tinctorius* L.) تحت کاربرد گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری‌های اسیدی‌تیوباسیلوس

حمید اله‌دادی^۱، علیرضا یدوی^{۲*}، محسن موحدی دهنوی^۲، حمیدرضا بلوچی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۶
--------------------------	-------------------------

۱- دانش‌آموخته ارشد اگروتکنولوژی- فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

چکیده

مقدمه و اهداف: این پژوهش به منظور بررسی تأثیر هم‌افزایی گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری‌های اسیدی‌تیوباسیلوس بر بهبود صفات ریخت‌شناسی، عملکرد دانه و روغن و کارایی مصرف آب زراعی گلرنگ تابستانه رقم فرامان تحت رژیم‌های مختلف آبیاری انجام گرفت.

مواد و روشها: آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج (منطقه دشتروم) در تابستان ۱۴۰۱ اجرا شد. عامل اصلی رژیم‌های آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله شروع گلدهی (تنش شدید) و قطع آبیاری از مرحله شروع پرشدن دانه (تنش متوسط)) و عامل فرعی شامل گوگرد بنتونیت‌دار در سه سطح (صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و باکتری‌های اسیدی‌تیوباسیلوس در دو سطح (عدم کاربرد و کاربرد) بودند. صفات اندازه‌گیری‌شده شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، قطر ساقه اصلی، قطر طبق اصلی، شاخص سطح برگ، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد روغن، عملکرد روغن، کارایی مصرف آب زراعی و کارایی مصرف گوگرد شدند.

یافته‌ها: تنش شدید (قطع آبیاری از مرحله گلدهی) موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته (۵/۲۶ درصد)، تعداد شاخه جانبی (۵۹/۴۸ درصد)، قطر ساقه اصلی (۳۱/۱۰ درصد)، قطر طبق اصلی (۷۱/۱۱ درصد)، عملکرد دانه (۲۲/۶۱ درصد) و عملکرد روغن (۸۲/۹۵ درصد) نسبت به آبیاری کامل شد. در سطح آبیاری کامل، بیشترین عملکرد دانه (۳۷۰۸ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد روغن (۸۷/۱۱۵۷ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار به همراه باکتری به دست آمد. در شرایط تنش متوسط (قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه)، کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار به همراه باکتری موجب افزایش ۵۴/۴۶ درصدی عملکرد دانه و ۳/۱ برابری عملکرد روغن نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین کاربرد باکتری در شرایط آبیاری کامل و تنش متوسط به ترتیب موجب افزایش ۵/۱۸ و ۳۳/۱۵ درصدی درصد روغن دانه و بهبود کارایی مصرف آب زراعی و کارایی مصرف گوگرد گردید. بیشترین کارایی مصرف گوگرد (۳۲/۲۳ کیلوگرم بر کیلوگرم) در سطح آبیاری کامل و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار حاصل شد.

نتیجه‌گیری: کاربرد تلفیقی ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بنتونیت‌دار به همراه باکتری‌های اسیدی‌تیوباسیلوس، از طریق بهبود صفات ریخت‌شناسی، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب و گوگرد، می‌تواند به عنوان راهبردی مؤثر برای افزایش تحمل عملکرد دانه و روغن گلرنگ تابستانه رقم فرامان به تنش قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه در منطقه دشتروم توصیه شود.

واژه‌های کلیدی: درصد روغن، عملکرد دانه، قطع آبیاری، کارایی مصرف آب زراعی، کارایی مصرف گوگرد،

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) از بهترین دانه‌های روغنی از نظر ترکیب اسیدهای چرب بوده که به‌طور میانگین حاوی ۱۶ تا ۲۰ درصد اسید اولئیک و ۷۱ تا ۷۵ درصد اسید لینولئیک است. روغن دانه گلرنگ بدون طعم و بی رنگ بوده و محتوای آن از ۲۳ تا ۳۶ درصد متغیر می‌باشد (متئوس و همکاران ۲۰۱۵). همچنین معرفی ارقام با اسید اولئیک بالا در نظام تناوبی کشاورزان مناطق نیمه خشک مدیترانه‌ای، چند منظوره بودن این دانه روغنی را علاوه بر تولید روغن، برای تامین پروتئین علوفه‌ای نیز نشان می‌دهد. میزان پروتئین کنجاله گلرنگ تا ۲۳ درصد گزارش شده است (زانتی و همکاران ۲۰۲۲).

تنش کم آبی و عدم دسترسی به مقدار آب مورد نیاز گیاه با کاهش تقسیم و طول شدن یاخته‌ها موجب کاهش خصوصیات ریخت‌شناسی گیاه می‌شود. شهیدی و همکاران (۲۰۲۳) با مطالعه گیاه گلرنگ گزارش دادند ارتفاع بوته و سطح برگ تحت تنش قطع آبیاری در مرحله گرده‌افشانی (به ترتیب ۱۶/۱۰ و ۲۴/۴۷ درصد) به‌صورت معنی‌داری کاهش یافته است. همچنین حیوانی و همکاران (۲۰۲۲) نیز بیان داشتند که اعمال قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه موجب کاهش ۱۳/۰۴ و ۴ درصدی قطر ساقه و قطر طبق در گیاه گلرنگ شد. مرحله زمانی ساخت هر یک از اجزا عملکرد دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای در فرآیند تولید گیاهان زراعی است. در این رابطه کاهش تعداد دانه در طبق (% ۵۴/۷۳)، تعداد طبق در بوته (% ۷۶/۳۶) و وزن هزاردانه (% ۱۵/۳۵) گلرنگ تحت قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی گزارش شده است (رشیدی ۲۰۲۱). پارسا مطلق و همکاران (۲۰۲۱) نیز به کاهش ۲۰ و ۴۲ درصدی عملکرد دانه و درصد روغن گلرنگ تحت قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا رسیدگی اشاره نموده‌اند.

از جمله عناصر ضروری مورد نیاز گیاهان گوگرد است که در صورت فقدان یا کمبود آن به‌ویژه در گیاهان روغنی، با توجه به کاهش عملکرد دانه، کیفیت روغن و محتوای پروتئین به پتانسیل کامل خود دست نمی‌یابند (پویسون و همکاران ۲۰۱۹). مکمل‌های گوگردی بر بیوسنتز و پیام‌رسانی فیتوهورمون‌ها (مانند اتیلن،

سولفید هیدروژن و پلی آمین‌ها) تأثیر می‌گذارد، که به‌طور مثبت سیستم دفاعی گیاه را تنظیم می‌کند و تحمل تنش را در برابر نشانه‌های مختلف محیطی بهبود می‌بخشد (جهان و همکاران ۲۰۲۱). ترکیبات حاوی گوگرد با عمل مستقیم به عنوان آنتی‌اکسیدان یا تعدیل سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی در تحمل تنش غیرزیستی نقش دارند. در حقیقت، گوگرد برای حمایت از پیام‌رسانی تنش و بهبود دفاع گیاه در برابر تنش‌های محیطی با سایر مولکول‌های بیولوژیکی تعامل می‌کند (حسن‌وزمان و همکاران ۲۰۱۸). به جهت اثرگذاری مثبت باکتری‌های محرک رشد و کمک به مقابله با شرایط نامساعدی چون تنش‌های محیطی، عرضه آن‌ها در قالب کودهای زیستی فراگیر شده است (فائو ۲۰۱۹). جنس *اسیدی‌تیوباسیلوس* شامل طیف وسیعی از باکتری‌های گوگردی کمولیتوتروف، گرم منفی و میله‌ای شکل است که انرژی خود را از اکسید کردن ترکیبات گوگردی غیر آلی به دست می‌آورند. اکسیداسیون گوگرد در خاک‌های آهکی کشور اهمیت قابل ملاحظه‌ای دارد، زیرا در این نوع خاک‌ها به‌علت بالا بودن pH، افزایش عناصر به خاک‌ها اغلب بی‌ثمر خواهد بوده و به شکل قابل جذب آن تبدیل نمی‌شود. لذا با وجود ماده آلی، ریز موجودات دیگر وارد عمل شده، در نتیجه موجب سهولت دستیابی به گوگرد و بهبود خصوصیات رشد گیاه می‌شوند (رضوی‌پور کومله و همکاران ۲۰۱۹).

مطالعه رستمی و همکاران (۲۰۲۲) در کاملینا نشان داد که کاربرد توام گوگرد و بیوسولفور صفات شاخص سطح برگ، ارتفاع، ساقه فرعی و قطر ساقه را به ترتیب به میزان ۱۲/۰۲، ۳۹/۵۱، ۳۹/۵۴ و ۶۹/۱۵ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داده است. همچنین گزارش شده است کاربرد ۲۰ کیلوگرم زادمایه *Thiobacillus neapolitanus* + ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد بیشترین میزان وزن هزار دانه (۴/۱۷ گرم)، عملکرد دانه (۴۵۴۷ کیلوگرم در هکتار) و درصد روغن (۴۱/۸۷ درصد) را در کلزا به همراه داشته است (قادری و همکاران ۲۰۲۱). علاوه بر این کاربرد جداگانه تیوباسیلوس (با نام جدید *اسیدی‌تیوباسیلوس*) در افزایش عملکرد دانه و عملکرد روغن کتان روغنی (رحیمی و همکاران ۲۰۲۰) و وزن

هزار دانه و عملکرد روغن کنجد (رضوانی‌مقدم و همکاران، ۲۰۱۴) بیان شده است. کاربرد جداگانه گوگرد گرانوله در افزایش تعداد ساقه ثانویه و وزن هزاردانه گلرنگ (مرادی و پاساری، ۲۰۲۱) و اجرای عملکرد، عملکرد دانه و عملکرد روغن سویا (شهرسوند و همکاران ۲۰۱۹) نیز مورد اشاره قرار گرفته است.

کم‌آبی از چالش‌های اساسی کشاورزی ایران است و خاک‌های آهکی و قلیایی نیز غالباًند. مدیریت تغذیه گیاهان برای کاهش اثرات تنش خشکی ضروری است. گوگرد با کاهش pH خاک و بهبود جذب عناصر، مقاومت گیاه را افزایش می‌دهد. استفاده از گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری‌های *اسیدی‌تیوباسیلوس* به عنوان عوامل تولید سولفات و بهبود تغذیه، راهبردی زراعی است. علی‌رغم وجود سولفات در خاک‌های ایران، در شرایط خشکی جذب عناصر محدود می‌شود. کاربرد این تیمارها با افزایش سولفات و دسترسی به عناصر، تحمل گیاه به خشکی را بهبود می‌بخشد. این پژوهش اثر گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری‌های *اسیدی‌تیوباسیلوس* را بر کاهش آسیب خشکی بر خصوصیات ریخت‌شناسی و زراعی گلرنگ تابستانه رقم فرامان بررسی می‌کند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی صفات ریخت‌شناسی، عملکرد و اجزای عملکرد و کیفیت روغن دانه گلرنگ تحت کاربرد تیمار گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری‌های *اسیدی‌تیوباسیلوس* در شرایط آب و هوایی منطقه سردسیر دشت‌روم (واقع در ۱۰ کیلومتری یاسوج)، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج (با مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی) و در تابستان سال زراعی ۱۴۰۱ طراحی شد. محل اجرای آزمایش دارای میانگین دمای سالیانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالیانه ۳۰۰ میلی‌متر بود. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی، رژیم‌های مختلف آبیاری در سه سطح شامل آبیاری کامل (شاهد)، قطع آبیاری از شروع مرحله گلدهی (R_3 ، تنش شدید) و قطع آبیاری از شروع مرحله پرشدن دانه (R_5 ، تنش

متوسط) و عامل فرعی، شامل گوگرد بنتونیت‌دار (با نسبت وزنی گوگرد به بنتونیت ۳:۱) در سه سطح صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و باکتری‌های *اسیدی‌تیوباسیلوس* (*Acidithiobacillus* spp.) شامل *A. caldus* و *A. ferrooxidans thiooxidans* به صورت تلقیح با بذور در دو سطح (A_1 = کاربرد و A_0 = عدم کاربرد) بودند.

