Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 2, 2025, p. 323-339

The Effect of Chelated Iron and Humic Acid on Agronomic and physiological Traits of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars under Rainfed Conditions

Aydin Tobeh [1], Salim Farzaneh [1*], Ahmad Tobeh [1] and Saber Seifamiri [2]

1- Ph.D. Graduate, Associate Professor, Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, respectively.
2- Instructor, Agricultural Research Center of Ardabil, Ardabil, Iran
(*- Corresponding author's Email: salimfarzaneh@yahoo.com)

Received: 16-11-2024
Revised: 30-03-2025
Accepted: 05-04-2025
Available Online: 27-07-2025

How to cite this article:
Tobeh, A., Farzaneh, S., Tobeh, A., & Seifamiri, S. (2025). The effect of chelated iron and humic acid on agronomic and physiological traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under rainfed conditions. *Journal of Agroecology*, *17*(2), 323-339. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/AGRY.90796.1219

Introduction

Safflower, scientifically known as Carthamus tinctorius L.**,** is an annual plant belonging to the Asteraceae family. Today, with the development of high-yield varieties that produce substantial quantities of high-quality oil, safflower is recognized as one of the world's important oilseed crops. Given its strong resistance to salinity and ability to grow under rain-fed conditions, it is considered a drought-tolerant plant—an attribute that significantly enhances its value. Additionally, humic acid, as an organic compound, poses minimal harm to the environment. Additionally, through its hormone-like activity, it has many positive effects on various traits, including performance characteristics. The presence of micronutrients, especially Fe, enhances the plant's resistance to various biotic and abiotic stresses.

Materials and Methods

This study was conducted at the Ardabil Agricultural Research Center to evaluate the effect of two types of fertilizers (iron fertilizer and humic acid) on the yield and phenological traits of two safflower cultivars. This experiment was conducted as a split-plot design based on a completely randomized block design with three replications. The main factor included two safflower varieties named "Chini" and "Goldasht," while the sub-factor consisted of nine fertilizer levels. These fertilizer levels included one control level, two levels of 95% humic acid (two milligrams per liter and four milligrams per liter), two levels of 12% EDTA chelated iron (one milligram per liter and two milligrams per liter), and four combined levels of iron and humic acid fertilizers.

Results and Discussion

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https://doi.org/10.22067/AGRY.90796.1219

The results revealed a significant difference in performance traits between the two varieties, Chini and Goldasht. Observations showed that the Goldasht variety produced a significantly higher seed yield of 1,462.5 kg per hectare, compared to 1,403.3 kg per hectare for the Chini variety. Additionally, the second level of iron + second level of humic acid treatment showed significantly the highest yield, resulting in a 49% increase in seed yield compared to the control. Overall, the combined use of these two fertilizers is recommended. The Goldasht variety requires a shorter time for flowering and maturity compared to the Chini variety and matures earlier while also having a higher yield, making it preferable in this regard. For the traits of plant height and antioxidant activity, there is no significant difference among the cultivars. However, among the fertilizer levels, the second level of humic acid resulted in a height of 68.3 cm, and for antioxidant activity, the combination of the second level of humic acid and the second level of iron exhibited the highest activity at 84.5%. Overall, among the cultivars, 'Goldasht' and among the fertilizer levels, the treatment combining the second levels of iron and humic acid had the highest biological yield, the highest harvest index, oilseed yield, and seed yield. Humic acid, due to its nitrogen-like effects and its richness in organic materials, leads to increased seed filling and higher thousand-grain weight. On the other hand, the application of iron helps to cleanse reactive oxygen species and improves the plant's sink performance, providing more seeds for filling.

Conclusion

The studies indicated that the Goldasht variety matures earlier and yields more than the Chini variety. Due to its longer growth period, the Chini variety is more susceptible to late-season challenges such as heat stress, pests, and bird damage, which can negatively affect yield. Therefore, the cultivation of the Goldasht variety is preferable in this context. In terms of physiological traits, the application of iron and humic acid fertilizers was found to enhance the stability and resilience of both varieties. The interaction between humic acid and iron proved beneficial for safflower health, promoting greater nutrient uptake, improved growth parameters, increased seed yield, and enhanced stress tolerance.

Keywords: Antioxidant activity, Chinese cultivar, Goldasht cultivar, Grain yield, Micronutrients, Oil yield

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱٤۰٤، ص ۳۳۹-۳۲۳

تأثیر کلات آهن و اسید هیومیک بر صفات زراعی و فیزیولوژیکی ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت شرایط دیم

آیدین توبه[۱]، سلیم فرزانه[۱*]، احمد توبه[۱] و صابر سیف امیری[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۶

چکیده

به‌منظور ارزیابی نحوه تأثیر دو نوع کود (آهن و اسید هیومیک) بر روی صفات عملکردی و فنولوژیک دو رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) این تحقیق در مرکز تحقیقات کشاورزی اردبیل انجام گرفت. این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. عامل اصلی ارقام گلرنگ (گلدشت و چینی (*xys*)) بودند. عامل فرعی یعنی کود دارای نُه سطح بود. سطوح کودی شامل سطح شاهد، دو میلی‌گرم در لیتر و چهار میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک ۹۵ درصد، دو سطح کود کلات آهن ۱۲ درصد EDTA (یک میلی‌گرم در لیتر و دو میلی‌گرم در لیتر) و چهار سطح متقابل کودهای آهن و اسید هیومیک بودند. نتایج حاصل از این پژوهش تفاوت معنی‌دار در صفات عملکردی را دو رقم چینی و گلدشت نشان داد. براساس مشاهدات، رقم گلدشت با عملکرد دانه ۱۴۶۲/۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به رقم چینی به‌طور معنی‌داری برتری داشت. همچنین تیمار کودی تیمار دو میلی‌گرم در لیتر آهن + چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک به‌طور معنی‌داری بیشترین عملکرد را ایجاد کرد که باعث افزایش ۴۹ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد. بین ارقام از نظر ارتفاع بوته و فعالیت آنتی‌اکسیدانی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، امّا در بین سطوح کودی، برای ارتفاع سطح دوم اسید هیومیک با ۶۸/۳ سانتی‌متر و برای فعالیت آنتی‌اکسیدانی تیمار دو میلی‌گرم در لیتر آهن + چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک با میزان ۸۴/۵ درصد فعالیت بیشترین میزان را داشتند. در مجموع در بین ارقام، رقم گلدشت و در بین سطوح کودی تیمار دو میلی‌گرم در لیتر آهن + تیمار چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک ، بیشترین عملکرد بیولوژیک، بیشترین شاخص برداشت، بیشترین عملکرد روغن دانه و بیشترین عملکرد دانه را داشتند.

واژه‌های کلیدی: رقم چینی، رقم گلدشت، ریزمغذی‌ها، عملکرد دانه، عملکرد روغن، فعالیت آنتی‌اکسیدانی

مقدمه

گیاه گلرنگ، با نام علمی *Carthamus tinctorius* L.، یک گیاه یک‌ساله و از خانواده کاسنیان[۳] است که بومی مناطق مشرق زمین می‌باشد (Emongor & Emongor, 2023). این گیاه به‌دلیل داشتن خواص دارویی و کاربردهای مختلف در صنایع غذایی و رنگرزی شهرت دارد و به‌عنوان "زعفران تقلبی" نیز شناخته می‌شود. در گذشته، گلرنگ برای استخراج ماده قرمز رنگ کارتامین موجود در گلبرگ آن که در صنایع رنگرزی کاربرد داشته است، کشت می‌شد. امروزه با توجه به اصلاح ارقام پرمحصول دارای روغن با کیفیت و کمیت قابل توجه، این گیاه به‌عنوان یکی از گیاهان روغنی در جهان مطرح است (Fanaei et al., 2017). طبق آخرین داده‌های سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد سطح زیر کشت گلرنگ در ایران حدود ۶۰ هزار هکتار است (FAO, 2023). در شرایط دیم، میانگین عملکرد دانه گلرنگ معمولاً بین ۰/۵ تا ۱/۵ تن در هکتار متغیر است.

۱- به ترتیب دانشجوی دکترا، دانشیار و استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- مربی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی. اردبیل. ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: salimfarzaneh@yahoo.com
https://doi.org/0.22067/AGRY.90796.1219
3- Asteraceae

این مقدار به‌شدت به میزان بارندگی و توزیع آن در طول فصل رشد بستگی دارد. در شرایط آبی، میانگین عملکرد دانه گلرنگ معمولاً بین یک تا سه تن در هکتار است (Koutroubas et al., 2019).

