Original Article

Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)

Fall 2025, Vol.3, No.11, pp 25 - 46

10.22077/JDCR.2025.8746.1107

Investigating the Effect of Water Stress and Different Feeding Methods on Some Functional, Physiological, and Qualitative Traits of Safflower (Carthamus Tinctorius L.)

Mohammadhadi Arian[1], Mohammadjavad Seghataleslami[2*], Reza Baradaran[3], Mehdi Ebrahimi[4]

1- PhD Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Bi.C., Islamic Azad University, Birjand, Iran.

2- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Bi.C., Islamic Azad University, Birjand, Iran.

3- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Bi.C., Islamic Azad University, Birjand, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Optimization of Production and Processing of South Khorasan's Indigenous Medicinal Plants, ACECR of South Khorasan Province, Birjand, Iran.

***Corresponding Author: m.seghatoleslami@iau.ir**

Keywords:
Water Stress, Organic Fertilizers, Chemical Fertilizers, Environmental Stress, Grain Yield

Received:
15 Jan 2025

Revised:
28 Feb 2025

Accepted:
05 Mar 2025

Extended Abstract

Introduction

Water stress is one of the most significant environmental stresses that affects the performance of many crops by altering physiological and biochemical processes. It is also the most common and impactful environmental stress that causes damage to crops worldwide each year. Additionally, the type of plant nutrition plays a crucial role in influencing the quantitative and qualitative performance of agricultural products. This research aims to investigate the effects of organic and chemical fertilizers, as well as water stress, on the functional, physiological, and quality traits of the safflower plant.

Materials and Methods

To investigate the effect of nutrition methods and water stress on the functional, physiological, and qualitative traits of safflower, this research was conducted using a split-plot design based on a randomized complete block design with three replications over two cropping years (2019–2020 and 2020–2021) at the research farm of Jahad Daneshgahi in Birjand. The irrigation regime included two levels: full irrigation (100% of the plant's water requirement) and water stress (50% of the water requirement) as the main factor, along with eight nutritional treatments as sub-factors. These nutritional treatments were: control, NPK, humic acid (HA), phosphate fertilizer-2 (PB-2), NPK +

How to cite this article:
Arian, M; Seghataleslam, M; Baradaran, R & Ebrahimi, M. (2025). Investigating the Effect of Water Stress and Different Feeding Methods on Some Functional, Physiological, and Qualitative Traits of Safflower (Carthamus Tinctorius L.). *Journal of Drought and Climate change Research* (JDCR), 3(11), 25-46. 10.22077/JDCR.2025.8746.1107

Copyright: Authors retain the copyright and full publishing rights. Licensee Journal of Drought and Climate change Research (JDCR). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

HA, NPK + PB-2, HA + PB-2, and NPK + HA + PB-2.

The traits investigated in the safflower plant during this experiment included physiological, functional, and qualitative characteristics, as follows:

Functional traits: number of bolls per plant, number of bolls per square meter, number of seeds per boll, 1000-seed weight, seed yield, and biological yield.

Physiological traits: water use efficiency for seed and oil production

Qualitative traits: seed oil percentage and oil yield.

Results and Discussion

Water stress reduced seed yield, number of bolls per plant, number of bolls per square meter, seed oil percentage, number of seeds per boll, oil yield, and 1000-seed weight. However, it increased the efficiency of water use for both seed and oil production. Based on the results, nutrient application improved functional and qualitative traits such as seed oil content. Under water stress conditions, the highest seed oil percentage was observed in the NPK + PB-2 treatment in the first year (22.63%), while under full irrigation conditions in the second year, the highest percentage was recorded in the HA treatment (25.93 %)

The highest number of seeds per boll in the first year under stress conditions was 33.28 in the HA + PB-2 treatment, followed by 31.44 in the NPK + HA + PB-2 treatment under the same conditions. Water stress significantly decreased the average 1000-seed weight, with the lowest recorded value being 28.73 grams under stress treatment. The highest 1000-seed weight was recorded in the NPK + HA + PB-2 treatment, averaging 32.75 grams.

The number of bolls per square meter decreased from 321.55 to 310.15 under water stress conditions. The control treatment under non-stress conditions resulted in the highest number of bolls per square meter (1.732). Under stress conditions, the highest value was observed in the NPK + PB-2 treatment. In the second year, the highest seed yield was obtained from the NPK + PB-2 treatment under full irrigation, with an average of 4303.3 kg/ha. The highest biological yield was also recorded under non-stress conditions with the integrated application of NPK + PB-2, averaging 9308.5 kg/ha. The highest oil yield in the second year was observed in the NPK + PB-2 treatment under full irrigation, reaching an average of 809.6 kg/ha.

The highest seed oil percentage under non-stress conditions in the first year was 21.63%, and in the second year, the HA treatment under full irrigation produced the highest value, averaging 25.9%. Under water stress conditions, NPK fertilizer resulted in the highest seed water use efficiency (0.96 kg/m^3). The highest oil-water use efficiency was observed in the NPK + PB-2 treatment, averaging 0.189 kg/m^3. The interaction between water stress and nutrition significantly affected seed water use efficiency, oil yield, biological yield, seed yield, number of bolls per square meter in the first year,

and oil water use efficiency in the first year.

Conclusion

In general, the most important findings of this research are as follows:

1. Water stress had negative and reducing effects on the functional and physiological traits of the safflower plant.

2. The use of chemical, organic, and biological fertilizers led to improvements in functional traits and an increase in qualitative traits, such as seed oil content, compared to the control treatment (no fertilizer application). Among the fertilizer treatments, the combined application of chemical, organic, and biological fertilizer sources was more effective in enhancing average trait values and improving qualitative and physiological characteristics than their separate application.

3. Under water stress conditions, the integrated application of fertilizer sources helped mitigate the negative effects of water stress on both quantitative and qualitative parameters.

4. Finally, based on the results obtained, it can be concluded that the combined use of chemical, organic, and biological fertilizers under water shortage conditions contributes to enhanced quantitative and qualitative performance in safflower.

مقاله پژوهشی

مجلـه
پژوهش‌های خشکسالی و تغییراقلیم

دوره سوم، پیاپی ۱۱، پاییز ۱۴۰۴، صفحات ۴۶ - ۲۵

doi 10.22077/JDCR.2025.8746.1107

بررسی اثر تنش آبی و روش‌های مختلف تغذیه بر برخی صفات عملکردی، فیزیولوژیک و کیفی گلرنگ (Carthamus tinctorius L.)

محمدهادی آرین[۱]، محمدجواد ثقه الاسلامی[۲*]، رضا برادران[۳]، مهدی ابراهیمی[۴]

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران.
۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران.
۳- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران.
۴- استادیار، گروه پژوهشی بهینه سازی تولید و فراوری گیاهان دارویی بومی خراسان جنوبی، جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی، بیرجند، ایران.
*نویسنده مسئول: m.seghatoleslami@iau.ir

واژه‌های کلیدی:
کودهـای آلـی، کودهـای شـیمیایی، صفـات عملکـردی، صفـات فیزیولوژیک، دانه‌هـای روغنـی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۱۰/۲۶

تاریخ ویرایش:
۱۴۰۳/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۱۲/۱۵

چکیده

به‌منظـور بررسـی تأثیـر تغذیـه و تنش‌آبـی بربرخـی صفـات گلرنـگ، ایـن پژوهـش در قالـب کرت‌هـای خـرد شـده بـر پایـه طـرح بلوک‌هـای کامـل تصادفـی در سـه تکـرار و در دو سـال زراعـی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجـرا گردیـد. تیمـار رژیـم آبیـاری شـامل آبیـاری کامـل و تنش‌آبـی به‌عنـوان عامـل اصلـی و برنامـه‌ی تغذیـه‌ای بـه هشـت روش (شـاهد، NPK، اسـید هیومیـک (HA)، فسـفات بـارور2- (PB-2)، NPK + HA، NPK + PB-2، HA + PB-2 و NPK + HA+ PB-2) به‌عنـوان عوامـل فرعـی بـود. تنش‌آبـی باعـث کاهـش عملکـرد دانـه، تعـداد غـوزه در بوتـه، تعـداد غـوزه در متـر مربـع، درصـد روغـن دانـه، تعـداد دانـه در غـوزه، عملکـرد روغـن و وزن هـزار دانـه و افزایـش کارایـی مصـرف آب بـرای تولیـد دانـه و روغـن گردیـد. در شـرایط تنـش آبـی بیشـترین درصـد روغـن دانـه مربـوط بـه تیمـار NPK+PB-2 در سـال اول بـا ۲۲/۶۳ درصـد و در شـرایط آبیـاری کامـل در سـال دوم و تیمـارHA بـا ۲۵/۹۳ درصـد بـود. بیشـترین تعـداد دانـه در غـوزه در سـال اول و در شـرایط تنـش در تیمـار NPK+HA+PB-2 بـا ۳۱/۴۴ بـود. تنش‌آبـی منجـر بـه کاهـش معنـی‌دار میانگیـن وزن هـزار دانـه گردیـد. تعـداد غـوزه در مترمربـع در شـرایط تنش‌آبـی از ۳۲۱/۵ بـه ۳۱۰/۱۵ عـدد کاهـش یافـت. بالاتریـن عملکـرد دانـه در سـال دوم در کاربـرد NPK+PB-2 در شـرایط بـدون تنـش بـا میانگیـن ۴۳۰۳/۳ کیلوگـرم در هکتـار بـود. بیشـترین عملکـرد بیولوژیـک در شـرایط نبـود تنـش مربـوط بـه NPK+ PB-2 بـا میانگیـن ۹۳۰۸/۵ کیلوگـرم در هکتـار بـود. بیشـترین عملکـرد روغـن در سـال دوم در اسـتفاده NPK+PB-2 تحـت شـرایط بـدون تنـش بـا میانگیـن ۸۰۹/۶ کیلوگـرم در هکتـار بـود. بیشـترین درصـد روغـن دانـه در شـرایط بـدون تنـش در کاربـرد HA در سـال دوم بـا میانگیـن ۲۵/۹ درصـد بدسـت آمـد. کـود NPK تحـت شـرایط تنش‌آبـی منجـر بـه بیشـترین کارایـی مصـرف آب دانـه بـا ۰/۹۶ کیلوگـرم در مترمکعـب گردیـد. بالاتریـن کارایـی مصـرف آب روغـن در تیمـار NPK+PB-2 بـا میانگیـن ۰/۱۸۹ کیلوگـرم در مترمکعـب بـود. اثـر متقابـل تنـش و تغذیـه بـر کارایـی مصـرف آب دانـه، عملکـرد روغـن، عملکـرد بیولوژیـک، عملکـرد دانـه، تعـداد غـوزه در مترمربـع در سـال اول معنـی‌دار بـود.