در مرحله‌ی آماده‌سازی زمین پیش از کاشت، نمونه‌هایی از خاک مزرعه به‌صورت تصادفی تهیه شد. نتایج حاصل از آزمون ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت با فواصل ۵۰ سانتی‌متر و به طول ۳/۵ متر بود. کاشت در نیمه خردادماه در وسط پشته‌ها و به فاصله ۵ سانتی‌متری بوته‌ها از یکدیگر با تراکم ۴۰ بوته در متر مربع انجام گرفت. فاصله بین کرت‌های فرعی، کرت‌های اصلی و بلوک‌ها به‌ترتیب ۰/۵، ۱ و ۲ متر در نظر گرفته شد. پیش از کاشت براساس نقشه طرح، میزان گوگرد بنتونیت‌دار (۷۵٪ گوگرد خالص + ۲۵٪ بنتونیت) مطابق با سطوح معین‌شده با ایجاد شیارهایی در دو طرف هر پشته اعمال شد. همچنین از کود سوپرفسفات تریپل (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به همراه تیمار گوگردی در شکاف‌های ایجادشده، استفاده شد. ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص نیز از منبع اوره و به‌صورت سرک (یک سوم پیش از فرآیند کاشت و دو سوم قبل از شروع مرحله گلدهی) اعمال گردید. مخلوط باکتری‌های *اسیدی‌تیوباسیلوس* از موسسه تحقیقاتی آب و خاک کرج و با تراکم 10^8 CFU/gr تهیه شد. سپس بذور گلرنگ رقم فرامان (تهیه شده از شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی در اصفهان)، به روش آماده‌سازی سرم فیزیولوژیک (سلیم و همکاران، ۲۰۱۸) با باکتری تلقیح داده شده و در عمق ۳ الی ۴ سانتی‌متری کشت شدند. اولین آبیاری بعد از کاشت صورت گرفت. فرآیند آبیاری به کمک نوارهای تیپ و به‌صورت قطره‌ای شکل گرفت. در مرحله دو تا چهار برگ گلرنگ مجدداً سوسپانسیون باکتری در خاک پای بوته‌ها (به صورت مخلوط با آب اضافه شد. محاسبه میزان حجم آب آبیاری برای هر کرت آزمایشی به کمک استفاده از کنتور حجمی انجام شد. میزان آب مصرفی در واحد سطح در تیمارهای

همراه با سه بذر در هر نقطه کاشت رخ داده بود، عملیات تنک کردن با حفظ پایدارترین بوته در مرحله دو تا چهار برگی صورت پذیرفت. در طول فصل رشد گیاه نیز، علف‌های هرز به صورت دستی وجین شدند.

آبیاری کامل و قطع آبیاری از مراحل گلدهی و پرشدن دانه از مرحله اعمال تیمار آبیاری تا پایان فصل رشد به ترتیب ۴۷۹۷/۱۴، ۲۰۳۸/۵۷ و ۳۶۰۷/۱۴ مترمکعب در هکتار بود. به جهت اینکه فرآیند کاشت به صورت کپه‌ای

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

بافت خاک	کربن آلی (%)	روی قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	آهن قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	نیترژن (%)	pH خاک
لوم سیلتی	۱/۷۰	۰/۹۲	۵/۱۲	۴۰/۸	۱۷/۱	۰/۱۷	۷/۶۱

به روش LSD در سطح ۵ درصد و مقایسه میانگین برهم‌کنش‌ها به رویه L.S.Means انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان از معنی‌دار بودن اثر سه گانه رژیم آبیاری × گوگرد بنتونیت‌دار × باکتری بر ارتفاع بوته در سطح احتمال خطای یک درصد دارد (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان از روند کاهشی ارتفاع بوته در اثر افزایش طول مدت قطع آبیاری داشت. در سطوح آبیاری کامل و قطع آبیاری از مراحل پرشدن دانه و گلدهی، بیشترین ارتفاع بوته به ترتیب با میانگین‌های ۱۰۹/۲۹، ۱۰۶/۸ و ۹۸/۵۶ سانتی‌متر از تیمار کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار به همراه باکتری و کم‌ترین ارتفاع بوته نیز به ترتیب با میانگین‌های ۷۱/۹، ۷۱/۲۴ و ۵۷/۰۴ سانتی‌متر از تیمار عدم کاربرد گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری به دست آمد (جدول ۳).

ارتفاع بوته وابسته به شرایط محیطی است که گیاه در آن رشد می‌کند. از مهم‌ترین این شرایط، دسترسی به مقدار آب مورد نیاز برای گیاه است. اگر آب احتیاجی گیاه فراهم نشود، فشار آماس یاخته‌ای کاهش می‌یابد و با اثرگذاری بر طول یاخته‌ها موجب کاهش ارتفاع می‌شود. همچنین تنش خشکی از طریق اثرگذاری بر سرعت رشد گیاه، کاهش ارتفاع را در پی داشته است، به گونه‌ای که هرچه اعمال تنش در فاصله بیشتری از پایان فصل رشد آغاز شود، ارتفاع گیاه را به مقدار بیشتری تحت تأثیر خود قرار داده است (تیمایچی ۲۰۲۰). کمبود گوگرد نیز می‌تواند کاهش ارتفاع بوته را در پی داشته باشد، زیرا گوگرد به عنوان ماده‌ای اسیدزا به دلیل کاهش pH خاک

در مرحله شروع پرشدن دانه نمونه برداری از ۵ بوته تصادفی در هر کرت جهت اندازه‌گیری شاخص سطح برگ به کمک دستگاه Leaf Area Meter مدل Delta T انجام شد. زمان رسیدگی برداشت گیاه گلرنگ در اواسط مهرماه (همراه شدن با رنگ قهوه‌ای برگ‌ها و طبق‌ها)، ابتدا صفات ریخت‌شناسی نظیر ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، قطر ساقه و قطر طبق اصلی (توسط کولیس دیجیتالی) به صورت تصادفی از ۱۰ بوته در هر کرت اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها لحاظ شد. با کاهش رطوبت دانه و با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای و حذف دو ردیف ابتدا و انتهای هر کرت، همچنین حذف ۵۰ سانتی‌متر از دو طرف هر کرت، سطحی برابر با دو متر مربع برای تعیین اجزای عملکرد (شامل تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه) و عملکرد دانه به صورت کف‌بر برداشت شد. درصد روغن دانه به وسیله دستگاه سوکسله با استفاده از حلال اتر نفت محاسبه شد (جوهانسون و اولریچ، ۱۹۵۹). همچنین از حاصلضرب عملکرد دانه در درصد روغن، عملکرد روغن به دست آمد. برای محاسبه کارایی مصرف آب زراعی (تیمونس و همکاران، ۱۹۶۷) و کارایی مصرف گوگرد (سیدی و همکاران، ۲۰۱۵ به نقل از صادقی ۲۰۲۲) نیز به ترتیب از روابط زیر استفاده شد:

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{WUE} = \text{GY}/\text{WU}$$

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{SUE} = \text{GY}/\text{SU}$$

در این روابط GY = عملکرد دانه (کیلوگرم)، WU = آب مصرفی (متر مکعب) و SU = گوگرد مصرفی (کیلوگرم) است. در نهایت تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین اثرات اصلی

پژوهشگران علت تأثیر تیوباسیلوس در افزایش ارتفاع بوته را نیز به نقش آن در تولید هورمون اکسین نسبت داده‌اند و به دلیل نقش اکسین بر بهبود طول شدن یاخته‌ها به تأثیر باکتری تیوباسیلوس بر ارتفاع بوته استنباط کردند.

در منطقه ریزوسفر، به واسطه افزایش حلالیت جذب عناصر (اله‌دادی ۲۰۲۴)، بهبود رشد و ارتفاع بوته را به همراه دارد. در همین راستا نوربخش و همکاران (۲۰۱۴) در گلرنگ مطرح نمودند بیشترین ارتفاع ساقه از تیمار ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار یادداشت گردید. این

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر آبیاری، گوگرد بنتونیت‌دار و اسیدی تیوباسیلوس بر صفات ریخت‌شناسی گلرنگ

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع	شاخص سطح برگ	شاخه جانبی	قطر ساقه اصلی	قطر طبق اصلی
تکرار	۲	۰/۶۳ ^{ns}	۱۲/۱۴ ^{ns}	۰/۳۶ ^{ns}	۰/۳۶ ^{ns}	۱/۱۴ ^{ns}
آبیاری (I)	۲	۱۰۳۰/۶۳ ^{**}	۱۳۷/۶۳ ^{**}	۵/۷۸ ^{**}	۴/۸۱ ^{**}	۳۰/۴۵ ^{**}
خطای اصلی	۴	۱۸/۹۲	۰/۱۲	۰/۷۱	۰/۱۴	۰/۵۳
گوگرد بنتونیت‌دار (S)	۲	۴۶۲۲/۰۵ ^{**}	۹/۰۵ ^{**}	۱۸/۱۷ ^{**}	۳۹/۲۱ ^{**}	۴۶۵/۸۳ ^{**}
اسیدی تیوباسیلوس (A)	۱	۵۷۳/۸۴ ^{**}	۲/۸۴ ^{**}	۱۲/۶۶ ^{**}	۴/۲۷ ^{**}	۱۲/۹۶ ^{**}
A × S	۲	۹۲/۶۵ ^{**}	۱۳/۳۷ ^{**}	۰/۵۱ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۱۰/۹۰ ^{**}
S × I	۴	۶/۱۶ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	۰/۶۰ ^{ns}	۰/۷۳ ^{ns}	۳/۰۳ ^{ns}
A × I	۲	۰/۷۹ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۰/۴۹ ^{ns}	۰/۹۳ ^{ns}	۱/۰۶ ^{ns}
A × S × I	۴	۱۱/۴۵ [*]	۰/۳ ^{**}	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	۰/۹۱ ^{ns}
خطای فرعی	۳۰	۱۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۶۲	۰/۷۱	۱/۴۳
ضریب تغییرات (%)		۳/۵۱	۱۲/۵۹	۸/۶۰	۹/۲۵	۴/۵۷