یکی از علل مهم محدودیت اراضی برای زراعت و کاهش سطح زیر کشت، شوری خاک و همچنین تنش خشکی می‌باشد. امّا با توجه به اینکه گلرنگ دارای مقاومت خوبی در برابر شوری است و همچنین در شرایط دیم نیز می‌توان آن را کشت کرد و از گیاهان مقاوم در برابر کمبود رطوبت نیز محسوب می‌شود، از این لحاظ نیز دارای ارزش دوچندان است (Mousavifar & Behdani, 2018). کشور ایران به‌دلیل حضور در شرایط خاص اقلیمی از جمله کشورهایی است که در کمربند خشکی دنیا واقع شده است و اقلیم غالب آن مناطق خشک و نیمه‌خشک است. بنابراین، کشت گیاهان سازگار با این شرایط از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین با توجه به نیاز روزافزون کشور به روغن‌های خوراکی که در حال حاضر قسمت اعظم آن از خارج از کشور تأمین می‌گردد، کشت دانه‌های روغنی مانند گلرنگ اهمیت زیادی دارد (Naghavi et al., 2021). همچنین مطالعه آثار کودهای ریزمغذی مثل آهن از اهمیت زیادی برخوردار است. این کودها به‌میزان کمی مصرف می‌شوند، مقرون به‌صرفه هستند و آثار تخریبی کمتری روی محیط نسبت به کودهای شیمیایی مانند نیتروژنه دارند. همچنین دارای آثار بسیار مطلوبی روی گیاه از نظر مقاومت در برابر تنش‌های محیطی هستند (Kamaraki & Galavi, 2012). آهن به‌عنوان یک عنصر کلیدی در سنتز کلروفیل عمل می‌کند. بدون وجود آهن کافی، گیاهان قادر به تولید کلروفیل نخواهند بود که این امر منجر به زرد شدن برگ‌ها (کلروز) و کاهش سبزینگی گیاه می‌شود

(Gassemi Golezani et al., 2022)در مطالعه‌ای تأثیر مثبت کود آهن بر روی پروتئین محلول برگ و پرولین و کربوهیدرات‌های محلول برگ مشاهده شد (Heshmati et al., 2021). در پژوهشی، محلول‌پاشی اسید هیومیک منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن گلرنگ شد(Zandi et al., 2021) . اسید هیومیک به‌عنوان یک ترکیب آلی، کمترین آسیب را به محیط زیست وارد می‌کند. اسید هیومیک با عملکرد شبه‌هورمونی خود تأثیرهای مثبت و مفید زیادی را بر روی صفات مختلف از جمله صفات عملکردی گیاهان از جمله گیاهان روغنی مانند آفتابگردان(*Helianthus annuus*) و گلرنگ دارد (Veysi et al., 2016). وجود عناصر ریزمغذی به‌ویژه آهن موجب افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی می‌گردد. جذب عناصر ریزمغذی به‌وسیله گیاهان ممکن است اصلاً انجام نگیرد و یا در صورت جذب به‌دلیل pH بالای شیره سلولی، به‌صورت مفید مورد استفاده بخش‌های مهم گیاه قرار نگیرد (Gui et al., 2022). همچنین آنزیم‌های دارای آهن در بیوسنتز جیبرلین‌ها، اتیلن و اسید جاسمونیک نقش دارند. سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی هستند که فعالیت آن‌ها در صورت کمبود آهن با اختلال روبه‌رو می‌شوند (Bagheri et al., 2022). آهن به گیاهان کمک می‌کند تا در برابر تنش‌های محیطی مانند خشکی و آلودگی مقاوم‌تر باشند (Mir et al., 2017). این موضوع می‌تواند در افزایش بقاء گیاه در شرایط سخت بسیار مؤثر باشد (Pasban Eslam et al., 2021). هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر کودهای ریزمغذی و اسید هیومیک بر عملکرد و صفات کیفی و بیوشیمیایی دو رقم گلرنگ در منطقه اردبیل بود. همچنین در این پژوهش به مقایسه دو رقم برتر گلرنگ پرداخته شده است که کدام یک از نظر کیفی و کمّی خصوصاً برای کشت در منطقه اردبیل مناسب‌تر خواهند بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به‌منظور بررسی اثرات اسید هیومیک و کود آهن بر خصوصیات فنولوژیکی، عملکرد و اجزای آن، درصد و عملکرد روغن و پروتئین دو رقم برتر گلرنگ در مزرعه ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل واقع در ۱۲ کیلومتری شرق اردبیل اجرا شد. این منطقه در شمال غربی کشور،بین مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض جغرافیایی و همچنین ارتفاع حدود ۱۳۵۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. این منطقه دارای شرایط آب‌وهوایی نیمه خشک و سرد می‌باشد. مجموع بارندگی سالانه در این منطقه در حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد و بارندگی‌ها عمدتاً در فصول پاییز و بهار رخ می‌دهند. این پژوهش به‌صورت کشت دیم و کاملاً وابسته به بارندگی بود و میزان بارندگی منطقه در سال زراعی مربوطه ۲۳۸ میلی‌متر بود. کاشت در تاریخ ۲۸ آبان ماه سال ۱۴۰۰ انجام شد. کلیه بذرها پیش از کاشت با قارچ‌کش بنومیل با نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. کاشت هر یک از ارقام در شش ردیف صورت گرفت. مقدار ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاس، ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفات و ۵۰

کیلوگرم کود اوره با خاک مخلوط گردید. پس از آن با لـولر اقـدام بـه تسطیح زمین گردید.

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده و بر پایـه طـرح بلـوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل دو رقـم گلرنگ به‌نام‌های چینی و گلدشت و عامـل فرعـی شـامل نُـه سـطح کودی بود. این سطوح کودی شامل یک سطح شاهد، دو سطح اسـید هیومیک ۹۵ درصد (دو میلی‌گرم در لیتر و چهار میلی‌گرم در لیتر)، دو سطح کود کلات آهن ۱۲ درصد EDTA (یک میلی‌گرم در لیتـر و دو میلی‌گرم در لیتر) و چهار سطح متقابل کودهای آهن و اسید هیومیـک بود که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته خواهد شد. هر یک از کرت‌ها شامل شش ردیف کشت بود که در واقع، خطوط کناری به‌عنـوان اثـر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف‌های کشـت ۶۰ سـانتی متر در نظر گرفته شده بود. همچنین فاصله بین بوته‌ها در یک ردیـف پنج سانتی‌متر بود. در مجموع، مساحت هر کرت ۵/۴ مترمربع (۳/۶ × ۱/۵) بود. فاصله بین کرت‌ها در داخل بلوک ۴۰ سـانتی‌متـر و فاصـله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شده بود. محلول‌پاشی با کودهـای آهن و اسیدهیومیک دو بار در مرحله رشد رویشی گیاه اعمال گردیـد. زمان محلول‌پاشی سطوح کود آهن بـه‌ترتیب ۱۸۳ و ۱۹۷ روز بعـد از کاشت بود و زمان محلول‌پاشی کود اسـید هیومیـک ۱۸۵ و ۱۹۹ روز بعد از کاشت بود کـه در مرحلـه حـداکثر رشـد رویشـی گیـاه بودنـد. اطلاعات هواشناسی محل انجام پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

نحوه اندازه‌گیری صفات

زمان رسیدگی فیزیولوژیکی

برای مشخص کردن دقیق این مرحله از زمان سفت شدن دانه‌ها، با فواصل سه روزه اقدام به نمونـه‌برداری از دانـه‌ها و خشـک کـردن آن‌ها و اندازه‌گیری وزن آن‌ها تـا زمـانی‌کـه وزن خشـک نمونـه‌های تیماری ثابت شد به‌عنوان مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی در نظر گرفتـه شد.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی محل انجام پژوهش

Table 1- Meteorological information of the research site

ماه Month	بیشینه دما T Maximum (°C)	کمینه دما T Minimum (°C)	میزان بارندگی Precipitation (mm)
مهر October	18	5	28
آبان November	12	0	35
آذر December	6	-5	38
دی January	2	-10	32
بهمن February	3	-12	33
اسفند March	8	-7	25
فروردین April	13	-2	20
اردیبهشت May	18	3	15
خرداد June	23	7	7
تیر July	28	12	5
مرداد August	27	12	3
شهریور September	22	7	7

جدول ۲- بررسی خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه

Table 2- Examination of the chemical properties of the farm soil

بافت Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	آهن Fe	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
				($mg.kg^{-1}$)				
لوم رسی Clay loam	39	29	32	4.2	350	14	0.08	1.0

شاخص سطح برگ

این صفت برای بررسی و مطالعه نسبت سطح سبز به‌منظور تولید محصولات فتوسنتزی مورد محاسبه قرار می‌گیرد. برای محاسبه این صفت در هر یک از کرت‌ها از دستگاه Leaf area meter دستی CI202شرکت CID آمریکا استفاده شد. در هر کرت شش بوته به‌طور تصادفی انتخاب و از برگ‌های بالای بوته به‌منظور اندازه‌گیری شاخص سطح برگ استفاده شد. واحد اندازه‌گیری این صفت مترمربع برگ بر مترمربع زمین می‌باشد. اندازه‌گیری این صفت در زمان حداکثر رشد رویشی گیاه انجام شد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH[1])

به‌منظور تهیه عصاره برای بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ۰/۱ گرم از بافت گیاهی توسط ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد به‌مدت سه ساعت در حمام آب داغ (بن ماری) در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد عصاره‌گیری گردید. واکنش در یک میلی‌لیتر متانول حاوی ۲و۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل هیدرات (DPPH) (غلظت ۴۰ میکروگرم در میلی لیتر) و ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی انجام گردید. حجم نهایی محلول توسط متانول خالص به چهار میلی‌لیتر رسید. محلول‌های حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند. سپس جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. نمونه شاهد (BLANCK) دارای سه میلی‌لیتر متانول و یک میلی‌لیتر رادیکال DPPH متانولی بود. رادیکال DPPH به رنگ بنفش است و پس از واکنش با آنتی‌اکسیدان‌ها احیاء می‌شود و به رنگ زرد در می‌آید. فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها با استفاده از معادله ۱ تعیین شد:

معادله (۱) $100\times F=(A_{CONTROL}-A_{SAMPLE}/A_{CONTROL})$

که در آن، $A_{CONTROL}$: میزان جذب شاهد و A_{SAMPLE}: میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر می‌باشد (celus et al., 2018).

