خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و جذب عناصر غذایی ارقام گلرنگ تحت شرایط تنش آبی

چکیده

به منظور بررسی تنوع ژنتیکی ارقام گلرنگ بر اساس عملکرد، اجزای عملکرد و جذب عناصر غذایی تحت شرایط تنش آبی، آزمایشی بصورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل: سه سطح آبیاری (آبیاری نرمال، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله تشکیل طبق) و هفت رقم (فرامان، سینا، امید، پدیده، گلدشت، پرنیان و گلمهر) بود. هدف از این آزمایش بررسی تنوع ژنتیکی ارقام گلرنگ، بر اساس عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، ارتفاع بوته، وزن صد دانه، تعداد دانه در طبق، قطر طبق، تعداد طبق در بوته و همچنین بررسی جذب عناصر غذایی شامل فسفر، پتاسیم، آهن، مس، کلسیم، روی و منگنز از خاک در شرایط تنش آبی بود. نتایج این پژوهش نشان داد، اثر متقابل آبیاری در رقم، همه صفات مورفولوژیکی به جز تعدادشاخه فرعی را به شکل معنی‌داری ($p\leq$ ۰/۰۱) تحت تأثیر قرار داد. بیشترین عملکرد دانه با مقدار ۳۱ گرم مربوط به رقم پرنیان در تیمار شاهد بود که در تیمار تنش آبی در مرحله گلدهی ۵۸ درصد کاهش یافت. نتایج نشان داد اثر متقابل آبیاری در رقم، جذب عناصر غذایی دانه را به شکل معنی‌داری ($p\leq$ ۰/۰۱) تحت تأثیر قرار داد. نتایج این آزمایش نشان داد که رقم های مختلف گلرنگ بیشترین تفاوت ها را در شرایط بدون تنش آبی از خود نشان می دهند و همچنین جذب عناصر مختلف در شرایط تنش آبی تفاوت های زیادی از خود نشان می دهد.

واژگان کلیدی: *گلرنگ،تنوع ژنتیکی، تنش آبی، عملکرد دانه، جذب عناصر غذایی.*

Morphological Traits, Yield and Nutrient Uptake of Safflower Cultivars Under Water Stress Conditions

Abstract:

In order to investigate the genetic diversity of safflower cultivars based on yield, yield components, and mineral nutrient uptake under water stress conditions, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replicates at the research greenhouse of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, Darab, Shiraz University. The experimental factors included three irrigation levels (normal irrigation, irrigation cut off at flowering stage, and irrigation cut off at head formation stage) and seven cultivars (Faraman, Sina, Omid, Padideh, Goldasht, Parnian, and Golmehr). The aim of this study was to evaluate the genetic variation among safflower cultivars in terms of grain yield, biological yield, plant height, 100 seed weight, number of seeds per head, head diameter, number of heads per plant under water stress conditions, as well as to assess mineral nutrient uptake from soil under such conditions. The results showed that the interaction between irrigation levels and cultivars had a highly significant effect ($p \leq 0.01$) on all morphological traits, except for the number of secondary branches. The highest grain yield (31 g) was observed in the Parnian cultivar under normal irrigation. Seed yield of all cultivars decreased under water stress conditions, however, the highest yield (15.8 g per plant) in this condition related to Omid cultivar which also had the minimum variations among the cultivars. The results of this experiment showed that the highest genetic variation of cultivars appeared under normal irrigation conditions as well as high variations of nutrient uptakes.

Keywords: safflower, genetic diversity, water stress, seed yield, mineral element uptake.

EXTENDED ABSTRACT

Background and Objectives

Water deficiency is a major abiotic stress that severely limits agricultural productivity, particularly in arid and semi-arid regions where crops like safflower are cultivated. Drought

stress during critical growth stages can disrupt physiological processes, leading to substantial reductions in yield and alterations in nutrient acquisition. Understanding the genetic variation among cultivars in their response to water deficit is crucial for developing resilient crop varieties. The objectives of this study were to: i) investigate the genetic diversity of seven safflower cultivars under different irrigation regimes, ii) quantify the impact of water stress timing on grain yield, biomass, and morphological traits, and iii) assess how cultivar and irrigation interactions affect the uptake and concentration of key mineral nutrients (Cu, Fe, P, K) in the seeds.

Materials and Methods

A factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replicates at the research greenhouse of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, Darab, Shiraz University. The experimental factors included three irrigation levels: normal irrigation, water stress imposed at the flowering stage, and water stress imposed at the head formation stage. These treatments were applied to seven distinct Iranian safflower cultivars: Faraman, Sina, Omid, Padideh, Goldasht, Parnian, and Golmehr. Standard agronomic practices were maintained for all groups except for the targeted water stress treatments. At physiological maturity, the plants were harvested, and data were collected on agronomic traits including grain yield, biomass, and the number of secondary branches. Additionally, seed samples were analyzed using appropriate laboratory techniques to determine the concentrations of copper, iron, phosphorus, and potassium.

Results

The statistical analysis revealed that the interaction between irrigation levels and cultivars had a highly significant effect ($p \leq 0.01$) on nearly all measured morphological and agronomic traits. The only exception was the number of secondary branches, which was not significantly influenced by this interaction. In terms of yield, the Parnian cultivar demonstrated superior performance under optimal conditions, producing the highest grain yield of 31 grams per plant and the maximum biomass of 135 grams per plant. However, this cultivar was highly sensitive to water stress, suffering a drastic 58% reduction in grain yield and a 42% decrease in biomass when water was withheld at the flowering stage. The other cultivars exhibited varying degrees of tolerance, but none matched Parnian's yield under normal irrigation or its level of decline under stress. Regarding mineral nutrition, the irrigation-by-cultivar interaction also significantly ($p \leq 0.01$) affected all seed nutrient uptake traits. The highest seed concentrations of copper, iron, phosphorus, and potassium were consistently recorded in the Parnian cultivar under normal irrigation. A clear pattern emerged where these optimal nutrient concentrations were significantly diminished across all cultivars when subjected to water stress, with the most severe reductions again occurring due to flowering-stage stress. This indicates that stress timing is critical, with the flowering stage being more detrimental to both yield and nutrient accumulation than the head formation stage.

Conclusion

This study conclusively demonstrates a significant genetic diversity among safflower cultivars in their physiological and agronomic response to water stress. The Parnian cultivar, while high-yielding under optimal irrigation, proved to be highly susceptible to drought, particularly when

it occurred during the flowering stage. The findings highlight that the timing of water stress is a critical factor, with the flowering stage identified as the most sensitive period for irreversible damage to yield and nutrient partitioning. The strong interaction effect on seed mineral content further reveals that water stress not only reduces yield but also compromises the nutritional quality of the harvested crop. Therefore, selecting for drought tolerance specific to the flowering stage should be a key breeding objective. For cultivation in drought-prone environments, it is recommended to avoid highly sensitive cultivars like Parnian in favor of more stable, though potentially lower-yielding, alternatives under optimal conditions. Future research should focus on the physiological mechanisms conferring tolerance in the more resilient cultivars to inform marker-assisted breeding programs.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

Ethical considerations

The author declares that there is no conflict of interest regarding the publication of this manuscript. In addition, the ethical issues, including plagiarism, informed consent, misconduct, data fabrication and/or falsification, double publication and/or submission, and redundancies have been completely observed by the authors.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

ویراستار نشده

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از گیاهان دانه روغنی مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که به دلیل مقاومت به تنش‌های محیطی، به‌ویژه خشکی، مورد توجه قرار گرفته است (حسین و همکاران، ۱۳۹۸). این گیاه به عنوان منبعی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع، نقش مهمی در صنایع غذایی، دارویی و آرایشی دارد (Kurt et al., 2025). گلرنگ یک گیاه زراعی با سابقه کشت نسبتاً طولانی است که به خوبی با مناطق نیمه خشک سازگار شده است، گلرنگ گیاهی روز بلند است و در فصول مختلف (بهار/تابستان/پاییز) در سرتاسر جهان رشد می‌کند (این گیاه حاوی ۳۵ تا ۴۵ درصد روغن نباتی با کیفیت بالا است (ملکی نژاد و مجیدی،۱۳۹۴). گلرنگ در بیش از ۲۵ کشور دنیا کشت می‌شود با این وجود روسیه، قزاقستان، هند، آرژانتین، مکزیک، ایالات متحده آمریکا و ازبکستان از کشورهای عمده تولید گلرنگ در جهان به حساب می‌آیند (FAO, 2025). کمبود دانه‌های روغنی از یک سو و محدودیت منابع آب جهت کشت محصولات زراعی مانند گلرنگ از سوی دیگر، ضرورت شناسایی ژنوتیپ‌های گیاهان زراعی مختلف از جمله گلرنگ را مشخص می نماید. در این راستا تعیین زمان مراحل حساس رشد گیاه به تنش آبی و همچنین رابطه صفات مختلف از جمله عملکرد و سایر صفات زراعی می تواند به کاهش خسارات ناشی از این محدودیت‌ها کمک نماید (بهادری و همکاران، ۱۴۰۰). با توجه به اهمیت گلرنگ به‌عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی و نقش آن در تأمین روغن و سایر محصولات صنعتی، بررسی تنوع ژنتیکی این گیاه تحت شرایط تنش آبی می‌تواند به شناسایی ارقام مقاوم و بهبود برنامه‌های به‌نژادی کمک کند. همچنین این پژوهش جهت ارزیابی عملکرد و جذب عناصر غذایی در ارقام مختلف گلرنگ تحت شرایط تنش آبی انجام گرفت تا راهکارهایی برای افزایش پایداری تولید این گیاه در مناطق خشک ارائه دهد.