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌داری در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری × گوگرد بنتونیت‌دار / اسیدی تیوباسیلوس بر ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ گلرنگ

رژیم آبیاری	گوگرد بنتونیت‌دار (kg.ha ⁻¹)	باکتری‌های اسیدی تیوباسیلوس	ارتفاع (cm)	شاخص سطح برگ
آبیاری کامل	۱۵۰	A ₀	۷۱/۹ ^c	۲/۱۱ ^c
		A ₁	۸۳/۹۴ ^d	۲/۱۴ ^c
		A ₀	۹۸/۰۸ ^c	۲/۳۶ ^d
		A ₁	۱۰۴/۲۲ ^b	۲/۴۵ ^c
		A ₀	۱۰۷/۱۳ ^{ab}	۲/۶۱ ^b
	۳۰۰	A ₁	۱۰۹/۲۹ ^a	۲/۷۴ ^a
		A ₀	۵۷/۰۴ ^c	۱/۴۲ ^c
		A ₁	۶۸/۹۱ ^d	۱/۴۵ ^c
		A ₀	۸۶/۲۳ ^c	۱/۵۹ ^b
		A ₁	۸۷/۱۲ ^c	۱/۶۱ ^b
قطع آبیاری از مرحله گلدهی	۱۵۰	A ₀	۹۳/۲۴ ^b	۱/۷۱ ^a
		A ₁	۹۸/۵۶ ^a	۱/۷۵ ^a
		A ₀	۷۱/۲۴ ^c	۲/۰۳ ^d
		A ₁	۸۲/۳۳ ^d	۲/۱۱ ^c
		A ₀	۹۵/۵۸ ^c	۲/۱۵ ^{bc}
	۳۰۰	A ₁	۱۰۲/۹۱ ^b	۲/۲۱ ^b
		A ₀	۱۰۴/۹۹ ^{ab}	۲/۲۵ ^b
		A ₁	۱۰۶/۸ ^a	۲/۳۶ ^a

در هر ستون و هر سطح آبیاری میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند. A₀ = عدم کاربرد باکتری، A₁ = کاربرد باکتری

شاخص سطح برگ

تجزیه واریانس اثر سه گانه رژیم آبیاری $\times$ گوگرد بنتونیت‌دار $\times$ باکتری در سطح احتمال خطای یک درصد بر شاخص سطح برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه نشان داد در سطح آبیاری کامل بیشترین شاخص سطح برگ ($2/74$) در تیمار باکتری + 300 کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار حاصل شد که با تیمار شاهد (عدم کاربرد گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری) اختلاف $29/85$ درصدی نشان داد. همچنین در سطح قطع آبیاری از مراحل پرشدن دانه و گلدهی نیز بیشترین شاخص سطح برگ (به ترتیب $2/36$ و $1/75$) از تیمار کاربرد 300 کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار + باکتری و کم‌ترین آن (به ترتیب $2/03$ و $1/42$) از تیمار عدم کاربرد گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری حاصل شد که اختلاف معنی‌داری را در سطح پنج درصد نشان دادند (جدول ۳).

در نواحی کم‌آب، به عنوان یک مکانیسم دفاعی برگ‌های گیاهان، کوچک و ضخیم می‌شوند تا به وسیله کاهش سطح تعرق از میزان تلفات آب بکاهند و از این طریق تحمل به تنش را افزایش دهند. بنابراین با کاهش سطح برگ در شرایط تنش، محتوای رطوبتی گیاه به میزان مطلوبی حفظ می‌شود (ویجه‌واردانا و همکاران، ۲۰۱۹). در راستای پژوهش حاضر، بیان شده است تیمار قطع آبیاری در مرحله غلاف‌دهی به میزان $31/5$ درصد شاخص سطح برگ سویا را در مقایسه با آبیاری کامل کاهش داد (وقار ۲۰۲۱). در جهت مقابل، افزایش کاربرد تیمار گوگرد بنتونیت‌دار و همچنین عمل اکسیداسیون باکتری‌های *اسیدی‌تیوباسیلیوس* با افزایش توانایی قدرت ریشه در جذب بیشتر عناصر همراه بوده است. بنابراین با توجه به نقش موثر گوگرد در مسیر ساخت رنگیزه‌های کلروفیلی به جهت حضور در ساختار سوکسینیل کوآنزیم A (رسول و همکاران ۲۰۱۳) و همچنین اثر غیر مستقیم گوگرد به واسطه بهبود جذب دیگر عناصر (اله‌دادی ۲۰۲۴)، افزایش شاخص سطح برگ در گیاهان تیمار شده با باکتری‌های *اسیدی‌تیوباسیلیوس* و گوگرد بنتونیت‌دار را می‌توان به کاهش پیری برگ‌ها به واسطه

افزایش تولید کلروفیل و یا کاهش تخریب آن به دنبال بهبود وضعیت آبی تحت کاربرد این تیمارها دانست (رستمی و همکاران ۲۰۲۲).

تعداد شاخه‌های جانبی

مطابق با جدول ۲ هر یک از اثرات اصلی رژیم آبیاری، گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری در سطح احتمال خطای یک درصد بر تعداد شاخه‌های جانبی معنی‌دار بود، اما برهم‌کنش‌های دوگانه و سه‌گانه تأثیر آماری بر این صفت نشان ندادند. مقایسه میانگین حاکی از کاهش تعداد شاخه‌های جانبی با افزایش شدت طول دوره قطع آبیاری دارد. شاخه‌های جانبی در سطوح قطع آبیاری از مراحل پرشدن دانه و گلدهی نسبت به آبیاری کامل به ترتیب $5/5$ و $11/56$ درصد کاهش یافت (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر گوگرد بنتونیت‌دار برای تعداد شاخه‌های جانبی، بیانگر افزایش $24/38$ درصدی از تیمار 300 کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار در مقایسه با تیمار شاهد بود (جدول ۴). کاربرد باکتری نیز با افزایش $11/09$ درصدی این صفت همراه شد (جدول ۴).

شاخه‌های منشعب از ساقه اصلی به دلیل اینکه به سرشاخه‌های گلدار ختم می‌شوند، شاخصی مهم در افزایش عملکرد هستند. چنین می‌نماید در تحقیق حاضر اعمال تیمارهای قطع آبیاری با کاهش دسترسی به مقدار آب لازم، ساخت مواد فتوسنتزی جهت انتقال به برگ‌های درحال رشد متوقف شده است و به دنبال آن تعداد شاخه‌های جانبی به صورت معنی‌داری کاهش یافته است. در واقع گیاه در شرایط مواجهه با تنش خشکی با کاهش رشد اندام‌های رویشی و سطح فتوسنتز کننده (کاهش شاخص سطح برگ)، انرژی خود را برای رشد زایشی و بقا صرف کرده است. همچنین با در نظر گرفتن اینکه تولید شاخه‌های جانبی در مرحله شروع گلدهی هنوز به اتمام نرسیده است، طبیعی است که قطع آبیاری از این مرحله بیشترین کاهش تعداد شاخه‌های جانبی را سبب شود. اما در مرحله پرشدن دانه به جهت اینکه تقریباً رشد رویشی بوته‌های گلرنگ به پایان رسیده است، اعمال قطع آبیاری، تأثیر کمتری را به همراه داشته است.

شجاعیان کیش و همکاران (۲۰۲۱) ابراز داشتند بیشترین تعداد شاخه‌های جانبی در کتان روغنی تحت آبیاری کامل حاصل شد اما کم‌ترین میزان این صفت از تیمار قطع آبیاری از مرحله گلدهی (با کاهش ۲۹/۱ درصد) به ثبت رسید. نتایج آن‌ها با یافته‌های حاضر مطابقت دارد. محققان گزارش داده‌اند که به علت نقش عنصر گوگرد در

فرآیندهای رشد و نمو، ساختار اسیدهای آمینه و فرآیند تفکیک بافت از سلول‌های مولد مریستمی، افزایش تقسیم سلولی و انتقال مواد فتوسنتزی و تنظیم کننده‌های رشد از منبع به مخزن، تعداد شاخه‌های جانبی در سویا افزایش یافته است (دوی و همکاران، ۲۰۱۲).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی برای تعداد شاخه جانبی و قطر ساقه اصلی در گلرنگ

سطوح تیمار	تعداد شاخه جانبی	قطر ساقه اصلی (mm)	قطر طبق اصلی (mm)
سطوح رژیم آبیاری			
آبیاری کامل	۹/۷۷ ^a	۹/۷۳ ^a	۲۷/۵۹ ^a
قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه	۹/۲۶ ^{ab}	۹/۰۳ ^{-b}	۲۶/۰۲ ^b
قطع آبیاری از مرحله گلدهی	۸/۶۴ ^b	۸/۷۱ ^b	۲۵/۰۱ ^c
سطوح تیمار گوگرد بنتونیت‌دار			
عدم کاربرد گوگرد بنتونیت‌دار	۸/۱۶ ^c	۷/۶۷ ^c	۲۰/۵۲ ^c
کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار	۹/۳۶ ^b	۹/۱۸ ^b	۲۷/۷۶ ^b
کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار	۱۰/۱۵ ^a	۱۰/۶۲ ^a	۲۰/۳۴ ^a
سطوح تیمار/اسیدی‌تیوباسیلوس			
عدم کاربرد	۸/۷۴ ^b	۸/۸۸ ^b	۲۵/۷۲ ^b
کاربرد باکتری	۹/۷۱ ^a	۹/۴۴ ^a	۲۶/۷۰ ^a

میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

قطر ساقه اصلی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشانگر معنی‌داری اثرات اصلی رژیم آبیاری و گوگرد بنتونیت‌دار در سطح احتمال خطای یک درصد و معنی‌داری اثر اصلی باکتری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر قطر ساقه اصلی است. جدول مقایسه میانگین اثر اصلی رژیم آبیاری نشان داد، قطع آبیاری از مرحله گلدهی موجب کاهش ۱۰/۴۸ درصدی قطر ساقه اصلی نسبت به سطح آبیاری کامل شد (جدول ۴). مطابق با اثر اصلی گوگرد بنتونیت‌دار، تیمار ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار به میزان ۳۸/۴۶ درصد قطر ساقه اصلی را افزایش داد (جدول ۴). همچنین با کاربرد باکتری مقدار این صفت ۶/۳۰ درصد بیشتر شد (جدول ۴).