مقدمه

گلرنگ به‌عنوان یک گیاه دارویی دارای تاریخچه بسیار طولانی در کشاورزی می‌باشد. در سالیان اخیر و به‌خصوص در کشورهای توسعه‌یافته، گلرنگ به‌دلیل دارا بودن ارزش‌های بالای دارویی و غذایی به‌طور قابل ملاحظه‌ای مورد توجه قرار گرفته است (Palizdar et al., 2013). گلرنگ با نام علمی *Carthamus tinctorius* L گیاهی یک‌ساله با سازگاری وسیع به اقلیم‌های مختلف و یکی از دانه‌های روغنی مهم است که مصارف تغذیه‌ای و صنعتی زیادی دارد و از دانه آن در تولید روغن و از کنجاله و گلچه‌های آن در مصارف تغذیه دام، دارویی و صنعتی استفاده می‌گردد. گلرنگ به‌دلیل دارا بودن ریشه عمیق و گسترده کم‌توقع و مقاوم به خشکی است و از دیرباز در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا کشت می‌گردد (Heshmati et al., 2021؛ Rashedi et al., 2021; Singh et al., 2016;). تنش‌آبی یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که هر ساله به گیاهان زراعی در سراسر جهان خسارات زیادی را وارد می‌کند و حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد اراضی زراعی دنیا را تحت تأثیر قرار داده است (Ahmadvand et al., 2017). تنش‌آبی اثرات نامطلوبی بر رشد و نمو گیاه و سایر فرآیندهای متابولیکی دارد (Lum et al., 2014; Zafari et al., 2020; Afshari et al., 2022). تنش‌آبی سبب خسارت به سیستم فتوسنتزی و غشاء سلولی می‌گردد (Palizdar et al., 2013). متوسط کاهش عملکرد در گیاهان تحت تأثیر تنش‌آبی حدود ۱۷ درصد است که در برخی از مواقع تا بیش از ۷۰ درصد می‌تواند افزایش یابد (Ghobadi et al., 2015). تنش‌آبی بر تقسیم و توسعه سلولی در مرحله رشد رویشی تأثیر می‌گذارد و منجر به کاهش رشد گیاهان می‌گردد (Sampathkumar et al., 2013).

رابطه مستقیمی بین کاهش محصول و کاهش آب در دسترس در کلیه مراحل رشد از جمله جوانه‌زنی، رشد رویشی، گل‌دهی، دانه‌بندی وجود دارد (Grant et al., 2014). نتایج مطالعه خوشنام و همکاران (Khoshnam et al., 2020) در خصوص بررسی تنش‌آبی و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ در جنوب کرمان نشان داد با تنش کم‌آبی، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، تعداد طبق، دانه در طبق، عملکرد دانه و مقدار روغن به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. نتایج مطالعه شاهرخ نیا و همکاران (Shahrokhnia et al., 2022) در خصوص بررسی تنش خشکی بر ارقام گلرنگ نشان داد بالاترین عملکرد دانه در تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) از رقم فرامان ۲۶۸۸ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد دانه در تیمار قطع آب در مرحله تکمه‌دهی مربوط به ارقام صفه و محلی اصفهان به‌ترتیب با عملکردهای ۷۵۸ و ۷۷۹ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین میزان بهره وری آب آبیاری و بهره وری آب کل به‌ترتیب مربوط به تیمار قطع آبیاری و تیمار آبیاری ۷۵ درصد بود. مطالعه علایی و همکاران (Alaei et al., 2023) در خصوص بررسی اثر توأمان تنش‌های شوری و خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ در شرایط آب و هوایی کاشمر (تحت آزمایش گلدانی) نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر توأمان تنش شوری و خشکی بر وزن دانه در بوته، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و بهره‌وری آب بود.

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر عملکرد گیاهان تغذیه می‌باشد. فعالیتهای کشاورزی مرسوم در بسیاری از نقاط جهان باعث کاهش ماده آلی، حاصلخیزی خاک و عملکرد کمی و کیفی محصول گردیده است. استفاده از کودها یکی از عملیات به‌زراعی به‌خصوص در شرایط خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (Afshari et al., 2020). استفاده طولانی مدت از کودهای شیمیایی باعث تخریب ساختمان خاک، افزایش هزینه‌ها و کاهش پتانسیل تولید و مشکلات زیست‌محیطی می‌گردد (Javadi et al., 2020). با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی، اخیراً استفاده از انواع اسیدهای آلی برای بهبود کمی و کیفی محصولات زراعی و باغی رواج فراوان یافته است. مقادیر بسیار کم اسیدهای آلی، اثرات فراوانی بر بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک داشته و به‌دلیل وجود ترکیبات هورمونی، اثرات مفیدی در افزایش تولیدات و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی دارند. کودهای آلی برخلاف کودهای شیمیایی ضمن در دسترس قرار دادن

بسیاری از عناصر کم مصرف و پرمصرف، باعث بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و ایجاد محیطی مناسب برای رشد بهتر و کیفیت بالاتر گیاهان می‌گردد (Ahmadi et al., 2020).

مطالعه عظیم زاده (Azimzadeh., 2017) در خصوص بررسی تأثیر کودهای آلی بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد گلرنگ نشان داد که در سال اول آزمایش، کود دهی قبل از کشت (اول اسفند) باعث ۱۲ درصد افزایش در عملکرد دانه گردید ولی در سال دوم، کود دهی همزمان با کشت (اول اردیبهشت) باعث ۱۲/۸ درصد افزایش در عملکرد دانه گردید. در سال اول آزمایش در کود دهی قبل از کشت، به‌جز تیمار ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری بقیه تیمارها عملکرد دانه بیشتری در مقایسه با تیمار کود نیتروژن و شاهد تولید کردند. نتایج مطالعه حشمتی و همکاران (Heshmati et al., 2016) در خصوص بررسی اثر کود شیمیایی و زیستی فسفر بر برخی از صفات بیوشیمیایی گلرنگ بهاره تحت تنش کمبود آب نشان داد فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت تأثیر مصرف بالای کود فسفر در شرایط تنش رویشی و زایشی افزایش یافت. مطالعه رضایی و همکاران (Rezaei et al., 2015) در خصوص بررسی اثر تنش خشکی و کود دامی بر خصوصیات کمی و کیفی اسفرزه نشان داد که کاربرد کود دامی موجب افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی گردید. نتایج مطالعه شعبانی و همکاران (Shabani et al., 2015) در خصوص بررسی اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات بارور-۲ بر روی کتان روغنی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه به میزان ۲۰۹۷ کیلوگرم در هکتار (مربوط به کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد همراه با ۱۰۰ گرم باکتری حل کننده فسفات در هکتار و ۲٪ باکتری ئتیوباسیلوس بود). نتایج این تحقیق نشان دهنده اثرات مثبت کاربرد گوگرد و کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد کتان روغنی است به‌طوری که گوگرد تأثیر بیشتری نسبت به باکتری حل کننده فسفات و تیوباسیلوس روی عملکرد گیاه کتان داشت. نتایج بررسی پالیزدار و همکاران (Palizdar., 2013) در بررسی اثر رژیم‌های آبیاری و مقادیر پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ نشان داد که افزایش تعداد آبیاری سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه در بوته، قطر طبق، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق گردید و افزایش مقدار پتاسیم سبب افزایش معنی‌دار کلیه صفات گردید. ظفریان و همکاران (Zafarian et al., 2012) در بررسی اثر کودهای زیستی نیتروژنه و فسفره بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد در گیاه گلرنگ گزارش کردند که استفاده از کود فسفات بارور-۲، باعث افزایش عملکرد دانه گردیده است. نتایج تحقیقات گذشته در داخل و خارج از کشور نشان می‌دهد که به‌منظور کاهش مصرف آب و افزایش بهره وری آب در تولید محصولات لازم است به برنامه ریزی آبیاری مزارع و باغ‌ها و همچنین روش‌های مناسب تغذیه محصولات توجه بیشتری گردد. در این تحقیق، به‌منظور توسعه سطح زیر کشت گیاه گلرنگ، این گیاه به‌لحاظ قرارگیری تحت شرایط مختلف آبیاری و مقادیر مختلف کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بررسی شده است. زیرا می‌توان بهترین و مناسب‌ترین سطوح آبیاری و کود را به‌گونه‌ای انتخاب نمود که منجر به عملکرد بالاتری گردد و از این طریق می‌توان کشت این گیاه را در مناطق مختلف کشور و به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک که با محدودیت آب بیشتری مواجه هستند توسعه داد. از طرفی استفاده از کودها می‌تواند خسارت‌های ناشی از کاهش عملکرد در واحد سطح محصول را که در اثر شرایط کم آبیاری رخ می‌دهد را تاحدی جبران نماید. تنش‌آبی تولیدات کشاورزی را در کشور با محدودیت مواجه نموده است. استان خراسان جنوبی از این قاعده مستثنی نبوده و در سالیان اخیر با موضوع خشکسالی و کمبود منابع آبی مواجه بوده است. در این راستا در تحقیق حاضر اثرات روش تغذیه در شرایط تنش آبی و عدم تنش بر برخی از صفات مختلف عملکردی، فیزیولوژیک و کیفی گیاه گلرنگ در شهر بیرجند مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در طی دو سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸

و ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در زمینی به مساحت ۸۰۰ مترمربع در مزرعه تحقیقاتی گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی بیرجند واقع در ۱۵ کیلومتری جاده بیرجند به خوسف انجام شد. زمان کاشت در هر دو سال زراعی، اواخر اسفندماه بود. میانگین دما در این منطقه در دو سال زراعی مذکور به‌ترتیب ۱۶/۵ و ۲۴/۸ درجه سلیسیوس و بارندگی ۲۲۸/۵ و ۷۷ میلی‌متر بوده است. قبل از اجرای آزمایش، برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر از چند نقطه مزرعه نمونه‌برداری انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. براساس نتایج به‌دست آمده خاک منطقه مورد نظر دارای بافت لومی- شنی بود.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the experimened location's soil

