Saffron Agronomy & Technology
Homepage: http://saffron.torbath.ac.ir
Vol. 11, No. 4, Winter 2024, p. 371-391

The Effect of Foliar Application of Seaweed Extract and Some Nutrients on Flowering and Apocartenoid Content in Saffron Stigma

Seyed Mohammad Moosavipoor[1], Hassan Feizi[2]*, Hossein Sahabi[3] and Hamid-Reza Fallahi[4,5]

Article type:
Research Article
Article history:
Submitted: 7 September 2023
Revised: 17 December 2023
Accepted: 26 January 2024
Available Online: 26 January 2024

How to cite this article:
Feizi, H., Moosavipoor, S. M., Sahabi, H., and Fallahi, H. (2024). The Effect of Foliar Application of Seaweed Extract and Some Nutrients on Flowering and Apocartenoid Content in Saffron Stigma. Saffron Agronomy & Technology, 11(4), 371-391.
DOI: 10.22048/JSAT.2024.410290.1500

Abstract

Recognizing the potential role of seaweed in improving saffron yield and the utilization of micronutrient elements like Ca, Mg, Fe, and Mn to enhance stigma yield, an experiment was conducted. The study investigated the impact of foliar spraying of seaweed extract and selected nutritional elements on saffron's quantitative and qualitative traits of saffron.This research was conducted, as factorial based on a randomized complete block design (RCBD) with four replications during 2021-2022 in Neishabur, Iran. The first factor consisted of seaweed extract (0 and 2 $L.ha^{-1}$) and the second factor consisted of foliar application of nutrients including no foliar application (as control), and the defender of some elements including iron (1.5 $L.ha^{-1}$ containing Fe, N, and amino acids), zinc, boron (1 $L.ha^{-1}$ containing B and amino acids), manganese (1.5 $L.ha^{-1}$ containing Mn, Zn and S), magnesium and calcium (2 $L.ha^{-1}$ containing Ca and N). The use of all nutrients compared to the control (no-nutrients) and the use of seaweed extract compared to no-seaweed application caused an increase in flower and stigma yields. Based on the interaction effects of the experimental factors, the highest number of flowers (68.8 $No.m^{-2}$) was obtained in the combined application of manganese and seaweed extract, the highest flower yield (33.5 $g.m^{-2}$) was gained with the combined application of seaweed and boron, and the highest dry stigma yield (0.48 $g.m^{-2}$) was obtained from the simultaneous application of magnesium and seaweed extract, which were 63.8, 16.7 and 17.0%, more than the control treatment (no-seaweed & No-nutrients), respectively. Without nutrient application, the utilization of seaweed extract resulted in a notable rise in the Picrocrocin content of the stigma by 15.9%, Crocin by 9.5%, and Safranal by 10.6% compared to the absence of seaweed application.Combined consumption of calcium with seaweed increased the content of Picrocrocin and Crocin,

1 -Msc. Student of Agroecology – Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Iran Associate Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Iran.
2 - Associate Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Iran.
3 - Assistant Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Iran
4 - Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
5 - Plant and Environmental Stresses Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran
Corresponding author: h.feizi@torbath.ac.ir

© 2022, University of Torbat Heydarieh. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial License (CC BY NC 4.0)
(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0).

while simultaneous application of other nutrients with seaweed did not improve these indices. The highest and the lowest content of Safranal (37.7 and 32.35 absorption at 330 nm) were obtained from magnesium + no-seaweed and control (no-seaweed & no-nutrients) treatments, respectively. Overall, although all of the studied elements combined with seaweed extract improved stigma yield in order to increase stigma yield, application of Mg in combination to seaweed recommended and to enhance saffron quality using seaweed suggested.

Keywords: Stigma, Picrocrocin, Safranal, Crocin, Micro elements.

نشریه زراعت و فناوری زعفران
جلد۱۱، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲ ص. ۳۹۱-۳۷۱
Homepage: http://saffron.torbath.ac.ir

مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و برخی عناصر غذایی بر گلدهی و محتوای آپوکارتنوئیدهای کلاله زعفران

سید محمد موسوی پور[۱]، حسن فیضی[۲*]، حسین صحابی[۳] و حمیدرضا فلاحی[۴،۵]

تاریخ دریافت: ۱۶ شهریور ۱۴۰۲
تاریخ بازنگری: ۲۶ آذر ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۶ بهمن ۱۴۰۲

موسوی پور، س. م.، فیضی، ح.، صحابی، ح.، فلاحی، ح. ر. ۱۴۰۲. اثر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و برخی عناصر غذایی بر گلدهی و محتوای آپوکارتنوئیدهای کلاله زعفران. زراعت و فناوری زعفران، ۱۱(۴)، ۳۹۱-۳۷۱.

چکیده

با توجه به اهمیت و نقش عناصر غذایی و عصاره جلبک دریایی در بهبود عملکرد زعفران و با هدف افزایش عملکرد کلاله زعفران با استفاده از کاربرد عناصر کم مصرف و پرمصرفی نظیر کلسیم، منیزیم، آهن و منگنز، آزمایشی جهت بررسی اثر محلول‌پاشی جلبک دریایی و برخی عناصر غذایی بر صفات کمی و کیفی زعفران (*Crocus sativus* L.) انجام شد. این تحقیق به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار در شهرستان نیشابور در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. فاکتور اول عصاره جلبک دریایی (صفر و دو لیتر در هکتار) و فاکتور دوم محلول‌پاشی عناصر غذایی شامل عدم محلول‌پاشی به عنوان تیمار شاهد، دفندر عناصر آهن با غلظت ۱/۵ (حاوی آهن، نیتروژن و اسید آمینه)، روی با غلظت ۱، بُر با غلظت ۱/۵ (حاوی بُر و اسید آمینه)، منگنز با غلظت ۲ (حاوی منگنز، روی و گوگرد)، منیزیوم با غلظت ۲ و کلسیم با غلظت ۲ لیتر در هکتار (حاوی کلسیم و نیتروژن) بودند. مصرف تمامی عناصر غذایی در مقایسه با عدم مصرف آن‌ها و نیز مصرف عصارهٔ جلبک در مقایسه با عدم کاربرد آن موجب افزایش معنی‌دار عملکرد گل و کلاله شد. بر اساس نتایج اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی، بیشترین تعداد گل (۶۸/۸ عدد در مترمربع) در تیمار مصرف همزمان منگنز و عصارهٔ جلبک، بالاترین عملکرد گل (۳۳/۵ گرم در مترمربع) در شرایط مصرف همزمان جلبک و بُر و بیشترین عملکرد کلاله خشک (۰/۴۸ گرم در مترمربع) از کاربرد همزمان منیزیم و عصارهٔ جلبک به دست آمد که به‌ترتیب ۶۳/۸، ۱۶/۷ و ۱۷/۰ درصد بیشتر از تیمار شاهد (عدم مصرف عصارهٔ جلبک و ریزمغذی) بود. در شرایط عدم مصرف عناصر غذایی، کاربرد منفرد عصاره جلبک موجب افزایش معنی‌دار محتوای پیکروکروسن به میزان ۱۵/۹، کروسین به میزان ۹/۵ و سافرانال به میزان ۱۰/۶ درصد شد. مصرف همزمان کلسیم با جلبک دریایی محتوای پیکروکروسین و کروسین کلاله را افزایش داد، در حالیکه مصرف تلفیقی سایر عناصر غذایی با عصارهٔ جلبک موجب بهبود این صفات نشد. بیشترین و کمترین محتوای سافرانال (به‌ترتیب ۳۷/۷ و ۳۲/۳۵ میزان جذب در طول موج ۳۳۰ نانومتر) از تیمارهای مصرف منیزیم بدون عصارهٔ جلبک و شاهد (عدم مصرف جلبک و عناصر غذایی) به دست آمد. در مجموع اگرچه کاربرد همه عناصر مورد مطالعه در کنار جلبک دریایی نسبت به شاهد باعث بهبود عملکرد شدند ولی به منظور افزایش عملکرد کلاله پیشنهاد می شود از عنصر منیزیم به همراه جلبک دریایی و به منظور بهبود کیفیت زعفران از عصاره جلبک دریایی استفاده شود.