عملکرد و اجزای آن

با تعیین و شمارش تعداد دانه‌ها در واحد سطح (دو ردیف میانی کرت) و تقسیم آن بر تعداد طبق‌ها در همان واحد سطح، میانگین تعداد دانه‌های هر طبق برای هر کرت به دست آمد. ردیف‌های میانی کرت یعنی ردیف‌های سوم و چهارم از بین شش ردیف کرت برای برآورد و بررسی عملکرد دانه انتخاب شدند. در واقع، مساحت ۱/۸ مترمربع از هر کرت به‌عنوان سطح معیار برای آن کرت در نظر گرفته شده و برداشت از آن سطح انجام گرفت. سطحی که این ردیف‌ها اشغال کرده بودند به هکتار تعمیم داده شد و میزان عملکرد کل دانه در هکتار برآورد شد. برای تعیین وزن هزاردانه، پس از برداشت محصول، نمونه‌هایی از هر کرت به‌طور تصادفی و با استفاده از دستگاه بذرشمار، شمارش و پس از آن وزن هزاردانه نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت یک هزارم تعیین گردید. عملکرد کل دانه کرت‌ها با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای پس از جدا کردن و تمیز کردن دانه‌ها توزین و عملکرد دانه‌ها برحسب کیلوگرم در هکتار به دست آمد.

درصد و عملکرد روغن دانه

به این منظور، بعد از انتقال نمونه‌های هر کرت به آزمایشگاه با استفاده از حلال روغن (ان-هگزان[2]) و با کاربرد دستگاه سوکسله (ساخت شرکت electrotermal انگلستان) درصد روغن محاسبه شد. این دستگاه بر پایه استخراج از درون ماده جامد با مایع (حلال) استوار است. بعد از به‌دست آوردن درصد روغن دانه، عملکرد روغن از طریق معادله ۲ محاسبه شد.

1- Diphenyl-1- picrylhydrazyl

2- N-hexane

معادله (۲) درصد روغن دانه‌ها × عملکرد دانه در هکتار= عملکرد روغن در هکتار

عملکرد بیولوژیک

در انتهای مرحله رسیدگی، نمونه‌های بوته برداشت‌شده از کرت‌های آزمایشی به‌مدت ۴۸ ساعت داخل آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. پس از خشک شدن، وزن آن‌ها توسط ترازوی دقیق آزمایشگاهی ثبت و یادداشت شد. حاصل جمع وزن خشک تمامی اندام‌های هوایی گیاه با مقیاس کیلوگرم بر هکتار به‌عنوان شاخص عملکرد بیولوژیک ثبت شد.

شاخص برداشت

این شاخص به‌کمک معادله ۳ محاسبه گردید.

معادله (۳) $HI = (GY/BY) \times 100$

که در آن، HI: به‌عنوان درصد شاخص برداشت، GY: به‌عنوان عملکرد دانه و BY: به‌عنوان عملکرد بیولوژیک در نظر گرفته می‌شود.

برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم افزارهای SAS نسخه ۹/۴ و SPSS نسخه ۲۴ استفاده شد. همچنین برای رسم نمودارها و ثبت اطلاعات از نرم افزارهای Word و Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

زمان رسیدگی فیزیولوژیکی

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، اثر اصلی رقم و اثر اصلی سطوح کودی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری را در صفت زمان رسیدگی فیزیولوژیک نشان دادند. همچنین اثر متقابل ارقام و سطوح کودی نیز در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری را سبب شدند. براساس شکل ۲، طولانی‌ترین زمان رسیدگی مربوط به برهم‌کنش رقم چینی و تیمار دو میلی‌گرم در لیتر آهن + چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک با میزان ۲۷۹/۱ روز بود. همچنین کوتاه‌ترین زمان رسیدگی از برهم‌کنش رقم گلدشت و شاهد با میزان ۲۵۹/۳ روز به دست آمد. سطوح کودی بر روی زمان رسیدگی رقم چینی اثر معنی‌داری نداشت، امّا تیمار دو میلی‌گرم در لیتر آهن + تیمار چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک، زمان رسیدگی رقم گلدشت را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. این‌گونه می‌توان بیان کرد که رقم گلدشت به‌دلیل زودرس‌تر بودن، با استفاده از تیمارهای کودی شرایط رشدی بهتری پیدا کرده و طول زمان رشد خود را کمی افزایش می‌دهد و در واقع، هنوز می‌تواند از شرایط جوی مناسب و فصل زراعی باقی‌مانده استفاده کند. امّا رقم چینی به‌دلیل دیررس بودن، تا آخر فصل زراعی رشد کرده و تیمارهای کودی نمی‌توانند مدت زمان رشد و رسیدگی گیاه را افزایش دهند و طولانی‌تر سازند، چون شرایط جوی مناسبی پس از آن وجود ندارد و گیاه پتانسیل بیشتری نیز برای ادامه رشد ندارد. در بسیاری از منابع اشاره شده است که ارقام دیررس کودپذیری بیشتری دارند، امّا در پژوهش حاضر این‌گونه نبود. تیمارهای کودی به‌خصوص سطوح اسید هیومیک با تأمین مواد آلی و افزایش پتانسیل رشد گیاه باعث شده است که رقم گلدشت از ادامه فصل استفاده کرده و به پرکردن دانه و رشد خود ادامه دهد (Rose et al., 2014; Hajghani et al., 2017).

ارتفاع بوته

مطابق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، اثر اصلی رقم اختلاف معنی‌داری در مورد صفت ارتفاع بوته نشان نداد، امّا تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ایجاد کردند. بر این اساس طبق جدول ۴، بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک با میزان ۶۸/۳۳ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار یک میلی‌گرم در لیتر آهن با میزان ۶۰/۳ سانتی‌متر بود. همچنین برهم‌کنش ارقام و تیمارهای کودی نیز اختلاف معنی‌داری نداشت. این‌گونه بیان می‌شود که سطوح اسید هیومیک با توجه به تقویت مواد آلی گیاه و همچنین دارا بودن اثر شبه نیتروژنی موجب افزایش رشد طولی گیاه و ارتفاع بوته می‌شود (Daur & Bakhashwain, 2013). سطوح کود آهن اثر معنی‌داری بر صفت ارتفاع بوته نداشت.