کاهش قطر ساقه به دنبال اعمال تنش را می‌توان به اختلال ایجاد شده در فرآیند فتوسنتز به دلیل کمبود آب و کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای ارائه به اندام‌های

درحال رشد گیاه نسبت داد؛ زیرا از این طریق موجب کاهش انعطاف‌پذیری دیواره یاخته‌های ساقه شده و در نهایت طول‌شدن این یاخته‌ها را متوقف می‌کند (کروما و همکاران، ۲۰۱۵). استفاده از تیمار گوگرد بنتونیت‌دار به واسطه بهبود رشد اندام هوایی (و شاخص سطح برگ)، موجب افزایش قدرت جذب ریشه می‌شود که پیامد آن جذب بهتر عناصر و درنتیجه رشد بالای گیاه است. باکتری‌های اسیدی‌تیوباسیلوس نیز به دلیل ترشح ترکیبات ترغیب کننده رشد، همچنین اثرگذاری بر مسیر بیوسنتز فیتوهورمون‌هایی چون اکسین و افزایش تشکیل آوندهای چوبی (نوربخش و همکاران ۲۰۱۴)، رشد گیاه را تحت تأثیر قرار داده و از این رو عامل افزایش قطر ساقه بوده است. همچنین کاربرد بیوسولفور/اسیدی‌تیوباسیلوس، با تحریک رشد ریشه و بهبود کارایی جذب آب و مواد مغذی می‌تواند به تقویت ساختار ساقه و افزایش قطر آن در شرایط تنش کمک کند.

پژوهشگران در مطالعات خود بر گیاه روغنی گلرنگ عنوان کرده‌اند بیشترین قطر ساقه از تیمار ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار ثبت گردید (نوربخش و همکاران ۲۰۱۴). رحیمی و همکاران (۲۰۲۰) نیز اظهار داشتند اعمال تیمار بیوسولفور در کتان روغنی به میزان ۱۲ درصد قطر ساقه را افزایش داد.

قطر طبق اصلی

اطلاعات جدول تجزیه واریانس نشان از معنی‌داری اثر آبیاری، گوگردبنتونیت‌دار، باکتری و برهم‌کنش دوگانه گوگرد بنتونیت‌دار $\times$ باکتری در سطح احتمال خطای یک درصد بر قطر طبق اصلی در گلرنگ دارد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر اصلی رژیم آبیاری نشان داد که بیشترین و کم‌ترین قطر طبق اصلی به ترتیب از تیمار آبیاری کامل و قطع آبیاری از مرحله گلدهی حاصل

شد که با یکدیگر اختلاف ۱۰/۳۱ درصدی نشان دادند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین سطوح گوگرد بنتونیت‌دار در هر سطح باکتری نیز حاکی از آن است که هر سه سطح گوگرد بنتونیت‌دار در شرایط کاربرد باکتری از قطر طبق اصلی بیشتری نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری‌های/اسیدی‌تیوباسیلوس برخوردار بودند. در شرایط کاربرد و عدم کاربرد باکتری، تیمار ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار به‌ترتیب موجب افزایش ۴۰/۳ و ۵۶/۳۸ درصدی قطر طبق اصلی نسبت به تیمار عدم کاربرد گوگرد گردید. همچنین در شرایط بدون مصرف گوگرد بنتونیت‌دار، کاربرد باکتری موجب افزایش ۱۳/۹۱ درصدی قطر طبق اصلی در مقایسه با عدم کاربرد باکتری شد (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات دوگانه گوگرد بنتونیت‌دار و اسیدی‌تیوباسیلوس بر قطر طبق اصلی در گلرنگ

باکتری‌های/اسیدی تیوباسیلوس	گوگردبنتونیت‌دار ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	قطر طبق اصلی (mm)
A_0	.	۱۹/۱۹ ^c
	۱۵۰	۲۷/۵۶ ^b
	۳۰۰	۳۰/۰۹ ^a
A_1	.	۲۱/۸۶ ^c
	۱۵۰	۲۷/۹۵ ^b
	۳۰۰	۳۰/۶۷ ^a

در هر ستون و هر سطح تیمار باکتری میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

A_0 = عدم کاربرد باکتری، A_1 = کاربرد باکتری

فراهمی گوگرد در بوته‌های گلرنگ، بهبود شاخص سطح برگ به جهت توان فتوسنتزی، افزایش قطر طبق و در نتیجه تشکیل دانه‌های بیشتر در طبق را فراهم کرده است. همسو با این نتایج، بناری و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشتند کاربرد ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد گرانوله در هکتار عامل افزایش ۱۳/۵۳ درصدی قطر طبق آفتابگردان شد.

تعداد طبق در بوته

تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش سه‌گانه رژیم آبیاری $\times$ گوگرد بنتونیت‌دار $\times$

در پژوهش حاضر قطر طبق بوته‌های گلرنگ تحت تأثیر سطوح رژیم آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. درواقع تأمین میزان آب کافی در مرحله پرشدن دانه اهمیت بسزایی در افزایش قطر طبق گلرنگ و در نتیجه تولید عملکرد نهایی دارد. بروز تنش خشکی در این مرحله و یا قبل‌تر از آن، در مرحله گلدهی، می‌تواند در کاهش اندازه طبق‌ها و تشکیل دانه مؤثر باشد. در این رابطه کاهش قطر طبق گیاه گلرنگ در نتیجه قطع یک نوبت آبیاری قبل و بعد از گلدهی نیز ثبت شده است (احمدپور ابنوی و همکاران، ۲۰۱۹). به نظر می‌رسد با افزایش

چامه و همکاران، ۲۰۱۶). به جهت نقش گوگرد در تولید اسیدآمین‌های سیستم‌سن و متیونین و ساخت اسیدهای چرب، دانه‌های روغنی به کاربرد مقادیر متوسطی از سولفور عکس‌العمل نشان می‌دهند. در این آزمایش استفاده از منابع گوگردی با افزایش کارایی فتوسنتزی و ارتقای ظرفیت انتقال مواد مغذی منجر به افزایش شاخص سطح برگ و ارتفاع شده است. رشد هماهنگ این صفات، شرایط فیزیولوژیک مطلوبی برای تمایز و توسعه ساختارهای زایشی فراهم کرده و سبب افزایش تعداد طبق در بوته می‌شود. بنابراین اعمال تیمارهای گوگردی به‌واسطه بهبود وضعیت رشد تحت تنش خشکی، از کاهش تعداد طبق در بوته جلوگیری نموده‌اند. در همین راستا مرادی و پاساری (۲۰۲۱) در گیاه گلرنگ گزارش دادند کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار از گوگرد گرانوله بنتونیت‌دار باعث دریافت بیشترین تعداد طبق (۱۳/۰۶) شد. این پژوهشگران همچنین ابراز داشتند استفاده از باکتری تیوباسیلوس نیز با افزایش ۸/۲۹ درصدی نسبت به تیمار شاهد تاثیر مثبتی بر تعداد طبق در بوته داشت.

باکتری بر تعداد طبق در بوته در سطح احتمال خطای پنج درصد بود (جدول ۶). نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد با افزایش طول مدت تنش وارد شده به گیاه گلرنگ از تعداد طبق در بوته کاسته شد. در سطوح آبیاری کامل و قطع آبیاری از مراحل پرشدن دانه و گلدی کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار به همراه باکتری تعداد طبق را به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۴/۷، ۱۱/۴۴ و ۱۱/۴۶ عدد نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری) به ترتیب با افزایش ۷۷/۱۰، ۴۰/۱۹ و ۶۸/۰۳ درصدی مواجه نمود (جدول ۷).

تنش قطع آبیاری موجب تسريع فرآیند رشد گیاه و ورود به مرحله زایشی می‌شود. در اثر افزایش تنش خشکی تعدادی از گل‌ها عقیم مانده و ریزش می‌کنند. افت تعداد طبق در شرایط مواجهه با تنش خشکی را می‌توان ناشی از ریزش و سقط گل‌ها و کاهش تعداد شاخه‌های جانبی دانست که در نهایت بر تعداد گل‌ها و تعداد طبق‌ها اثرگذار است. محدودیت رطوبتی با ریزش گل‌ها، سقط جنین و در نتیجه کاهش طبق نهایی همراه است (کرمی

جدول ۶ - تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر آبیاری، گوگرد بنتونیت‌دار و اسیدی تیوباسیلوس بر خصوصیات زراعی،

کیفی و کارایی مصرف آب زراعی گلرنگ

منابع تغییر	درجه آزادی	طبق در بوته	دانه در طبق	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	درصد روغن	عملکرد روغن	کارایی مصرف آب
تکرار	۲	۰/۸۷ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}	۴/۵۱*	۱۸۹۸۴ ^{ns}	۲/۸۵ ^{ns}	۱۸۱۳ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}
آبیاری (I)	۲	۱۰/۸۸ ^{**}	۴/۸۴	۵۹/۲۲ ^{**}	۹۵۰۸۶۵۱ ^{**}	۲۱۵/۵۶ ^{**}	۸۷۷۳۴۹ ^{**}	۰/۳۲۶ ^{**}
خطای اصلی	۴	۰/۶۵	۱/۰۷	۳/۱۲*	۳۵۹۸۱	۰/۴۶	۴۶۴۸	۰/۰۰۴
گوگرد بنتونیت‌دار (S)	۲	۶۸/۲۹ ^{**}	۵۰/۱۰ ^{**} ۹	۱۲۸/۲۴ ^{**}	۶۱۳۵۸۴ ^{**}	۷۵/۵۲ ^{**}	۱۶۸۴۱۵ ^{**}	۰/۰۴۱ ^{**}
اسیدی تیوباسیلوس (A)	۱	۶/۵۲ ^{**}	۳۱/۹۰ ^{**}	۴/۸۲*	۱۳۲۰۷۰۴ ^{**}	۱۱۷/۹۲ ^{**}	۳۵۴۷۵۷ ^{**}	۰/۱۱۷ ^{**}
A × S	۲	۱/۴۳*	۲۲/۹۶ ^{**}	۲۲/۳۸ ^{**}	۵۳۰۸۴ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۹۵۹۹ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}
S × I	۴	۰/۹۲ ^{ns}	۲/۴۵ ^{ns}	۵/۶۵ ^{**}	۱۲۷۸۴۰ ^{**}	۴/۴۸ ^{**}	۳۰۵۸۸ ^{**}	۰/۰۰۶ ^{ns}
A × I	۲	۱/۷۶*	۳/۲۸*	۰/۶۶ ^{ns}	۱۸۰۳۹۳ ^{**}	۱۶/۷۵ ^{**}	۴۶۷۷ ^{**}	۰/۰۱۲*
A × S × I	۴	۱/۸۹*	۴/۷۶*	۴/۰۹*	۶۶۳۸۶ ^{**}	۲/۵۶ ^{ns}	۴۳۲۸ ^{**}	۰/۰۰۳ ^{ns}
خطای فرعی	۳۰	۰/۵۰	۱/۲۱	۱/۳۳	۲۸۲۹۲	۲/۴۹	۴۱۶۰	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات (%)		۶/۵۹	۳/۲۸	۲/۹۲	۶/۴۵	۶/۵۱	۹/۸۶	۶/۹۳

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌داری در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ را نشان می‌دهد.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه جانبه بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و عملکرد روغن در گلرنگ