کلمات کلیدی: کلاله، پیکروکروسین، سافرانال، کروسین، عناصر ریزمغذی.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه تربت حیدریه.
۲- دانشیار گروه تولیدات گیاهی، پژوهشگر پژوهشکده زعفران، دانشگاه تربت حیدریه
۳- استادیار گروه تولیدات گیاهی، پژوهشگر پژوهشکده زعفران، دانشگاه تربت حیدریه
۴- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۵- گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
(*- نویسنده مسئول: h.feizi@torbath.ac.ir)

DOI: 10.22048/JSAT.2024.410290.1500

مقدمه

زعفران با نام علمی *Crocus sativus* L.، از نظر گیاه‌شناسی یک‌ساله و از نظر زراعی گیاهی چندساله است و به‌عنوان یکی از گران‌بهاترین ادویه‌ها و گیاهان دارویی شناخته می‌شود (Behdani & Fallahi, 2015). کلالهٔ این گیاه کاربردهای متعددی در صنایع دارویی، غذایی و بهداشتی دارد و سایر بخش‌های گیاه مانند گلبرگ، خامه و پرچم نیز می‌توانند به عنوان محصولات جانبی مورد توجه قرار گیرند (Behdani & Fallahi, 2015; Askary et al., 2023). بر اساس آخرین آمار منتشر شده توسط وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۴۰۰، بیشترین سطح زیرکشت (۱۰۱۴۰۴ هکتار) و تولید زعفران (۲۷۷/۱ تن کلاله خشک در کل کشور) در سطح جهان به ایران تعلق دارد (MAJ, 2022).

باوجود اینکه ایران اولین تولید کننده زعفران در دنیا می‌باشد، میانگین عملکرد زعفران در ایران حدود ۳/۲ است که کمتر از میانگین جهانی تولیدآن (۱۰/۵ کیلوگرم در هکتار) در دنیا است. برای افزایش عملکرد در واحد سطح می‌توان از شیوه‌ها و روش های نوین علمی به جای کشت مرسوم زعفران استفاده نمود. یکی از مهمترین روش‌ها برای گذار از کشت مرسوم، اجرای برنامه تغذیه اصولی و علمی است (Feizi & Moradi, 2020). بنابراین، ضروری است تا مطالعات جامعی در خصوص بهبود کمیت و کیفیت این گیاه صورت گیرد. در این راستا، تأمین نیاز غذایی گیاه به خصوص از طریق مصرف کودهای آلی مانند عصارهٔ جلبک دریایی نیز دارای اهمیت است.

جلبک‌ها دارای تنوع نسبتاً زیادی هستند و در این میان جلبک‌های قهوه‌ای[1] به لحاظ خصوصیات و مواد ذخیره‌ای اهمیت ویژه‌ای دارند (Ali et al., 2016). اهمیت جلبک‌های دریایی[2] به‌دلیل دارا بودن عناصر غذایی از قبیل نیتروژن، فسفر، پتاسیم و برخی عناصر کم‌مصرف مورد نیاز گیاهان و هم‌چنین به‌دلیل وجود میزان بالای فیبر و نقش آن در بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک است (Khandan Deh-Arbab, 2018). عصاره جلبک دریایی حاوی مواد غذایی پرمصرف و کم‌مصرف، اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها، هورمون‌های رشد مانند سیتوکینین، اکسین و اسید آبسیزیک می‌باشد (Thambiraj et al., 2012). برخلاف کودهای شیمیایی، عصاره به‌دست آمده از جلبک دریایی از تخریب محیط زیست جلوگیری می‌نماید، غیرسمی است و آلودگی خطرناک برای موجودات ایجاد نمی‌کند (Del Poso et al., 2007). نتایج تحقیقی نشان داد مصرف عصارهٔ جلبک دریایی (با غظلت بین ۲ تا ۴ میلی‌گرم در لیتر) موجب افزایش گلدهی، عملکرد کلاله، محتوای فنل و آنتوسیانین کلاله و نیز غلظت سافرانال کلاله زعفران شد (Arab, 2023). در پژوهش دیگری مصرف عصارهٔ جلبک دریایی محتوای نیتروژن بنه، فسفر برگ، پتاسیم برگ و بنه، بُر برگ و بنه و نیز محتوای روی بنه را افزایش داد و منجر به افزایش گلدهی و عملکرد کلاله شد (Ahmadi et al., 2022). صادقیان و همکاران (Gerami Sadeghian et al., 2022) نیز گزارش کردند محلول‌پاشی عصارهٔ جلبک با غلظت دو در هزار موجب افزایش ۲۰ درصدی عملکرد کلاله شد و محتوای آپوکارتنوئیدهای کلاله را نیز بهبود بخشید. نتایج تحقیق دیگری نیز نشان داد مصرف عصارهٔ جلبک دریایی همراه با آب آبیاری موجب بهبود محتوای کلروفیل و افزایش رشد رویشی و زایشی زعفران شد (Aminifard et al., 2022). خندان‌ده‌ارباب و همکاران (Khandan Deh-Arbab et al., 2020) نیز گزارش کردند مصرف ۱۵ تا ۳۰ لیتر در هکتار عصارهٔ

1 - Brown seaweed

2 - Seaweed

جلبک دریایی به‌صورت غوطه‌وری بنه و مصرف در آب آبیاری موجب افزایش محتوای کاروتنوئید، آنتوسیانین، ترکیبات آنتی‌اکسیدانت، سافرانال، کروسین و پیکروکروسین کلالهٔ زعفران شد. عزیزی و همکاران (Azizi et al., 2020) نیز مصرف برگی عصارهٔ جلبک را برای زراعت زعفران مفید ارزیابی نمودند.

تأمین متعادل تمامی عناصر غذایی برای رشد و نمو گیاهان دارای اهمیت فروان است و در این بین توجه به مصرف عناصری مانند آهن، روی، بر، منگنز، منیزیوم که کمتر در مزارع استفاده می‌شوند؛ مهم تلقی می‌شود. کمبود این عناصر می‌تواند به‌عنوان محدود کننده جذب سایر عناصر غذایی و رشد گیاه، عمل نماید (Mohammadzadeh Toutounchi & Amirinia, 2016; Ahmadi et al., 2022). آهن در تشکیل کلروفیل و وقوع فتوسنتز (ساختمان سیتوکروم)، عنصر روی در تشکیل کلروفیل و ترپیتوفان به‌عنوان پیش‌ماده اکسین، منگنز در فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و تنفسی (Mohammadzadeh Toutounchi & Amirinia, 2016)، منیزیم در فعال کردن تعداد زیادی از آنزیم‌ها و تسهیم کربوهیدرات‌ها، بُر در تقسیم سلولی، طویل شدن سلول و بهبود رشد رویشی و زایشی و کلسیم نیز در بهبود فعالیت آنزیم‌ها و تقویت دیوارهٔ سلولی دارای اهمیت هستند (Kholdbarin & Eslamzadeh, 2002; Mohammadi Limaei et al., 2019).