شاخص سطح برگ

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، اثر اصلی رقم و اثر اصلی سطوح کودی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری را در صفت شاخص سطح برگ نشان دادند. همچنین اثر متقابل ارقام و سطوح کودی نیز در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری را

سبب شدند. براساس جدول مقایسه میانگین (شکل ۱)، بیشترین میزان شاخص سطح برگ مربوط به برهم‌کنش رقم چینی با تیمار دو میلی‌گرم در لیتر آهن + تیمار چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک و تیمار یک میلی‌گرم در لیتر آهن + چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک با میزان ۱/۶ و کمترین میزان شاخص سطح برگ مربوط به برهم‌کنش رقم گلدشت با شاهد با میزان ۰/۸۵ بود. چنین استنباط می‌شود که رقم چینی به‌دلیل طول دوره رویشی و رشدی طولانی‌تر دارای شاخص سطح برگ بیشتری نسبت به رقم گلدشت است. براساس بررسی داده‌ها و تجزیه واریانس آن‌ها مشخص شد که کود اسید هیومیک اثر مثبت بیشتری بر افزایش شاخص سطح برگ نسبت به تیمار کودی آهن سبب می‌شود. همچنین مشاهده گردید که سطح دوم تیمار کودی اسید هیومیک نسبت به سطح اول آن اختلاف معنی‌داری داشت، امّا سطح دوم کود آهن نسبت به سطح اول آن اختلاف معنی‌داری را سبب نشد. کاربرد کود آهن موجب کاهش زردی و کلروز برگ‌ها می‌شود و افزایش رشد برگ‌ها تا برطرف شدن کمبود سطح آهن گیاه رخ می‌دهد، امّا پس از برطرف شدن کمبود آهن، دوز بیشتر این کود اثر رشدی دیگری را در برگ ندارد (Şahin & Isler, 2022). براساس یافته‌های پژوهش، کاربرد همزمان دو کود آهن و اسید هیومیک موجب اثر مثبت بیشتری بر این صفت شد. اسید هیومیک با داشتن منبع سرشاری از مواد آلی و نیتروژن طبیعی موجب افزایش و رشد بیشتر شاخص سطح برگ و پربرگی بیشتر گیاه شد (Karimi et al., 2016).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، اثر اصلی رقم اختلاف معنی‌داری در مورد صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی نشان نداد، امّا تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ایجاد کردند. طبق جدول ۴، مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به تیمار دو میلی‌گرم در لیتر آهن + چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک با میزان ۸۴/۵ درصد و کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به شاهد با میزان ۴۲/۶ درصد بود. براساس بررسی‌های صورت‌گرفته، تیمارکودی آهن تأثیر بسزایی در افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه داشت (Babaei et al., 2017). همچنین سطوح دوم آهن نسبت به سطوح اول دارای تأثیر بیشتر و اختلاف معنی‌داری نسبت به هم بودند. امّا کود اسید هیومیک تأثیر چندانی بر میزان فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه نداشت. آهن می‌تواند از طریق تنظیف گونه‌های فعال اکسیژن موجب ارتقاء توان تحملی گیاه در برابر تنش‌های اکسیداتیو شود و در گیاه نقشی حفاظتی را بازی می‌کند (Yaldiz et al., 2016). همچنین اثر متقابل عوامل تیمارهای کودی و ارقام نیز اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. تحقیقات نشان داده‌اند که کود آهن می‌تواند منجر به افزایش سطح ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در گیاهان شود. این ترکیبات به‌دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی خود، در حذف رادیکال‌های آزاد و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو مؤثر هستند (Rout & Sahoo, 2015).

تعداد دانه در طبق

مطابق مشاهدات و تجزیه واریانس جدول ۳، برهم‌کنش دو عامل رقم و کود موجب اختلاف معنی‌داری شد. بر این اساس و طبق شکل ۳، بیشترین تعداد دانه مربوط به برهم‌کنش رقم چینی و تیمار دو میلی‌گرم در لیتر آهن + چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک با میزان ۲۳/۳ دانه در طبق بود. البته سطوح هفتم (تیمار دو میلی‌گرم در لیتر آهن + دو میلی‌گرم در لیتر هیومیک) و نهم (تیمار دو میلی‌گرم در لیتر آهن + چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک) برای هر دو رقم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. مطابق شکل ۳، در تیمارهای کودی شاهد و سطوح اول کودها، رقم گلدشت دارای عملکرد دانه در طبق بیشتری است، امّا با افزوده شدن مقدار بیشتری از کودها، رقم چینی به‌دلیل دیررس‌تر بودن فرصت بیشتری برای استفاده از کودها دارد که باعث برتری جزئی رقم چینی در تیمارهای کودی توأم می‌شود. امّا در مجموع و به‌طور میانگین، در این صفت رقم گلدشت به‌طور معنی‌داری برتری دارد. اسید هیومیک با بهبود شرایط رشد گیاه موجب افزایش تعداد دانه در سنبله و در نتیجه، افزایش عملکرد دانه می‌گردد (Majidi et al., 2021). اسید هیومیک به‌عنوان یک محرک رشد عمل کرده و به تولید بیشتر انرژی و مواد غذایی در گیاه کمک می‌کند. کاربرد کود آهن به‌ویژه در شرایط کمبود این عنصر، سبب افزایش تعداد دانه در گیاهان می‌گردد. این افزایش تعداد دانه به‌دلیل نقش آهن در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه مانند تثبیت نیتروژن، فتوسنتز و تشکیل کلروفیل است (Davaran Hagh et al., 2016; Soleimani et al., 2017)

وزن هزاردانه

مطابق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، برهم‌کنش عوامل کودی و رقم در صفت وزن هزاردانه اختلاف معنی‌داری ایجاد کرده است. بر این اساس طبق شکل ۴، بیشترین وزن هزاردانه مربوط به برهم‌کنش رقم گلدشت با تیمار یک میلی‌گرم در لیتر + چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک با میزان ۵۰/۰۳ گرم می‌باشد. رقم گلدشت در تمامی تیمارهای کودی به‌جز سطح دوم آهن عملکرد بهتری نشان داده است (البته این برتری معنی‌دار نیست). علت را می‌توان این‌گونه استنباط کرد که سطح دوم کود آهن با برآورده کردن نیازهای رقم چینی که رقمی دیررس‌تر است، می‌تواند سبزینگی و سیستم فتوسنتزی این گیاه را در مدت طولانی‌تری حفظ کند. با کاربرد کود اسید هیومیک رقم گلدشت معمولاً برتری معنی‌داری نسبت به رقم چینی پیدا کرده است. در مقایسه و بررسی دو صفت وزن هزاردانه و تعداد دانه در بوته مشاهده می‌شود که محلول‌پاشی اسید هیومیک، وزن هزاردانه را نسبت به تعداد دانه بیشتر تقویت می‌کند. برعکس، محلول‌پاشی کود آهن برای افزایش تعداد دانه نسبت به افزایش وزن هزاردانه مفیدتر است. اسید هیومیک با توجه به اثر شبه نیتروژنی و غنی بودن از مواد آلی موجب پر شدن بیشتر دانه و افزایش وزن هزاردانه می‌شود. از طرفی، مصرف آهن موجب پاک‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن شده و باعث بهبود عملکرد دانه مخزن[1] در گیاه شده و تعداد دانه بیشتری برای پر شدن در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Zareie et al., 2011). در مجموع، استفاده توأم هر دو نوع کود آهن و اسید هیومیک موجب افزایش تعداد دانه و وزن هزاردانه به‌مقدار قابل توجهی شده است. رقم زودرس گلدشت، قسمت عمده‌ای از اسید هیومیک که خاصیت شبه نیتروژنی دارد را برای تولید و افزایش وزن دانه اختصاص داده است. این رقم به‌علت زودرس بودن و تنفس نگهداری کمتر نسبت به رقم دیگر، فتوسنتز خالص بیشتر و زیست‌توده دانه بیشتری تولید می‌کند (Saydi et al., 2017). رقم گلدشت با وجود زودرس بودن، امّا به‌دلیل شرایط ژنتیکی این رقم وزن هزاردانه بیشتری تولید کرده است.

عملکرد دانه

مطابق جدول ۳، اثر هر دو عامل رقم و کود بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد. طبق جدول ۴، بیشترین عملکرد مربوط به رقم گلدشت با ۱۴۶۲/۵ کیلوگرم در هکتار بود و رقم چینی نیز عملکردی برابر با ۱۴۰۶/۳ کیلوگرم در هکتار ثبت کرد. در میان تیمارهای کودی نیز بیشترین عملکرد مربوط به تیمار دو میلی‌گرم در لیتر آهن + چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک میزان ۱۶۹۴/۱ کیلوگرم در هکتار بود. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می شود، کاربرد سطوح مختلف کودی منجر به افزایش عملکرد هر دو رقم نسبت به شاهد شده است. کود کلات آهن با تحریک فرآیندهای فتوسنتز و گل‌دهی، موجب افزایش تولید دانه‌ها می‌شود. این امر به‌ویژه در گیاهانی که نیاز به آهن دارند، قابل مشاهده است. مشخص شده است که محلول‌پاشی آهن باعث افزایش مشخصه‌های رشد از جمله تعداد دانه تولیدشده در هر بوته و عملکرد دانه می‌شود. در یک مطالعه گزارش شد که کاربرد کود آهن بر تعداد دانه در طبق تأثیر مثبت داشته و منجر به افزایش عملکرد کلی دانه در ژنوتیپ‌های گلرنگ می‌شود (Rakesh et al., 2021). در واقع، استفاده از کود آهن موجب بهبود فعالیت مخزن شده است. کاربرد آهن با افزایش محتوای کلروفیل مرتبط است که برای فتوسنتز بسیار مهم است. مطالعات نشان می‌دهد که آهن، فعالیت‌های آنزیمی مرتبط با جذب مواد مغذی و مقابله با تنش را افزایش می‌دهد (Esmaili & Tadayyon, 2019)، بنابراین انعطاف‌پذیری و بهره‌وری گیاه را در شرایط مختلف از جمله خشکی بهبود می‌بخشد (Fathi Amirkhiz et al., 2015). آهن به‌دلیل نقش مهمی که در فتوسنتز گیاهان ایفا می‌کند، در افزایش عملکرد دانه و بهبود تسهیم دانه از مواد فتوسنتزی نقش دارد (Arazmjoo et al., 2019). همچنین اسید هیومیک به‌دلیل اینکه دارای پایه آلی است، مواد آلی مورد نیاز گیاه را بهتر تأمین کرده و موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود (Jahan et al., 2022). تعامل بین اسید هیومیک و آهن برای سلامت گلرنگ مفید است و منجر به افزایش جذب مواد مغذی، بهبود معیارهای رشد، افزایش عملکرد دانه و تحمل بهتر تنش می‌شود. این یافته‌ها اهمیت ادغام مواد هیومیک و ریزمغذی‌هایی مانند آهن را در شیوه‌های کشت گلرنگ برای عملکرد و بهره‌وری بهینه گیاه نشان می‌دهد. همان‌طور که در مطالب بالا اشاره شد، در صفات وزن هزاردانه و تعداد دانه در بوته بین برهم‌کنش عوامل رقم و کود اختلاف معنی‌دار وجود داشت، امّا بین آن‌ها از نظر صفت عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. علت این امر را می‌توان خنثی‌سازی برهم‌کنش‌های معنی‌دار دو عامل در صفت عملکرد دانه دانست. به عبارتی دیگر، مطابق شکل ۱ در صفت وزن هزاردانه در سطوح کودی بالا رفته‌رفته رقم گلدشت