پارامتر		کربن آلی	گچ	دی کربنات کلسیم	رس	سیلت	ماسه	درصد اشباع	EC	pH	B	Mn
Para meter	N	OC	گچ	CaCO 3	Clay	Silt	Sand	Saturat% ion				
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ms/cm)		(mg/kg)	(mg/kg)
مقدار Value	0.046	0.18	1.65	13.5	8.9	18	73.1	16.2	2.84	7.71	0.38	4.91 /
	HCO3	SO_4^{2-}	Cl	K	Na	Mg	Ca	Zn	Cu	Fe	K	P
				(meg/lit)				(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(ppm)	(ppm)
مقدار Value	10.4	2.2	15.5	0.21	7.1	14	7	0.77	0.48	5.07	193.8	4.07 /

روش تحقیق

این تحقیق در قالب آزمایش کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمار رژیم آبیاری شامل دو سطح آبیاری کامل و تیمار تنش‌آبی (۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان عوامل اصلی و استفاده از برنامه تغذیه‌ای شامل کودهای آلی، زیستی و شیمیایی در هشت سطح (به‌عنوان عامل فرعی) در نظر گرفته شد. این سطوح شامل عدم کاربرد هر نوع کود به‌عنوان شاهد، کود شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (NPK)، کاربرد هیومیک اسید (HA)، کاربرد فسفات بارور2- PB-2) ،NPK + HA، NPK + PB-2، HA + PB-2، PB-2) NPK + HA+ بوده است. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط کشت به طول سه متر و فاصله بین خطوط کاشت یا ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها بر روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر بود. فواصل بین تکرارها دو مترمربع و مقدار بذر مصرفی ۷-۶ کیلوگرم در هکتار بود. در این آزمایش از رقم گلدشت که از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شده بود، استفاده گردید. تراکم نهایی بوته در مزرعه در حدود ۴۰۰ هزار بوته در هکتار بود. برای تعیین مراحل فنولوژیک رشد گلرنگ، از مقیاس آلمانی BBCH[1] استفاده گردید (Hack et al., 1992; Flemmer et al., 2015). میزان رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی براساس منحنی رطوبت خاک که نشان‌دهنده ارتباط بین پتانسیل آب خاک و محتوای رطوبت خاک بود تعیین گردید (Saxton et al., 1986; Soltani et al., 2017). محلول‌پاشی اسید هیومیک در دو مرحله از منبع Humabon که دارای ۷۲ درصد اسید هیومیک، ۱۵/۵ درصد اسید فولویک و ۱۲ درصد دی‌اکسید پتاسیم بود، انجام شد که مقدار توصیه شده برای کاربرد آن ۲۵۰ گرم در ۱۰۰۰ لیتر آب بود (Rahbari et al., 2021). کود زیستی فسفر (برند بارور-۲ حاوی 10^7 تا 10^8 (cfu/ml) باکتری حل‌کننده فسفات *Bacillus* سویه P5 و *Pseudomonas putida* سویه P13 در هر گرم محصول) با حل کردن آن‌ها در آب و آغشته کردن بذر در سایه (به‌علت حساس بودن باکتری‌ها به نور و گرما) انجام گرفت. برای تلقیح بذر با کودهای زیستی بارور-۲، یک بسته ۱۰۰ گرمی

1 Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt und Chemische

بارور-۲ را در حدود ۲۰ لیتر آب حل شده و بذرها پس از آغشته شدن در محلول و بعد از خشک شدن کاشته شد. کود شیمیایی نیتروژن از منبع اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل براساس آزمون خاک به‌اندازه ۵۰ کیلوگرم در هکتار و پتاسیم از منبع کلرور پتاسیم بر مبنای ۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده گردید.

برای تعیین زمان آبیاری از روش وزنی استفاده گردید (Carter and Gregorich, 2007). بدین‌منظور ۴۸ ساعت بعد از آبیاری، اقدام به برداشت نمونه خاک از عمق توسعه ریشه (صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) گردید. نمونه‌های برداشت شده بلافاصله وزن و جهت تعیین درصد رطوبت، به آون به دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، منتقل گردید. قبل از آبیاری مجدد، اجازه داده شد تا رطوبت خاک در عمق ریشه به ۵۰ درصد تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی برسد. حجم آب مصرفی مورد نیاز هر تیمار از رابطه زیر محاسبه گردید (Heshmati et al., 2020).

$$V = (FC - \theta_m)p_b * D_{Root} * A/E_i \quad (1)$$

در رابطه فوق، V حجم آب آبیاری برحسب مترمکعب، FC درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی، Θm درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، ρb وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، DRoot عمق توسعه ریشه برحسب متر، A مساحت آبیاری شده برحسب مترمربع و Ei کارایی آبیاری می‌باشد. علاوه بر نمونه گیری ۴۸ ساعته بعد آبیاری، میزان رطوبت خاک قبل از آبیاری برآورد گردید. درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت مزرعه، در عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر به‌ترتیب معادل ۲۳ و ۲۸ درصد بود. وزن مخصوص ظاهری خاک در عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر به‌ترتیب برابر با ۱/۵ و ۱/۴۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. بدین ترتیب حجم آب مورد نیاز در هر مرتبه آبیاری در هر آزمایش محاسبه و بر اساس کارایی آبیاری ۹۰ درصد به‌صورت یکنواخت توزیع گردید. میانگین حجم آب مصرفی در هر کرت در سطوح بدون تنش و تنش‌آبی به‌ترتیب ۳/۰۳۷ و ۲/۷۲ مترمکعب بود. با توجه به اینکه برآورد میزان آب در هر دوره آبیاری براساس نیاز آبی گیاه محاسبه و اعمال گردیده است، انتظار تنش خشکی ۵۰ درصد در انجام آزمایش بود اما براساس میانگین حجم آب مصرفی هر کرت در عمل تنش ملایم تری اعمال گردیده است. فاصله میان آبیاری‌ها در تیمارهای بدون تنش و تنش‌آبی به‌طور میانگین به‌ترتیب ۷ و ۱۰ روز در هر دو سال بود. همچنین برای اندازه‌گیری صفات عملکردی، تعداد پنج بوته در هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و تعداد غوزه در بوته و تعداد دانه در غوزه و غیره اندازه‌گیری و سپس میانگین آن‌ها برای هر کرت محاسبه گردید. برای تعیین عملکرد گلرنگ، از هر کرت آزمایشی، مساحتی برابر با یک مترمربع، برداشت و پس از کوبیدن و جداکردن دانه‌ها به‌وسیله غربال، عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید. از دانه‌های استحصالی در هر کرت ۵۰۰ عدد بذر شمارش و با ترازوی دیجیتالی توزین و عدد به‌دست آمده برای هزار دانه محاسبه گردید. عملکرد بیولوژیک از طریق وزن خشک کل اندام هوایی، مشخص گردید. بدین ترتیب که پس از برداشت، وزن بوته‌ها در مزرعه به‌دست آمد و پس از خشک شدن در درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد، وزن خشک به‌دست آمده به‌عنوان عملکرد بیولوژیک در نظر گرفته شد.

در این مطالعه صفات عملکردی (تعداد غوزه در بوته، تعداد غوزه در مترمربع، تعداد دانه در غوزه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک)، فیزیولوژیک (کارایی مصرف آب برای دانه و روغن دانه) و کیفی (درصد روغن دانه و عملکرد روغن) مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور اندازه گیری درصد روغن دانه و محاسبه عملکرد روغن، ۱۰ گرم نمونه بذر آسیاب شده را در دستگاه سوکسله قرار داده، سپس به‌ازای هر نمونه، حدود ۳۰۰ میلی‌لیتر حلال پترولیوم بنزین در بالون ریخته و پس از حدود ۴/۵-۴ ساعت، تمام روغن نمونه‌ها استخراج و به بالون منتقل گردید (AOAC, 1995; Movahhedy-Dehnavy et al., 2009). عملکرد روغن از حاصل‌ضرب درصد روغن در عملکرد دانه محاسبه گردید. برای کارایی مصرف آب دانه یا روغن از نسبت عملکرد دانه یا عملکرد روغن به میزان آب مصرفی در هر تیمار استفاده گردید.

برای نرمال‌سازی داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ استفاده گردید. برای انجام آزمون تجزیه واریانس مرکب ابتدا، آزمون بارتلیت و لوین با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۶ انجام شد. نتایج این آزمون نشان داد که برای صفت‌های (تعداد دانه در غوزه، وزن هزار دانه، درصد روغن) اثر سال غیر معنی‌دار بود و تجزیه مرکب در سال برای این صفات انجام گردید. براساس نتایج آزمون بارتلیت و لوین اثر سال برای صفت‌های تعداد غوزه در مترمربع، عملکرد دانه، عملکرد روغن، عملکرد بیولوژیک، کارایی مصرف آب دانه و کارایی مصرف آب روغن معنی‌دار بود. برای صفاتی که آزمون بارتلت در آن‌ها معنی‌دار بود تجزیه واریانس برای هر سال به‌صورت جداگانه انجام گرفت. تجزیه واریانس مرکب یا ساده داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