پیشینه پژوهش

بهادری و همکاران (۱۴۰۰)، به منظور بررسی کشت تاخیری بر انتقال مجدد مواد پرورده، اجزای عملکرد و عملکرد دو رقم گلرنگ در سه رژیم آبیاری (آبیاری مطلوب و قطع آبیاری در مرحله گلدهی و پر شدن دانه) در سه تاریخ کاشت دریافتند قطع آبیاری در مرحله گلدهی و پر شدن دانه باعث کاهش طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و عملکرد دانه می‌شود. آنها همچنین به این نتیجه رسیدند که به این نتیجه رسیدند که تنش آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید گیاهان است و گیاهان برای کاهش اثرات منفی آن، با ایجاد مکانیسم‌های متنوع و از طریق تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و متابولیکی به تنش پاسخ می‌دهند. Erbas et. al., (2024) با بررسی ۱۶ ژنوتیپ مختلف گلرنگ مشاهده کردند که تنوع ژنتیکی زیادی از لحاظ محتوای اسید اولئیک و اسید لینولئیک روغن گلرنگ وجود دارد. ملکی نژاد و مجیدی (۱۳۹۴)، در پژوهشی با هدف مطالعه بین صفات عملکرد، اجزای عملکرد دانه، روغن و صفات مورفولوژیک و بررسی آثار مستقیم و غیر مستقیم آن‌ها بر عملکرد دانه۱۰۰ ژنوتیپ گلرنگ بهاره داخلی و خارجی در دو محیط رطوبتی (عدم تنش و تنش آبی) به این نتایج رسیدند که در هر دو محیط رطوبتی عملکرد دانه با تعداد شاخه در بوته، تعداد غوزه در بوته، تعداد دانه در غوزه، وزن هزار دانه، درصد روغن، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. همچنین Amini et. al., (2014) با بررسی ۶۴ ژنوتیپ گلرنگ در دو شرایط مطلوب رطوبتی و تنش آبی نشان دادند که در شرایط تنش آبی عملکرد، محتوای روغن دانه و رطوبت نسبی برگ‌ها کاهش یافت در حالی که میزان پروتئین، پرولین و کربوهیدرات‌های محلول افزایش پیدا نمود. همچنین ژنوتیپ‌های گلرنگ بر اساس تجزیه خوشه‌ای در سه گروه متفاوت طبقه بندی شدند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که صفات بیوشیمیایی می‌توانند به عنوان معیاری برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرند. طاهری و همکاران (۱۳۹۷)، در پژوهشی با موضوع پاسخ عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه با استفاده از سه سطح آبیاری و ارقام گلرنگ دریافتند تنش آبی با کاهش ۲۱ درصدی تعداد طبق، کاهش ۲۲ درصدی دانه در طبق و کاهش ۱۷ درصدی وزن طبق باعث کاهش عملکرد دانه می شود. کاهش شاخص‌های ذکر شده به دلیل بسته شدن روزنه‌ها در شرایط کمبود آب و کاهش ورود دی اکسید کربن به گیاه بود که این موضوع کاهش ۳۲ درصدی کلروفیل کل را به همراه داشت ودر نتیجه فتوسنتز به شدت کاهش یافته و عملکرد کم می‌شود. دالمیدا سیلوا (۲۰۲۳) با بررسی چهارلاین مختلف گلرنگ و مقایسه آن‌ها در شرایط آبیاری نرمال و تنش آبی در مرحله گلدهی نتیجه گرفت که عملکرد، تعداد دانه در گل آذین، وزن صد دانه، شاخص برداشت، محتوای رطوبت نسبی، محتوای رنگدانه ای گیاه و میزان کلروفیل بوته در حالت تنش آبی کاهش معنی‌داری را از خود نشان داد. درحالی که تنش آبی، کارایی استفاده از آب و نشت یونی برگ‌های گلرنگ را افزایش داد.

روش شناسی پژوهش

در آغاز تحقیق و قبل از کاشت، جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مورد نیاز با استفاده از مته، نمونه‌برداری مرکب صورت گرفت.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

خصوصیات فیزیکی			خصوصیات شیمیایی									
شن	سیلت	رس	پتاس	فسفر	نیتروژن	pH	EC (dS/m)	کربن آلی (٪)	ماده آلی (٪)	آهن	مس	منگنز	روی
٪۵۹/۷۲	٪۳۲/۳۲	٪۸/۹۶	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}					mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}
لومی شنی (خاک سبک)			۱۴۰	۷	۰/۰۱	۷/۶۳	۰/۹۶	۰/۳۹	۰/۶۸	۰/۴۰۲	۰/۹۰۴	۱/۷۶۸	۰/۱۶۴

ویرایش شده

بعد از این که نمونه خاک به آزمایشگاه منتقل و هوا خشک شد و بعد از عبور از الک دو میلی‌متری خصوصیات مختلف خاک از قبیل قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، pH، درصد رس، سیلت و شن (بافت خاک) و همچنین قابلیت استفاده فسفر، پتاسیم، منگنز، آهن، روی و مس به روش‌های معمول آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، واقع در ۷ کیلومتری شهرستان داراب با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۵ دقیقه و ارتفاع ۱۱۸۰ متر از سطح دریا و در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. این آزمایش به روش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه تحقیقاتی اجرا شد. تیمارها در این پژوهش شامل دو عامل بودند. عامل اول آبیاری در سه سطح شامل آبیاری مطلوب (بدون تنش)، تنش آبی (قطع آبیاری) در مرحله گلدهی و تنش آبی در مرحله تشکیل طبق بود. عامل دوم یعنی رقم شامل ارقام پدیده(مناطق سرد و معتدله، دیررس، خاردار)، گل مهر(مناطق سرد و معتدل و دیررس، بی‌خار)، پرنیان(مناطق معتدله و گرم نسبتا زودرس، بی‌خار)، سینا (مناطق معتدل مقاوم به تنش خشکی و مناسب کشت دیم، خاردار) فرامان(مناطق معتدل مقاوم به خشکی زودرس، بی‌خار)، امید(مناسب کشت دیم در مناطق معتدل و سرد، بی‌خار) و گلدشت (مناطق گرم و گرم معتدل متوسط رس، بی‌خار) بود. بذر ارقام گلرنگ در ۲۵ آذر ۱۴۰۰ در گلدان‌هایی حاوی ۸ کیلوگرم خاک در عمق حدود ۵ سانتی‌متری خاک در کشت گردید. در هر گلدان در ابتدا ۵ بوته وجود داشت که به ۳ بوته تنک گردید. در طول فصل رشد محتوی رطوبت خاک گلدان‌ها بر اساس تیمارهای آزمایش توسط روش وزنی در حدود ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و بصورت روزانه کنترل شد. به هر گلدان ۳۰ روز پس از سبز شدن گیاهچه‌ها به میزان ۰/۸ گرم کود اوره اضافه گردید. تنش آبی در این پژوهش بصورت قطع آبیاری در مرحله گلدهی و همچنین قطع آبیاری در مرحله تشکیل طبق اعمال شد. در طول رشد گیاهان دمای گلخانه در محدوده ۵±۲۵ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۱۰±۶۵ درصد نگهداری شد.

پس از رسیدگی فیزیولوژیک و برداشت گیاه، ۲ بوته به طور تصادفی از هر گلدان انتخاب و ارتفاع بوته برحسب سانتیمتر به وسیله خط کش اندازه گیری شد. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌های اندام‌های هوایی در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند و توزین گردیدند. صفات مختلف مانند تعداد طبق، تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه در تک بوته، وزن صد دانه اندازه‌گیری و میانگین داده‌های حاصل به عنوان ارزش آن صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد. عملکرد دانه در گلدان از طریق توزین نهایی عملکرد دانه (با رطوبت ۱۴ درصد) در یک گلدان اندازه گیری شد. برای تعیین عملکرد کل ماده خشک (عملکرد زیست توده)، ۲ بوته به طور تصادفی انتخاب گردید و وزن تر بوته‌ها اندازه‌گیری شد. سپس بوته‌های مذکور به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردید. سپس وزن خشک بوته‌ها اندازه‌گیری شد و با استفاده از تناسب، وزن خشک کل به دست آمد و به عنوان عملکرد زیست توده ثبت شد.

پس از برداشت اندام هوایی و دانه گلرنگ، ماده خشک اندام هوایی و دانه توسط آسیاب برقی پودرشده و سپس ۶ گرم از آن در کوره الکتریکی با دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، خاکستر و بعد ازحل در اسید کلریدریک ۲ نرمال از کاغذ صافی عبور داده شد و بعد توسط آب مقطر به حجم رسانده شد. در عصاره حاصل، غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، منگنز، روی، مس، آهن و کلسیم به وسیله دستگاه جذب اتمی (PG 990 PG Instruments Ltd. UK؛AAS) در دانه گیاه اندازه‌گیری شد. میزان جذب عناصر غذایی در دانه (میلی‌گرم در لیتر) از حاصلضرب وزن خشک در غلظت (درصد) آنها محاسبه شد.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS20 و SAS 9.4 و Minitab21 انجام شد. نرمال بودن داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرارگرفت. رسم نمودارها با استفاده از برنامه اکسل Microsoft Office Excel 2013 انجام شد. و میانگین داده‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تأثیر سطوح آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و جذب عناصر غذایی ارقام گلرنگ

ویرایش اولیه

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که سطوح آبیاری تاثیر معنی داری بر عملکرد دانه، ارتفاع بوته، وزن صد دانه، تعداد دانه در طبق، قطر طبق، تعداد طبق در بوته، تعداد شاخه فرعی، زیست‌توده گذاشته است. بین ارقام از نظرعملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد دانه در طبق، قطر طبق، تعداد طبق در بوته و عملکرد زیست توده تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲). از لحاظ تعداد شاخه‌های فرعی در ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری نشان داده نشد (جدول ۲). واکنش ارقام مختلف به تغییرات آبیاری متفاوت بود. برخی ارقام در شرایط کم‌آبی عملکرد بهتری از نظر دانه در طبق، قطر طبق و زیست‌توده داشته‌اند. برخی ارقام توانستند وزن دانه، تعداد شاخه‌های فرعی و ارتفاع بوته خود را در شرایط کم‌آبی حفظ کنند. بهادری و همکاران (۱۴۰۰) کاهش عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، وزن صد دانه، ارتفاع بوته و سایر صفات مورفولوژیکی در تیمار تنش آبی در گلرنگ گزارش کرده اند. آنها همچنین به اهمیت بیشتر تنش آبی در مرحله گلدهی نسبت به مرحله تشکیل دانه تاکید کردند.