1- sink

نسبت به رقم چینی پیشی گرفته و عملکرد بهتری ایجاد کرد. برعکس در صفت تعداد دانه در بوته، با افزایش کوددهی رقم چینی نسبت به رقم دیگر پیشی گرفته و عملکرد بهتری داشت. امّا در عملکرد دانه این شرایط و برهم‌کنش‌ها با یکدیگر خنثی شده و می‌توان گفت که در مجموع، رقم گلدشت عملکرد بهتری ایجاد کرد. برهم‌کنش متقابل عوامل رقم و کود معنی‌دار نبود. رقم گلدشت به‌دلیل زودرسی، از گرمای آخر فصل فرار کرده و تا رسیدن به حداکثر تنش محیطی رسیدگی خود را تکمیل کرده و به این دلیل عملکرد بیشتری ثبت کرد. همچنین حمله آفات و پرندگان نیز در آخر فصل زراعی افزایش یافته و این امر به ضرر رقم دیررس چینی است.

درصد و عملکرد روغن دانه

براساس مشاهدات صورت‌گرفته (جدول ۳)، ارقام در مورد صفت درصد روغن تفاوت معنی‌داری نسبت به یکدیگر نداشتند. طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، سطوح کودی نیز سبب تأثیر معنی‌داری بر درصد روغن دانه‌ها نشدند. اگرچه تفاوت‌هایی در میزان درصد روغن ارقام وجود داشت، امّا این تفاوت‌ها معنی‌دار نبود. مطابق جدول ۳، عملکرد روغن نیز متأثر از عملکرد دانه در بین ارقام و سطوح کودی دارای تفاوت معنی‌داری بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of the measured traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares									
		زمان رسیدگی Ripening time	ارتفاع بوته Plant height	شاخص سطح برگ Leaf area index	فعالیت آنتی‌اکسیدان Antioxidant activity	تعداد دانه در طبق Seed per head	وزن هزاردانه Thousand seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد روغن Seed oil yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication (r)	2	1.51	2.42	0.017	4.12	0.23	0.13	1149	80.77	240.33	0.25
ارقام Cultivars (C)	1	3596.6**	0.031^{ns}	0.18**	0.018^{ns}	0.93**	16.88**	42616.4**	3817.13**	2.15^{ns}	9.45**
خطای کرت اصلی Main plot error (rep. × C)	2	0.9	0.35	0.00003	4.79	0.25	0.03	952.2	28.65	5.62	0.21
تیمار کودی Fertilizer (F)	8	68.22**	69.86**	0.28**	1872.7**	17.1**	29.99**	182842**	116737.4**	1030182.3**	11.51**
C × F	8	17.1**	0.004^{ns}	0.007**	0.26^{ns}	0.35**	1.17**	593.1^{ns}	25.84^{ns}	19.99^{ns}	0.17^{ns}
خطای کرت فرعی Subplot error (Rep.× F)	32	0.13	0.04	0.0003	5.27	0.11	0.15	385.96	50.33	94.28	0.1
ضریب تغییرات CV (%)	-	0.135	0.32	1.4	3.6	1.6	0.85	1.36	1.75	0.14	1.5

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: non-significant, significant at the probability level of $p\leq0.05$ and $p\leq0.01$, respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر اصلی ارقام و تیمارهای کودی بر روی گلرنگ

Table 4- Mean comparison of the main effects of cultivars and fertilizer treatments on safflower

تیمارها Treatments	ارتفاع بوته Plant height (cm)	فعالیت آنتی‌اکسیدان Antioxidant activity (%)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	درصد روغن Oil percentage (%)	عملکرد روغن Seed oil yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)
گلدشت Goldasht	64.71 a	63.81 a	1462.56 a	28.24 a	413.08 a	6560.3 a	22.3 a
چینی Chinese	64.66 a	63.77 a	1406.37 b	28.17 a	396.26 b	6518.2 a	21.37 b
c	60.45 c	42.66 c	1132.33 f	28.3 a	320.48 f	5825.8 h	19.43 g
F1	60.33 c	63.66 b	1301 e	28.33 a	368.61 e	6106.6 g	21.3 e
F2	60.46 c	84.16 a	1395.33 d	28.1 a	392.11 d	6242 f	22.34 d
H1	65.31 b	43.66 c	1312.67 e	28.06 a	368.35 e	6400.8 e	20.5 f
H2	68.33 a	44.5 c	1408.83d	26.08 a	395.61 d	6711.5 d	20.99 e
F1H1	65.51 b	63.5 b	1490.5 c	28.3 a	421.78 c	6718 d	22.18 d
F2H1	65.61 b	84.5 a	1596.17 b	28.3 a	451.74 b	6826.1 c	23.37 b
F1H2	68.13 a	63 b	1579.17 b	28.23 a	445.85 b	6912.1 b	22.84 c
F2H2	68.05 a	84.5 a	1694.17 a	28.18 a	477.5 a	7117.5 a	23.79 a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

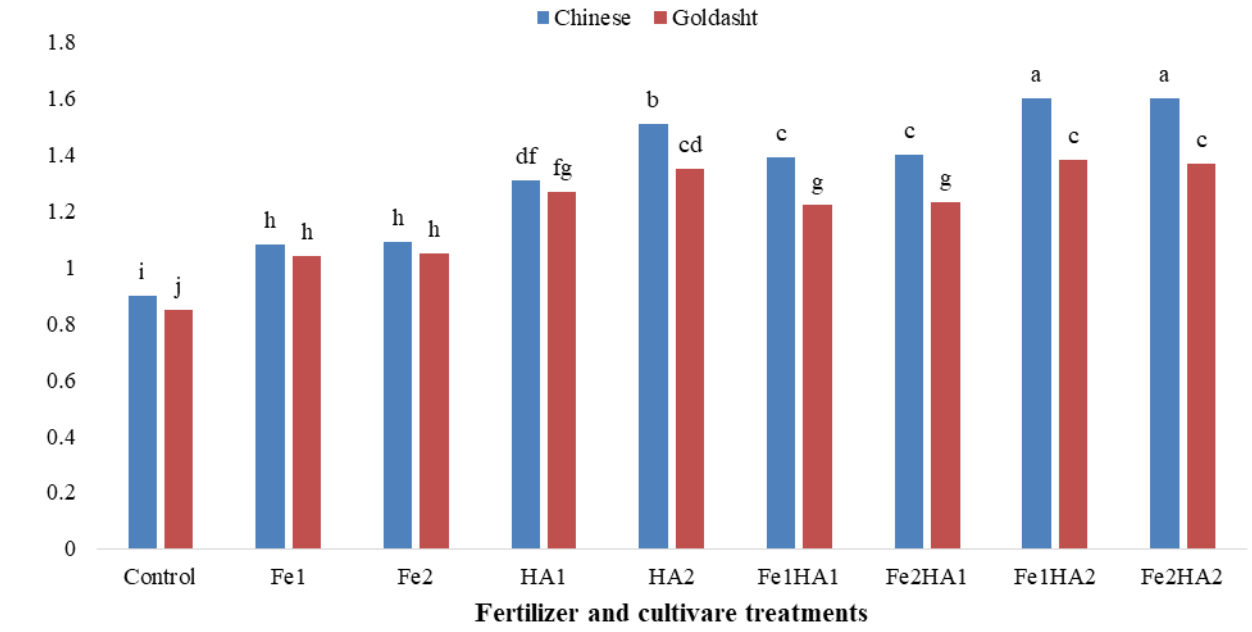
* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using duncan

طبق جدول ۳ و مقایسه‌های میانگین انجام‌گرفته، عملکرد روغن رقم گلدشت و رقم چینی به‌ترتیب ۴۱۳/۰۸ و ۳۹۶/۲۶ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین در بین سطوح کودی (طبق جدول ۳)، بیشترین عملکرد روغن مربوط به تیمار دو میلی‌گرم در لیتر آهن + چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک با میزان ۴۷۷/۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان مربوط به شاهد با میزان ۳۲۰/۴۸ کیلوگرم در هکتار بود. هیچ‌کدام از عوامل و تیمارها بر درصد روغن دانه تأثیر معنی‌داری نداشت. می‌توان این‌گونه گفت که افزایش عملکرد روغن دانه به‌دلیل افزایش عملکرد دانه بوده است و اثر درصد روغن دانه معنی‌دار نبود.