عقیده بر این است که مصرف برگی عناصر غذایی در انتهای فصل رشد که توان ریشهٔ زعفران در جذب عناصر غذایی از خاک کاهش می‌یابد، کمک زیادی به افزایش وزن بنه‌های دختری و بهبود توان گلدهی آن‌ها می‌نماید (Mollafilabi, 2014; Ahmadi et al., 2022). با این وجود، محدود تحقیقاتی نیز وجود دارد که بیان می‌دارد برگ‌های زعفران قادر به جذب مؤثر عناصر غذایی نیستند و از این‌رو محلول‌پاشی عناصر غذایی تأثیر قابل توجهی بر بهبود رشد و گلدهی این گیاه ندارد (Asadi et al., 2014). نتایج تحقیقی نشان داد که محلول‌پاشی عنصر روی سبب افزایش گلدهی و محتوای کروسین، پیکروکروسین و سافرانال کلالهٔ زعفران شد (Ayoubi et al., 2023). همچنین، در مطالعه‌ای بهبود محتوای کروسین کلاله در اثر محلول‌پاشی با کود کامل حاوی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس نیز گزارش شده است (Fallahi et al., 2019). در پژوهشی در اثر مصرف برگی آمینواسید، روی، مس، فسفیت پتاسیم و بُر عملکرد کلالهٔ زعفران به‌ترتیب ۱۵۸/۵، ۱۴۱/۴، ۴۷/۱، ۱۸۰/۰ و ۷۸/۵ درصد افزایش یافت. مصرف آمینواسید باعث تأخیر در زرد شدن برگ شد. علاوه‌براین، مصرف برگی تمامی عناصر غذایی باعث کاهش تعداد بنه‌های دختری در گروه وزنی ۱ تا ۸ گرم و افزایش تعداد آن‌ها در گروه‌های وزنی ۸ تا ۱۶ و بیش از ۱۶ گرم شد (Ahmadi et al., 2022). در تحقیقات دیگری نیز محلول-پاشی توسط نیترات پتاسیم و روی (Tabatabaeian et al., 2020)، آهن (Shahriary et al., 2018)، اوره و عناصر ریزمغذی (Azizi et al., 2020) برای افزایش خصوصیات کمی و کیفی زعفران مفید گزارش شده است. امینی‌فرد و همکاران (Aminifard et al., 2022) افزایش رشد برگ زعفران در اثر مصرف عصاره جلبک دریایی را به غنای این منبع کودی از حیث عناصر غذایی و هورمون‌ها نسبت داده و بیان داشتند اثر مثبت ریز مغذی‌ها در کنار حضور تنظیم کننده‌های رشد گیاهی به‌ویژه سیتوکینین در این نهادهٔ آلی باعث افزیش سطح برگ، بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش غلظت کلروفیل برگ‌ها و در نتیجه افزایش فتوسنتز می‌شود.

با توجه به مطالب فوق تاکنون در مطالعات علمی متعددی موضوع تغذیه برگی زعفران مورد توجه قرار گرفته است، ولی مصرف تلفیقی عناصر غذایی کمتر بررسی شده است. بنابراین، هدف از اجرای تحقیق کنونی بررسی اثرات مصرف منفرد و

تلفیقی عصارۀ جلبک دریایی با برخی از عناصر غذایی بر رشد زایشی زعفران و کیفیت کلاله بود.

مواد و روش‌ها

زمان و مکان اجرای آزمایش

این پژوهش در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه ای در روستای محمدآباد واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شهرستان نیشابور در استان خراسان رضوی، انجام شد. این شهرستان در حد فاصل مدار ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی قرار گرفته است. بر اساس طبقه بندی آمبرژه این منطقه دارای آب و هوای خشک و سرد و بر اساس طبقه بندی دومارتن منطقه نیمه خشک است. بر اساس تجربیات شخصی، در شهرستان نیشابور، با توجه به استقرار کامل بنه‌ها و تولید بنه های درشت تر، حداکثر عملکرد زعفران معمولاً از سال سوم به بعد حاصل می‌شود و بر همین اساس آزمایش کنونی در مزرعه-ای با سن سه سال اجرا شد. خصوصیات خاک مزرعه مورد آزمایش در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش

Table 1- Some physical and chemical properties of soil of the experimental field

شاخص واکنش pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	رطوبت اشباع SP	آهک TNV	کربن آلی O.C.	پتاسیم K_{ava}	فسفر P_{ava}	نیتروژن Total N	رس Clay	شن Sand	سیلت Silt	بافت Texture
		%			$mg.kg^{-1}$		%				
7.85	1.65	42.70	23.0	1.09	374	46	0.1	24.6	32.2	39.2	لوم-Loam

طرح آزمایشی و تیمارها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. عامل اول شامل دو سطح کاربرد و عدم کاربرد عصاره جلبک دریایی و عامل دوم شامل هفت سطح محلول‌پاشی انواع عناصر غذایی بود. عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) با نام بیوآلژاکس[1] از شرکت الگومکس ساخت کشور فرانسه تهیه شد. ترکیبات این عصاره در جدول ۲ گزارش شده است. عصارۀ جلبک دریایی در دو مرحله در اواخر اسفند و اواسط فروردین ماه (از بین رفتن بنه مادری و ایجاد و بزرگ شدن بنه‌های دختری که ریشه‌ها هنوز فعال نشدند و امکان جذب ریشه ای بسیار محدود است) و در هر نوبت بر اساس توصیه شرکت سازنده به میزان دو لیتر در هکتار مصرف شد.

عامل دوم شامل هفت سطح محلول‌پاشی، شامل عدم استفاده از عناصر غذایی (شاهد) و مصرف برگی دفندر آهن، بُر، منگنز، منیزیم، کلسیم و روی بود. کودهای مصرفی همگی از شرکت فیوچرکو بایوساینس ساخت کشور اسپانیا تهیه گردید. محتویات کودهای مورد استفاده در جدول ۳ ارائه شده است. محلول‌پاشی عناصر مورد استفاده بر اساس توصیه شرکت سازنده در دو نوبت (۲۵ اسفند و ۱۵ فروردین) انجام شد. طبق توصیه شرکت سازنده، دفندر آهن، منیزیم و بُر به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار در هر مرحله محلول‌پاشی، میزان مصرف عنصر روی، یک کیلوگرم در هکتار در هر مرحله محلول‌پاشی و میزان مصرف منگنز و کلسیم نیز به میزان دو لیتر در هکتار در هر مرحله محلول‌پاشی بود.

1 - Bioalgax

جدول ۲- ویژگی‌های عصاره جلبک *Ascophyllum nodosum* مورد استفاده در آزمایش

Table 2- The properties of seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) used in the experiment

محتویات Content	مقادیر Amount (%)
مواد آلی Organic matter	15
اسید فولویک Fulvic acid	10.5
اکسید پتاسیم Potassium oxide (K_2O)	3
پودر جلبک Alga powder	25
نیتروژن Nitrogen	2.5

عملیات اجرایی

آزمایش در مزرعه‌ای سه ساله که کاشت آن در سال ۱۳۹۷ صورت گرفته بود، اجرا شد. مقدار بنه استفاده شده در مزرعه در زمان کاشت هفت تن در هکتار و متوسط اندازه بنه‌های مصرفی هشت گرم بود. تراکم کاشت ۸۷ بوته در متر مربع و روش کاشت دانه تسبیحی بود. عمق کاشت بنه بین ۱۰ تا ۱۵ سانتی-متر بود. در پاییز سال ۱۴۰۰ اقدام به ایجاد ۵۶ کرت آزمایشی در مزرعه گردید. ابعاد کرت‌ها ۲x۳ با مساحت شش مترمربع بود. در هر کرت آزمایشی تعداد ۲۰ ردیف و فاصله بین بنه ها حدود ۶ تا ۷ سانتی متر بود. فاصله بین کرت‌ها ۵۰ سانتی متر و بین تکرارها یک متر درنظر گرفته شد.

آبیاری کرت‌ها در طی فصل رشد به روش غرقابی در چهار نوبت صورت گرفت. اولین آبیاری در تاریخ ۱۵ آبان (قبل از گلدهی)، دومین آبیاری ۲۰ آذر (پس از اتمام گلدهی)، سومین آبیاری ۲۵ اسفند سال ۱۴۰۰ و چهارمین مرحله آبیاری در تاریخ ۱۵ فروردین ۱۴۰۱ انجام شد. همزمان با آبیاری‌های مرحله سوم وچهارم یعنی به ترتیب در ۲۵ اسفند ۱۴۰۰ و ۱۵ فروردین ۱۴۰۱ (در مرحله‌ای از رشد که ریشه‌های بنه مادری از بین رفته و ریشه بنه های دختری هنوز تشکیل نشده و یا کارایی بالایی در جذب ندارند)، محلول‌پاشی عصارهٔ جلبک و عناصر غذایی با استفاده از سمپاش پشتی انجام شد بطوری که رعایت شد تا از پاشش محلول به کرت‌های مجاور جلوگیری شود، صورت گرفت.