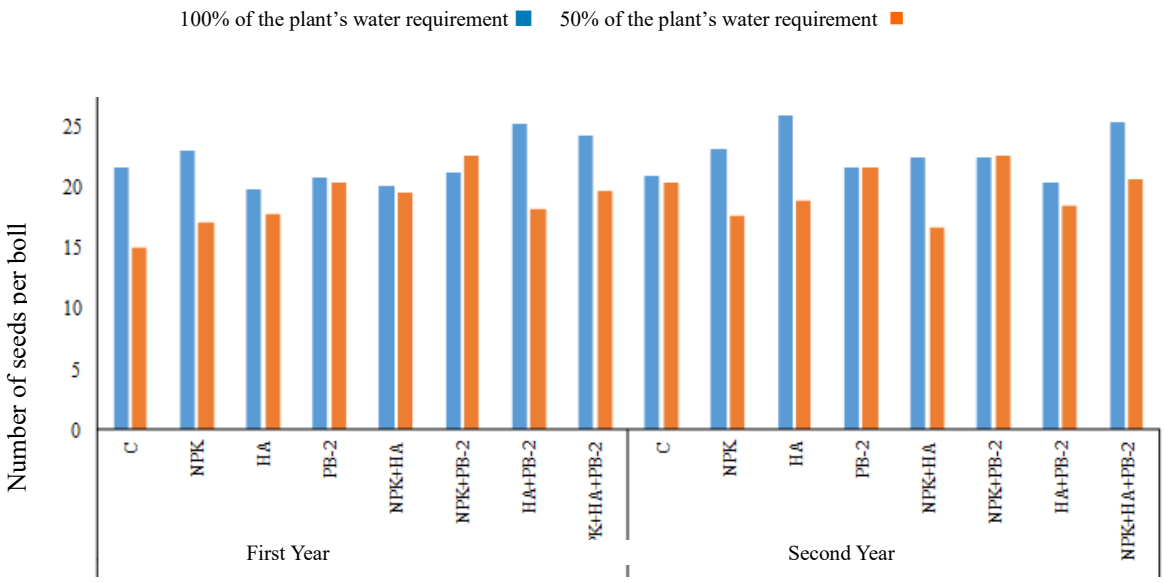
صفات عملکردی

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر اصلی، تنش‌آبی، تغذیه گیاهی و اثر متقابل سه‌گانه سال، تنش‌آبی و تغذیه گیاهی بر تعداد دانه در غوزه در به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در غوزه در کاربرد HA+PB-2 تحت شرایط بدون تنش‌آبی و در سال اول آزمایش با میانگین ۳۳/۲۸ عدد به‌دست آمد که در مقایسه با شاهد ۱/۶۱ درصد افزایش داشت. در شرایط بدون تنش‌آبی در سال دوم بیشترین تعداد دانه در غوزه در تیمار HA+PB-2 با میانگین ۶۳/ ۳۲ بود. کمترین تعداد دانه در غوزه در تیمار شاهد تحت شرایط تنش‌آبی و در سال اول با میانگین ۱۳/۸۸ عدد به‌دست آمد. در شرایط تنش‌آبی در سال اول بیشترین تعداد دانه با ۳۱/۴۴ عدد در کاربرد NPK+HA+PB-2 و در سال دوم در کاربرد NPK با ۲۶/۷۷ عدد بود.

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب اثر تنش‌آبی و تغذیه گیاهی بر برخی صفات گلرنگ

Table 2. Decomposition of the combined variance of the effect of water stress and plant nutrition on several traits of safflower

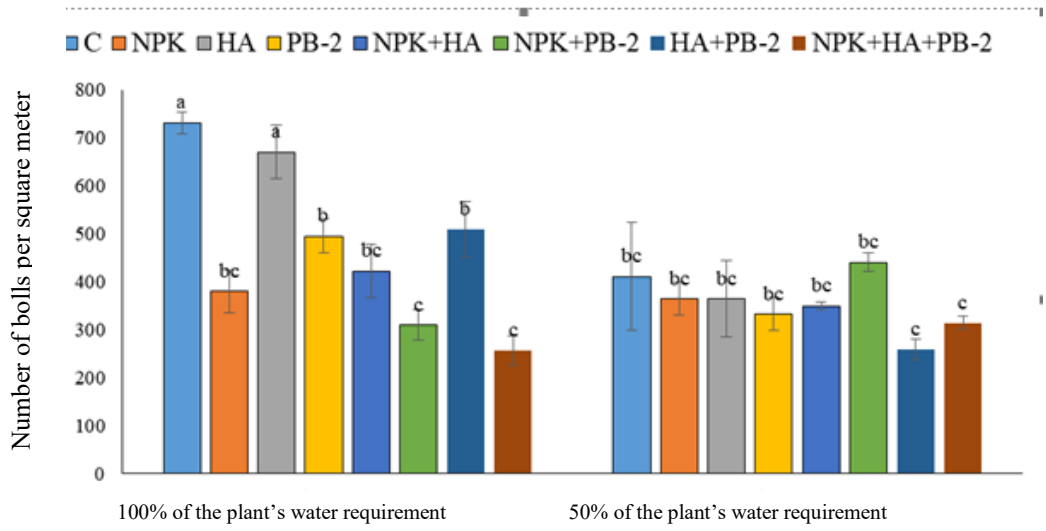
			میانگین مربعات(mean square)		
Sources of change	*منابع تغییرات*	درجه آزادی d.f	درصد روغن دانه Seed oil percentage	وزن هزار دانه 1000 seed weights	تعداد دانه در غوزه Number of seeds per boll
Year	سال(Y)	1	14.46 ns	989.4**	10.58 ns
Year * Repetition	سال × تکرار	4	3.22	6.62	60.88
Water stress	تنش آبی (D)	1	**242.8	*426.7	**721.1
	Y × D	1	0.011 ns	2.22 ns	16.84 ns
	YD (R)	4	11.42	8.12	62.55
Plant nutrition	تغذیه گیاهی(N)	7	13.93 ns	*39.8	*122.7
	Y × N	7	8.86 ns	8.69 ns	35.93 ns
	F × N	7	15.91ns	8.62 ns	**39.86
	Y × D × N	7	**12.71	3.84 ns	**36.48
Error	خطا	56	2.98	5.39	11.55
Coefficient of variation	ضریب تغییرات(%)	-	8.31	7.52	13.59



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل سال، تنش‌آبی و تیمارهای تغذیه گیاهی بر تعداد دانه در غوزه

Fig 1. Comparison of the average interaction effect of the year, water stress, and treatments of plant nutrition on the number of seeds per boll

براساس نتایج اثر سال، تنش‌آبی و تغذیه گیاهی بر وزن هزار دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. تنش‌آبی منجر به کاهش معنی‌دار میانگین وزن هزار دانه گردید. کمترین میزان آن مربوط به تیمار تنش‌آبی با میانگین ۲۸/۷۳ گرم بود که نسبت به شرایط عدم تنش ۸ درصد کاهش یافت. بیشترین افزایش وزن هزار دانه در تیمار NPK+HA+PB-2 با میانگین وزن ۳۲/۷۵ گرم بود وزن هزار دانه تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی است ولی طول دوره زمان پر شدن دانه به‌شدت تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (Rashid et al., 2018) و به‌علت کوتاه شدن دوره پر شدن دانه و پیری زودرس تحت شرایط تنش کم‌آبی، وزن هزار دانه کاهش می‌یابد (Gholizadeh et al., 2018). کمبود عناصر غذایی تحت شرایط تنش خشکی به‌دلیل کاهش رطوبت در لایه‌های سطحی خاک منجر به کاهش ذخایر فتوسنتزی در طی زمان پر شدن بذر می‌گردد و این موضوع یکی دیگر از دلایل کاهش وزن هزار دانه تحت شرایط تنش خشکی محسوب می‌گردد (Paravar et al., 2022).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش‌آبی و تیمارهای تغذیه بر تعداد غوزه در مترمربع گلرنگ در سال اول

Fig 2. Comparison of the average interaction effect of water stress and nutrition treatments on the number of bolls per square meter of safflower in the first year

براساس نتایج تجزیه واریانس در سال اول اثر تنش‌آبی در سطح ۵ درصد، تغذیه گیاهی و اثر متقابل این دو بر تعداد غوزه در مترمربع در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). عدم استفاده از کود و کاربرد اسید هیومیک (HA) تحت شرایط بدون تنش منجر به ایجاد بیشترین تعداد غوزه در مترمربع به‌ترتیب با میانگین ۷۳۲/۱ و ۶۷۰/۴ عدد گردید. کمترین میانگین تعداد غوزه در مترمربع مربوط به کاربرد تلفیقی NPK+ PB-2+HA در هر دو شرایط تنش‌آبی و عدم تنش (با میانگین ۲۵۶/۶ و ۳۱۳/۸ عدد) بود. در شرایط تنش‌آبی بیشترین میزان در کاربرد NPK+PB-2 حاصل گردید. در سال دوم اثر هیچ‌یک از عوامل بر تعداد غوزه در مترمربع معنی‌دار نبود. تعداد غوزه در مترمربع در شرایط تنش‌آبی از ۳۲۱/۵۵ به ۳۱۰/۱۵ عدد کاهش یافت.

جدول ۴. تجزیه واریانس اثر تنش‌آبی و تغذیه گیاهی بر صفات عملکردی و فیزیولوژیک گلرنگ تحت تنش‌آبی در سال اول

Table 4. Variance decomposition of the effect of water stress and plant nutrition on functional and physiological traits of safflower under water stress in the first year

Sources of change	منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)					
			تعداد غوزه در مترمربع	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد روغن	کارایی مصرف آب دانه	کارایی مصرف آب روغن
		d.f	Number of bolls per square meter	Seed yield	Biological yield	Oil yield	Seed water consumption efficiency	Oil-water consumption efficiency
Repetition	بلوک / تکرار (R)	2	10287 ns	421353.1*	570041.3 ns	10335.3 ns	0.018*	0.0003 ns
Water stress	تنش آبی (D)	1	165863*	3146941.5 *	48156792.8*	408015.4*	0.098 ns	0.000002ns
Nutrition	D (R)	2	1925.0	387287.3	879011.9	28432.2	0.016	0.0013
	تغذیه(N)	7	48948.8**	463513.0**	2882738.4**	**44394.3	0.024**	0.0024**
	D × N	7	42973.8**	486139.7**	1195382.1*	32670.0**	0.025**	0.0017**
Error	خطا	28	8698.2	97004.4	506965.9	4245.8	0.005	0.0002
Coefficient of variation	ضریب تغییرات (%)	-	22.56	12.41	10.28	12.74	12.03	12.56

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and ** are non-significant and significant at the 5 and 1 percent probability level, respectively.