جدول۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک ارقام گلرنگ تحت سطوح مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	ارتفاع بوته	وزن صد دانه
سطوح آبیاری	۲	۲۷۷/۶۱**	۵۹۱۹/۲**	۳۳/۷**
ارقام	۶	۱۵/۲۳**	۱۶۷/۷*	۰/۴۸۶ ^{ns}
سطوح آبیاری در رقم	۱۲	۲۱/۸۷**	۱۹۵/۴**	۲/۱۰**
خطای آزمایش	۴۲	۱/۱۴	۳۲/۵۷	۰/۲۴۸۳
ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۶۸	۶/۳۵	۱۱/۵۶

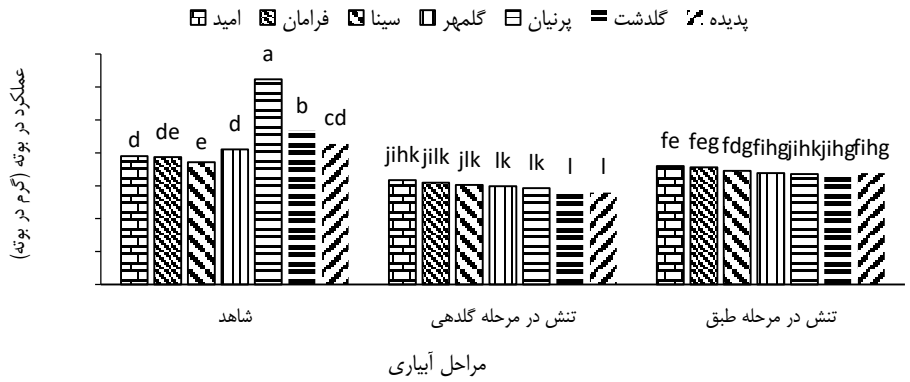
ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک ارقام گلرنگ تحت سطوح مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	دانه در طبق	قطر طبق	تعداد طبق در بوته	تعداد شاخه فرعی	زیست توده
سطوح آبیاری	۲	۹۷۹/۶**	۱۴۴/۷**	۴۸/۴۴**	۴۰/۱۱**	۳۰۹۹۹/۷**
ارقام	۶	۴۳/۶**	۲/۴۳**	۱/۸۰*	۱/۲۰^{ns}	۴۶۴/۸**
سطوح آبیاری در رقم	۱۲	۶۵/۰۲**	۲/۴۶**	۳/۵**	۲/۰۷*	۹۸۶/۸**
خطای آزمایش	۴۲	۲/۸۵	۰/۲۲۹	۰/۷۹۳	۰/۵۵۵	۴/۴۲
ضریب تغییرات (٪)		۱۱/۶۷	۹/۱۴	۱۵/۸۹	۱۵/۹۱	۱۳/۲۵

ویرایشاری نشده

عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد تحت تاثیر متقابل آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه با مقدار ۳۱ گرم مربوط به رقم پرنیان در تیمار شاهد و کمترین عملکرد دانه در بوته با مقدار ۱۳ گرم مربوط به رقم پدیده در تیمار تنش در مرحله گلدهی بود. در تیمار تنش آبی در مرحله گلدهی، عملکرد دانه ۵۸ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری مطلوب داشت. تنش آبی (تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله تشکیل طبق) در همه ارقام موجب کاهش عملکرد دانه گردید. تفاوت معنی داری بین ارقام پرنیان و گلمهر همچنین پدیده و گلدشت در تیمار تنش در مرحله گلدهی وجود نداشت. همچنین تفاوت معنی داری بین ارقام گلمهر و پدیده در تیمار تنش مرحله طبق مشاهده نشد (شکل ۱).

بهادری و همکاران (۱۴۰۰) گزارش کردند که قطع آبیاری در مرحله گلدهی و پرشدن دانه باعث کاهش طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه و عملکرد دانه ارقام گلرنگ می شود. حسنوند و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهشی اعلام کردند اثرات برهمکنش تنش آبی و رقم به طور معنی داری روی عملکرد دانه تاثیرگذار است. رقم فرامان در بین ارقام مورد مطالعه بیشترین عملکرد دانه در شرایط نرمال را داشت همچنین رقم فرامان در شرایط تنش آبی نسبت به سایر ارقام عملکرد دانه بیشتری را به خود اختصاص داد. گنجی و همکاران (۱۴۰۲) در آزمایشی اعلام کردند تنش آبی باعث می‌شود محتوای نسبی آب برگ کاهش معنی‌داری پیدا کند و باعث افزایش دمای کانوپی و کاهش ۷۰ درصد عملکرد دانه شود. طاهری و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی بر روی گلرنگ گزارش کردند در تنش آبی شدید روزنه‌ها بسته می‌شوند و میزان دی اکسید کربن ورودی به گیاه کاهش می‌یابد و این امر باعث کاهش ۳۲ درصدی کلروفیل کل می‌شود که بر فتوسنتز و تولید دانه تاثیر منفی دارد.

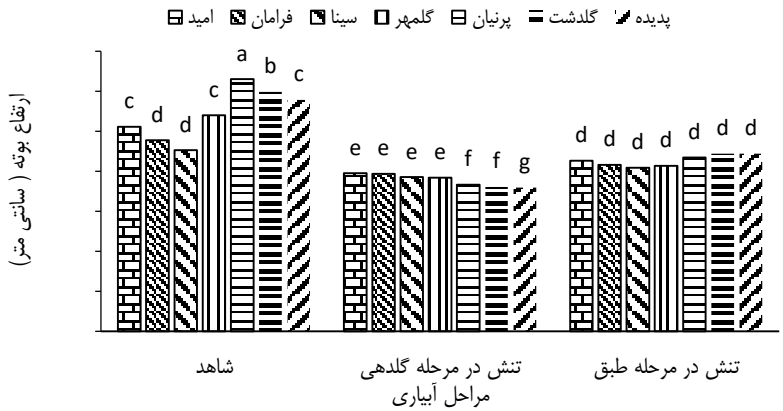


شکل ۱- تاثیر شرایط آبیاری نرمال، تنش آبی در مرحله گلدهی و تنش آبی در مرحله تشکیل طبق بر عملکرد دانه در بوته در ارقام گلرنگ میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱ درصد تحت تاثیر متقابل آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته با مقدار ۱۲۶ سانتی متر مربوط به رقم پرنیان در تیمار شاهد و کمترین ارتفاع بوته با مقدار ۷۲ سانتی متر مربوط به رقم پدیده در تیمار مرحله گلدهی بود. در تیمار تنش آبی در مرحله گلدهی، ارتفاع بوته ۴۲ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری مطلوب داشت. تنش آبی (تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله تشکیل طبق) در همه ارقام موجب کاهش ارتفاع بوته گردید. اگرچه تفاوت معنی داری بین ارقام: امید، فرامان، سینا و گلمهر همچنین پرنیان و گلدشت در تیمار تنش در مرحله گلدهی وجود نداشت. همچنین تفاوت معنی داری بین ارقام در تیمار تنش مرحله طبق مشاهده نشد (شکل ۲).

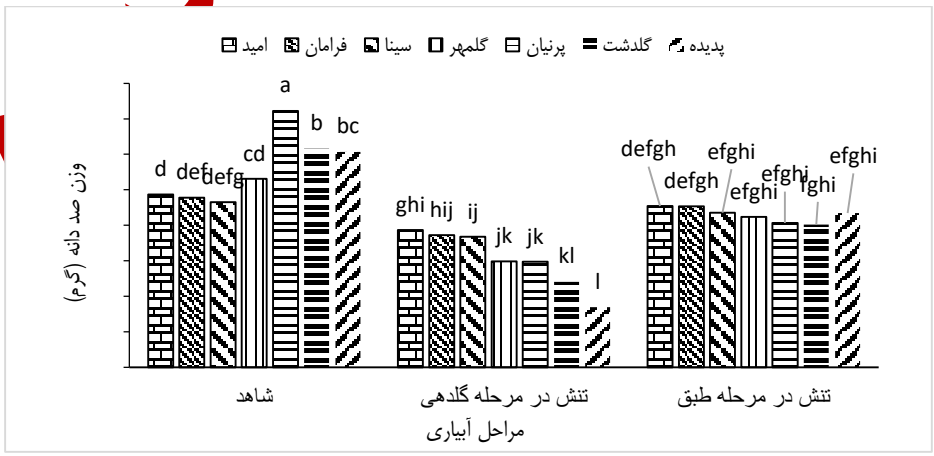
عزیزی و همکاران (۱۴۰۳) گزارش کردند گیاه بیشترین حساسیت به تنش آبی را در مرحله گلدهی دارد و بیشترین آسیب نیز در این مرحله به گیاه وارد می شود. سرگزی و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی اعلام کردند کاهش ارتفاع بوته در حالت تنش اتفاق می افتد و بیشترین کاهش به میزان ۲۰ درصد در مرحله تنش آبی در مرحله گلدهی به اتفاق می افتد.

به طور کلی کاهش ارتفاع گیاه گلرنگ در شرایط تنش آبی به دلیل اختلال در فرآیند فتوسنتز و کاهش مواد فتوسنتزی به بخش های در حال رشد می باشد.