صفات اندازه‌گیری شده

برداشت گل‌های زعفران در آبان ماه پاییز سال ۱۴۰۱ در طی یک دورهٔ تقریبا یک‌ماهه بصورت روزانه صورت گرفت. از هر کرت پس از حذف نیم متر حاشیه از هر طرف، مساحت ۲ مترمربع برداشت گل انجام می‌شد. در هر نوبت گلدهی (روز) پس از شمارش تعداد گل‌ها، وزن آن‌ها (عملکرد گل تر) تعیین شد. مجموع تعداد و وزن گل‌ها در طی دورهٔ گلدهی به‌عنوان تعداد و عملکرد گل تر برای هر کرت منظور شد. همچنین، جهت دقت کار و جلوگیری از پژمرده شدن گلهای ظاهرشده، در هر روز طول کلالهٔ تعداد پنج گل در هر کرت اندازه‌گیری شد و از مقادیر حاصله در طی دورهٔ گلدهی به عنوان میانگین طول کلاله در کرت استفاده شد. در هر نوبت برداشت، پس از شمارش گل‌ها و توزین آن‌ها، اجزای گل به روش دستی جدا گردید و کلاله و گلبرگ‌ها در محیط آزمایشگاه (سایه با دمای حدود ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد و به مدت یک هفته) و بطور جداگانه خشک شدند. مجموع وزن کلاله و گلبرگ خشک در پایان دورهٔ آزمایش به عنوان عملکرد گل لحاظ شد. گلبرگ به‌عنوان یک

محصول فرعی که برخی شرکت‌ها از آن مـوادی نظیـر رنگدانـه آنتوسیانین استخراج می‌کنند در زراعت زعفران به شمار می‌رود و از این‌رو توجه به این شاخص می‌تواند ارزش افـزودۀ بیشـتری را نصیب تولید کننده نماید. از نمونه‌های کلالۀ مربوط به هر کـرت برای تعیین خصوصیات کیفی کلاله استفاده شـد. شـاخص‌هـای مربوط به کیفیت کلاله شامل محتوای کروسین، پیکروکروسـین و سافرانال بودند که با اسـتفاده از روش اسـپکتروفتومتری و بـر اسـاس اسـتاندارد ملـی شـماره ۲۵۹-۲ (INSO, 2013) در آزمایشگاه پژوهشکده زعفران دانشگاه تربت حیدریه اندازه‌گیـری شدند.

جدول ۳- مشخصات کودهای مورد استفاده در آزمایش

Table 3- The properties of used fertilizers in the experiment

نام کود در شرکت سازنده Fertilizer name in company	کد تیمار در آزمایش کنونی Treatment code in the present experiment	محتویات Content	مقادیر Amount (%)
دفندر آهن Defender Fe	Aa.Fe.N	اسید آمینه Aminoacid	21
		آهن Fe	7
		نیتروژن N	3
دفندر بُر Defender B	Aa. B	بُر Boron	14.85
		اسیدهای آمینه Aminoacids	6
دفندر کلسیم Defender Ca	Ca.N	کلسیم Ca	18
		نیتروژن N	2.1
دفندر منگنز Defender Mn	Mn.Zn.S	منگنز Mn	4
		روی Zn	6.5
		گوگرد S	13
دفندر منیزیم Defender Mg	Mg	منیزیم Mn	6.9
دفندر روی Defender Zn	Zn	روی Zn	15

آنالیز آماری

آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افـزار MSTAT-C و رسم نمودارها با Excel انجام شـد. میـانگین‌هـا توسـط آزمـون LSD در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

تعداد گل

تعداد گل زعفران از محلول‌پاشـی عناصـر غـذایی در سـطح احتمال پنج درصد و از برهم‌کنش عصاره جلبک دریایی و عناصر

غذایی در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۴). مصرف همزمان عصاره جلبک با دفندر منگنز (حاوی منگنز، روی و گوگرد) بیشترین تعداد گل در واحد سطح را ایجاد کرد که ۶۳/۳ درصد بیشتر از تیمار شاهد (عدم مصرف جلبک و عناصر غذایی) بود (شکل ۱). احتمالاً اثر مثبت عصارهٔ جلبک بر گلدهی به اثر القایی این ترکیب در رشد زایشی گیاه بواسطهٔ تنظیم‌کننده‌های رشد مرتبط است. این ترکیب حتی در غلظت-های کم قادر به ایجاد واکنش‌های فیزیولوژیکی در گیاه و اثرگذاری بر رشد رویشی و زایشی است (Behdani et al., 2020).

جدول ٤- میانگین مربعات مربوط به اثر محلولپاشی عناصر غذایی و عصارهٔ جلبک دریایی بر صفات زایشی زعفران

Table 4- Mean squares for the effect of foliar application of nutrients and seaweed extract on reproductive traits of saffron

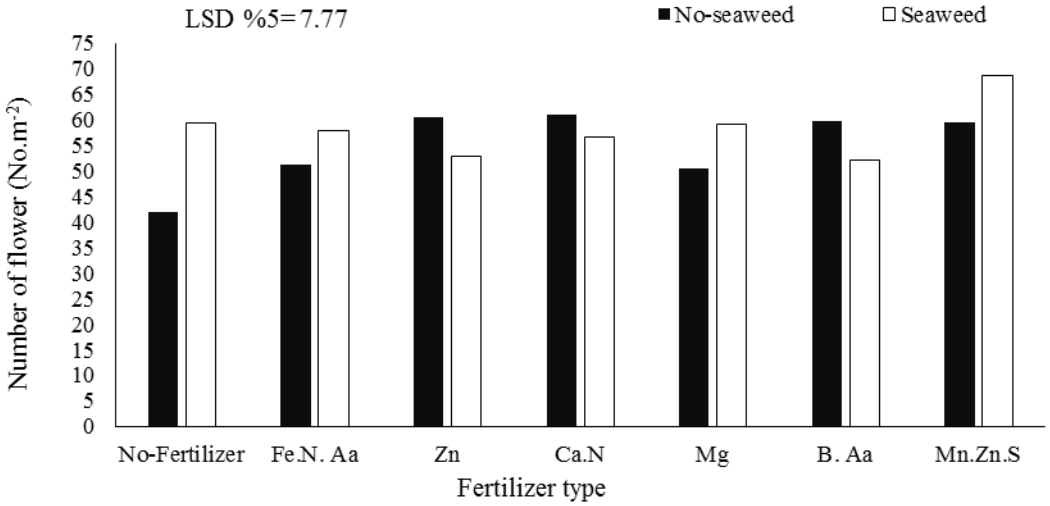
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد گل Number of flower	عملکرد گل تر Fresh flower yield	عملکرد گلبرگ خشک Dry petal yield	طول کلاله Stigma length	عملکرد کلاله خشک Dry stigma yield
تکرار Replication	3	204.96*	20.98*	0.08	0.03**	0.001*
عصاره جلبک Seaweed extract (A)	1	143.36ns	3.74ns	3.48**	0.23**	0.015**
عناصر غذایی Nutrients(B)	6	137.23*	39.14**	0.66**	0.009ns	0.001**
جلبک*عناصر غذایی A*B	6	191.46**	22.37*	0.40**	0.001ns	0.001**
خطا Error	39	48.63	7.23	0.10	0.005	0.0003
ضریب تغییرات C.V. (%)	–	12.34	4.32	5.41	2.89	5.46

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns= عدم معنی‌داری.

* and ** respectively significant at 5 and 1% probability level ; ns: non-significant.