جدول ۵. تجزیه واریانس اثر تنش‌آبی و تغذیه گیاهی بر صفات عملکردی و فیزیولوژیک گلرنگ تحت تنش کم‌آبی در سال دوم

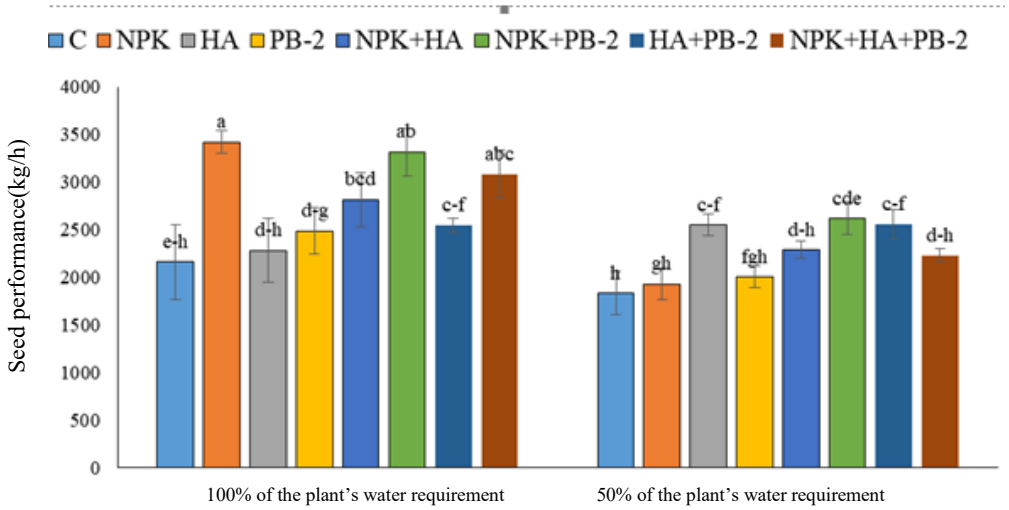
Table 5. Variance decomposition of the effect of water stress and plant nutrition on functional and physiological traits of safflower under water stress in the second year

Sources of change	منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)					
			عملکرد دانه	تعداد غوزه در مترمربع	عملکرد بیولوژیک	عملکرد روغن	کارایی مصرف آب دانه	کارایی مصرف آب روغن
		d.f	Seed yield	Number of bolls per square meter	Biological yield	Oil yield	Seed water consumption efficiency	Oil-water consumption efficiency
Repetition	بلوک / تکرار (R)	2	1578930.3 ns	8135.5 ns	5253005.5 ns	62423.3 ns	0.101 ns	0.0035 ns
Water stress	تنش آبی (D)	1	6043984.0*	1559.5 ns	24602562.1*	681552.9**	0.054ns	0.005ns
Nutrition	D (R)	2	103323.9	35947	446191.8	8987.1	0.016	0.0005
	تغذیه (N)	7	1953543.5**	5529.8 ns	6935812.1*	105236.6**	0.107**	0.0057**
	D × N	7	1447610.8*	6395.6 ns	7096217.4**	46215.6 ns	0.078*	0.0023 ns
Error	خطا	28	529400.7	5804.8	2109743.5	29879.1	0.031	0.0016
Coefficient of variation	ضریب تغییرات (%)	-	26.01	24.12	17.32	27.05	26.63	28.77

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and ** are non-significant and significant at the 5 and 1 percent probability level, respectively

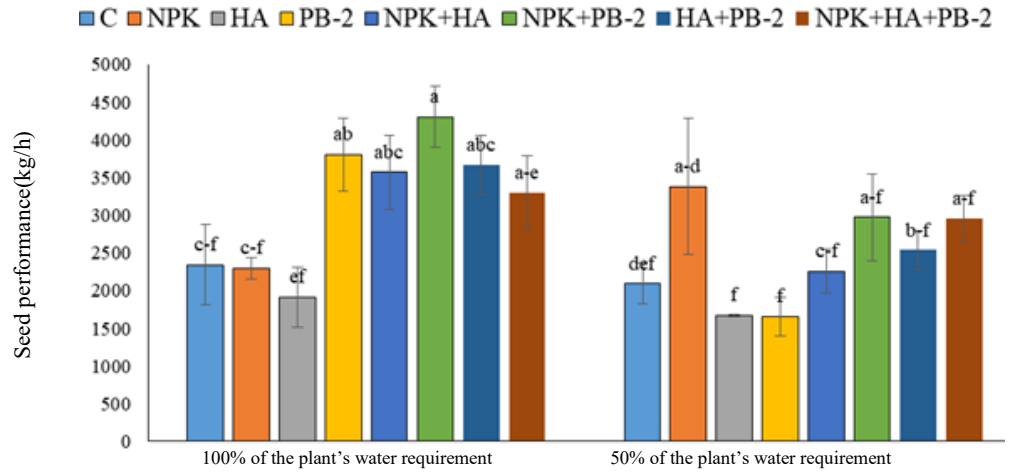
نتایج نشان داد در سال اول، تنش‌آبی و تغذیه در سطح احتمال ۵ درصد و اثر متقابل تنش‌آبی و تغذیه در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه اثر معنی‌دار داشت. استفاده از NPK در شرایط بدون تنش منجر به ایجاد بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۳۴۲۰/۷ کیلوگرم در هکتار گردید. بیشترین عملکرد در شرایط تنش مربوط به استفاده از NPK+PB-2 با ۲۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. کمترین عملکرد دانه در عدم کاربرد کود تحت شرایط تنش با میانگین ۱۸۳۵/۹ کیلوگرم در هکتار بود.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش‌آبی و تغذیه بر عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در سال اول

Fig 3. Comparison of the interaction effect of water stress and nutrition on seed performance(kg/h) in the first year

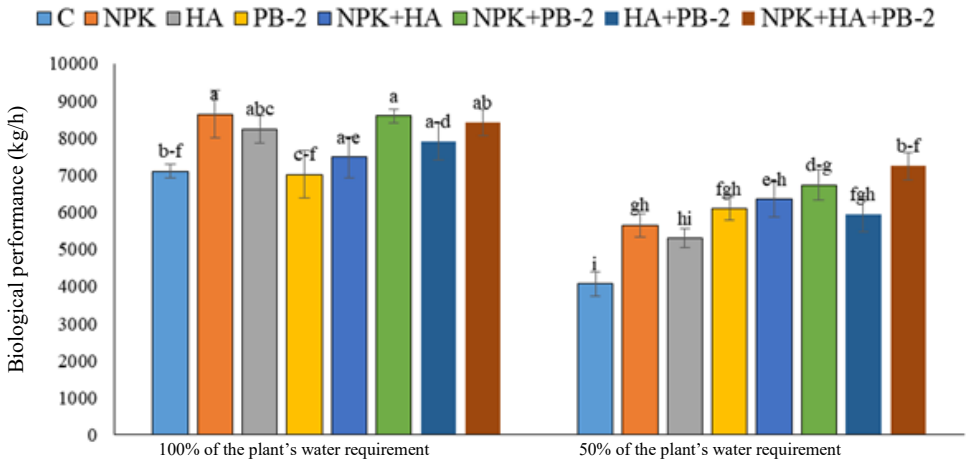
نتایج نشان داد در سال دوم اثر تغذیه، تنش‌آبی و اثر متقابل آنها بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. بالاترین عملکرد دانه در سال دوم در کاربرد NPK+PB-2 تحت شرایط بدون تنش با میانگین ۴۳۰۳/۳ کیلوگرم در هکتار بود. در شرایط تنش استفاده از NPK منجر به بیشترین عملکرد دانه گردید. کمترین عملکرد دانه در استفاده از PB-2 در شرایط تنش‌آبی با ۱۶۵۹ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۴). از دلایل کاهش عملکرد دانه تحت شرایط تنش‌آبی، افت مؤلفه‌های رشدی و مورفولوژیکی از جمله سطح برگ، میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ و در نهایت کم‌بودن طول دوره پر شدن می‌باشد. نتایج حاصله با مطالعه خوشنام و همکاران (Khoshnam et al., 2020) و شاهرخ نیا و همکاران (Shahrokhnia et al., 2022) هم‌راستا بوده است.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش‌آبی و تغذیه بر عملکرد دانه(کیلوگرم در هکتار) در سال دوم

Fig 4. Comparison of the interaction effect of water stress and nutrition on seed performance(kg/h) in the second year

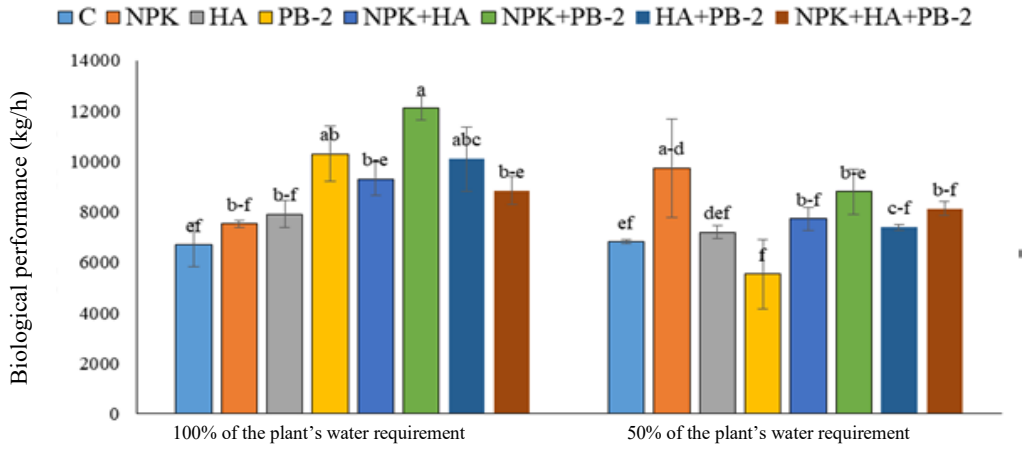
براساس نتایج تجزیه واریانس در سال اول، اثر تنش‌آبی در سطح احتمال ۵ درصد و تغذیه گیاهی و اثر متقابل این دو در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین عملکرد بیولوژیک در کاربرد NPK با میانگین ۸۶۳۷/۴ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در شرایط تنش‌آبی بیشترین عملکرد مربوط به کاربرد NPK+HA+PB-2 بود. کمترین عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش‌آبی در تیمار شاهد با میانگین ۴۰۶۴/۵ کیلوگرم در هکتار بود.



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش‌آبی و تغذیه بر عملکرد بیولوژیک گلرنگ در سال اول

Fig 5. Comparison of the average interaction effect of water stress and nutrition on the biological performance of safflower in the first year

براساس نتایج تحقیق تنش‌آبی و تغذیه گیاهی و اثر متقابل آنها بر عملکرد بیولوژیک در سال دوم اثر معنی‌دار داشت (جدول ۵). در سال دوم بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به کاربرد تلفیقی NPK+ PB-2 تحت شرایط بدون تنش با میانگین ۹۳۰۸/۵ کیلوگرم در هکتار بود. در شرایط تنش‌آبی استفاده از NPK منجر به ایجاد بیشترین عملکرد بیولوژیک گردید. کمترین عملکرد بیولوژیک در استفاده از PB-2 در شرایط تنش‌آبی با میانگین ۵۵۳۸/۶ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۶).