شکل ۲- تاثیر شرایط آبیاری نرمال، تنش آبی در مرحله گلدهی و تنش آبی در مرحله تشکیل طبق برروی ارتفاع بوته در ارقام گلرنگ میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

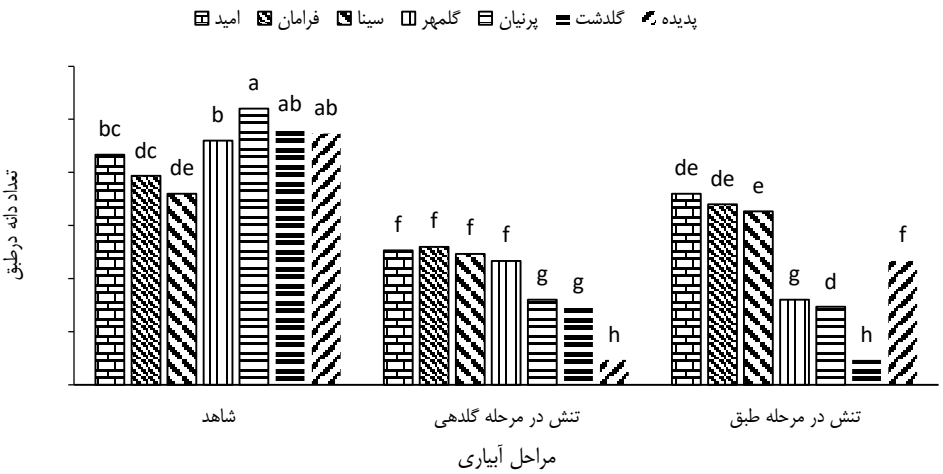
وزن صد دانه در سطح احتمال ۱ درصد تحت تاثیر متقابل آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین وزن صد دانه با مقدار ۷/۶ گرم مربوط به رقم پرنیان در تیمار شاهد و کمترین وزن صد دانه با مقدار ۱/۸ مربوط به رقم پدیده در تیمار تنش مرحله گلدهی بود. در تیمار تنش آبی در مرحله گلدهی، وزن صد دانه ۷۸ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری مطلوب داشت. تنش آبی (تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله تشکیل طبق) در همه ارقام موجب کاهش وزن صد دانه گردید. تفاوت معنی داری بین ارقام در مرحله گلدهی وجود داشت. همچنین تفاوت معنی داری بین ارقام در تیمار تنش مرحله طبق مشاهده نشد (شکل ۳). بهادری و همکاران (۱۴۰۰) قطع آبیاری در مرحله گلدهی و پرشدن دانه باعث کاهش طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه و عملکرد دانه ارقام گلرنگ می شود. طاهری و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه ای بر روی گلرنگ اعلام کردند تنش آبی شدید باعث کاهش ۲۹ درصدی عملکرد دانه، ۲۱ درصدی تعداد طبق در بوته و ۲۲ درصدی تعداد دانه در طبق می شود که در نهایت باعث کاهش وزن هزار دانه می شود. یاری و همکاران (۱۳۹۳) در پژو هشی بر روی گلرنگ گزارش کردند تنش آبی باعث کاهش وزن هزار دانه گلرنگ می شود علت این کاهش، کاهش فتوسنتز است که باعث کم شدن میزان کربو هیدرات های تولید شده در گیاه می شود و وزن هزار دانه را کاهش می دهد همچنین بر اثر تنش آبی شدید کوتاه شدن دوره پرشدن دانه و پیری زودرس گیاه به شدت وزن هزار دانه را کاهش می دهد.



شکل ۳- تاثیر شرایط آبیاری نرمال، تنش آبی در مرحله گلدهی و تنش آبی در مرحله تشکیل طبق برروی وزن صد دانه در ارقام گلرنگ میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

ویرایشاری نشده

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها (جدول ۲) نشان داد که، تعداد دانه در طبق در سطح احتمال ۱ درصد تحت تاثیر متقابل آبیاری و رقم قرار گرفت. بیشترین تعداد دانه در طبق به مقدار ۲۶ دانه مربوط به رقم پرنیان در شرایط شاهد و کمترین تعداد دانه در طبق به مقدار ۷ دانه مربوط به رقم پدیده در تیمار تنش مرحله گلدهی بود. در تیمار تنش آبی در مرحله گلدهی، تعداد دانه در طبق ۷۳ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری مطلوب داشت. تنش آبی (تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله تشکیل طبق) در همه ارقام موجب کاهش تعداد دانه در طبق گردید. اگرچه تفاوت معنی داری بین ارقام: امید، فرامان، سینا و گلمهر و نیز ارقام پدیده و گلدشت در تیمار تنش در مرحله گلدهی وجود نداشت. همچنین تفاوت معنی داری بین ارقام امید و فرامان در تیمار تنش مرحله طبق مشاهده نشد (شکل ۴). بهادری و همکاران (۱۴۰۰) قطع آبیاری در مرحله گلدهی و پرشدن دانه باعث کاهش تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه و عملکرد دانه ارقام گلرنگ می شود. پاسبان اسلام و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی که بر روی گیاه گلرنگ داشتند گزارش کردند که تنش آبی باعث کاهش تعداد دانه در هر طبق می شود، گلرنگ هایی که در مرحله گلدهی و گرده افشانی در معرض تنش آبی قرار گرفتند ۲۱/۵ درصد تعداد دانه کمتری نسبت به گیاهان گلرنگی که در شرایط ابیاری نرمال پرورش یافته بودند، داشتند. سالک معراجی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه ای بر روی گلرنگ اعلام کردند تنش آبی در زمان گلدهی باعث خشک شدن دانه های گرده و کاهش میزان گل های لقا یافته شده که این امر منجر به افزایش دانه های پوک در طبق شده و کاهش تعداد دانه در طبق مشاهده می گردد.



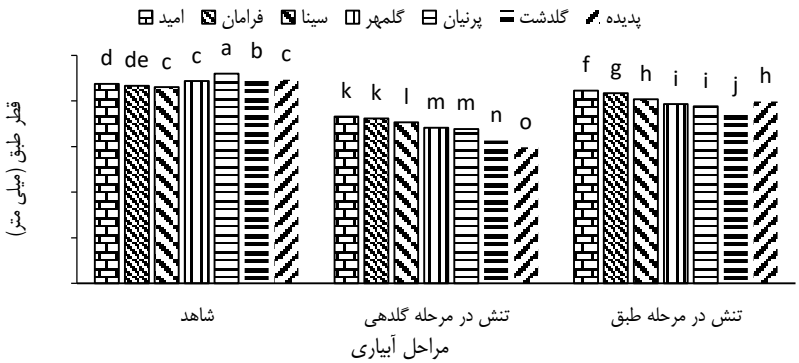
شکل ۴- تاثیر شرایط آبیاری نرمال، تنش آبی در مرحله گلدهی و تنش آبی در مرحله تشکیل طبق برروی تعداد دانه در ارقام گلرنگ میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

قطر طبق در گلرنگ از جمله شاخص های مورفولوژیکی است که نشان دهنده سهم اختصاص یافته مواد پرورده به رشد و عملکرد گیاه می‌باشد. مطابق جدول ۲، قطر طبق در سطح احتمال ۱ درصد تحت تاثیر متقابل آبیاری و رقم قرار گرفت. بیشترین قطر طبق به مقدار ۲۳ میلی متر مربوط به رقم پرنیان در شرایط شاهد و کمترین قطر طبق به مقدار ۱۵ میلی متر مربوط به رقم پدیده در تیمار تنش مرحله گلدهی بود. در تیمار تنش آبی در مرحله گلدهی، مقدار قطر طبق ۳۴ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری مطلوب داشت. تنش آبی (تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله تشکیل طبق) در همه ارقام موجب کاهش قطر طبق گردید. اگرچه تفاوت معنی داری بین ارقام پدیده و گلدشت همچنین گلمهر و پرنیان در تیمار تنش در مرحله گلدهی وجود نداشت. همچنین تفاوت معنی داری بین ارقام گلمهر و پرنیان در تیمار تنش مرحله طبق مشاهده نشد (شکل۵).

حسینی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی دریافتند در شرایط تنش آبی قطر طبق گیاه گلرنگ به طور معنی داری کاهش پیدا می کند. حق شناس و همکاران (۱۳۹۹) در آزمایش گزارش کردند با افزایش تنش آبی، قطر طبق کاهش معنی داری پیدا می کند همچنین دریافتند گیاهان گلرنگی که قطر ساقه بیشتری داشتند معمولا قطر طبق بزرگتری به خود اختصاص می دادند. آنها اعلام کردند تنش آبی با کاهش میزان فتوسنتز، تقسیم سلولی و تجمع ماده خشک سبب کاهش رشد گیاه و کوچک شدن قطر طبق می

ویرایش شده

شود. سرگزی و همکاران (۱۴۰۲) دریافتند تنش آبی باعث اختلال در فرآیند فتوسنتز و کاهش بخش های در حال رشد خصوصا طبق ها می گردد.



شکل ۵- تاثیر شرایط آبیاری نرمال، تنش آبی در مرحله گلدهی و تنش آبی در مرحله تشکیل طبق برروی قطر طبق در ارقام گلرنگ میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

نتایج این پژوهش نشان داد که تعداد شاخه فرعی در سطح احتمال ۵ درصد تحت تاثیر متقابل آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین شاخه فرعی به مقدار ۸ عدد مربوط به رقم پرنیان در شرایط شاهد و کمترین شاخه فرعی به مقدار ۳ عدد مربوط به رقم پدیده در تیمار تنش مرحله گلدهی بود. در تیمار تنش آبی در مرحله گلدهی، تعداد شاخه فرعی ۶۲ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری مطلوب داشت. تنش آبی (تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله تشکیل طبق) در همه ارقام موجب کاهش تعداد شاخه فرعی گردید. اگرچه تفاوت معنی داری بین ارقام: امید، فرامان، سینا و گلمهر و نیز پرنیان و گلدشت در تیمار تنش در مرحله گلدهی وجود نداشت. همچنین تفاوت معنی داری بین ارقام در تیمار تنش مرحله طبق مشاهده نشد (شکل ۶).