رژیم آبیاری	گوگرد بنتونیت‌دار (kg.ha ⁻¹)	باکتری اسیدی‌تیوباسیلیوس	تعداد طبق در بوته (number)	تعداد دانه در طبق (number)	وزن هزار دانه (gr)	عملکرد دانه (kg. ha ⁻¹)	عملکرد روغن (kg. ha ⁻¹)
آبیاری کامل	۱۵۰	A ₀	۸/۳ ^d	۲۷/۳۶ ^c	۳۶/۸۶ ^c	۲۹۶۰ ^c	۶۴۴/۲۷ ^d
			۹/۲۹ ^c	۳۱/۹۲ ^d	۳۹/۴۴ ^d	۳۰۸۳ ^c	۸۱۲/۰۷ ^c
			۱۱/۵۵ ^b	۳۸/۵۳ ^b	۴۲/۴۴ ^c	۳۳۶۳ ^b	۸۸۰/۵ ^b
			۱۱/۴ ^b	۳۵/۷۷ ^c	۴۵/۰۱ ^b	۳۳۶۵ ^a	۱۱۳۷/۲۴ ^a
			۱۱/۳۶ ^b	۳۹/۰۱ ^{ab}	۴۴/۵۷ ^b	۳۴۱۳ ^b	۹۱۰/۵۳ ^b
			۱۴/۷ ^a	۴۰/۱۸ ^a	۴۷/۸ ^a	۳۷۰۸ ^a	۱۱۵۷/۸۷ ^a
قطع آبیاری از مرحله گلدهی	۱۵۰	A ₀	۶/۸۲ ^d	۲۵/۷۷ ^c	۳۴/۸۴ ^d	۱۸۳۶ ^a	۳۲۹/۰۱ ^a
			۷/۴۷ ^c	۲۹/۶۳ ^d	۳۸/۸۸ ^c	۱۹۴۱ ^a	۳۹۰/۸۴ ^a
			۱۰/۳ ^b	۳۵/۲۸ ^c	۴۱/۴۸ ^a	۱۷۶۵ ^a	۳۵۳/۱۶ ^a
			۱۰/۰۲ ^b	۳۸/۱ ^b	۳۹/۱ ^{bc}	۱۹۴۱ ^a	۴۰۶/۱۹ ^a
			۱۱/۲۹ ^a	۳۸/۴۳ ^{ab}	۴۰/۳۵ ^b	۱۸۷۸ ^a	۴۱۹/۶۶ ^a
			۱۱/۴۶ ^a	۳۹/۳ ^a	۴۱/۵ ^a	۲۰۹۸ ^a	۴۵۴/۳۴ ^a
قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه	۱۵۰	A ₀	۸/۱۶ ^c	۲۷/۶۷ ^c	۳۶/۱۴ ^c	۲۱۴۰ ^d	۴۵۴/۰۶ ^c
			۸/۶۲ ^d	۳۱/۴ ^d	۴۱/۳۸ ^b	۲۴۹۸ ^c	۶۰۰/۶۱ ^c
			۱۰/۲۷ ^c	۳۶/۵۳ ^b	۴۵/۱۶ ^a	۲۲۷۶ ^d	۵۲۶/۳ ^d
			۱۱/۰۹ ^b	۳۵/۵۶ ^c	۴۵/۲۱ ^a	۲۸۲۶ ^b	۷۴۷/۷۳ ^b
			۱۱/۱۹ ^{ab}	۳۸/۷۸ ^{ab}	۴۴/۸۹ ^a	۲۴۲۱ ^c	۶۰۲/۰۹ ^c
			۱۱/۴۴ ^a	۳۹/۳۷ ^a	۴۲/۵۸ ^b	۳۱۳۶ ^a	۹۲۳/۷۳ ^a

در هر ستون و هر سطح آبیاری میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

A₀ = عدم کاربرد باکتری، A₁ = کاربرد باکتری

تعداد دانه در طبق

جدول ۶ حاکی از معنی‌داری برهم‌کنش سه‌گانه رژیم آبیاری × گوگرد بنتونیت‌دار × باکتری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر تعداد دانه در طبق می‌باشد. در سطح آبیاری کامل و قطع آبیاری از مراحل پرشدن دانه و گلدهی کاربرد تیمار ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار + باکتری به ترتیب موجب افزایش ۵۴/۱۶، ۴۲/۲۸ و ۵۲/۵۰ درصدی تعداد طبق در بوته نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری) شد (جدول ۶).

در این پژوهش کاهش سطح برگ، نشان از کاهش ساخت مواد فتوسنتزی در مراحل رشد زایشی را دارد. از همین رو اعمال قطع آبیاری در طول دوره رشد گیاه از

طریق محدودیت در فراهمی مواد فتوسنتزی بر گرده‌افشانی و باروری گلچه‌ها تأثیر گذاشته، موجب سقط گلچه‌ها و در نهایت کاهش تعداد دانه در طبق شده است (جابری و همکاران ۲۰۱۵). وقوع تنش خشکی در مرحله رشد زایشی موجب کاهش جذب مواد پرورده و در نتیجه کاهش فتوسنتز برگ و تولید شیره پرورده گردیده که این وضعیت عامل از بین رفتن گل‌ها و در نتیجه افزایش آسیب پذیری تشکیل دانه در طبق‌ها در شرایط تنش خشکی می‌شود (کریمی چامه و همکاران ۲۰۱۶). ظرفیت مخازن گیاه به واسطه تعداد دانه در طبق تعیین می‌شود، هر چه تعداد دانه بیشتر باشد گیاه دارای تعداد مخازن بیشتری برای مواد پرورده تولید شده است و هر عاملی که این جزء را افزایش دهد باعث افزایش

عملکرد نیز خواهد شد. بنابراین با در نظر گرفتن حضور باکتری‌های *اسیدی‌تیوباسیلوس* و توانایی آن‌ها در تحریک تولید هورمون‌های ایندول استیک‌اسید و سایتوکینین (رستمی و همکاران، ۲۰۲۲) می‌توان احتمال داد که این باکتری‌ها از طریق بهبود دسترسی به عناصر ریزمغذی با افزایش رشد ریشه‌های جانبی و سطح برگ سبب افزایش مواد فتوسنتزی شده و در ادامه باعث بهبود رشد رویشی و افزایش سهم اندام‌های زایشی از جمله تعداد دانه در طبق شده است. مطابق با نتایج حاضر، صلاحی‌فراهی و سیدی (۲۰۱۶) در مطالعات خود بر کلزا دریافتند بیشترین تعداد دانه در خورجین از تیمار ۲۰ کیلوگرم زادمایه *تیوباسیلوس* + ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد به دست آمد.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نمایانگر معنی‌داری برهم‌کنش رژیم آبیاری × گوگرد بنتونیت‌دار × باکتری بر وزن هزار دانه در سطح احتمال خطای پنج درصد می‌باشد (جدول ۶). با افزایش طول مدت قطع آبیاری از وزن هزار دانه کاسته شد و کاربرد گوگردبنتونیت‌دار و باکتری این صفت را افزایش داد. در سطح آبیاری کامل کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار + باکتری موجب افزایش ۲۹/۶۷ درصدی وزن هزار دانه شد. در سطح تنش متوسط بیشترین وزن هزار دانه (۴۵/۲۱ گرم) از تیمار ۱۵۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار + باکتری و کم‌ترین آن (۳۶/۱۴ گرم) از تیمار شاهد به دست آمد. در تنش شدید نیز کاربرد همزمان باکتری و ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار دارای بیشترین وزن هزار دانه (۴۱/۵۰ گرم) و تیمار شاهد دارای کم‌ترین وزن هزار دانه (۳۶/۱۴ گرم) بود (جدول ۷).

تنش خشکی در زمان رشد رویشی سبب کاهش طول مدت این دوره و در نتیجه کوچک‌شدن دانه‌ها می‌شود. علت کاهش وزن هزار دانه، کاهش میزان فتوسنتز و انتقال مواد به دانه‌ها است. به عبارت دیگر در پی بروز تنش اکسیداتیو، با افزایش حضور رادیکال‌های آزاد اکسیژن، انسجام ساختاری یاخته‌ها به جهت خسارت

وارد شده به غشای فسفولیپیدی، دچار آسیب شده است و بسته‌شدن روزنه‌ها از یک‌سو و کاهش جذب عناصر ضروری از سوی دیگر، موجب کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود. پیامد این رخدادها، کاهش دوره پرشدن دانه به عنوان جزئی مهم از اجزای عملکرد دانه است. بهادری و همکاران (۲۰۲۱) اعلام نمودند قطع آبیاری از مرحله گلدهی به مقدار ۶۴/۴۰ درصد وزن هزار دانه گلرنگ را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. ایشان علت افت وزن هزار دانه را به کاهش توان فتوسنتزی و توزیع مواد ذخیره‌ای نسبت دادند. گوگرد با افزایش تولید و تکامل دانه‌ها، به دلیل دسترسی بیشتر به مواد فتوسنتزی و بهبود فرآیندهای متابولیکی، زمینه را برای پرشدن بهتر دانه‌ها فراهم می‌کند. در نتیجه گوگرد با افزایش ظرفیت تولید دانه، به طور غیرمستقیم وزن هزاردانه را نیز افزایش می‌دهد. افزایش وزن هزار دانه هم‌راستای این یافته‌ها، تحت کاربرد *تیوباسیلوس* در کنجد (رضایی و همکاران ۲۰۱۷) و کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار در کاملینا (رستمی و همکاران ۲۰۲۲) گزارش شده است.

عملکرد دانه

اطلاعات حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۶) نمایانگر معنی‌دار شدن برهم‌کنش سه‌گانه رژیم آبیاری × گوگرد بنتونیت‌دار × باکتری در سطح احتمال خطای یک درصد بر عملکرد دانه می‌باشد. مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه نشان داد در سطح آبیاری کامل بیشترین عملکرد دانه در تیمار باکتری + ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار حاصل شد که با تیمار شاهد اختلاف ۲۵/۲۸ درصدی داشت و همراه با تیمار ۱۵۰ کیلوگرم گوگرد + باکتری در یک گروه آماری قرار گرفتند. در سطح قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه بیشترین عملکرد دانه گلرنگ (با میانگین ۳۱۳۶ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار به همراه کاربرد باکتری و کم‌ترین آن (با میانگین ۲۱۴۰ کیلوگرم در هکتار) از تیمار عدم کاربرد گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری به دست آمد. در

درصد روغن دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها گویای معنی‌داری برهم‌کنش‌های گوگرد بنتونیت‌دار $\times$ رژیم آبیاری و باکتری $\times$ رژیم آبیاری برای درصد روغن دانه در سطح احتمال خطای یک درصد است (جدول ۶). مطابق با جدول ۷ در سطوح آبیاری کامل و قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار درصد روغن دانه را به ترتیب ۲۰/۰۶ و ۱۸/۵۳ درصد افزایش داد. همچنین مقایسه میانگین سطوح باکتری نشان داد در سطوح آبیاری کامل و قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه کاربرد باکتری ۱۸/۰۵ و ۱۵/۳۳ درصد، روغن دانه را بهبود بخشید. تیمارهای گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری در سطح تنش شدید تفاوت آماری ایجاد نکردند (جدول ۸).