عملکرد بیولوژیک

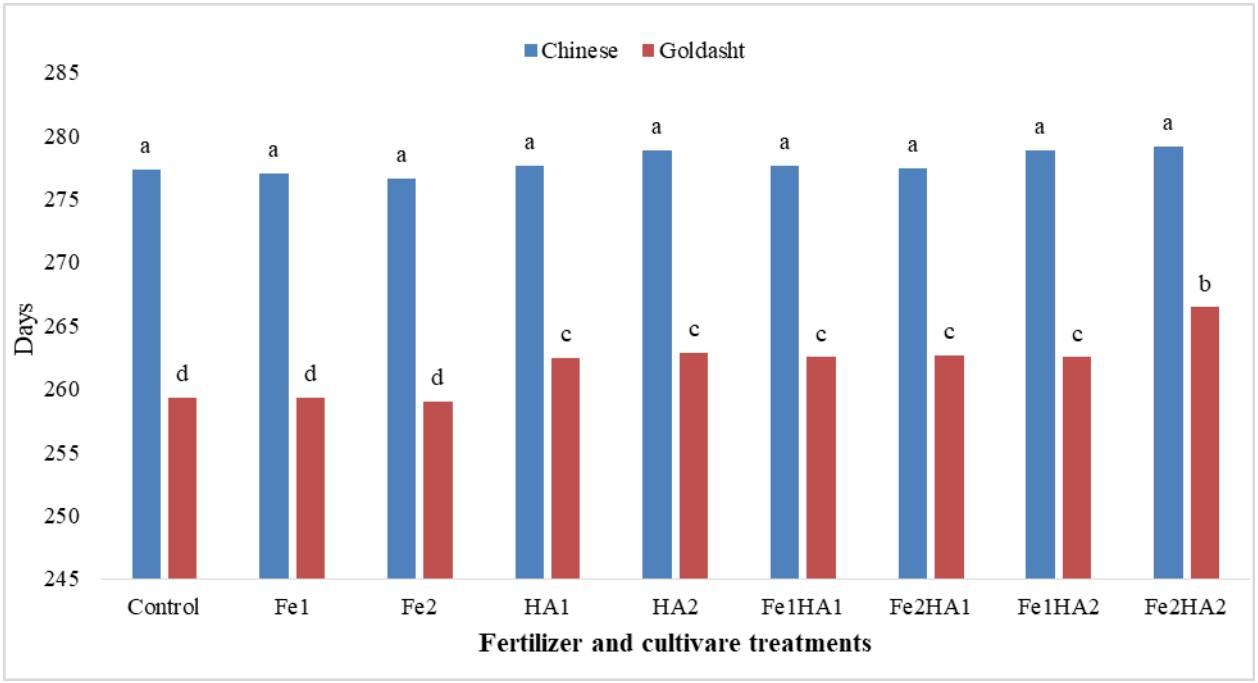
براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های این صفت (جدول ۳)، مشخص شد که ارقام از نظر عملکرد بیولوژیک اختلاف معنی‌داری نسبت به هم ندارند. رقم چینی علی رغم عملکرد دانه کمتر به‌دلیل وجود شاخص سطح برگ بیشتر و طبق‌های بزرگ‌تر، عملکرد بیولوژیک تقریباً یکسانی با رقم گلدشت دارد. بر این اساس و طبق جدول ۳، عملکرد بیولوژیک ثبت‌شده برای رقم گلدشت ۶۵۶۰/۳۶ کیلوگرم در هکتار و برای رقم چینی ۶۵۱۸/۲۳ کیلوگرم در هکتار ثبت گردید. همچنین از نظر عامل تیمارهای کودی، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ثبت گردید. بر این اساس، بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار دو میلی‌گرم در لیتر آهن + چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک با میزان ۷۱۱۷/۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان عملکرد بیولوژیک ثبت‌شده مربوط به تیمار کودی شاهد با میزان ۵۸۲۵/۸۳ کیلوگرم در هکتار بود. براساس تجزیه واریانس صورت گرفته، مشخص گردید که اثر سطوح کودی اسید هیومیک بر این صفت به مراتب بیشتر از اثر سطوح تیمارهای کود آهن بوده است. همچنین مشخص گردید که اثر متقابل عوامل تیمارهای کودی و ارقام اختلافات معنی‌داری را سبب نشدند. اسید هیومیک با توجه به دارا بودن اثر شبه‌نیتروژنی و آلی باعث تأمین مواد آلی گیاه شده و رشد هرچه بیشتر گیاه را سبب می‌شود (Garcia et al., 2014). اسید هیومیک به افزایش نفوذپذیری غشاء سلولی کمک کرده و در نتیجه، انتقال مواد مغذی و رشد بیولوژیک گیاه بهتر صورت می‌گیرد (Safaee et al., 2017). آهن به‌عنوان یک کوآنزیم در تشکیل کلروفیل عمل می‌کند و کمبود آن موجب کلروز برگ‌ها و کاهش رشد رویشی می‌شود. محلول‌پاشی یا استفاده از کلات آهن Fe-EDTA یا Fe-EDDHA باعث افزایش سطح برگ، ارتفاع گیاه و وزن خشک

شاخساره و ریشه می‌شود (El-Desouky et al., 2021).



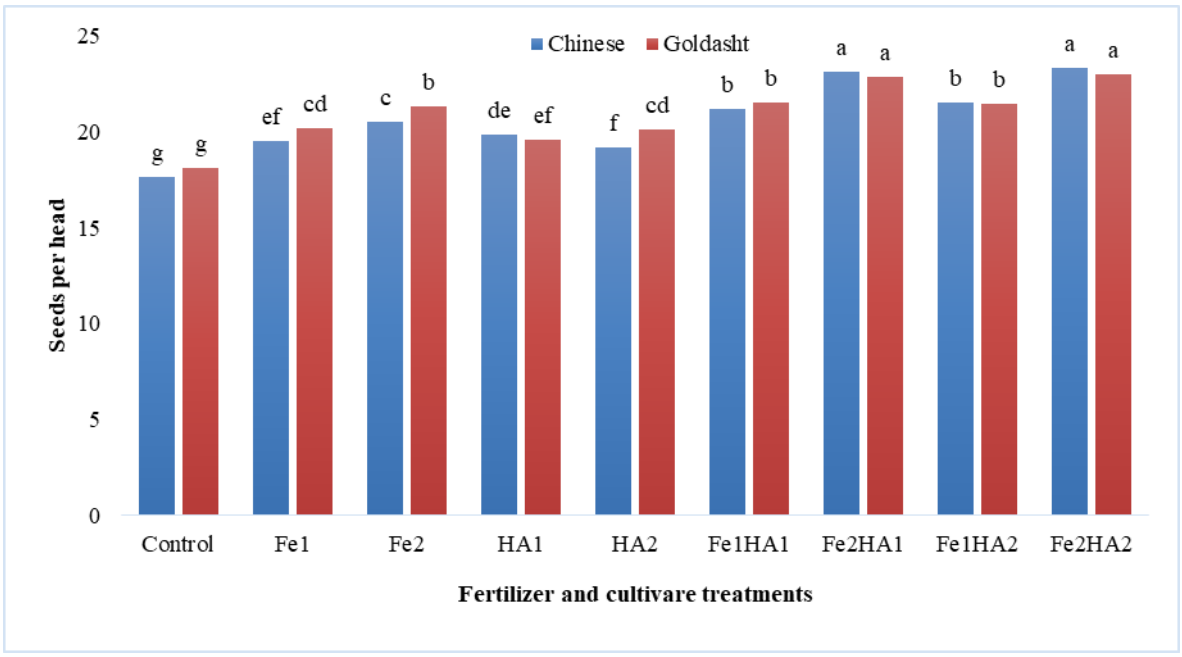
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام و سطوح تیمار کودی در صفت شاخص سطح برگ گلرنگ در سطح احتمال پنج درصد