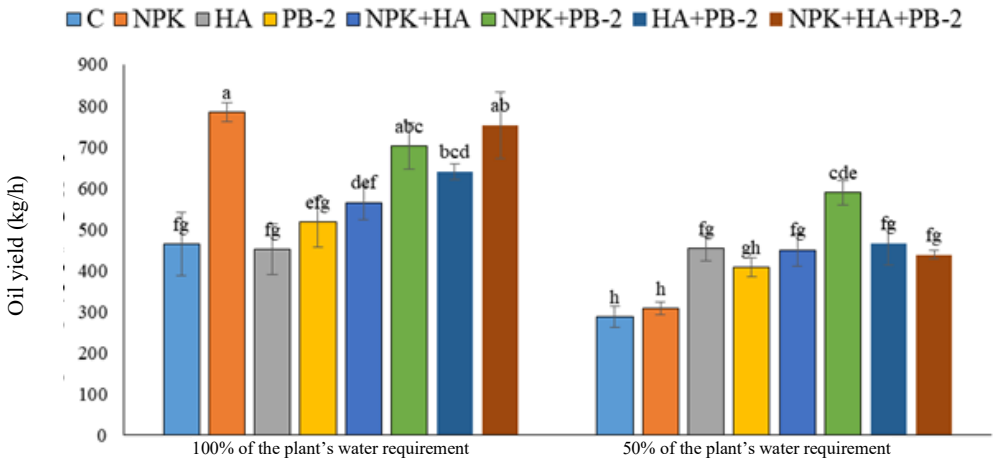


شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش‌آبی و تغذیه بر عملکرد بیولوژیک گلرنگ در سال دوم

Fig 6. Comparison of the average interaction effect of water stress and nutrition on the biological performance of safflower in the second year

صفات کیفی

نتایج نشان داد در سال اول، تنش‌آبی در سطح احتمال ۵ درصد و تغذیه گیاهی و اثر متقابل آن دو در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد روغن معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد روغن دانه در شرایط بدون تنش‌آبی مربوط به استفاده از NPK با میانگین ۷۸۴/۲ کیلوگرم در هکتار بود که در مقایسه با تیمار شاهد افزایش ۴۰/۷ درصدی داشت. کمترین میانگین عملکرد روغن در تیمار شاهد در شرایط تنش‌آبی به‌ترتیب با میانگین ۲۸۷/۷ کیلوگرم در هکتار بود. اثر انواع کودها بر عملکرد روغن در شرایط عدم تنش و وجود تنش‌آبی در شکل ۷ آورده شده است:



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش‌آبی و تیمارهای تغذیه بر عملکرد روغن دانه گلرنگ در سال اول

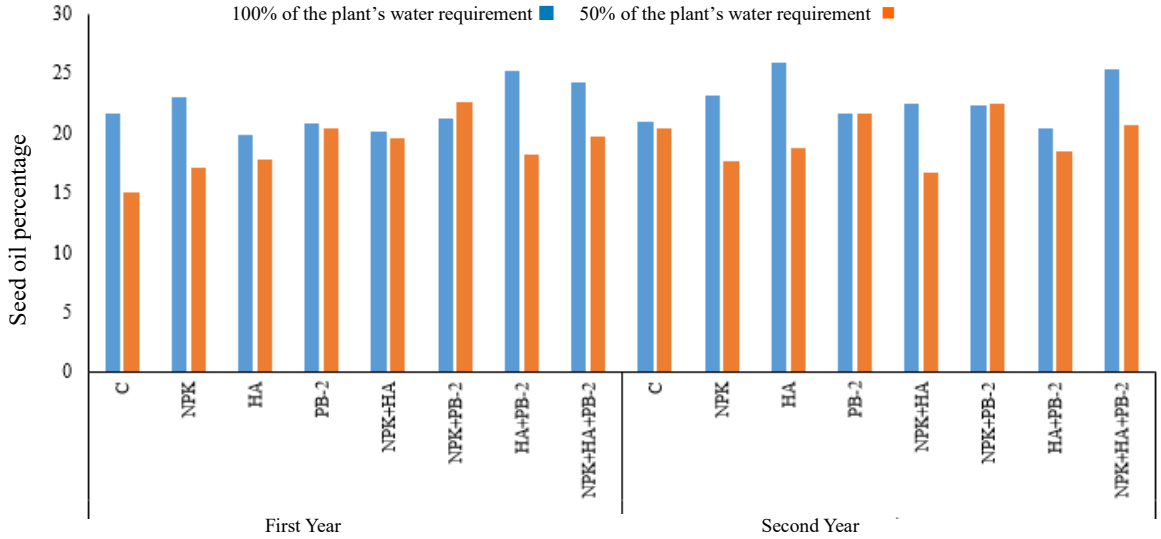
Fig 7. Comparison of the average interaction effect of water stress and nutrition treatments on safflower seed oil yield in the first year

براساس نتایج تجزیه واریانس در سال دوم اثر تنش‌آبی و تغذیه گیاهی بر عملکرد روغن در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). تنش آبی منجر به کاهش ۳۳/۳ درصدی عملکرد روغن در مقایسه با شرایط بدون تنش گردید و از ۷۱۴/۰۳ به ۴۷۵/۷۱ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت. بیشترین عملکرد در سال دوم مربوط به کاربرد NPK+PB-2 تحت شرایط بدون تنش با میانگین ۸۰۹/۶ کیلوگرم در هکتار بود. کمترین عملکرد مربوط کاربرد اسید هیومیک با ۴۰۵/۸ کیلوگرم در هکتار بود.

اثر تنش آبی و اثر متقابل سه‌گانه سال، تنش‌آبی و تغذیه در سطح احتمال یک درصد بر درصد روغن دانه معنی‌دار بود (شکل ۸). بالاترین درصد روغن دانه در شرایط بدون تنش با ۲۱/۶۳ درصد در سال اول بود. بیشترین درصد روغن دانه در شرایط بدون تنش در سال اول در کاربرد HA+PB-2 با ۲۵/۱۶ درصد و در سال دوم در کاربرد HA تحت شرایط بدون تنش‌آبی در سال دوم آزمایش با میانگین ۲۵/۹ درصد به‌دست آمد. در شرایط تنش کمترین درصد روغن دانه در سال اول با ۱۵/۰۵ درصد بود. در شرایط تنش آبی بیشترین درصد روغن دانه در کاربرد NPK+PB-2 با ۲۲/۵ درصد در سال دوم بود. بررسی‌ها نشان می‌دهد در شرایط تنش‌آبی محتوای روغن دانه در گیاهان کاهش می‌یابد. در کنار عوامل ژنتیکی، عوامل محیطی بر درصد روغن دانه اثرگذار است (Fard et al., 2018). نتایج فوق در هم‌راستا با نتایج مطالعه خوشنام و همکاران (Khoshnam et al., 2020) بود.

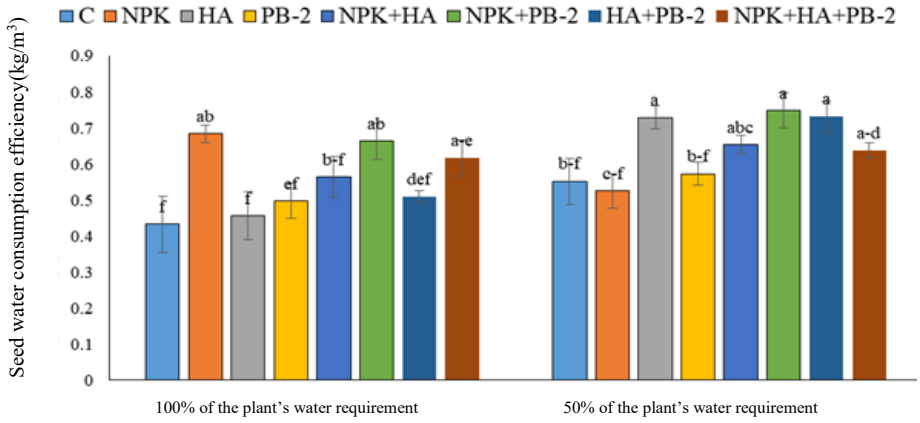
صفات فیزیولوژیک

براساس نتایج تجزیه واریانس در سال اول اثر تغذیه و اثر متقابل تنش‌آبی و تغذیه بر کارایی مصرف آب دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین کارایی مصرف آب‌دانه در کاربرد NPK+PB-2 در شرایط تنش‌آبی با میانگین ۰/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب بود (شکل ۹). در شرایط بدون تنش کاربرد NPK منجر به ایجاد بالاترین کارایی مصرف آب دانه با میانگین ۰/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب گردید. عدم استفاده از کود و کاربرد HA تحت شرایط بدون تنش کمترین میانگین کارایی مصرف آب دانه را با میانگین ۰/۴۳ داشت.