محتشمی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی گزارش کردند تنش آبی موجب کاهش معنی دار در تعداد شاخه های جانبی در بوته گلرنگ می شود و در شرایط تنش آبی شدید تعداد شاخه جانبی ۳۲/۵۶ درصد کاهش می یابد. کوچک زاده و همکاران (۱۳۹۷) نیز بیان کردند شرایط محیطی نامناسب از جمله تنش آبی بر تعداد شاخه های جانبی تاثیر منفی دارد. تقی پور و همکاران (۱۳۹۸) با ازمایشی بر روی گلرنگ اعلام کردند تنش آبی بر روی تعداد شاخه فرعی تاثیر کاهشی داشته و شدت تاثیر را مرحله رشد گیاه و شدت تنش آبی مشخص می کند.

فرضی امین آباد و همکاران (۱۴۰۰) گزارش کردند تنش آبی با کاهش فتوسنتز، اخلال در رشد سلولی، انسداد آوند های چوبی و آبکش و با کاهش فشار تورژسانس باعث کاهش رشد در اندام های گیاه خصوصا تعداد شاخه های فرعی گلرنگ می شود.

شکل ۶- تاثیر شرایط آبیاری نرمال، تنش آبی در مرحله گلدهی و تنش آبی در مرحله تشکیل طبق برروی تعداد شاخه فرعی در ارقام گلرنگ

ویرایشی نشده

زیست توده

زیست توده همواره به عنوان یکی از صفات کلیدی در ارزیابی پاسخ گیاهان به شرایط محیطی از جمله تنش آبی زیست توده به طور معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت تاثیر متقابل آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین زیست توده به مقدار ۱۳۵ گرم (در بوته) مربوط به رقم پرنیان در شرایط شاهد و کمترین زیست توده به مقدار ۷۸ گرم مربوط به رقم پدیده در تیمار تنش مرحله گلدهی بود. در تیمار تنش آبی در مرحله گلدهی، مقدار زیست توده ۴۲ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری مطلوب داشت. تنش آبی (تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله تشکیل طبق) در همه ارقام موجب کاهش مقدار زیست توده گردید. اگرچه تفاوت معنی داری بین ارقام: گلمهر و پرنیان و نیز گلدشت و پدیده در تیمار تنش در مرحله گلدهی وجود نداشت. همچنین تفاوت معنی داری بین ارقام در تیمار تنش مرحله طبق مشاهده شد (شکل ۷). در شرایط تنش آبی، شاخص سطح برگ گیاه و میزان کلروفیل برگ ها کاهش می یابد. همچنین جریان شیره خام و پرورده در گیاه کم شده که همین امر موجب کاهش زیست توده و نهایتا عملکرد دانه می گردد (سالک معراجی و همکاران، ۱۳۹۹)

محتشمی و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی دریافتند تنش شدید آبی باعث کاهش معنی دار در زیست توده گیاه گلرنگ می شود. دلفانی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه ای بر روی گلرنگ گزارش کردند تنش آبی شدید و متوسط در مقایسه با ابیاری مطلوب زیست توده را به ترتیب ۳۱ و ۱۳ درصد کاهش می دهند. امیری و همکاران (۱۳۹۴) اعلام کردند تنش آبی در گیاه گلرنگ دلیل کاهش ارتفاع بوته، وزن تر و خشک گیاه و در نهایت کاهش زیست توده می باشد. سالک معراجی و همکاران (۱۳۹۹) در شرایط تنش آبی در گیاه گلرنگ با کاهش شاخص سطح برگ و کاهش قدرت منبع زیست توده کاهش می یابد. نتایج تحقیقات انجام شده در این زمینه نشان دهنده ارتباط مستقیم و معنی دار زیست توده گلرنگ با عملکرد دانه می باشد.

شکل ۷- تاثیر شرایط آبیاری نرمال، تنش آبی در مرحله گلدهی و تنش آبی در مرحله تشکیل طبق برروی زیست توده در ارقام گلرنگ. میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

تأثیر سطوح آبیاری بر جذب عناصر غذایی ارقام گلرنگ

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان دهنده تاثیر معنی دار سطوح آبیاری بر عناصر غذایی می باشد. کمبود آب باعث کاهش جذب و انتقال فسفر، پتاسیم، آهن، مس، کلسیم، روی و منگنز شده است.کاهش این عناصر می‌تواند رشد گیاه را مختل کرده و کیفیت دانه را کاهش دهد. (جدول ۳) بین ارقام از نظر تمامی عناصر غذایی تفاوت معنی‌دار وجود دارد. برخی ارقام توانایی بیشتری در جذب و انتقال مواد معدنی دارند.این تفاوت‌ها می‌تواند به دلیل ساختار ریشه، کارایی جذب مواد معدنی، یا توانایی سازگاری با شرایط آبی باشد.برخی ارقام در شرایط تنش آبی قادر به حفظ سطح بالاتری از عناصر غذایی هستند، که نشان‌دهنده مقاومت بالاتر آن‌ها به خشکی است. (جدول ۳) واکنش ارقام مختلف به تغییرات آبیاری متفاوت بوده است. برخی ارقام در شرایط کم‌آبی کاهش بیشتری در فسفر، پتاسیم، آهن، مس، کلسیم، روی و منگنز داشته‌اند. برخی دیگر توانسته‌اند سطح این عناصر را

حفظ کنند، که نشان می‌دهد آن‌ها در برابر کم‌آبی مقاوم‌ترند. تفاوت بین ارقام در حفظ روی و منگنز تحت تنش آبی بسیار برجسته است، که نشان می‌دهد این دو عنصر نقش کلیدی در تحمل به خشکی دارند.

جدول ۳- تجزیه واریانس عناصر غذایی دانه ارقام گلرنگ تحت سطوح مختلف آبیاری

		میانگین مربعات			
منابع تغییر	درجه آزادی	فسفر	پتاسیم	آهن	مس
سطوح آبیاری	۲	۳۶۳۷۰۳۹/۳۸**	۰/۵۶۲۸ **	۳۷۹۹۲/۴**	۵۲۴/۳**
ارقام	۶	۳۱۸۸۳/۹۷ **	۰/۵۷۰۰ **	۶۴۵/۵**	۸/۵۳**
سطوح آبیاری در رقم	۱۲	۱۰۳۳۰۴/۵۶ **	۰/۰۱۴۷ **	۲۲۵۳/۸**	۲۵/۳**
خطای آزمایش	۴۲	۳۰۵/۴۸	۰/۰۰۱	۲۲/۹۲۹	۰/۳۹۳۴
ضریب تغییرات (٪)		۵/۷۵	۰/۵۴۵	۴/۲۸	۴/۱۱

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ادامه جدول ۳-تجزیه واریانس عناصر غذایی دانه ارقام گلرنگ تحت سطوح مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	کلسیم	روی	منگنز
سطوح آبیاری	۲	۰/۰۱۸۹**	۳۸۴۳/۹۴**	۳۳۰۲/۹۵**
ارقام	۶	۰/۰۰۳۴**	۴۵/۶۴۲۹**	۷۴/۶۵**
سطوح آبیاری در رقم	۱۲	۰/۰۰۴**	۱۱۹/۹۲۳**	۱۷۳/۸۸**
خطای آزمایش	۴۲	۰/۰۰۰۱	۴/۲۹۴۹	۲/۰۶۸۹
ضریب تغییرات (٪)		۵/۶۲	۴/۱۷	۲/۵۳

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

از عناصر اندازه گیری شده در این پژوهش مس بود و نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۳) نشان داد که مس به طور معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت اثر متقابل آبیاری و رقم قرار گرفت. بیشترین مس دانه به مقدار ۲۷ ppm مربوط به رقم پرنیان

ویراستاری نشده

در شرایط شاهد و کمترین مس دانه به مقدار ppm ۹ مربوط به رقم پدیده در تیمار تنش مرحله گلدهی بود. در تیمار تنش آبی در مرحله گلدهی، مقدار مس دانه ۶۶ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری مطلوب داشت. تنش آبی (تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله تشکیل طبق) در همه ارقام موجب کاهش مقدار مس دانه گردید. اگرچه تفاوت معنی داری بین ارقام در تیمار تنش در مرحله گلدهی وجود داشت. همچنین تفاوت معنی داری بین ارقام در تیمار تنش مرحله طبق مشاهده شد (شکل ۱۱).

عزیزآبادی و همکاران (۱۳۹۳) تنش آبی باعث کاهش غلظت عناصر غذایی مانند مس، روی، منگنز و فسفر در گیاه گلرنگ می شود. جعفر دوخت و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند تنش آبی باعث کاهش جذب عناصر کم مصرف مانند مس توسط ریشه گیاه از خاک می شود. سالک معراجی و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که تنش آبی باعث کاهش میزان فتوسنتز در گلرنگ و در نتیجه کاهش انتقال مواد غذایی از جمله مس به دانه ها می شود.

شکل ۱۱- تاثیر شرایط آبیاری نرمال، تنش آبی در مرحله گلدهی و تنش آبی در مرحله تشکیل طبق برروی مس دانه در ارقام گلرنگ. میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که آهن دانه به طور معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت تاثیر متقابل آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین آهن دانه به مقدار ppm ۱۹۵ مربوط به رقم پرنیان در شرایط شاهد و کمترین آهن دانه به مقدار ppm ۳۶ مربوط به رقم گلدشت در تیمار تنش مرحله گلدهی بود. در تیمار تنش آبی در مرحله گلدهی، مقدار آهن دانه ۸۱ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری مطلوب داشت. تنش آبی (تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله تشکیل طبق) در همه ارقام موجب کاهش مقدار آهن دانه گردید. اگرچه تفاوت معنی داری بین ارقام در تیمار تنش در مرحله گلدهی وجود داشت. همچنین تفاوت معنی داری بین ارقام در تیمار تنش مرحله طبق مشاهده شد (شکل ۱۲). جعفردوخت و همکاران (۱۳۹۴) تنش آبی باعث کاهش جذب عناصر کم مصرف مانند روی، آهن و منگنز توسط ریشه از خاک می شود.