Fig. 1– Mean comparison of interaction effects of cultivars and fertilizer treatment levels on the safflower leaf area index trait at a 5% significance level



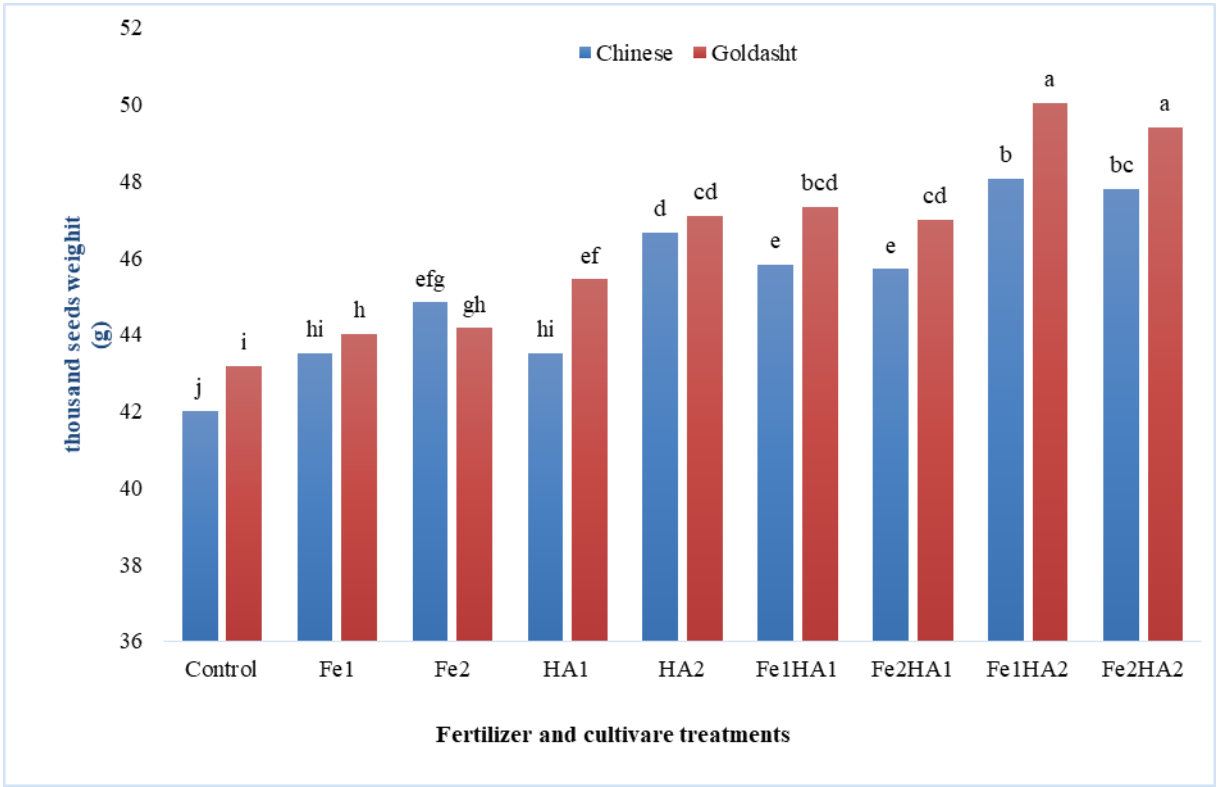
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام و سطوح تیمار کودی در صفت زمان رسیدگی گلرنگ در سطح احتمال پنج درصد

Fig. 2– Mean comparison of interaction effects of cultivars and fertilizer treatment levels on the safflower ripening time at a 5% significance level



شکل۳- مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام و سطوح کودی برای صفت تعداد دانه در طبق گلرنگ در سطح احتمال پنج درصد

Fig. 3– Mean comparison of interaction effects of cultivars and fertilizer treatment levels on the safflower seed per head at a 5% significance level.



شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام و سطوح کودی برای وزن هزاردانه در طبق گلرنگ در سطح احتمال پنج درصد

Fig. 4– mean comparison of interaction effects of cultivars and fertilizer treatment levels on the safflower thousand-seed weight at a 5% significance level

شاخص برداشت

براساس تجزیه واریانس (جدول ۳) صورت‌گرفته مشاهده شد که ارقام از نظر صفت شاخص برداشت اختلاف معنی‌داری نسبت به هم در سطح احتمال یک درصد دارند. بر این اساس (جدول ۴)، به‌طور میانگین شاخص برداشت رقم چینی ۲۱/۳۵ درصد و شاخص برداشت رقم گلدشت ۲۲/۳ درصد ثبت گردید. همچنین براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مشخص گردید که عامل تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. بر این اساس، بیشترین شاخص برداشت مربوط به تیمار دو میلی‌گرم در لیتر آهن + چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک با میزان ۲۳/۷۹ درصد و کمترین شاخص برداشت متعلق به تیمار کودی شاهد با میزان ۱۹/۴۳ درصد بود. طبق تجزیه واریانس داده‌ها مشاهده گردید که تیمارهای کودی اثر بسزایی را در افزایش میزان شاخص برداشت دارند. ثابت شد که کاربرد توأم دو کود آهن و اسید هیومیک موجب بهبود بیشتر شاخص برداشت می‌گردد. همچنین براساس جدول تجزیه واریانس مشاهده شد که اثر متقابل تیمارهای کودی و ارقام اختلاف معنی‌داری را سبب نمی‌شوند. تیمارهای کودی با توجه به تأثیر مثبت معنی‌دار بر عملکرد دانه، باعث افزایش شاخص برداشت و بهبود آن شدند.

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان داد که رقم گلدشت زودرس‌تر از رقم چینی است و میزان عملکرد بیشتری نیز دارد. رقم چینی به‌دلیل اینکه طول دوره رشد بیشتری دارد، ممکن است در اواخر دوران رشد با گرمی هوا و تهاجم آفات و پرندگان روبه‌رو شده و باعث کاهش عملکرد آن شود، بنابراین کشت رقم گلدشت از این لحاظ ارجح است. در مقایسه صفات فیزیولوژیکی مشاهده شد که استفاده از کودهای آهن و اسید هیومیک موجب پایداری و مقاومت بیشتر ارقام شد. تعامل بین اسید هیومیک و آهن برای سلامت گلرنگ مفید است و منجر به افزایش جذب مواد مغذی، بهبود معیارهای رشد، افزایش عملکرد دانه و تحمل بهتر تنش می‌شود. این یافته‌ها اهمیت ادغام مواد هیومیک و ریزمغذی‌هایی مانند آهن را در شیوه‌های کشت گلرنگ برای عملکرد و بهره‌وری بهینه گیاه نشان می‌دهد. بنابراین، کاربرد توأم سطوح دوم آهن و هیومیک توصیه می‌شود. کاربرد اسید هیومیک و آهن موجب افزایش شاخص سطح برگ و بهبود فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شود. کاربرد هر دو کود آهن و اسید هیومیک موجب بهبود و افزایش شاخص برداشت شده و تمرکز گیاه بر روی پر شدن قسمت اقتصادی گیاه یعنی دانه افزایش پیدا می‌کند. در مورد صفات عملکردی نیز کاربرد توأم سطوح دوم کود آهن و اسید هیومیک توصیه می‌شود، چرا که هر دو باعث بهبود شرایط گیاه شدند. اسید هیومیک با توجه به اثر شبه نیتروژنی و غنی بودن از مواد آلی موجب پر شدن بیشتر دانه و افزایش وزن هزاردانه می‌شود. از طرفی، مصرف آهن موجب پاک‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن و بهبود عملکرد مخزن در گیاه شده و تعداد دانه بیشتری برای پر شدن در اختیار گیاه قرار می‌دهد. در مجموع، استفاده توأم هر دو نوع کود آهن و اسید هیومیک موجب افزایش تعداد دانه و وزن هزاردانه به‌مقدار قابل توجهی شده است. رقم گلدشت دارای درصد و عملکرد بالاتر روغن بود و از این لحاظ نیز نسبت به رقم چینی ارجحیت دارد. در مجموع، می‌توان گفت که با قیمت کم و در دسترس بودن، کودهای آهن و اسیدهیومیک آثار قابل ملاحظه و زیادی بر روی اکثر صفات داشتند و موجب بهبود گیاه از نظر فیزیولوژیکی و عملکردی شدند.

References

1. Arazmjoo, E., Behdani, M.A., Mahmoodi, S., & Sadeghzadeh, B. (2019). Biofortification of new and old bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars through foliar application of zinc and iron different forms. *Journal of Agroecology*, *11*(2), 453-466. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.67935
2. Babaei, K., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A., & Khalilzadeh, R. (2017). Effects of bio fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Interactions*, *12*(1), 381-389. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1371798
3. Bagheri, H., Moghadam, L., Danai, E., & Abdossi, V. (2022). The effect of foliar spraying of nanochelates of iron,

potassium, calcium and manganese on the amount of elements and enzyme activity of peppermint plant (*Mentha piperita). Iranian Plant and Biotechnology*, *17*(1), 11-23. (In Persian with English abstract).