در شرایط عدم مصرف عصارهٔ جلبک، استفاده از دفندر آهن (حاوی آهن، نیتروژن و اسید آمینه)، روی، دفندر کلسیم (حاوی کلسیم و نیتروژن)، منیزیوم، دفندر بُر (حاوی بُر و اسید آمینه) و دفندر منگنز (حاوی منگنز، روی و گوگرد) به‌ترتیب موجب افزایش ۲۱/۶، ۴۴/۱، ۴۵/۰، ۲۰/۰، ۴۲/۵ و ۴۱/۶ درصدی تعداد گل نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف عناصر غذایی) شد. محلول‌پاشی برگ‌ها یک راه کمکی برای جذب بیشتر مواد غذایی است و می‌تواند موجب افزایش رشد و عملکرد زعفران شود. در راستای این تحقیق سایر پژوهشگران دریافتند که محلول‌پاشی عناصر غذایی موجب بهبود صفات کمی و کیفی در زعفران می‌شود (Akbarian et al., 2012; Shahriary et al., 2018). از آنجا که عناصر ماکرو و میکرو در ترکیب عصاره ورمی کمپوست وجود دارد، در آزمایشی فیضی و همکاران (Feizi et al., 2021) نشان دادند که محلولپاشی عصاره ورمی کمپوست بالاترین تعداد گل (۱۱۸ گل در متر مربع) در شرایط عدم تنش شوری را در زعفران باعث شد. محلول‌پاشی عناصر غذایی باعث افزایش سطح برگ و طول دورهٔ سبزمانی برگ‌های زعفران و در نتیجه افزایش فتوسنتز می‌شود که پیامد آن افزایش وزن بنه‌های دختری است که عامل گلدهی گیاه در فصل آتی می‌باشند (Ahmadi et al., 2022). این نتیجه با یافته‌های سایر محققان نیز همخوانی دارد (Mollafilabi & Khorramdel, 2016).

هرچند در شرایط عدم مصرف عصارۀ جلبک دریـایی تقریبـاً تمامی عناصر غذایی موجب افزایش تعـداد گـل شـدند، ولـی در شرایط مصرف عصارۀ جلبک به جز در مورد دفندر منگنـز، سـایر عناصر غذایی اثر معنی‌داری بر افزایش تعداد گل نداشتند (شکل ۱). با توجه به درصد بالای مادۀ آلی عصارۀ جلبـک (جـدول ۲)، بنظر می‌رسد این ترکیب به‌تنهایی توانسته باشد بخش زیـادی از نیاز غذایی زعفران را در پایان فصل رشد تأمین کرده و از این‌رو استفادۀ توأم این ترکیب با عناصر غذایی نتوانست باعـث بهبـود معنی‌دار گلدهی شود.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و برخی عناصر غذایی بر تعداد گل زعفران (Fe= آهن، N= نیتروژن، Aa= آمینواسید، Zn= روی، Ca= کلسیم، Mg= منیزیوم، B= بُر، Mn= منگنز و S= گوگرد)

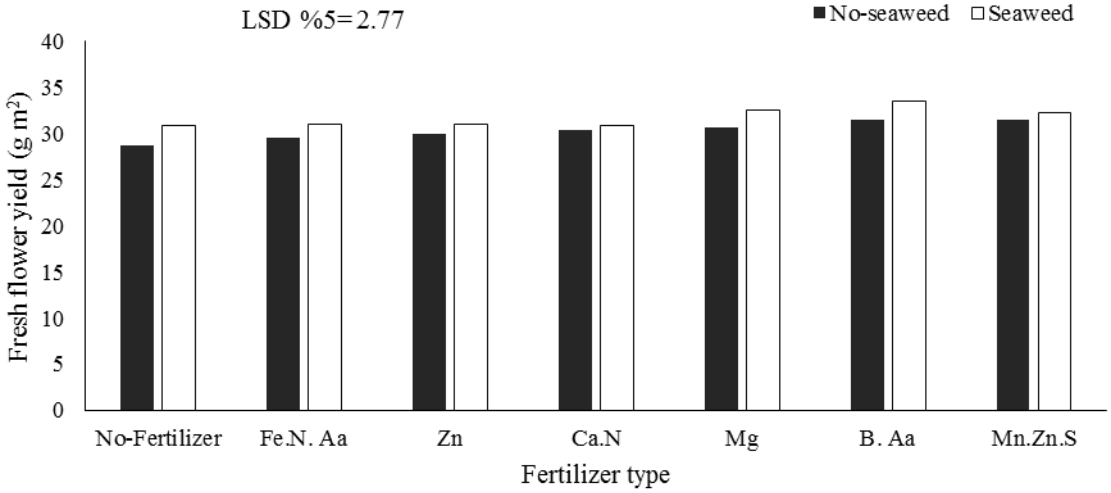
Figure 1- Mean comparison of foliar application of seaweed extract and some nutrients interaction on number of flowers in saffron (Fe= Iron, N= Nitrogen, Aa= Aminoacid, Zn= Zinc, Ca= Calcium, Mg= Magnesium, B= Boron, Mn= Manganese, S= Sulfur).

عملکرد گل تر

کاربرد برگیِ عناصر غذایی در سطح احتمـال یـک درصـد و برهم‌کنش عناصـر غـذایی و عصـارۀ جلبـک دریـایی در سـطح احتمال پنج درصد بر عملکرد گل تر تأثیرگذار بودند (جـدول ۴). بررسی اثرات متقابل نشان داد که کاربرد جلبک دریایی و عناصر غذایی موجب افزایش عملکردگل زعفران شـد. بـالاترین مقـدار عملکرد گل تر مربوط به کـاربرد عنصـر بُـر بـه همـراه جلبـک دریایی بود که ۱۶/۷ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف برگـی جلبک و عناصر غذایی) افزایش داشت و با چهار ترکیب تیمـاری دیگر شامل کاربرد منیزیم و منگنز بـه همـراه جلبـک دریـایی و کاربرد بُر و منگنز در شرایط عدم کاربرد جلبک اخـتلاف معنـی-داری نداشت. کمترین عملکرد گـل در بـین تمـامی تیمارهـا در گیاهان شاهد مشاهده شد که با تیمارهای کـاربرد منفـرد آهـن، روی و کلسیم اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۲).

منطبق بر نتایج این تحقیق، بهدانی و همکاران (Behdani et al., 2020) و امینـی‌فـرد و همکـاران (Aminifard et al., 2022) دریافتند که کـاربرد عصـاره جلبـک منجـر بـه افـزایش عملکرد گل زعفران می‌شود. افزایش میزان گلدهی در اثر کاربرد عصاره جلبک می‌تواند در نتیجه بهبود رشد، افزایش حجم ریشه و بهبود جذب عناصر غذایی باشـد. احتمـالاً محـرک‌هـای رشـد

موجود در عصاره جلبک مانند اکسین، بتائین و نیز عناصر غذایی مانند فسفر و پتاسیم به همراه ویتامین‌ها سبب تحریک رشد گیاه و افزایش عملکرد می‌شوند (Kalaivanan et al., 2012; Khandan Deh-Arbab, 2018). در عصارهٔ جلبک موادی مثل ایندول استیک اسید و ایندول بوتیریک اسید، بتائین و مواد شبه‌بتائین وجود دارد که منجر به بهبود رشد و گلدهی گیاه می‌شود. احتمالاً عصارهٔ جلبک در افزایش تولید و انتقال سیتوکنین‌ها از ریشه به اندام‌های زایشی و متعاقب آن شروع گلدهی گیاه دارای نقش است (Aminifard et al., 2022). با وجود اینکه برخی محققان احتمال داده‌اند ساختار سایه‌انداز و وجود کوتیکول ضخیم در سطح برگ زعفران ممکن است باعث کاهش جذب عناصر غذایی شود (Asadi et al., 2014)، اما یافته‌های تحقیقات متعددی (Mollafilabi & Khorramdel, 2016; Fallahi et al., 2019; Azizi et al., 2020; Gerami Sadeghian et al., 2022; Ahmadi et al., 2022; Ayoubi et al., 2023) هم‌راستا با نتایج آزمایش کنونی، حاکی از آن است که محلول‌پاشی عناصر غذایی در اواخر فصل رشد که قدرت جذب عناصر از خاک توسط ریشه کاهش می‌یابد، می‌تواند دورهٔ سبزمانی و فتوسنتز برگ‌ها را افزایش دهد و با افزایش وزن بنه‌ها توان گلدهی آن‌ها را بهبود بخشد.