ترجمه شده

شکل ۱۲- تاثیر شرایط آبیاری نرمال، تنش آبی در مرحله گلدهی و تنش آبی در مرحله تشکیل طبق برروی آهن دانه در ارقام گلرنگ. میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

کلسیم دانه به طور معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت تاثیر متقابل آبیاری و رقم قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین کلسیم دانه به مقدار ppm ۰/۲۰۶ مربوط به رقم پرنیان در شرایط شاهد و کمترین کلسیم دانه به مقدار ppm ۰/۰۵۸ مربوط به رقم پدیده در تیمار تنش مرحله گلدهی بود. در تیمار تنش آبی در مرحله گلدهی، مقدارکلسیم دانه ۷۱ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری مطلوب داشت. تنش آبی (تنش در مرحله گلدهی و تنش در مرحله تشکیل طبق) در همه ارقام موجب کاهش مقدار کلسیم دانه گردید. اگرچه تفاوت معنی داری بین ارقام در تیمار تنش در مرحله گلدهی وجود داشت. همچنین تفاوت معنی داری بین ارقام پدیده و گلدشت در تیمار تنش مرحله طبق مشاهده نشد (شکل۱۳).

Najafi-Ghiri et. al., (2022) در آزمایشی گزارش کردند تنش آبی منجر به کاهش جذب عناصر غذایی مختلف می گردد ولی کاربرد بیوچار در شرایط تنش آبی می تواند مانع کاهش جذب مواد غذایی از جمله پتاسیم، کلسیم، فسفر، منگنز، و آهن شود. Ghaedi et. al., (2024) در انجام یک آزمایش دو ساله در مزرعه تایید کردند که تنش آبی باعث کاهش جذب عناصر ضروری از جمله پتاسیم، کلسیم، فسفر آهن، منگنز و روی می شود. عطارزاده و همکاران (۱۳۹۴) تنش آبی در گلرنگ باعث کاهش جذب کلسیم و منیزیم می شود. حق شناس و همکاران (۱۳۹۹) نیز در پژوهشی بر روی گیاه گلرنگ گزارش کردند تنش آبی با کاهش جذب آب و مواد غذایی، باعث کاهش رشد و عملکرد گلرنگ می شود که این امر ناشی از کاهش جذب عناصری مانند کلسیم می باشد.

شکل ۱۳- تاثیر شرایط آبیاری نرمال، تنش آبی در مرحله گلدهی و تنش آبی در مرحله تشکیل طبق برروی کلسیم دانه در ارقام گلرنگ. میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

همبستگی بین عملکرد دانه با جذب عناصر غذایی

داده‌های جدول همبستگی نشان می‌دهند که تحت شرایط تنش آبی، رابطه بین عناصر غذایی و عملکرد دانه در گلرنگ به طور اساسی تغییر می‌یابد. تحت شرایط آبیاری نرمال، عملکرد دانه همبستگی مثبت و قوی با تمام عناصر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد، که قوی‌ترین این ارتباطات با پتاسیم ($r=۰/۹۶۷^{**}$) و منگنز ($r=۰/۹۴۳^{**}$) مشاهده شد. این موضوع نشان دهنده این است که در شرایط بهینه، عملکرد به‌طور نزدیکی با جذب متعادل و بالای چندین عنصر غذایی مرتبط است، که احتمالاً توسط انتقال قوی از «منبع» به «مخزن» و قدرت عمومی گیاه صورت می‌گیرد.

با این حال، تحت تنش آبی، ساختار همبستگی متمرکزتر و شدیدتر می‌شود. ضرایب همبستگی عملکرد با مس (Cu) ، آهن (Fe) و روی (Zn) به طور چشمگیری به ترتیب به ۰/۹۷۴، ۰/۹۷۰ و ۰/۹۶۴ افزایش می‌یابد. این امر نشان می‌دهد که تحت تنش آبی، توانایی گیاه در تجمع این ریز مغذی‌های خاص، به طور معنی داری برای تعیین عملکرد، حیاتی می‌شود. همبستگی نزدیک به کامل با مس به‌ویژه قابل توجه است، چرا که مس یک کوفاکتور کلیدی در آنزیم‌های درگیر در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی و پاسخ‌های به تنش اکسیداتیو می‌باشد. ارتباط قوی با آهن و روی، که هر دو برای سنتز کلروفیل و عملکرد آنزیم‌ها حیاتی هستند، نشان می‌دهد که حفظ کارآیی متابولیک تحت تنش از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. این تغییر مشاهده‌شده حاکی از آن است که تنش آبی یک گلوگاه فیزیولوژیک ایجاد می‌کند که در آن عملکرد به‌طور مستقیم‌تری به وضعیت داخلی این ریز مغذی‌های کلیدی وابسته است، که احتمالاً به دلیل نقش آن‌ها در کاهش آسیب اکسیداتیو و تداوم فرآیندهای متابولیک اصلی تحت فشارهای غیرزیستی می‌باشد. بنابراین، انتخاب ارقام گلرنگ با کارآیی افزایش یافته در جذب و انتقال مس، آهن و روی تحت تنش آبی، می‌تواند یک هدف استراتژیک در برنامه‌های به نژادی برای بهبود پایداری عملکرد باشد.

ویرایش نشده

جدول۴- تجزیه همبستگی بین صفات عملکرد دانه با عناصر اندازه گیری شده در گیاه گلرنگ در شرایط آبیاری نرمال (بدون تنش آبی)

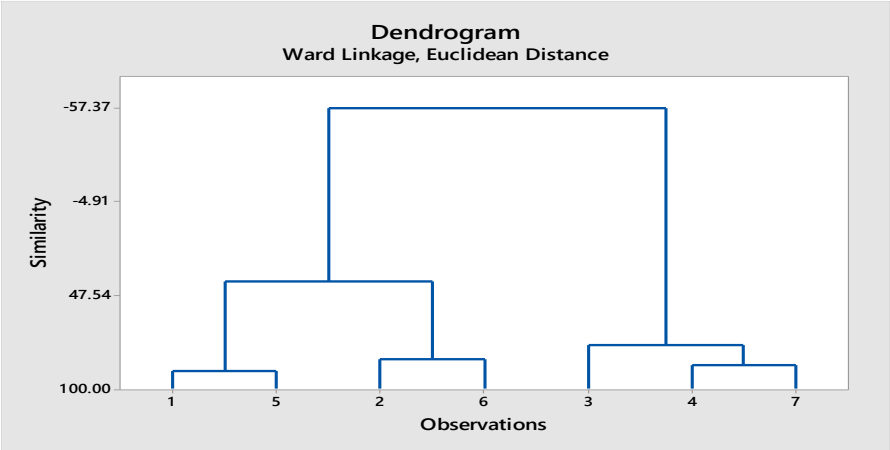
صفات	کلسیم دانه	پتاسیم دانه	آهن دانه	مس دانه	منگنز دانه	روی دانه	عملکرد دانه
کلسیم دانه	۱						
پتاسیم دانه	۰/۷۱۱**	۱					
آهن دانه	۰/۶۶۹**	۰/۹۱۱ **	۱				
مس دانه	۱/۰۰۰ **	۰/۷۱۱ **	۰/۶۶۹ **	۱			
منگنز دانه	۰/۶۹۳**	۰/۹۶۷**	۰/۹۴۰**	۰/۶۹۳ **	۱		
روی دانه	۰/۶۷۳**	۰/۹۳۳**	۰/۹۳۴**	۰/۶۷۳ **	۰/۹۶۴**	۱	
عملکرد دانه	۰/۶۹۹**	۰/۹۶۷**	۰/۹۴۰**	۰/۶۹۹**	۰/۹۴۳**	۰/۹۰۱**	۱

جدول۵- تجزیه همبستگی بین صفات عملکرد دانه با عناصر اندازه گیری شده در گیاه گلرنگ در شرایط تنش آبی

صفات	کلسیم دانه	پتاسیم دانه	آهن دانه	مس دانه	منگنز دانه	روی دانه	عملکرد دانه
کلسیم دانه	۱						
پتاسیم دانه	۰/۸۱۳**	۱					
آهن دانه	۰/۷۹۵**	۰/۸۵۰ **	۱				
مس دانه	۰/۸۳۴ **	۰/۹۱۲ **	۰/۹۶۷ **	۱			
منگنز دانه	۰/۸۱۳**	۱/۰۰**	۰/۸۵۰**	۰/۹۱۲ **	۱		
روی دانه	۰/۸۳۱**	۰/۹۳۵**	۰/۹۴۹**	۰/۹۷۲ **	۰/۹۳۵**	۱	
عملکرد دانه	۰/۸۳۵**	۰/۸۸۴**	۰/۹۷۰**	۰/۹۷۴**	۰/۸۸۴**	۰/۹۶۴**	۱