با افزایش طول مدت تنش خشکی، به ویژه در دوره رسیدگی دانه، درصد روغن دانه کاهش می‌یابد. در واقع به دنبال کاهش قابلیت توانایی فتوسنتزی در زمان قطع آبیاری، میزان دریافت کربن و در نتیجه تشکیل اسکلت کربنی جهت ساخت اسیدهای چرب کاهش می‌یابد و پیامد آن در نهایت منجر به کاهش درصد روغن دانه می‌شود. همچنین اعمال قطع آبیاری به دلیل ایجاد اختلال در فرآیند پرشدن دانه، عامل کاهش وزن می‌باشد. در نتیجه نسبت پوسته به مغز را افزایش داده و روغن دانه کاهش یافته است (پارسا مطلق و همکاران ۲۰۲۱). پژوهشگران بر این باورند که درصد روغن تحت کنترل عوامل ژنتیکی بوده، اما فراهمی عناصر ضروری در مرحله فعالیت‌های حیاتی و حساس گیاه می‌تواند بر میزان فتوسنتز و تولید متابولیت‌های گیاه تأثیر گذاشته و در نهایت به انباشت روغن کمک کند (اوسطی و همکاران ۲۰۲۴). با توجه به نقش ساختاری گوگرد در سنتز روغن می‌توان نتیجه‌گیری کرد که باکتری‌های *اسیدی‌تیوباسیلوس* به همراه گوگرد بنتونیت‌دار، توانسته‌اند از طریق اکسایش گوگرد در تأمین این عنصر نقش مثبتی ایفا کرده و منجر به افزایش روغن دانه در تیمارهای مذکور شوند. همسو با نتایج این تحقیق، قادری و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی خصوصیات کیفی کلزا نشان دادند بیشترین درصد روغن دانه (۴۱/۸۷ درصد)

سطح قطع آبیاری از مرحله گلدهی نیز تمامی تیمارهای مورد بررسی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۶). ریزش طبق‌ها به دلیل کاهش آب آبیاری از یک سو و کمبود میزان مواد فتوسنتزی قابل انتقال به دانه‌ها از سوی دیگر، عامل کاهش اجزای عملکرد و در نهایت افت عملکرد دانه بوده است. به نظر می‌رسد تنش آبی در مرحله گلدهی منجر به تسریع پیری، کاهش شاخص سطح برگ و کاهش سرعت رشد محصول همراه با کوتاه شدن طول دوره پرشدن دانه گردیده است. در نتیجه تجمع ماده خشک و عملکرد دانه در این مرحله به شدت کاسته شده است. موسوی و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیان نمودند اعمال قطع آبیاری از مراحل گلدهی و پرشدن دانه به ترتیب ۳۲/۳ و ۱۹/۹۳ درصد با کاهش عملکرد گلرنگ همراه بوده است. تأثیر کاربرد گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری بر میزان عملکرد دانه را علاوه بر نقش مستقیم گوگرد در تغذیه گیاه، می‌توان به تأثیر آن‌ها در کاهش موضعی pH خاک در اطراف ریشه‌ها نیز نسبت داد که به حلالیت عناصر تثبیت شده در خاک‌های آهکی کمک کرده (اله‌دادی ۲۰۲۴) و افزایش عملکرد را به همراه دارد. در پژوهش حاضر به نظر می‌رسد سطح برگ بیشتر و ماده خشک بیشتر قبل از گرده‌افشانی منجر به ذخیره مواد فتوسنتزی در ساقه و برگ‌ها شده است. از این جهت انتقال آسیمیلات‌ها به دانه و افزایش عملکرد در واحد سطح را در پی داشته است. همچنین مشاهده شد تعداد دانه در طبق با افزایش گوگرد، افزایش یافت. به عبارتی گیاه، گوگرد را برای تولید تعداد طبق و تعداد دانه‌های بیشتر مصرف کرده است؛ بنابراین علت افزایش عملکرد گلرنگ به دنبال مصرف گوگرد بنتونیت‌دار، افزایش تعداد دانه در طبق می‌باشد. مطابق با این پژوهش، مرادی و پاساری (۲۰۲۱) در گلرنگ گزارش دادند کاربرد ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار از گوگرد گرانوله بنتونیت‌دار عملکرد دانه را ۱۶/۵۴ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. همچنین پیرامون کاربرد *تیوباسیلوس* در کاهش مصرف کودهای شیمیایی نیز در گیاه کنجد رضایی و همکاران (۲۰۱۷) ابراز داشتند با اعمال تیمار بیوسولفور، عملکرد دانه به نسبت کاربرد کودهای جداگانه و ترکیبی نیتروژن و فسفر اختلاف معنی‌داری نداشت.

با کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار زادمایه *Thiobacillus neapolitanus* + ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد به دست آمد.

عملکرد روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۶) نمایانگر معنی‌دار شدن برهم‌کنش سه‌گانه رژیم آبیاری × گوگرد بنتونیت‌دار × باکتری در سطح احتمال خطای یک درصد بر عملکرد روغن دانه بود. مقایسه میانگین نشان داد با افزایش طول مدت قطع آبیاری از عملکرد روغن دانه گلرنگ کاسته شد و کاربرد گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری نسبت به شاهد عملکرد روغن دانه را افزایش داد. به‌طوری که در سطح آبیاری کامل بیشترین عملکرد روغن دانه در تیمار ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار به همراه باکتری (با میانگین ۱۱۵۷/۸۷ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که با تیمار کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم

گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار به همراه باکتری در یک گروه آماری قرار گرفت و موجب افزایش ۷۹/۷۱ درصدی عملکرد روغن دانه نسبت به تیمار شاهد شد. در سطح قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه نیز بیشترین و کم‌ترین عملکرد روغن متعلق به تیمار کاربرد همزمان ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار + باکتری و تیمار شاهد بود که افزایش ۱/۰۳ برابری را در پی داشت (جدول ۷).

از دلایل کاهش عملکرد روغن در شرایط تنش خشکی، افزایش میزان اکسیداسیون اسیدهای چرب و در نتیجه کاهش درصد روغن است. همچنین کاهش مواد فتوسنتزی عرضه شده برای پرشدن دانه، کاهش طول دوره پرشدن دانه و در نتیجه کمبود کربوهیدرات‌های قابل دسترس در شرایط تنش، از جمله عوامل مهم افت عملکرد روغن است.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات دوجانبه آبیاری × گوگرد بنتونیت‌دار و آبیاری × اسیدی‌تیوباسیلوس بر درصد روغن و کارایی مصرف آب زراعی در گلرنگ

رژیم آبیاری	گوگرد بنتونیت‌دار (kg. ha ⁻¹)	درصد روغن	کارایی مصرف آب زراعی (kg.m ⁻³)
آبیاری کامل	۰	۲۴/۳۹ ^b	
	۱۵۰	۲۸/۷۸ ^a	
	۳۰۰	۲۸/۹۱ ^a	
قطع آبیاری از مرحله گلدهی	۰	۱۹/۰۳ ^a	
	۱۵۰	۲۰/۴۸ ^a	
	۳۰۰	۲۲/۰۵ ^a	
قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه	۰	۲۲/۶۳ ^c	
	۱۵۰	۲۴/۷۵ ^b	
	۳۰۰	۲۷/۱۷ ^a	
آبیاری کامل	A ₀	۲۵/۰۹ ^b	۰/۶۷ ^a
	A ₁	۲۹/۶۲ ^a	۰/۷۲ ^a
قطع آبیاری از مرحله گلدهی	A ₀	۲۰/۱۲ ^a	۰/۸۹ ^b
	A ₁	۲۰/۹۲ ^a	۰/۹۷ ^a
قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه	A ₀	۲۳/۰۸ ^b	۰/۶۳ ^b
	A ₁	۲۶/۶۲ ^a	۰/۷۸ ^a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.
A₀ = کاربرد باکتری، A₁ = بدون کاربرد باکتری

عملکرد روغن دانه ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ خبر دادند. این پژوهشگران پیرامون عملکرد روغن بیان داشتند

مطابق با این نتایج طبیب لقمانی و همکاران (۲۰۲۰) نیز از تأثیر منفی و معنی‌دار تنش خشکی بر درصد و

بیشترین و کمترین مقدار این صفت به ترتیب از آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله ظهور غوزه‌ها مشاهده شد. اثرگذاری گوگرد بنتونیت‌دار جهت افزایش عملکرد روغن ناشی از حضور پایه‌ای عنصر گوگرد در افزایش فعالیت تعدادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و بهبود فعالیت غشاهای لیپیدی (به دلیل مشارکت در ساختار کوآنزیم A) می‌باشد. در این تحقیق کاربرد گوگرد بنتونیت‌دار به دلیل افزایش متابولیسم چربی‌ها و رفع به‌موقع نیاز گیاه سبب افزایش درصد و عملکرد روغن در گلرنگ شد. تأثیر مثبت و معنی‌دار باکتری تیوباسیلوس در سویا (شهرسوند و همکاران، ۲۰۱۹) و کاربرد گوگرد در کنجد (رضوانی‌مقدم و همکاران، ۲۰۱۴) برای افزایش عملکرد روغن، هم‌راستای با نتایج حاضر مطرح شده است.

کارایی مصرف آب زراعی

نتایج جدول ۶ بیانگر معنی‌داری برهم‌کنش دوگانه باکتری × رژیم آبیاری بر کارایی مصرف آب زراعی در سطح احتمال ۵ درصد است. مقایسه میانگین نشان از روند صعودی کارایی مصرف آب زراعی با افزایش تنش وارد شده بر گلرنگ دارد، به‌طوری که در سطح قطع آبیاری از مرحله گلدهی، بیشترین کارایی مصرف آب زراعی (۰/۹۷ کیلوگرم بر مترمکعب) مشاهده شد. اگرچه اختلاف معنی‌داری در سطح آبیاری کامل بین کاربرد و عدم کاربرد باکتری مشاهده نشد؛ در سطوح قطع آبیاری از مرحله گلدهی و پرشدن دانه کاربرد باکتری به ترتیب افزایش ۸/۹۸ و ۲۳/۸۰ درصدی کارایی مصرف آب زراعی را به همراه داشت (جدول ۸).