شکل ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل سال، تنش‌آبی و تغذیه بر درصد روغن دانه

Fig 8. Comparison of the average interaction effect of year, water stress and nutrition on seed oil percentage

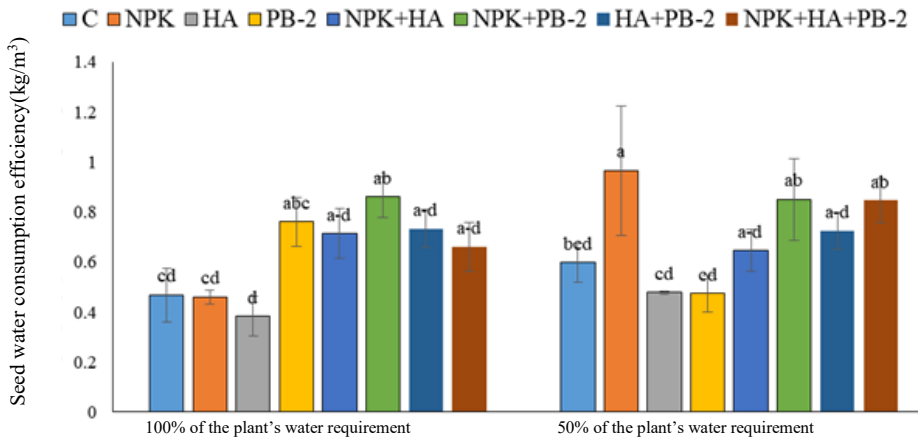


شکل ۹. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش‌آبی و تغذیه گیاهی بر کارایی مصرف آب دانه در سال اول

Fig 9. Comparison of the average interaction effect of water stress and plant nutrition on seed water consumption efficiency in the first year

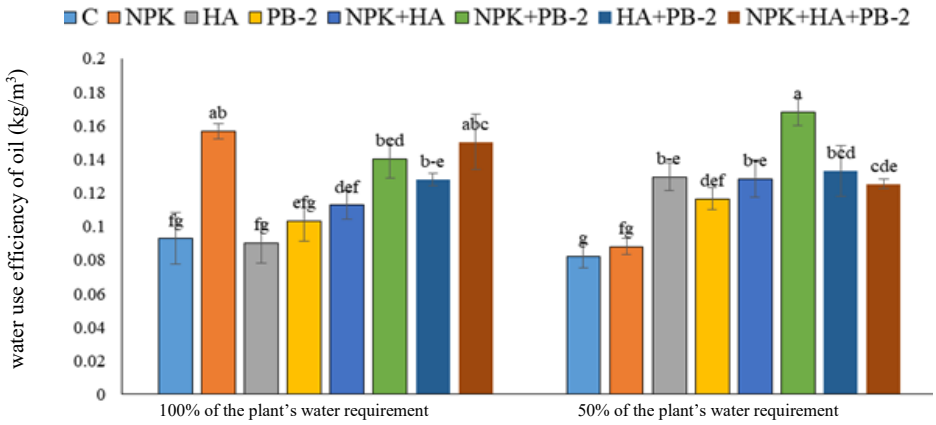
اثر تغذیه در سطح یک درصد و اثر متقابل تنش‌آبی در تغذیه بر کارایی مصرف آب دانه در سطح احتمال ۵ درصد در سال دوم معنی‌دار بود. بیشترین کارایی مصرف آب دانه در کاربرد NPK تحت شرایط تنش‌آبی با میانگین ۰/۹۶ کیلوگرم در مترمکعب بود که در مقایسه با شاهد افزایش ۵۲ درصدی داشت. کاربرد اسید هیومیک در شرایط عدم تنش‌آبی منجر به ایجاد کمترین کارایی مصرف آب دانه با میانگین ۰/۳۸ کیلوگرم در مترمکعب گردید (شکل ۱۰). یکی از دلایل افزایش کارایی مصرف آب تحت شرایط تنش، بسته بودن روزنه‌ها و کاهش تعرق کارایی مصرف آب برای دانه، روغن و بیوماس کل می‌باشد (Soares et al., 2021).

براساس نتایج آزمایش در سال اول، اثر تغذیه و اثر متقابل تنش‌آبی و تغذیه بر کارایی مصرف آب روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. کارایی مصرف آب روغن از ۰/۱۴۲ در شرایط بدون تنش به ۰/۱۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش یافت. بیشترین کارایی مصرف آب روغن مربوط به کاربرد NPK+PB-2 تحت شرایط تنش‌آبی با میانگین ۰/۱۶۸ کیلوگرم در مترمکعب بود که در مقایسه با تیمار شاهد افزایش ۴۵/۲ درصدی داشت. کمترین کارایی مصرف آب روغن در عدم استفاده از کود تحت شرایط تنش‌آبی (با میانگین ۰/۰۸۲ کیلوگرم در مترمکعب) بود. اثر انواع کودها بر کارایی مصرف آب روغن در شکل ۱۱ ارائه شده است:



شکل ۱۰. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش‌آبی و تغذیه گیاهی بر کارایی مصرف آب دانه در سال دوم

Fig 10. Comparison of the average interaction effect of water stress and plant nutrition on seed water consumption efficiency in the second year



شکل ۱۱. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش‌آبی و تیمارهای تغذیه گیاهی بر کارایی مصرف آب روغن در سال اول

Fig 11. Comparison of the average interaction effect of water stress and plant nutrition treatments on water use efficiency of oil in the first year

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های سال دوم، اثر تغذیه در سطح احتمال یک درصد بر کارایی مصرف آب روغن معنی‌دار بود. کاربرد تلفیقی از NPK+PB-2 منجر به افزایش و ایجاد بالاترین میانگین کارایی مصرف آب روغن با میانگین ۰/۱۸۹ کیلوگرم در مترمکعب گردید. میزان کارایی مصرف آب روغن از ۰/۱۴۲ در شرایط بدون تنش به ۰/۱۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب در شرایط تنش کاهش یافت. کاربرد HA منجر به ایجاد کمترین کارایی مصرف آب روغن با ۰/۰۹۴ کیلوگرم در مترمکعب گردید (جدول ۶).

تنش‌آبی منجر به افزایش کارایی مصرف آب برای تولید دانه و روغن گردید. افزایش کارایی مصرف آب تحت شرایط تنش‌آبی در گیاهان مختلفی همچون کنجد، رزماری و بالنگو گزارش شده است (Askari et al., 2019; Abbaszadeh et al., 2020; Paravar et al., 2022). یکی از دلایل افزایش کارایی مصرف آب تحت شرایط تنش، بسته بودن روزنه‌ها و کاهش تعرق می‌باشد (Soares et al., 2021). به‌طور کلی در طی دو سال اجرای آزمایش در برخی از صفات نتایج متفاوتی داشت. به نظر می‌رسد تفاوت بین سال‌های رشد گیاه در مطالعه حاضر به‌دلیل تغییر مؤلفه‌های آب و هوایی مانند دما و بارندگی در طول دو سال است. کاهش بارندگی در سال دوم بر میزان کاهش برخی از صفات از جمله تعداد دانه، تعداد غوزه در مترمربع، عملکرد دانه اثرگذار بوده است. به‌طور کلی در اکثر صفات کاربرد تلفیقی منابع کودی باعث تأثیرگذاری

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر تنش‌آبی و تغذیه گیاهی بر عملکرد روغن در سال دوم

Table 6. Comparison of the average effect of water stress and plant nutrition on oil yield in the second year

تنش‌آبی (درصد نیاز آبی گیاه) Water stress (percentage of plant water (requirement	کارایی مصرف آب روغن (کیلوگرم بر مترمکعب) water use efficiency of oil (kg/m^3)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) oil yield (kg/ha)
100	0.142 a	714.03 a
50	0.135 a	47571 b
	تغذیه Nutrition	
شاهد (Evidence)	0.138 c	454 c
NPK	0.136 bc	556.9 bc
HA	0.094 c	405.8 c
PB-2	0.134 bc	593.9 abc
NPK+HA	0.135 bc	595.9 abc
NPK+PB-2	0.189 a	809.6 a
HA+PB-2	0.141 abc	608.2 abc
NPK+HA+PB-2	0.173 ab	734.3 ab

بیشتری بر افزایش میانگین صفات رشدی و عملکردی و فیزیولوژیک گلرنگ گردید. ترکیب کودهای شیمیایی و آلی نه‌تنها در بهبود خواص و محیط خاک مفید است، بلکه باعث ارتقای عملکرد و کیفیت محصول می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، اثرات تنش کم آبی و نوع تغذیه، بر عملکرد گیاه گلرنگ مورد بررسی قرار گرفت. تنش‌آبی باعث کاهش معنی‌دار وزن و عملکرد دانه، روغن دانه، تعداد غوزه در بوته، تعداد غوزه در مترمربع و تعداد دانه در غوزه گردید. تنش‌آبی منجر به افزایش کارایی مصرف آب برای تولید دانه و روغن گردید. استفاده از کودهای شیمیایی، آلی و زیستی منجر به بهبود صفات رشدی، عملکردی و افزایش صفات کیفی از قبیل درصد روغن دانه و عملکرد روغن گردید. استفاده از منابع مختلف کودی در مقایسه با شرایط عدم کاربرد کود، افزایش میانگین صفات عملکردی، فیزیولوژیک و کیفی گلرنگ را به‌دنبال داشت. براساس نتایج تحقیق تعداد دانه در غوزه در شرایط تنش کاهش یافت و بیشترین تعداد دانه در غوزه در کاربرد اسید هومیک و فسفر بارور ۲ بود. تنش‌آبی منجر به کاهش معنی‌دار میانگین وزن هزار دانه گردید. همه منابع کودی در مقایسه با تیمار شاهد منجر به افزایش معنی‌داری میانگین وزن هزار دانه گردید. تنش‌آبی بر تعداد غوزه در مترمربع تأثیر منفی داشت. کاربرد اسید هیومیک تحت شرایط بدون تنش و نیتروژن، فسفر و پتاسیم و فسفر بارور ۲ در شرایط تنش منجر به ایجاد بیشترین تعداد غوزه در مترمربع گردید. بالاترین عملکرد دانه در سال دوم در کاربرد نیتروژن، فسفر و پتاسیم و فسفر بارور ۲ تحت شرایط بدون تنش بود. در شرایط تنش استفاده از تیمار کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم منجر به بیشترین عملکرد دانه گردید. استفاده از منابع کودی منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک گردید. استفاده از تیمار نیتروژن، فسفات، پتاسیم و تیمار تلفیقی NPK+PB-2 بیشترین تأثیر را بر عملکرد روغن در شرایط تنش و عدم تنش داشت. بیشترین درصد روغن دانه در شرایط بدون تنش در کاربرد اسید هومیک و فسفر بارور ۲ بود. استفاده از تیمار تلفیقی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و فسفر بارور ۲ منجر به افزایش کارایی مصرف آب دانه گردید. به‌طور کلی در اکثر صفات کاربرد تلفیقی منابع کودی باعث تأثیرگذاری بیشتری بر افزایش میانگین صفات رشدی و عملکردی و فیزیولوژیک گلرنگ گردید. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گیری نمود که در شرایط تنش‌آبی، استفاده از منابع کودی در تعدیل خسارت‌های ناشی از این تنش بر گیاه گلرنگ مؤثر است.

منابع

Abbaszadeh, B., Layeghhaghighi, M., Azimi, R., & Hadi, N. (2020). Improving water use efficiency through water deficit and using salicylic acid for proper production of Rosmarinus officinalis L. *Industrial Crops and Products*, 144, 111893. [In Persian]. DOI:10.1016/j.indcrop.2019.111893

Ahmadvand, G., Hajinia, S. (2019). Effect of intercropping on water use efficiency, yield quantity, and quality of millet and soybean in different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science,* 49(4), 97-113. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.230808.654302

Afshari, F., Nakhaei, F., Mosavi, S., & Seghatoleslami, M. (2022). Physiological and biochemical responses of Stevia rebaudiana Bertoni to nutri-priming and foliar nutrition under water supply restrictions. *Industrial Crops and Products*, 176, 114399. [In Persian]. DOI:10.1016/j.indcrop.2021.114399

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1995). *Official Methods of Analysis*, 16th Edition. AOAC International, Gaithersburg, MD.