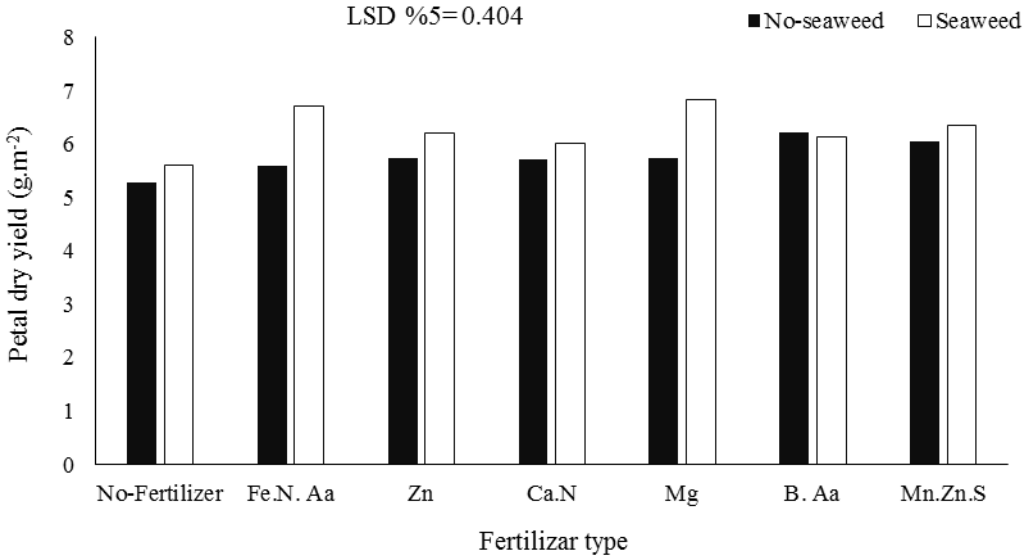
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و برخی عناصر غذایی بر عملکرد گل زعفران (Fe= آهن، N= نیتروژن، Aa= آمینواسید، Zn= روی، Ca= کلسیم، Mg= منیزیوم، B= بُر، Mn= منگنز و S= گوگرد)

Figure 2- Mean comparison of foliar application of seaweed extract and some nutrients interaction on fresh flowers yield in saffron (Fe= Iron, N= Nitrogen, Aa= Aminoacid, Zn= Zinc, Ca= Calcium, Mg= Magnesium, B= Boron, Mn= Manganese, S= Sulfur).

عملکرد گلبرگ خشک

وزن خشک گلبرگ زعفران از محلول‌پاشی عصاره جلبک، عناصر غذایی و برهم‌کنش این دو عامل در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۴). استفاده تلفیقی از منیزیم / دفندر آهن (حاوی آهن، نیتروژن و آمینواسید) به همراه جلبک دریایی بالاترین عملکرد گلبرگ زعفران به میزان ۶/۹ گرم در مترمربع را نسبت به تیمار شاهد ایجاد کرد که به‌ترتیب ۲۹/۳ و ۲۶/۸ درصد در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد جلبک و عناصر غذایی) برتری داشت. در تیمار شاهد کمترین وزن خشک گلبرگ و البته از لحاظ آماری با پنج ترکیب تیماری دیگر شامل کاربرد منفرد

جلبک دریایی و نیز کاربرد منفرد عناصر آهن، روی، کلسیم و منیزیم در یک سطح آماری قرار گرفت (شکل ۳). افزایش وزن خشک گلبرگ تحت تأثیر عناصر غذایی و عصاره جلبک ناشی از افزایش تعداد گل (شکل ۱) می‌باشد. در آزمایش مشابهی محلول‌پاشی روی موجب افزایش رشد و گلدهی زعفران شد (Tabatabaeian et al., 2020). محققان دیگری نیز دریافتند محلول‌پاشی آهن موجب افزایش وزن خشک گلبرگ زعفران می‌شود (Shahriary et al., 2018). این موضوع در خصوص عصارهٔ جلبک دریایی نیز گزارش شده است (Khandan Deh-Arbab, 2018). دلیل افزایش وزن گلبرگ با کاربرد عصاره جلبک می‌تواند به اثرات مثبت این کود بر بهبود توان فتوسنتزی گیاه مرتبط باشد (Heydari et al., 2017).



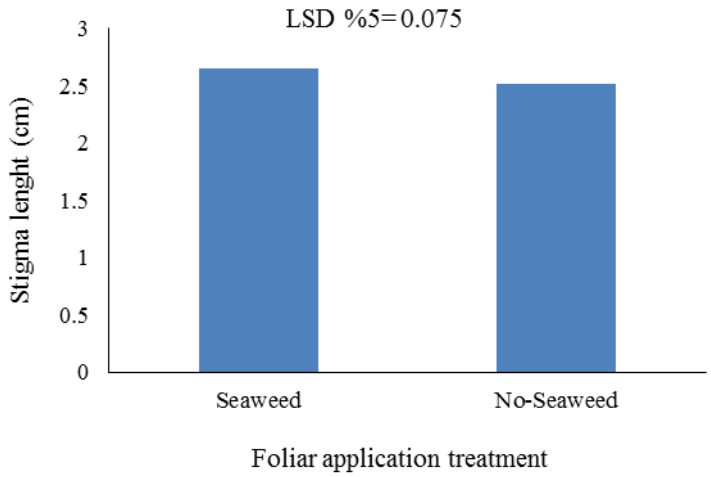
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و برخی عناصر غذایی بر عملکرد گلبرگ زعفران (Fe= آهن، N= نیتروژن، Aa= آمینواسید، Zn= روی، Ca= کلسیم، Mg= منیزیوم، B= بُر، Mn= منگنز و S= گوگرد)

Figure 3- Mean comparison of the interaction of foliar application of seaweed extract and some nutrients on petal dry yield in saffron (Fe= Iron, N= Nitrogen, Aa= Aminoacid, Zn= Zinc, Ca= Calcium, Mg= Magnesium, B= Boron, Mn= Manganese, S= Sulfur).

در خصوص اثرات متقابل جلبک دریایی و عناصر معدنی مطالعات زیادی انجام نشده است ولی مطالعات نشان می‌دهد که کاربرد عصاره جلبک دریایی در افزایش تولید و انتقال سیتوکینین‌ها از ریشه به اندام‌های زایشی و به دنبال آن شروع گلدهی و افزایش عملکرد گیاه دارای نقش است (Vijayanand et al., 2014). از طرف دیگر وجود مواد آلی و وجود برخی تنظیم کننده‌های رشد مثا سایتوکینین‌های ترانس-زآتین، مواد اکسینی، بتائین و نیز مواد شبه بتائین میزان فتوسنتز و تولید مواد قندی را در گیاه افزایش می‌دهد (Staden & Crouch., 1992). حضور ملکول‌های آلی نظیر اسیدهای آلی، متیونین و پلی آمین‌ها موجب جذب بیشتر مواد معدنی متصل به این ملکول‌ها و تولید بیشتر هیروکربن‌ها می شود (Khandan, 2018). لذا بنظر می‌رسد کاربرد توأم جلبک دریایی و عناصر معدنی باعث فرهمی بهتر و راحت تر مواد غذایی موردنیاز و در نهایت رشد بیشتر گیاه خواهد شد.

طول کلاله

طول کلاله زعفران تنها از مصرف عصاره جلبک دریـایی در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۴). محلول‌پاشـی عصارهٔ جلبک موجب افزایش ۵/۱ درصدی طول کلالـه زعفـران نسبت به عدم کاربرد این کود شد (شکل ۴). احتمالاً ذخـایر بنـه ها بر طول کلاله تـأثیر بیشـتری نسـبت بـه اعمـال تیمارهـای آزمایش داشته اسـت. در تحقیـق خنـدان‌ده‌ارباب (Khandan Deh-Arbab, 2018) متوسط طول کلالـه زعفـران در شـرایط مصرف و عدم مصرف عصارهٔ جلبک دریایی به‌ترتیب ۲/۵ و ۲/۴ سانتی‌متر گزارش شد. طول کلاله از ذخایر بنه‌های زعفـران اثـر می‌پذیرد و بنظر می‌رسد مصرف برگی عناصر غـذایی بـا بهبـود ذخایر غذایی بنه توانسته است موجب افزایش رشد کلاله شود.