در شرایط کمبود آب، گیاه قادر است روزنه‌ها را تا حدودی بسته‌تر نگه دارد. این امر بر خروج آب از گیاه، ورود دی‌اکسید کربن و تجمع ماده خشک اثر می‌گذارد. در چنین وضعیتی ممکن است خروج آب به میزان بیشتری تحت تأثیر قرار گیرد و در نتیجه نسبت ورودی و خروجی در گیاه (کارایی مصرف آب) افزایش یابد. در طرف دیگر گلرنگ قابلیت سازگاری با شرایط متنوع رشد را داراست. در این راستا گلرنگ علاوه بر اینکه تحت تنش خشکی قادر به حفظ میزان هدایت روزنه‌ای، قابلیت

نگهداری پتانسیل آب برگ و تراکم روزنه‌ای است، نسبت فتوسنتز به میزان تعرق را حتی در مقادیر پایین پتانسیل آب برگ، بهبود می‌بخشد. این افزایش در کارایی آسیمیلاسیون باعث می‌شود در شرایط اعمال تنش خشکی، قادر به تولید مقادیر عملکرد برابر و یا نزدیک به شرایط نرمال آبیاری بوده و در نتیجه کارایی مصرف آب زراعی بالاتری را نشان دهد. هم‌سو با این نتایج فتوحی امیرخیز و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند کم آبیاری در ناحیه ریشه، کارایی مصرف آب زراعی گلرنگ را در مقایسه با آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری افزایش داد. تیمار اسیدی‌تیوباسیلوس جهت تعدیل اثرات سوء قطع آبیاری و در نتیجه بهبود عملکرد دانه در شرایط تنش عمل نموده است. درواقع افزایش میزان عملکرد دانه به‌دلیل عمل تسهیل‌کنندگی باکتری در بهبود جذب آب و عناصر غذایی جهت انتقال به اندام‌های هوایی و در نتیجه افزایش تولید مواد فتوسنتزی جهت انتقال به دانه بوده است.

کارایی مصرف گوگرد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد برهم‌کنش گوگرد بنتونیت‌دار × رژیم آبیاری و برهم‌کنش باکتری × رژیم آبیاری در سطح احتمال خطای یک درصد بر کارایی مصرف گوگرد معنی‌دار بود (جدول ۹). برهم‌کنش گوگرد بنتونیت‌دار × رژیم آبیاری مشخص کرد در سطح آبیاری کامل، کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار بیشترین کارایی مصرف گوگرد را با میانگین ۲۳/۳۲ کیلوگرم بر کیلوگرم به دنبال دارد. در سطوح قطع آبیاری از مراحل پرشدن دانه و گلدهی تیمار ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار در مقایسه با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار کاهش ۴۵/۵۶ و ۴۶/۳۹ درصدی کارایی مصرف گوگرد را به همراه داشت (جدول ۱۰). تحت سطوح اسیدی‌تیوباسیلوس × رژیم آبیاری، کاربرد باکتری موجب افزایش ۲۰/۱۴، ۲۶/۰۷ و ۱۰/۵۴ درصدی کارایی مصرف گوگرد به‌ترتیب در رژیم‌های آبیاری کامل و قطع آبیاری از مراحل پرشدن دانه و گلدهی گردید (جدول ۱۰).

این شاخص نشان می‌دهد گیاهانی که در غلظت‌های پایین گوگرد بتوانند فعالیت‌های متابولیکی را در بافت‌ها و اندام‌های خود طوری تنظیم کنند که وزن خشک بالایی را به‌ازای واحد گوگرد جذب شده تولید کنند، کارایی مصرف گوگرد بالایی دارند. یافته‌ها حاکی از کاهش کارایی مصرف گوگرد با افزایش مصرف آن در گلرنگ است. این کاهش می‌تواند بیانگر آن باشد که رابطه مصرف تیمار گوگرد بنتونیت‌دار و افزایش عملکرد گیاه خطی نیست. عکس‌العمل گیاهان زراعی به گوگرد اضافه شده متأثر از عوامل خاکی از جمله اسیدیته، هدایت الکتریکی و میزان کربنات کلسیم می‌باشد. پایین بودن کارایی مصرف گوگرد ممکن است تا اندازه‌ای مربوط به خاصیت قلیایی یا آهک طبیعی خاک باشد که منجر به تثبیت گوگرد و غیر قابل استفاده شدن آن برای گیاه

می‌گردد. در پژوهشی با گیاه کلزا بیان شد بیشترین میزان کارایی مصرف گوگرد از برهم‌کنش کود شیمیایی (۵۰ کیلوگرم نیتروژن + ۲۰۰ کیلوگرم فسفر + ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد) و باکتری‌های حل‌کننده فسفات (*Pantoea agglomerans* 5P و *Pseudomonas putida*) P13 به میزان ۱۲/۶۲ کیلوگرم بر کیلوگرم مشاهده شد. همچنین اثرات جداگانه هر یک از این تیمارها نیز بر کارایی مصرف گوگرد معنی‌دار بود (حسینی و همکاران، ۲۰۲۱). تلقیح ریزموجودات اکسیدکننده گوگرد در آزمایش حاضر منجر به افزایش کارایی مصرف گوگرد گیاه گلرنگ شد. این مطلب را می‌توان به توانایی ریزموجودات در اکسیداسیون گوگرد و افزایش فراهمی و جذب گوگرد برای گیاهان نسبت داد.

جدول ۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) کارایی مصرف گوگرد در گلرنگ تحت تاثیر تیمارهای آبیاری، گوگرد بنتونیت‌دار و اسیدی‌تیوباسیلوس

منابع تغییر	درجه آزادی	کارایی مصرف گوگرد
تکرار	۲	۱/۰۸ ^{ns}
آبیاری (I)	۲	۱۹۷/۸۳ ^{**}
خطای اصلی	۴	۲/۱۰
گوگرد بنتونیت‌دار (S)	۱	۶۲۱/۶۷ ^{**}
اسیدی‌تیوباسیلوس (A)	۱	۲۸/۹۲ ^{**}
A × S	۱	۱/۶۳ ^{ns}
S × I	۲	۲۵/۳۴ ^{**}
A × I	۲	۳/۵۶ ^{**}
A × S × I	۲	۰/۱۳ ^{ns}
خطای فرعی	۱۸	۰/۴۸
ضریب تغییرات (%)		۵/۲۰

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ را نشان

می‌دهد.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثرات دوجانبه آبیاری × گوگرد بنتونیت‌دار و آبیاری × اسیدی‌تیوباسیلوس بر کارایی مصرف گوگرد در گلرنگ

رژیم آبیاری	گوگرد بنتونیت‌دار (kg. ha ⁻¹)	کارایی مصرف گوگرد (kg.kg ⁻¹)
آبیاری کامل	۱۵۰	۲۳/۳۲ ^a
	۳۰۰	۱۱/۸۶ ^b
قطع آبیاری از مرحله گلدهی	۱۵۰	۱۲/۳۵ ^a
	۳۰۰	۶/۶۲ ^b
قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه	۱۵۰	۱۷/۰۱ ^a
	۳۰۰	۹/۲۶ ^b
آبیاری کامل	A ₀	۱۶/۹ ^b
	A ₁	۱۸/۲۹ ^a
قطع آبیاری از مرحله گلدهی	A ₀	۹/۰۱ ^b
	A ₁	۹/۹۶ ^a
قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه	A ₀	۱۱/۶۲ ^b
	A ₁	۱۴/۶۵ ^a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

A₀ = عدم کاربرد باکتری، A₁ = کاربرد باکتری

نتیجه‌گیری

تیمار تنش شدید (قطع آبیاری از مرحله گلدهی) منجر به بیشترین کاهش معنی‌دار صفات ریخت‌شناسی (ارتفاع (% ۲۶/۰۵)، شاخص سطح برگ (% ۴۸/۵۹)، تعداد شاخه جانبی (% ۱۳/۰۷)، قطر ساقه اصلی (% ۱۱/۷۱) و قطر طبق اصلی (% ۱۰/۳۱))، اجزای عملکرد و عملکرد دانه (% ۶۱/۲۲) و عملکرد روغن (% ۹۵/۸۲) در گلرنگ تابستانه رقم فرامان شد. بیشترین میزان عملکرد دانه و عملکرد روغن در آبیاری کامل و کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار + باکتری (به میزان ۳۷۰۸ و ۱۱۵۷/۸۷ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۵۰ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار + باکتری نداشت. استفاده از گوگرد بنتونیت‌دار و باکتری در تیمارهای قطع آبیاری باعث کاهش اثرات منفی کم‌آبیاری بر صفات ریخت‌شناسی، اجزای عملکرد، عملکرد دانه و عملکرد روغن شد. مصرف ۳۰۰ کیلوگرم

گوگرد بنتونیت‌دار در هکتار به همراه باکتری دارای بالاترین تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه و عملکرد روغن تحت شرایط تنش بود. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش، در خاک‌های دارای pH کمی قلیایی (۷/۵-۸/۰) می‌توان از مخلوط باکتری‌های اسیدی‌تیوباسیلوس به همراه گوگرد بنتونیت‌دار (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) تحت شرایط بدون تنش و همچنین جهت افزایش تحمل به تنش کم‌آبی جهت کشت گلرنگ (رقم فرامان) استفاده کرد.

سپاسگزاری

نویسندگان از جناب دکتر رضا نقی‌ها استادیار گروه پاتوبیولوژی دانشگاه شهید چمران اهواز، به جهت راهنمایی و همکاری در فرآیند تلقیح بذر با سوسپانسیون باکتری‌های اسیدی‌تیوباسیلوس (از طریق تهیه سرم فیزیولوژیک)، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

- Ahmadpour Abnvi S, Ramroudi M, Galavi M and Shamsaddin Saied M. 2019. Effect of Biological and Chemical Phosphorus Fertilizer on Yield and Yield Components of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Low Irrigation Conditions. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29(1): 269-284. (In Persian with English Abstract).
- Alahdadi, H. 2024. The influence of *Thiobacillus* spp. along with bentonite sulfur on agronomic and physiological characteristics of summer safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivar Faraman under drought stress. Master's thesis in the field of agrotechnology - field of crop physiology, Faculty of Agriculture, Yasouj University. (In Persian with English Abstract).
- Bahadori F, Bijanzadeh E and Behpouri A. 2021. Investigation of delayed planting and cutting off irrigation effect on biochemical traits, relative water content and yield of two safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. Environmental Stresses in Crop Sciences, 14(3): 605-618. Doi: 10.22077/escs.2020.3173.1810 (In Persian with English Abstract).
- Bonari A, mousavinic M, behdani MA and besharati H. 2013. Effect of sulphur fertilizer and nitrogen split application on yield and its components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Crop Production, 6(3): 1-15. Dor: 20.1001.1.2008739.1392.6.3.1.1 (In Persian with English Abstract).
- Devi KN, Singh LNK, Singh MS, Singh SB and Singh KK. 2012. Influence of sulphur and boron fertilization on yield, quality, nutrient uptake and economics of soybean (*Glycine max*) under upland conditions. Journal of Agricultural Science, 4(4): 421-431. Doi: 10.5539/jas.v4n4p1
- FAO. 2019. Organic manures and biofertilizers. www.fao.org/tempref/docrep/fao/009/a0257e/a0257e05.pdf.
- Fathi Amirkhiz K, Amini Dehaghi M, Modarres Sanavy SAM and Rezazadeh A. 2021. Effect of deficit irrigation and foliar application of polyamines on seed and oil yields, water use efficiency and fatty acids production in spring safflower seed oil (*Carthamus tinctorius* L.). Iranian Journal of Field Crop Science, 52(3): 79-96. Doi: 10.22059/IJFCS.2020.305009.654732 (In Persian with English Abstract).
- Ghaderi J, Davoodi MH and 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. Doi: 10.22092/IJSR.2021.354082.595 (In Persian with English Abstract).
- Hasanuzzaman M, Bhuyan MHMB, Mahmud JA, Nahar K, Mohsin SM, Parvin K and Fujita M. 2018. Interaction of sulfur with phytohormones and signaling molecules in conferring abiotic stress tolerance to plants. Plant Signaling and Behavior, 13(5): e1477905-(1-5). Doi: 10.1080/15592324.2018.1477905
- Hassani M, Tadayon M R and Fadaei Tehrani AA. 2021. The effect of chemical and biological fertilizers on leaf characteristics, yield and nutrient uptake and consumption efficiency, phosphorus and sulfur in *Camelina sativa* L. Plant Process and Function, 10 (45) :123-140. Dor: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.4.2 (In Persian with English Abstract).
- Jaberi H, Lotfi B, Jamshidnia T, Fathi A, Olad R and Abdollahi A. 2015. Survey of yield of winter canola cultivars under drought stress on the yield at four different phonological stages. Scientia, 12(3):144-148. Doi: 10.15192/PSCP.SA.2015.12.3.144148
- Jahan B, Rasheed F, Sehar Z, Fatma M, Iqbal N, Masood A and Khan NA. 2021. Coordinated role of nitric oxide, ethylene, nitrogen, and sulfur in plant salt stress tolerance. Stresses, 1:181– 199. Doi: 10.3390/stresses1030014
- Jaivani M, Weisany W, Jabari H and Diyanat M. 2022. Zinc foliar application on alleviating effects of irrigation cut-off in grain filling stage of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Water and Soil Resources Conservation, 11(3): 111-125. Doi: 10.30495/wsrecj.2022.19237 (In Persian with English Abstract).
- Johnson CM and Ulrich A. 1959. Analytical methods for use in plant analysis. California Agriculture Experiment Study Bulletin. 766: 52-78.
- Karami Chame S, Khalil-Tahmasbi B, ShahMahmoodi P, Abdollahi A, Fathi A, Seyed Mousavi SJ and Bahamin S. 2016. Effects of salinity stress, salicylic acid and Pseudomonas on the physiological