Alaei, J., Mokari, M., & Ghaderi, A. (2023). The simultaneous effects of salinity and drought stresses on the yield and yield components of safflower (Carthamus tinctorius) under climatic conditions of Kashmar.. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage,* 17(3), 401-4011. [In Persian]. DOR: 20.1001.1.20087942.1402.17.3.15.3

Askari, A., Ardakani, MR., Paknejad, F., & Hosseini, Y. (2019). Effects of mycorrhizal symbiosis and seed priming on yield and water use efficiency of sesame under water-deficient deficit conditions. *Scientia Horticulturae,* 257 108749. [In Persian]. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108749

Azimzadeh, S.m. (2017). Effect of organic fertilizers on yield and yield components of safflower (Carthamus tinctorious L.). *Field Crops Research*, 15(3), 575-587. [In Persian]. DOI: 10.22067/gsc.v15i3.49077

Baghbani-Arani, A., Jami, M.G., Namdari, A., & Karami Borz-Abad, R. (2020). Influence of irrigation regimes, zeolite, inorganic and organic manures on water use efficiency, soil fertility, and yield of sunflower in a sandy soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51, 711-725. [In Persian]. https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1729791

Baghbani-Arani, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mashhadi-Akbar-Boojar, M., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2017). Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters, and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Industrial Crops and Products*, 109, 346-357. [In Persian]. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.049

Blumenthal, M., Lindstrom, A., Lynch, M.E., & Rea, P. (2011). Herb sales continue to grow, up 3.3% in 2010**.** *Herbal Gram*. 90, 64-67.

Das, K., Roychoudhury, A. (2014). Reactive oxygen species (ROS) and response of

of a temperate grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 186, 11-22.

Ghobadi, R., Shirkhani, A., & Jalilian, A. (2015). Effects of Water stress and nitrogen fertilizer on yield, its components, water and nitrogen use efficiency of corn (Zea mays L.) cv. SC. 704. *Applied Field Crops Research*, 28(106), 79-87. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/AJ.2015.105726

Gholizadeh, A., Dehghani, H., Khodadadi, M., & Gulick, P.J. (2018). Genetic combining ability of coriander genotypes for agronomic and phytochemical traits in response to contrasting irrigation regimes. PLoS One, 13, e0199630. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199630

Hack, H., Bleiholder, H., Buhr, L., Meier, U., Schnock-Fricke, U., Weber, E., & Witzenberger, A. (1992). Einheitliche codierung der phänologischen entwicklungsstadien mono-und dikotyler pflanzen–erweiterte BBCH-Skala, Allgemein. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd*, 44, 265-270.

Heshmati, S. Akbari, GH. Soltani, e. Dehaghi, M., Fathi Amirkhiz, K., & Maleki, K. (2021). Study the antioxidant enzyme activity and biochemical responses of safflower as affected by foliar application of melatonin under drought conditions. *Journal of Crops Improvement*, 23(4), 883-906. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jci 2021.315815.2490

Heshmati S, Amini Dehaghi M, & Fathi Amirkhiz K. (2016). Effect of Chemical and biological phosphorus on antioxidant enzyme activity and some biochemical antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. *Frontiers in Environmental Science*, 2, 53. https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00053

De Melo, BAG., Motta, FL., & Santana, MHA. (2016). Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments. *Materials Science and Engineering*: *C*, 62, 967-974. https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.12.001

Fard, NS., Abad, HHS., Rad, AS., Heravan, EM., & Daneshian, J. (2018). Effect of drought stress on qualitative characteristics of canola cultivars in winter cultivation. *Industrial Crops and Products*, 114, 87-92. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.082

Fathi, A., Bahamin, S. (2018). The effect of irrigation levels and foliar application (zinc, humic acid, and salicylic acid) on growth characteristics, yield, and yield components of roselle (Hibiscus sabdariffa L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 11, 661-674. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2017.720.1146

Flemmer, A., Franchini, M., & Lindström, L. (2015). Description of safflower (Carthamus tinctorius) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 166, 331-339.

Grant, K., Kreyling, J., Dienstbach, LF., Beierkuhnlein, C., & Jentsch, A. (2014). Water stress due to increased intra-annual precipitation variability reduced forage yield but raised forage quality

A. (2022). Lallemantia Iberica and Lallemantia Royleana: The effect of mycorrhizal fungal inoculation on growth and mycorrhizal dependency under sterile and non-sterile soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1-12. [In Persian]. https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2034844

Rashedi, A., Sirousmehr, A. , Mousavi Nik, M., & Ghanbari, A. (2022). Effect of foliar application of organic growth stimulators on physiological characteristics, yield, and percentage of safflower oil (Carthamus tinctorius L.) under levels of water deficit. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 18(71), 48-6. [In Persian]. https://doi.org/10.30495/iper.2022.1957624.1792

Rezaei, A., Lotfi, B., Jafari, M., & Bahamin, S. (2015). Survey of effects of PGPR and salinity on the characteristics of Nigella leaves. *In Biological Forum-An International Journal*. 7, 1085-1092. [In Persian].

Saxton, K., Rawls, W.J., Romberger, J.S., & Papendick, R. (1986). Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Science Society of America Journal*, 50, 1031-1036. http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000040039x

Sampathkumar, T., Pandian, B., Rangaswamy, M., Manickasundaram, P., & Jeyakumar, P. (2013). Influence of deficit irrigation on growth, yield, and yield parameters of cotton–maize cropping sequence. *Agricultural Water Management*, 130, 90-102. https://doi.org/10.1016/j.

traits of spring safflower (Carthamus tinctorius L.) under water deficit stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 6(19), 203-214. [In Persian] URL: http://jcpp.iut.ac.ir/article-1-2523-fa.html

_Javadi, H., Rezvani Moghadam, P., Rashed Mohasel, M, & Seghatoleslami, M.J. (2021). Effect of organic, Chemical, and biological fertilizers on yield and efficiency of nitrogen and phosphorus in porslane (Portulaca oleracea L). *Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(3), 271-293. [In Persian].

Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K. (2010). Seed filling patterns of safflower: Genotypic and seasonal variations and association with other agronomic traits. *Industrial Crops and Products*, 31, 71-76. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.014

Lum, M., Hanafi, M., Rafii, Y., & Akmar, A. (2014). Effect of water deficit on growth, proline, and antioxidant enzyme activity of upland rice. JAPS: *Journal of Animal & Plant Sciences*, 24(5), 1487-1493 https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3590507.

Palizdar, M., Delkhosh, B., Shiranirad, A.H., Noormohammadi, Gh. (2013). Investigation on effects of irrigation regimes and potassium content on yield and yield components of safflower (Carthamus tinctorius L.).*Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 28(4), 628-645. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2013.2915

Paravar, A., Maleki Farahani, S., & Rezazadeh,

Singh, S., Angadi, S.V., Grover, K.K., Hilaire, RS., Begna, S. (2016). Effect of growth stage-based irrigation on soil water extraction and water use efficiency of spring safflower cultivars. *Agricultural Water Management*, 177, 432-439. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.023

Soares, GF., Ribeiro, WQ., Pereira, LF., Lima, CAd., Soares, DdS., Muller, O., Rascher, U., & Ramos, MLG. (2020). Characterization of wheat genotypes for drought tolerance and water use efficiency. *Scientia Agricola*, 78. https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0304

Soltani, E., Adeli, R., Akbari, G.A., & Ramshini, H. (2017). Application of the hydrotime model to predict early vigour of rapeseed (Brassica napus L.) under abiotic stresses. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39, 1-11. [In Persian]. https://doi.org/10.1007/s11738-017-2552-0

Zafarian L. Eivazi A., & Jalili F. (2012). Effect of phosphate and nitrogen biofertilizer on yield and yield components of Carthamus tinctorius L. *Journal of Research in Agronomy*, 3(12), 29. [In Persian].

Zafari, M., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., & Sedghi, M. (2020). Safflower (Carthamus tinctorius) biochemical properties, yield, and oil content are affected by 24-epibrassinosteroid and genotype under water deficit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 68(22), 6040–6047. [In Persian].https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06860

Zafari, M., Ebadi, A , Jahanbakhsh, S., & Godehahriz M S. (2015). Evaluating agwat.2013.08.018

Soltani, E., Adeli, R., Akbari, G.A., & Ramshini, H. (2017). Application of the hydrotime model to predict early vigour of rapeseed (Brassica napus L.) under abiotic stresses. *Acta Physiologiae Plantarum,* 39, 1-11. https://doi.org/10.1007/s11738-017-2552-0

Soares, GF., Ribeiro, WQ., Pereira, LF., Lima, CAd., Soares, DdS., Muller, O., Rascher, U., & Ramos, MLG. (2020). *Characterization of wheat genotypes for drought tolerance and water use efficiency*. Scientia Agricola, 78.

Shabani, G., Khoshkho, Sh., Khorami, M., Jafarzadeh, M., Akbarabadi, A. (2015). Effect of sulfur and biofertilizers application on yield and yield components of linseed (Linum ustatissimum L). *Applied Field Crops Research,* 28(4), 35-42.[In Persian]. Doi: 10.22092/aj. 2016.106740

Shahrokhnia, M.H., Sepaskhah, A.R. (2017). Physiologic and agronomic traits in safflower under various irrigation strategies, planting methods, and nitrogen fertilization. *Industrial Crops and Products*, 95, 126-139. [In Persian].https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.10.021

Shahrokhnia, M.H., Khadem Hamzeh, H.R. (2022). Investigation of the effect of drought stress on safflower cultivars and presentation of critical stress limits based on plant canopy temperature. *Iranian Water Research Journal.* 16(46), 1-12. [In Persian]. https://doi.org/10.22034/iwrj2022.13839.2394

Some Physiological Characteristics of Safflower Cultivars) Carthamus tinctorius L.(Under Water Deficit Stress and Brassinosteroid Application. *Journal of Crop Ecophysiology*, 44(11),75-743. [In Persian]. https://www.magiran.com/p1838925