4. Celus, M., Salvia-Trujillo, L., Kyomugasho, C., Maes, I., Van Loey, A.M., Grauwet, T., & Hendrickx, M.E. (2018). Structurally modified pectin for targeted lipid antioxidant capacity in linseed/sunflower oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*, *241*, 86-96. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.056
5. Daur, I., & Bakhashwain, A.A. (2013). Effect of humic acid on growth and quality of maize fodder production. *Pakistan Journal of Botany*, *45*(S1), 21-25.
6. Davaran Hagh, E., Mirshekari, B., Ardakani, M.R., Farahvash, F., & Rejali, F. (2016). Evaluating maize yield and the quality of response to vermicompost, in *Thiobacillus* and foliar application of Fe and Zn. *Journal of Agroecology*, *8*(3), 359-372. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v8i3.35545
7. El-Desouky, H.S., Islam, K.R., Bergefurd, B., Gao, G., Harker, T., Abd-El-Dayem, H., Fakhry, H., El-Zeiny, H., & Zewail, R.M. (2021). Nano iron fertilization significantly increases tomato yield by increasing plants' vegetable growth and photosynthetic efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(11), 1649–1663. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1871749
8. Emongor, V.E., & Emongor, R.A. (2023). Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). In *Neglected and Underutilized Crops*. pp. 683-731. Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90537-4.00024-7
9. Esmaili, A., & Tadayon, M.R. (2019). Influence of drought stress and humic acid on growth, yield and sugar production of sugar beet. *Journal of Agroecology*, *11*(1), 185-198. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.62811
10. Fanaei, H.R., Azmal, A., & Piri, I. (2017). Effect of biological and chemical fertilizers on oil, seed yield and some agronomic traits of safflower under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, *8*(4), 551-566. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v8i4.46602
11. FAO. (2023). FAOSTAT Crops Database: Safflower.
12. Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., & Heshmati, S. (2015). Investigating the effect of iron chelate on chlorophyll content, quantum efficiency of photosystem II and some biochemical traits in safflower under low water conditions. *Iranian Plant Sciences*, *46*(1), 137-145. (In Persian with English abstract).
13. García, A.C., Izquierdo, F.G., & Berbara, R.L.L. (2014). Effects of humic materials on plant metabolism and agricultural productivity. In *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance* Academic Press. pp. 449-466. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800876-8.00018-7
14. Ghassemi Golezani, K., Ardalan, N., Raei, Y., & Dalil, B. (2022). Improving some physiological and yield parameters of safflower by foliar sprays of Fe and Zn under drought stress. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, *12*(1), 15-27. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/jppb.2022.14657
15. Gui, J.Y., Rao, S., Huang, X., Liu, X., Cheng, S., & Xu, F. (2022). Interaction between selenium and essential micronutrient elements in plants: A systematic review. *Science of The Total Environment*, *853*, 158673. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158673
16. Hajghani, M., Ghalavand, A., & Modarres Sanavy, S.A.M. (2017). Evaluation of yield, yield components and growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in conventional and organic farming systems. *Journal of Agroecology*, *9*(1), 15-30. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v9i1.31520
17. Heshmati, S., Akbari, G., Soltani, E., Amini Dehaghi, M., Fathi Amirkhiz, K., & Maleki, K. (2021). Study the antioxidant enzymes activity and biochemical responses of safflower as affected by foliar application of melatonin under drought condition. *Journal of Crops Improvement*, *23*(4), 906-883. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2021.315815.2490
18. Jahan, M., Amiri, M.B., Saleh Ababdi, M., Naseri, N., & Abbasi, S. (2022). Application of multivariate statistical techniques for determining of affecting factors in water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) under conditions of simultaneous application of nitrogen and ecofriendly inputs. *Journal of Agroecology*, *14*(3), 509-529. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2021.67224.0
19. Kamaraki, H., & Galavi, M. (2012). Evaluation of foliar Fe, Zn and B micronutrients application on quantitative and qualitative traits of safflower (*Carthamus tinctorius L.*). *Journal of Agroecology*, *4*(3), 201-206. (In Persian with English abstract).
20. Karimi, E., Tadayyon, A., & Tadayyon, M.R. (2016). The effect of humic acid on some yield characteristics and

leaf proline content of safflower under different irrigation regimes. *Journal of Crops Improvement*, *18*(3), 609-623. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2016.56624

21. Koutroubas, S. D., Antoniadis, V., Fotiadis, S., & Damalas, C.A. (2019). Yield and adaptation of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes under rainfed and irrigated conditions. *Industrial Crops and Products*, *132*, 378–385.
22. Majidi, A., Khalilzadeh, G., & Rejali, F. (2021). The effect of humic acid and glycine betaine on grain yield and some agricultural traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) in dry conditions. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, *31*(4), 235-253. (In Persian with English abstract).
23. Mir, Z., Dahmardeh, M., Khammari, I., & Piri, J. (2017). Determine the optimal levels of bio-fertilizers and foliar application of iron on yield and quality indices of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Agroecology*, *9*(4), 1194-1207. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v9i4.56478
24. Mousavifar, B.E., & Behdani, M.A. (2018). Effect of deficit irrigation and plant density on growth and seed yield and some morphological traits of autumn safflower (*Carthamus tinctorius* L). *Journal of Agroecology*, *10*(1), 107-119. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v10i1.5349۷
25. Naghavi, M.R., Piri, I., Khalili, M., & Tavassoli, A. (2021). Comparison of some drought tolerance indices in Iranian and foreign safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Journal of Arid Biome*, *10*(2), 175-191. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/aridbiom.2021.16254.1840
26. Pasban Eslam, B., Sadeghi Bakhtevari, A.R., Jabbari, H., & Bybordi, A. (2021). Physiological and agronomic response of promise safflower genotypes to late season water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *52*(1), 123-130. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.293812.654667
27. Rakesh, M., Singh, R., & Singh, E. (2021). Influence of nitrogen and foliar spray of iron on yield and economics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *The Pharma Innovation Journal*, *10*(10), 495-497.
28. Rose, M.T., Patti, A.F., Little, K.R., Brown, A.L., Jackson, W.R., & Cavagnaro, T.R. (2014). A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: Practical implications for agriculture. *Advances in Agronomy*, *124*, 37-89. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4
29. Rout, G.R., & Sahoo, S. (2015). Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, *3*, 1-24. https://doi.org/10.7831/ras.3.1
30. Safaee, M., Rahimi, A., Torabi, B., & Khoram, A. (2017). Effect of vermi-compost fertilizer application and foliar spraying of compost tea and acid humic on growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*, *9*(3), 805-820. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v9i3.51879
31. Şahin, C.B., & Işler, N., (2022). Effects of foliar fertilizer applications on leaf area, chlorophyll and nutritional content at different growth stages of soybean Soyanın Farklı Gelişim Dönemlerinde Uygulanan Yaprak Gübresinin Yaprak Alanı, Klorofil ve Besin İçeriklerine Etkisi. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, *19*(4), 712-723. https://doi.org/10.33462/jotaf.963971
32. Saydi, Z., Fateh, E., & Ayneband, A. (2017). Effect of different sources of nitrogen and organic fertilizers on yield and yield components of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.). *Journal of Agroecology*, *9*(1), 115-128. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v9i1.49334
33. Soleimani, R., Noorgholipour, F., & Moshiri, F. (2017). The effect of foliar spraying of zinc, iron and manganese on the yield and nutrient content of safflower seed (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agricultural Sciences of Iran*, *19*(1), 1-12. (In Persian with English abstract).
34. Veysi, H., Heidari, G., & Sohrabi, Y. (2016). The effect of mycorrhizal fungi and humic acid on yield and yield components of sunflower. *Journal of Agroecology*, *8*(4), 567-582. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v8i4.47568
35. Yaldiz, G., Yildirim, A.B., Arici, Y.K., & Camlica, M. (2016). Rendimiento, características del rendimiento, composición fitoquímico, actividad antioxidante y antibacteriana del Abutilon indicum cultivado con diferentes formas de aplicación de fertilizantes. *Cienciae Investigación Agraria*, *43*(3), 464-475. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202016000300012
36. Zandi, N., Khalesro, S., Badakhshan, H., & Heidari, G. (2021). Effect of humic acid foliar application on the yield and morphological traits of some safflower cultivars. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(4), 35-48. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/saps.2021.44512.2636

37. Zareie, S., Golkar, P., & Mohammadi-Nejad, G. (2011). Effect of nitrogen and iron fertilizers on seed yield and yield components of safflower genotypes. *African Journal of Agricultural Research*, *6*(16), 3924-3929. https://doi.org/10.5879/AJAR11.683