- characteristics and yield of seed beans (*Phaseolus vulgaris*). Scientia, 14(2): 234-238. DOI: 10.15192/PSCP.SA.2016.14.2.234238
- Krouma A, Fujimura T and Abdely C. 2015. Growth, photosynthetic activity and water relations three Tunisian chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) subjected to a progressive water deficit stress. Agricultural Science Research Journal, 5(12): 206-214.
- Matthaus B, Özcan MM and Al Juhaimi FY. 2015. Fatty acid composition and tocopherol profiles of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed oils. Natural Product Research, 29(2): 193-196. Doi: 10.1080/14786419.2014.971316
- Rezvani Moghaddam P, Amiri MB and Seyyedi SM. 2014. Effect of organic and bio-fertilizers application on yield, oil content and fatty acids composition of sesame (*Sesamum indicum* L.). Iranian Journal of Crop Sciences, 16(3): 209-221. Dor: 20.1001.1.15625540.1393.16.3.4.3 (In Persian with English Abstract).
- Moradi O and Pasari B. 2022. Influence of Sulfur Fertilizers and Nano-potassium Foliar Application on Morphologic ,Agronomic Characters and Quality of Seed Safflower. Sustainable Agricultural Science Research, 2(2): 27-43. Doi: 10.30495/sarj.2022.1964744.1082 (In Persian with English Abstract).
- Mosavi SM, Bijanzadeh E, Zinati Z and Barati V. 2020. Evaluation of photosynthetic pigments, antioxidant enzyme activity and seed yield of safflower cultivars under cutting off irrigation. Journal of Crops Improvement, 22(4): 571-586. Doi: 10.22059/jci.2020.294130.2317 (In Persian with English Abstract).
- NoorBakhsh F, Behdani MA, Jami Al-Ahmadi M and Mahmodi S. 2014. Evaluation of integrated impact of sulfur and Thiobacillus on qualitative and morphological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal Of Agroecology, 6(1): 51-59. Doi: 10.22067/JAG.V6I1.35657 (In Persian with English Abstract).
- Osati F, Mir Mahmoodi T and Safarpour H. 2023. Evaluation of the Quantitative, Qualitative, and Antioxidant Activity of Castor Plant (*Ricinus communis* L.) under Drought Stress Conditions and Fertilizer Treatments. Iranian Journal of Field Crop Science, 54(4): 187-200. Doi: 10.22059/ijfcs.2023.356881.654992 (In Persian with English Abstract).
- Parsa Motlagh B, Mirmiran SM, Fateminick F and Mahmoudi M. 2021. Evaluation of drought stress on unsaturated fatty acids and some physiological traits of four safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in Jiroft. Environmental Stresses in Crop Sciences, 14(3): 619-627. Doi: 10.22077/escs.2020.3179.1812 (In Persian with English Abstract).
- Poisson E, Trouverie J, Brunel-Muguet S, Akmouche Y, Pontet C, Pinochet X and Avice JC. 2019. Seed yield components and seed quality of oilseed rape are impacted by sulfur fertilization and its interactions with nitrogen fertilization. Frontiers in plant science, 10, 458. Doi: 10.3389/fpls.2019.00458
- Rashidi S. 2021. The study Effect of teratments salicylic acid and selenium on physiological and agronomic characteristics of safflower in drought stress conditions. Journal of Plant Environmental Physiology, 16(64): 127-140. Doi:10.30495/iper.2022.688789 (In Persian with English Abstract).
- Razavipour Komle T, Siavash Moghaddam S, Davalit B, and Jallo F. 2019. Organic and biological fertilizers and their importance in sustainable agriculture. National Rice Research Institute. First Edition.
- Rahimi N, Jalilian J, Pirzad A and Gholinezhad E. 2020. Evaluation of grain and oil yield changes of linseed (*Linum usitatissimum* L.) as affected by bio-fertilizers and supplementary irrigation. Journal of Plant Ecophysiology, 41(12): 41-52. Dor: 20.1001.1.20085958.1399.12.41.4.1 (In Persian with English Abstract).
- Rasool FU, Hasan B, Jahangir IA, Ali T and Mubarak T. 2013. Nutritional yield and economic responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to integrated levels of nitrogen, sulphur and farmyard manure. Journal of Agricultural Sciences, 8(1): 17-27.
- Rezaee P, Kochaki A, Nasiri M and jahan M. 2017. Yield and Yield Components of Sesame Influenced by Chemical and Biological Fertilizers and Irrigation Levels. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 27(4); 172-189. (In Persian with English Abstract).

- Rostami H, Abbasi N and Hajinia S. 2022. Evaluation of yield and yield components and quality of camelina grain oil under fertilizer application. Iranian Journal of Field Crop Science, 53(4); 245-260. Doi: 10.22059/IJFCS.2022.331029.654863 (In Persian with English Abstract).
- Salahi Farahi M and Sayyedi F. 2016. The effect of combination of sulfur with Thiobacillus, and zinc on yield, yield components and oil percent of canola (*Brassica napus* L.) cv RGS003 in Gonbad region. 2 (2): 35-46. (In Persian with English Abstract).
- Salem G, Stromberger ME, Byrne PF, Manter DK, El-Fekid W and Weir TL. 2018. Genotype-specific response of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) to irrigation and inoculation with ACC deaminase bacteria. Rhizosphere, 8: 1-7. Doi: 10.1016/j.rhisph.2018.08.001
- Seyyedi SM, Khajeh-Hosseini M, Rezvani Moghaddam P and Shahandeh H. 2015. Relation between the increasing soluble phosphorus and nitrogen uptake and its effects on phosphorus harvest index of black seed. Iranian Journal of Field Crop Science, 46(1): 25-36. Doi:10.22059/IJFCS.2015.54043 Quoted by: Sadeghi M. 2022. Evaluating the effect of biological and chemical phosphorus fertilizers on the yield and efficiency of phosphorus consumption of rapeseed (*Brassica napus* L.) in Deshtrum Boyer Ahmad region. Master's thesis in the field of agrotechnology - crop physiology, Faculty of Agriculture, Yasouj University. (In Persian with English Abstract).
- Shahidi HS, Sajedi NA and Dehghanzadeh H. 2023. Effect of Selenium Application on Yield, Yield Components and Oil Percentage of Two Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars Under Water Deficit Irrigation Conditions. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 33(2): 105-116. Doi: 10.22034/saps.2022.51483.2871 (In Persian with English Abstract).
- Shahrusvand S, Eivsand HR, Nazarian Firozabadi F and Feizian M. 2019. Effect of Sulphur and Vermicompost Application on Agronomic Traits of Hubbit Cultivar of Soybean (*Glycine max* L.). Journal of Crop Ecophysiology, 51(13): 447-460. Doi: 10.30495/jcep.2019.669715 (In Persian with English Abstract).
- Shojaeian Kish F, Yadavi A, Movahhedi Dehnavi M, Salehi A and Hamidian M. 2021. Improvement of Physiological Characteristics and Nutrient Uptake of Linseed (*Linum usitatissimum*) with Biofertilizers Application under Irrigation Withholding at Different Growth Stages. Plant Process and Function, 10 (44): 265-282. Dor: 20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5 (In Persian with English Abstract).
- Tabib Loghmani SM, Taghi, Bazrafshan f, Alizadeh O, Amiri B, Bahrani, A. 2020. Evaluation of Some Physiological Traits and Oil Yield in Different Safflower Genotypes under Irrigation Interruption. Journal of Plant Ecophysiology, 43(12): 160-170. Dor: 20.1001.1.20085958.1399.12.43.14.5 (In Persian with English Abstract).
- Timachi F, Armin M, Jamimoeini M and Abhari A. 2020. Physiological response of cumin to times and type of stress modulator in rain-fed and irrigated conditions. Russian Journal of Plant Physiology, 67(6): 1163-1172. Doi: 10.1134/S1021443720060175
- Timmons DR, Holt RF and Thompson RL. 1967. Effect of Plant Population and Row Spacing on Evapotranspiration and Water-Use Efficiency by Soybeans 1. Agronomy Journal, 59(3): 262-265. Doi: 10.2134/agronj1967.00021962005900030018x
- Vaghar MS. 2021. Improvement of leaf area index and leaf chlorophyll concentration (SPAD) soybean by Fe, Zn and Mn nano-chelates foliar application under limited irrigation conditions. Applied Biology, 44(11): 91-108. (In Persian with English Abstract).
- Wijewardana C, Reddy KR and Bellaloui N. 2018. Soybean seed physiology, quality, and chemical composition under soil moisture stress. Food Chemistry, 278(1): 92 - 100. Doi: 10.1016/j.foodchem.2018.11.035
- Zanetti F, Angelini LG, Berzuini S, Foschi L, Clemente C, Ferioli F, Vecchi A, Rossi A, Monti A and Tavarini, S. 2022. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) a winter multipurpose oilseed crop for the Mediterranean region: Lesson learnt from on-farm trials. Industrial Crops and Products. 184: 115042. Doi: 10.1016/j.indcrop.2022.115042