نتیجه حاصل از تجزیه خوشه‌ای سلسله‌مراتبی با استفاده از روش «وارد» و فاصله اقلیدسی، به‌طور مؤثری تنوع ژنتیکی موجود بین هفت رقم گلرنگ را بر اساس پاسخ ترکیبی آن‌ها به تنش آبی مشخص نمود (شکل ۱۴). دندروگرام حاصل، گروه‌بندی متمایزی را نشان داد که ارقام را بر اساس عملکرد کلی آن‌ها در صفات عملکرد، ویژگی‌های مورفولوژیکی و کارایی جذب عناصر غذایی دسته‌بندی کرد. در گروه اول دو رقم امید و پرنیان قرارگرفتند. در گروه اول دو رقم امید و پرنیان قرار گرفتند. رقم پرنیان در این پژوهش بیشترین عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، وزن صد دانه و بیشترین جذب عناصر غذایی مانند آهن، مس، کلسیم را داشت. در گروه دوم دو رقم فرامان و گلدشت قرار گرفتند. این دو رقم در شرایط بدون تنش آبی عملکرد کمتری از دو رقم امید و پرنیان داشتند ولی بعد از اعمال تنش آبی، عملکرد آنها کاهش کمتری نسبت به دو رقم امید و پرنیان داشت. در گروه سوم نیز سه رقم گلمهر، پدیده و سینا قرار گرفتند. در این تجزیه، دو رقم امید و پرنیان به عنوان مشابه‌ترین ارقام شناسایی شدند که نشان‌دهنده مکانیسم‌های ژنتیکی و فیزیولوژیک مشابه در مقابله با خشکی است. در مقابل، ارقام امید و پدیده به عنوان نامتشابه‌ترین ارقام شناخته شدند که نشان از راهبردهای اساساً متفاوت در مدیریت کم‌آبی دارد. نکته حائز اهمیت این که الگوی خوشه‌بندی حاصل از داده‌های جذب عناصر غذایی، کاملاً با الگوی حاصل از کلیه صفات زراعی و مورفولوژیک اندازه‌گیری شده مطابقت داشت. این همخوانی تأکید می‌کند که توانایی متفاوت در کسب و انتقال عناصر معدنی تحت شرایط تنش، یک عامل تعیین‌کننده اساسی در تغییرات فنوتیپی مشاهده‌شده و یک محرک کلیدی در طبقه‌بندی این ژنوتیپ‌ها محسوب می‌شود. Amini et. al., (2014) نیز در تحقیقی بر ۶۴ ژنوتیپ گلرنگ در شرایط بدون تنش آبی و همراه با تنش آبی، ژنوتیپ های گلرنگ را به ۳ گروه مقاوم، نیمه مقاوم و حساس در مقابل تنش رطوبتی تقسیم بندی نمودند.

ویرایش شده



شکل ۱۴- تجزیه خوشه ای ارقام به کار رفته در این آزمایش بر اساس جذب عناصر غذایی، عملکرد و صفات مورفولوژیک

جدول ۵- شماره ارقام مورد استفاده در تجزیه خوشه ای

شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
رقم	امید	فرامان	سینا	گلمهر	پرنیان	گلدشت	پدیده

ویراستاری نشده

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که رژیم آبیاری، ویژگی‌های ژنتیکی ارقام گلرنگ، و اثر متقابل آن‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد دانه، صفات مورفولوژیکی و عناصر غذایی گیاه دارند. تنش آبی باعث کاهش عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد دانه در طبق، قطر طبق، زیست‌توده و تعداد شاخه‌های فرعی شد. ارقام فرامان، گلدشت و پدیده توانستند در شرایط بدون تنش آبی عملکرد بهتری داشتند وتفاوت ژنتیکی ارقام در شرایط بدون تنش کاملا مشخص و زیاد بود. بیشترین کاهش عملکرد مربوط به تنش آبی در مرحله گلدهی بود و کلیه ارقام بدون استثنا کاهش عملکرد شدیدی را نشان دادند. همچنین وزن صد دانه، ارتفاع بوته و جذب کلیه عناصر غذایی نیز به طور معنی داری کاهش پیدا کرد. همچنین تنش آبی در مرحله تشکیل طبق باعث کاهش صفات یاد شده شد ولی میزان این کاهش کمتر از تنش آبی در مرحله گلدهی بود. از بین عناصر غذایی مختلف، کلسیم در شرایط بدون تنش آبی، جذب بالایی را در دو رقم گلدشت و پرنیان از خود نشان داد در حالی که مقدار کلسیم با اعمال تنش آبی چه در مرحله گلدهی و چه در مرحله تشکیل طبق تفاوت چندانی نسبت به شرایط بدون تنش آبی در سایر ارقام نداشت. این موضوع یکی از نکاتی است که تایید کننده نقش عناصر مهم و کلیدی نقش تنوع ژنتیکی در شرایط مختلف است. نتایج تجزیه ضرایب همبستگی نشان داد که رابطه مثبت و معنی داری بین عملکرد دانه و جذب عناصر غذایی وجود دارد. کاهش آبیاری باعث کاهش جذب و انتقال عناصر غذایی نظیر فسفر، پتاسیم، آهن، مس، کلسیم، روی و منگنز شد. برخی ارقام توانایی بالاتری در جذب و حفظ این عناصر در شرایط کم‌آبی

داشتند که می‌تواند معیار مهمی برای انتخاب ارقام مقاوم به خشکی باشد. روی و منگنز به‌عنوان دو عنصر کلیدی در مقاومت به تنش آبی شناسایی شدند، چرا که ارقامی که این عناصر را بهتر حفظ کردند، عملکرد بهتری داشتند. بنابراین در شرایط تنش آبی، استفاده از این عناصر غذایی می تواند نقش مهمی در ایجاد مقاومت به تنش آبی ایفا خواهد کرد.

براساس نتایج بدست آمده از بای پلات مبتنی بر مولفه اول صفت عملکرد با صفات ارتفاع بوته، شاخه‌های جانبی، تعداد دانه در طبق، قطر طبق، وزن صد دانه، زیست‌توده، عناصر غذایی شامل فسفر، پتاسیم، آهن، مس، روی و منگنز، همبستگی بالایی داشت. با توجه به نتایج این آزمایش پیشنهاد می شود در مناطق گرم و خشک از ارقام امید، فرامان و سینا به دلیل عملکرد بالا و سازگاری با تنش آبی مرحله گلدهی و مرحله تشکیل طبق استفاده شود.

منابع :

امیری,ایوب , سیروس مهر,علیرضا. و اسماعیل زاده بهابادی,صدیقه. (۱۳۹۴). اثر محلول پاشی اسید سالسیلیک و کیتوزان بر عملکرد گیاه گلرنگ در شرایط تنش خشکی .*مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)(علمی. پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۲۸(۴)، ۷۱۲-۷۲۵.

بهادری، فاطمه.، بیژن زاده، احسان.، و بهپوری، علی. (۱۴۰۰). بررسی اثرات کاشت تاخیری و قطع آبیاری بر صفات بیوشیمیایی، محتوای نسبی آب و عملکرد دو رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)*تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۴(۳)، ۶۰۵-۶۱۸.

پاسبان اسلام، بهمن. (۱۴۰۱). بازتاب‌های اکوفیزیولوژیک و زراعی ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ در شرایط تنش آبی در مراحل استقرار بوته و پرشدن دانه. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۲(۲)، ۱۹-۳۰.

تقی پور، مجیدعلی، میرزاخانی، محمد، و نوزاد نمین، کریم. (۱۳۹۸). اثر چند کشتی همزمان بر ویژگی‌های زراعی ارقام گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.) در منطقه آران و بیدگل. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۰(۴)، ۷۵۵-۷۶۷.

جعفردوخت، رضا، موسوی نیک، سید محسن، مهربان، احمد، و بصیری، محبوبه (۱۳۹۴). اثر تنش آبی و محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی در گیاه ماش. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۸(۱)، ۱۲۱-۱۴۱.

حسنوند، پری، زمانی، غلامرضا، و مقصودی مود، علی اکبر. (۱۴۰۳). پاسخ ارقام گلرنگ از نظر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد به تنش رطوبتی. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۷(۴)، ۷۶۹-۷۸۰.

حسینی، سیده زهرا، اسماعیلی، احمد، و سهرابی، سید سجاد(۱۳۹۸). ارزیابی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت شرایط تنش کم‌آبیاری. *پژوهش‌های ژنتیک گیاهی*، ۵(۲)، ۵۵-۷۲.

حق‌شناس، رضا، شرفی، سوران، و قلی‌نژاد، اسماعیل. (۱۳۹۹). تأثیر سطوح مختلف تنش آبی و میکوریزا بر عملکرد ارقام گلرنگ. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۰(۲)، ۹۱-۱۰۹.

سالک معراجی، هادی و توکلی، افشین. (۱۳۹۹). بررسی عملکرد و برخی صفات زراعی دو رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۳(۳)، ۷۶۳-۷۷۵.

سرگزی، سمانه، سیروس مهر، علیرضا، قنبری، احمد، و موسوی نیک، محسن. (۱۴۰۲). ارزیابی برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیک گیاه گلرنگ تحت شرایط خشکی و محلول‌پاشی کودهای آلی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۲(۵۴)، ۱۰۵-۱۲۲.

دلفانی، مریم، حاتمی، علی، پورداد، سعید، طهماسبی، زهرا، فتاح نیا، فرشید، و جهان سوز، محمد رضا. (۱۳۹۸). بررسی اثر تراکم کاشت و آبیاری تکمیلی بر واکنش رنگیزه های گیاهی, آنتی اکسیدان های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز و عملکرد علوفه دو رقم گلرنگ (Carthamus tinctorius L.)*فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۸(۳۲)، ۱۳۷-۱۵۶. SID. https://sid.ir/paper/367729/fa

کوچک زاده، احمد، ابدالی مشهدی، علیرضا، بدوی وحیده. (۱۳۹۷). واکنش عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گلرنگ به تراکم های مختلف بوته. فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱۰(۲)، (پیاپی ۳۸))، ۵-۲۱. SID. https://sid.ir/paper/174358/fa

گنجی، معصومه، گالشی، سراالله، جباری، حمید، سنجریان، فروغ، و ترابی، بنیامین. (۱۴۰۲). تأثیر تنش آبی بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ژنوتیپ های گلرنگ .*به زراعی کشاورزی*, *26*(1), 75-89. doi: 10.22059/jci.2023.350886.2759

عزیزآبادی، الهه، گلچین، احمد، دلاور، محمد امیر. (۱۳۹۳). تأثیر پتاسیم و تنش آبی بر شاخص‌های رشد و غلظت عناصر غذایی برگ گیاه گلرنگ. *مجله روابط خاک و گیاه - دانشگاه صنعتی اصفهان*، ۵(۳)، ۶۵-۸۰.

ترجمه شده

عزیزی، سولماز، زارع، ناصر، شیخ زاده، پریسا، عزیزی مبصر، جوانشیر، و کریمی زاده، رحمت الله. (۱۴۰۳). اثر تنش آبی و آبیاری مجدد در مرحله گلدهی بر پاسخ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و عملکرد لاین‌های امیدبخش عدس. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۱)، ۱۲۳-۱۳۷.