شکل ٤- مقایسه میانگین اثر سادهٔ محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی بر طول کلالهٔ زعفران

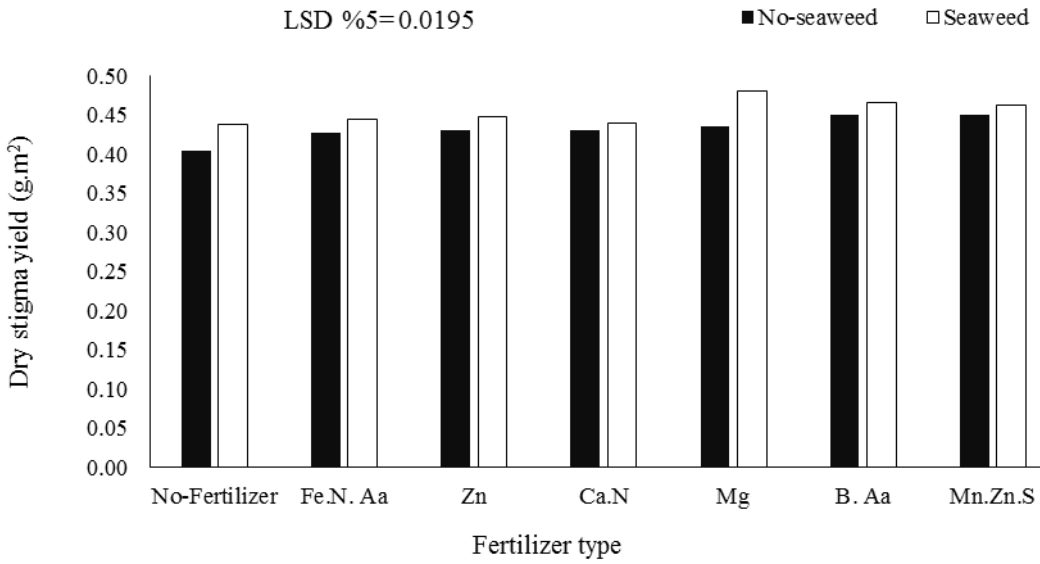
Figure 4- Mean comparison for the simple effect of foliar application of seaweed extract on stigma length of saffron.

عملکرد کلاله خشک

محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و عناصر غذایی و بـرهم-کنش این دو عامل در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد کلاله خشک زعفران تأثیرگذار بودند (جدول ۴). کمترین وزن عملکـرد کلاله خشک در تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی عناصر و عصـارهٔ جلبک) مشاهده شد که بـا مصـرف منفـرد دفنـدر آهـن، روی و کلسیم تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. این در حالی اسـت کـه کاربرد تلفیقی تمـامی عناصـر غـذایی بـا عصـاره جلبـک و نیـز مصرف منفرد دفندر منگنز (حاوی منگنز، روی و گـوگرد)، بُـر و منیزیم موجب افزایش معنی‌دار این صفت نسبت به شـاهد شـد. بالاترین میزان عملکرد کلاله خشک (۰/۴۸ گـرم در مترمربـع) مربوط به کاربرد تلفیقی منیـزیم و جلبـک دریـایی بـود کـه ۱۷ درصد در مقایسه با شاهد برتری داشت (شکل ۵).

در تحقیق مشابهی اکبریان و همکاران (Akbarian et al., 2012) دریافتنـد محلـول‌پاشـی روی و آهـن طـی دو سـال در زعفران موجب افزایش عملکرد کلاله خشک گردید. شهریاری و همکـاران (Shahriary et al., 2018) نیـز نشـان دادنـد کـه محلول‌پاشی آهـن موجـب افـزایش عملکـرد کلالـه خشـک در زعفران می‌شود. عناصری مانند آهن و منیزیـوم کـه در ترکیـب کلروفیل قرار دارند، توان فتوسـنتزی گیـاه را افـزایش داده و بـا افزایش ماده‌سازی و انتقال آن به بنه‌ها، توان گلدهی زعفـران را بهبود می‌بخشند (Ahmadi et al., 2022). اثرات مشابهی برای عنصر روی در ارتباط با تولید کلروفیل و اکسین بیان شده اسـت

(Tabatabaeian et al., 2020). عصاره جلبک نیز به دلیل داشتن اسیدهای آمینه و محرک‌های رشد منجر به افزایش عملکرد کلاله خشک می‌شود (Azizi et al., 2020). کاربرد عصاره جلبک دریایی در افزایش تولید و انتقال سیتوکینین‌ها از ریشه به اندام‌های زایشی و به دنبال آن شروع گلدهی و افزایش عملکرد گیاه دارای نقش است (Vijayanand et al., 2014). محلول‌پاشی و تغذیه برگ‌ها از طریق افزایش تولید اسیمیلات‌ها و انتقال آن‌ها به بنه‌های زعفران موجب افزایش شاخص‌های گلدهی مانند تعداد و وزن گل و نیز عملکرد کلاله خشک می‌شود. فراهمی عناصر غذایی برای زعفران ابتدا رشد رویشی گیاه را بهبود می‌بخشد و در نتیجه میزان فتوسنتز و ماده‌سازی گیاه افزایش می‌یابد. این افزایش در ذخایر بنه، بر میزان تولید گل تأثیر گذاشته و موجب افزایش عملکرد کلاله خشک می‌شود (Tabatabaeian et al., 2020). محققان با اندازه‌گیری محتوای طیف وسیعی از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در مراحل پس از محلول‌پاشی زعفران گزارش کردند که محتوای این عناصر در برگ‌ها و بنه افزایش یافت و از طریق افزایش تعداد بنه‌های درشت، منجر به بهبود گلدهی و عملکرد کلاله خشک گردید (Ahmadi et al., 2022).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و برخی عناصر غذایی بر عملکرد کلاله خشک زعفران (Fe= آهن، N= نیتروژن، Aa= آمینواسید، Zn= روی، Ca= کلسیم، Mg= منیزیم، B= بُر، Mn= منگنز و S= گوگرد)

Figure 5- Mean comparison for the interaction of foliar application of seaweed extract and some nutrients on dry stigma yield in saffron (Fe= Iron, N= Nitrogen, Aa= Aminoacid, Zn= Zinc, Ca= Calcium, Mg= Magnesium, B= Boron, Mn= Manganese, S= Sulfur).

همچنین فیضی و همکاران (Feizi et al., 2021) نشان دادند که محلولپاشی عصاره ورمی کمپوست که حاوی عناصر ماکرو و میکرو می‌باشد باعث افزایش معنی‌دار عملکرد کلاله خشک زعفران شد.

محتوای پیکروکروسین کلاله

کیفیت زعفران معمولاً با سه نوع آپوکارتنوییید شناخته می شود که شامل کروسین، پیکروکروسین و سافرانال هستند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که میزان پیکروکروسین موجود در کلاله زعفران تحت تأثیر محلول‌پاشی جلبک و عناصر غذایی و

نیز برهم‌کنش این دو عامل در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۵). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که کاربرد جلبک دریایی همراه با عناصر غذایی در برخی موارد باعث بهبود میزان پیکروکروسین و در برخی موارد باعث کاهش آن شد. بیشترین میزان این صفت در شرایط کاربرد جلبک دریایی به تنهایی و به میزان ۸۶/۵ بود در حالیکه کاربرد عنصر کلسیم همراه با جلبک دریایی نیز باعث بهبود معنی‌دار این صفت شد. استفاده منفرد از دفندر آهن، روی، منیزیوم، بور و منگنز محتوای پیکروکروسین را در مقایسه با تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی عناصر غذایی و عصارهٔ جلبک) به ترتیب ۵/۵، ۹/۷، ۷/۴، ۹/۳ و ۷/۱ درصد افزایش داد. بالاترین میزان این صفت در تیمار مصرف منفرد عصاره جلبک دریایی به دست آمد که در مقایسه با تیمار شاهد دارای ۱۵/۹ برتری بود (شکل ۶).