عطارزاده، محمود، رحیمی، اصغر، ترابی، بنیامین، و دشتی، حسین. (۱۳۹۴). تأثیر محلول‌پاشی نیترات کلسیم، پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات و سولفات منگنز بر تجمع یونی و ویژگی‌های فیزیولوژیک گلرنگ در شرایط تنش شوری. *پژوهش‌های کاربردی زراعی*، ۲۸(۱۰۷)، ۱۳۳-۱۴۲.

طاهری شهرام، غلامی، احمد، عباس دخت، حمید، و مکاریان حسن. (۱۳۹۷). پاسخ عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه ارقام گلرنگ به تنش کم‌آبی و پرایمینگ بذر. *فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۰(۲)، ۵۸-۳۹.

فرضی امین آباد، رقیه، نصراله زاده، صفر، و قاسمی گلعذانی، کاظم. (۱۴۰۰). واکنش گلرنگ به کم‌آبی و محلول‌پاشی پوترسین و ۲۴-اپی براسینولید. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۱(۲)، ۲۸۹-۳۰۲.

محتشمی، فاطمه، تدین، محمود رضا، روشندل، پرتو. (۱۳۹۷). ارزیابی تأثیر سطوح کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های گلرنگ. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۰(۲)، ۵۴۷-۵۶۱.

ملکی نژاد، رضا و مجیدی، محمد (۱۳۹۴). بررسی روابط بین خصوصیات مرتبط با عملکرد دانه و روغن در ژنوتیپ‌های گلرنگ بهاره در شرایط عادی و تنش آبی. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۳(۱)، ۱۱۹-۱۰۹.

یاری، پروانه، کشتکار، امیر حسین، و سپهری، علی. (۱۳۹۳). بررسی تأثیر تنش رطوبتی بر رشد و عملکرد گلرنگ بهاره. *دوفصلنامه فناوری تولیدات گیاهی*، ۶(۲)، ۱۰۱-۱۱۷.

Amini, H, Arzani, A, & Karami, M (2014). Effect of water deficiency on seed quality and physiological traits of different safflower genotypes. *Turkish Journal of Biology 38* (2): 271-282. https://doi.org/10.3906/biy-1308-22

Amiri, A., Siroosmehr, A., & Esmaeilzadeh Bahabadi, S. (2015). The effect of salicylic acid and chitosan foliar application on safflower performance under drought stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 28(4), 712-725. (In Persian).

Ashrafi, E., & Razmjoo, K. (2010). Effect of irrigation regimes on oil content and composition of safflower (Carthamus tinctorius L.) cultivars. *Industrial Crops and Products*, 111, 407-413.

Attarzadeh, M., Rahimi, A., Torabi, B., & Dashti, H. (2015). The effect of foliar application of calcium nitrate, potassium dihydrogen phosphate, and manganese sulfate on ion accumulation and physiological characteristics of safflower under salinity stress. *Applied Agricultural Researches*, 28(107), 133-142. (In Persian).

Azizabadi, A., Golchin, A., & Delavar, M. A. (2014). The effect of potassium and water stress on growth indices and nutrient concentration of safflower leaf. *Journal of Soil-Plant Relationships - Isfahan University of Technology*, 5(3), 65-80. (In Persian).

Azizi, S., Zare, N., Sheikhzadeh, J., Azizi Mobaser, J., & Karimizadeh, R. (2024). The effect of water stress and re-irrigation at flowering stage on physiological and biochemical response and yield of promising lentil lines. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 55(1), 123-137. (In Persian).

Bagheri, H., & Sam-Daliri, M. (2011). Effect of water stress on agronomic traits of spring safflower cultivars (Carthamus tinctorius L.). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(12), 2621-2624.

Bahadori, F., Bijanzadeh, A., & Behpouri, A. (2021). Investigation of the effects of delayed planting and irrigation cutoff on biochemical traits, relative water content, and yield of two safflower (*Carthamus tinctorius L.*) cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(3), 605-618. (In Persian).

de Almeida Silva, M., Santos, H. L., de Sousa Ferreira, L., Silva, D. M. R., dos Santos, J. C. C., & de Almeida Prado Bortolheiro, F. P. (2023). Physiological Changes and Yield Components of Safflower (Carthamus tinctorius L.) Lines as a Function of Water Deficit and Recovery in the Flowering Phase. *Agriculture*, *13*(3), 558. https://doi.org/10.3390/agriculture13030558

Delfani, M., Hatami, A., Pourdad, S., Tahmasebi, Z., Fatahnia, F., & Jahansooz, M. R. (2019). Investigating the effect of planting density and supplemental irrigation on the response of plant pigments, catalase and ascorbate peroxidase antioxidants, and forage yield of two safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Plant Process and Function*, 8(32), 137-156. SID. https://sid.ir/paper/367729/en (In Persian).

Erbaş, S., Baydar, H., Hatipoğlu, H., Koç, H., Babaoğlu, M., & Köse, A. (2024). Genotypic and environmental variability and stability of seed yield, oil content and fatty acids in high-oleic and high-linoleic safflower (Carthamus tinctorius L.) lines and cultivars. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 60(1), 1-11. doi: 10.17221/113/2022-CJGPB

FAO. (2022). Food and agriculture organization of the united nation. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

Fazli Aminabad, R., Nasrollahzadeh, S., & Ghasemi Golazdani, K. (2021). Response of safflower to drought and foliar application of putrescine and 24-epibrassinolide. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2), 289-302. (In Persian).

Ganji, M., Galeshi, S., Jabbari, H., Sanjarian, F., & Torabi, B. (2023). The effect of water stress on physiological and biochemical traits of safflower genotypes. *Agricultural Crop Cultivation*, 26(1), 75-89. doi: 10.22059/jci.2023.350886.2759 (In Persian).

Ghaedi, M., Bijanzadeh, E., Behpouri, A. *et al.* Biochar application affected biochemical properties, yield and nutrient content of safflower under water stress. *Sci Rep* **14**, 20228 (2024). https://doi.org/10.1038/s41598-024-71131-w

HaghShenas, Sh., Suran, M., & GholiNejad, R. (2020). The effect of different levels of water stress and mycorrhiza on the yield of safflower cultivars. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(2), 91-109. (In Persian).

Hassanvand, P., Zamani, M., & Maghsoudi Moud, A. (2024). Response of safflower cultivars in terms of some morphological traits and yield to moisture stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 17(4), 769-780. (In Persian).

Hosseini, S. Z., Esmaeili, S., & Sohrabi, S. S. (2019). Evaluation of drought tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius L.*) genotypes under deficit irrigation conditions. *Plant Genetic Researches*, 5(2), 55-72. (In Persian).

Hussain, M. I., Lyra, D. A., Farooq, M., Nikoloudakis, N., & Khalid, N. (2016). Salt and drought stresses in safflower: A review. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1-15.

Jafardokht, R., Mousavi Nik, S., Mehraban, A., & Basiri, M. (2015). The effect of water stress and foliar application of micronutrients on physiological characteristics and nutrient uptake in mung bean. *Journal of Crop Production*, 8(1), 121-141. (In Persian).

Kurt, C., Altaf, M. T., Liaqat, W., Nadeem, M. A., Çil, A. N., & Baloch, F. S. (2025). Oil Content and Fatty Acid Composition of Safflower (Carthamus tinctorius L.) Germplasm. *Foods*, *14*(2), 264. https://doi.org/10.3390/foods14020264

Kochakzadeh Ahmadi, A., Abdali Mashhadi, A. R., & Badavi, V. (2018). Response of yield and yield components of safflower cultivars to different plant densities. *Crop Physiology Journal*, 10(2), (Serial No. 38), 5-21. SID. https://sid.ir/paper/174358/en (In Persian).

Malekinejad, R., & Majidi, M. (2015). Investigation of relationships between traits related to seed and oil yield in spring safflower genotypes under normal and water stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 13(1), 109-119. (In Persian).

Mohtashami, F., Tadayon, M. R., & Roshandel, P. (2018). Evaluation of the effect of deficit irrigation levels on yield and yield components of safflower genotypes. *Agricultural Crop Cultivation*, 20(2), 547-561. (In Persian).

Najafi-Ghiri, M., Bijanzadeh, E., & Bahadori, F. (2022). Effect of Wheat-Derived Biochar on Soil Nutrients Availability and Nutrients Uptake by Two Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars under Water Stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *53*(13), 1592–1606. https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2060251

Pasban Islam, B. (2022). Ecophysiological and agronomic reflections of autumn safflower genotypes under water stress at plant establishment and seed filling stages. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(2), 19-30. (In Persian).

Salek Meraji, H., Tavakoli, A., & Afshin, M. (2020). Investigation of yield and some agronomic traits of two safflower (*Carthamus tinctorius L.*) cultivars under different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(3), 763-775. (In Persian).

Sargazi, S. M., Siroosmehr, A., Ghanbari, M., & Mousavi Nik, S. (2023). Evaluation of some morphological and physiological traits of safflower under drought conditions and foliar application of organic fertilizers. *Plant Process and Function*, 12(54), 105-122. (In Persian).

Taheri, Sh., Gholami, A., Abbas Dokht, H., & Makarian, H. (2018). Response of yield, yield components, and seed quality of safflower cultivars to drought stress and seed priming. *Crop Physiology Journal*, 10(2), 39-58. (In Persian).

Taghipour, M. A., Mirzakhani, N., & Nozad Namin, H. (2019). Effect of simultaneous intercropping on agronomic characteristics of spring safflower (Carthamus tinctorius L.) cultivars in Aran and Bidgol region. Agricultural Crop Cultivation, 20(4), 755-767. (In Persian).

Yari, P., Keshtkar, A. H., & Sepehri, A. (2014). Investigation of the effect of moisture stress on growth and yield of spring safflower. *Journal of Plant Production Technology*, 6(2), 101-117. (In Persian).

بازی نشده