محققان دیگری نیز دریافتند که محلول‌پاشی آهن موجب افزایش میزان پیکروکروسین در زعفران می‌شود (Akbarian et al., 2012). عناصری مانند آهن احتمالاً در ساختار آنزیم‌های تبدیل کارتنوئید به آپوکارتنوئید نقش دارد (Ebrahimi, 2018) و از این‌رو محلول‌پاشی آن‌ها می‌تواند بر محتوای ترکیباتی مانند پیکروکروسین در کلاله اثرگذار باشد. عصاره جلبک دارای مقدار زیادی اسیدهای آمینه (کربوهیدرات‌ها)، فسفر، پتاسیم و سایر مواد معدنی محلول در آب است.

جدول ۵- میانگین مربعات مربوط به اثر محلولپاشی عناصر غذایی و عصارهٔ جلبک دریایی بر صفات کیفی کلاله زعفران

Table 5- Mean squares of the effect of foliar application of some nutrients and seaweed extract on qualitative traits of stigma in saffron

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	پیکروکروسین Picrocrocin	کروسین Crocin	سافرانال Safranal
تکرار Replication	2	0.54	6.80	0.98
عصاره جلبک Alga extract (A)	1	121.30**	1642.52**	0.04ns
عناصر غذایی Nutrients(B)	6	25.92**	166.13**	8.05**
جلبک*عناصر غذایی A*B	6	62.31**	208.88**	2.48**
خطا Error	26	0.04	0.21	0.10
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	0.26	0.21	0.92

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns= عدم معنی‌داری.

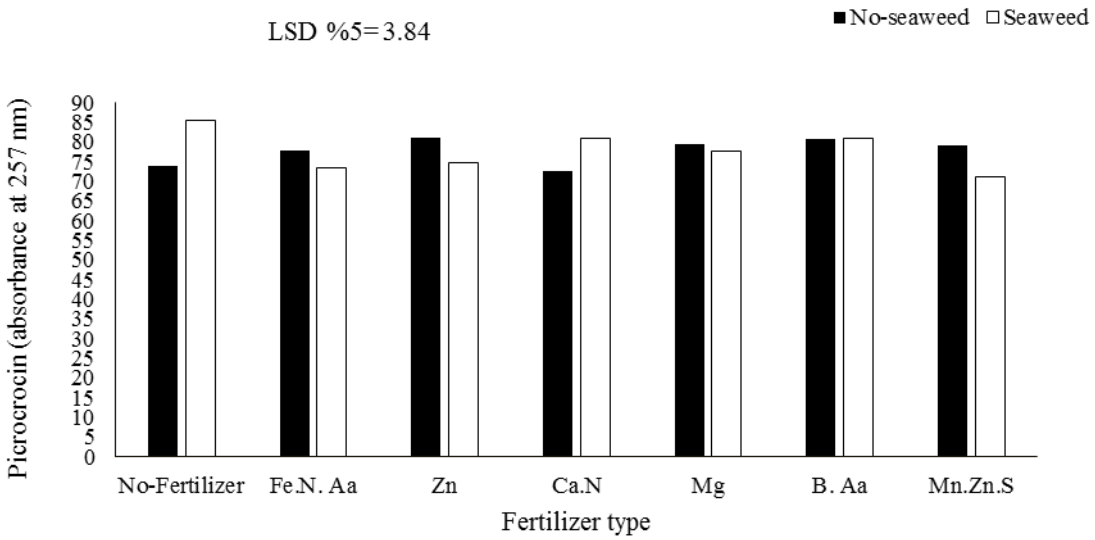
* and ** respectively significant at 5 and 1% probability level; ns: non-significant.

با تجزیه کربوهیدرات‌ها به ترکیبات ثانویه گلیکوزیدی (کروسین و پیکروکروسین) میزان آن‌ها در زعفران افزایش می‌یابد. کودهایی مانند عصارهٔ جلبک به دلیل فراهمی متناسب و متعادل عناصر غذایی، مواد هورمونی و ویتامین‌های محلول در آب و تولید ترکیبات اولیه مؤثر در بیوسنتز گلیکوزیدها و تجزیه آن‌ها به ترکیبات ثانویه (کروسین و پیکروکروسین) ممکن است بر عملکرد کیفی و مواد مؤثره زعفران تأثیرگذار باشند (Khandan Deh-Arbab et al., 2020).

محتوای کروسین کلاله

میزان کروسین موجود در کلاله زعفران از کاربرد برگیِ عصارهٔ جلبک دریایی، عناصر غذایی و برهم‌کنش جلبک و عناصر غذایی در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۵). در مورد دفندر آهن، روی، منیزیوم، بُر و منگنز، مصرف تلفیقی عنصر با عصارهٔ جلبک در مقایسه با مصرف منفرد عنصر

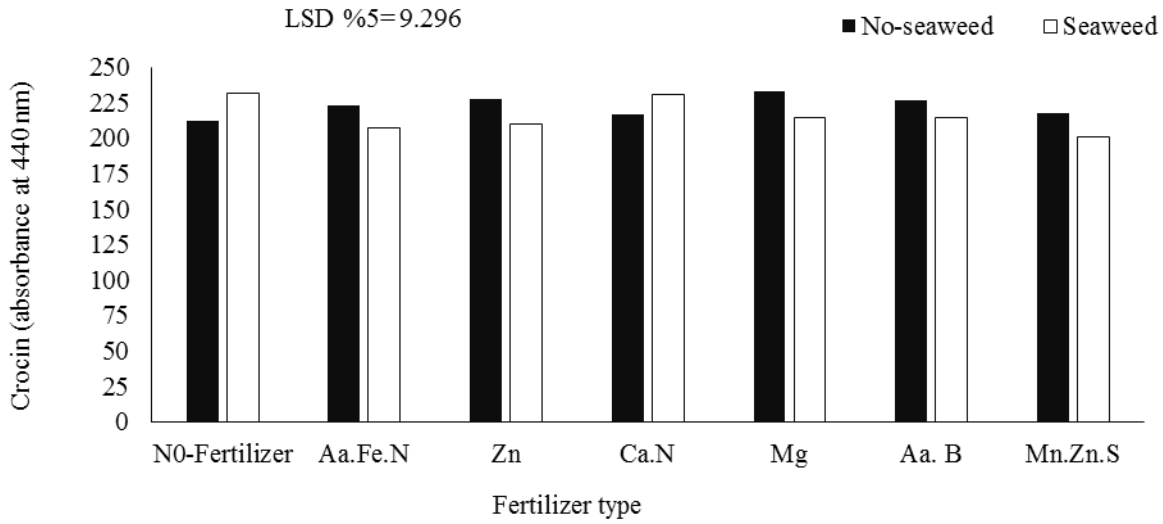
مربوطه منجر به بهبود معنی‌دار محتوای کروسین نشد.



شکل ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و برخی عناصر غذایی بر محتوای پیکروکروسین کلاله زعفران (Fe= آهن، N= نیتروژن، Aa= آمینواسید، Zn= روی، Ca= کلسیم، Mg= منیزیوم، B= بُر، Mn= منگنز و S= گوگرد)

Figure 6- Mean comparison for the interaction of foliar application of seaweed extract and some nutrients on picrocrocin content in stigma of saffron (Fe= Iron, N= Nitrogen, Aa= Aminoacid, Zn= Zinc, Ca= Calcium, Mg= Magnesium, B= Boron, Mn= Manganese, S= Sulfur).

در بین تیمارهای آزمایشی، کاربرد منفرد منیزیم و کلسیم بالاترین میزان کروسین را به خود اختصاص دادند (با مقادیر ۲۳۲ و ۲۲۶) که به میزان ۹/۸ و ۶/۹ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی عناصر و عصارهٔ جلبک) دارای برتری بود. همچنین استفاده منفرد از جلبک دریایی در مقایسه با شاهد محتوای کروسین کلاله را ۹/۵ درصد افزایش داد. کمترین محتوای کروسین در تیمار شاهد مشاهده شد و این موضوع نشان می‌دهد مصرف عناصر غذایی باعث افزایش میزان این شاخص در کلالهٔ زعفران شده است (شکل ۸). مشابه نتایج این پژوهش، طباطبائیان و همکاران (Tabatabaeian et al., 2020) گزارش کرده‌اند که بین بهبود خصوصیات گلدهی و افزایش کیفیت زعفران همبستگی وجود دارد. فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2019) نیز در تحقیقی بهبود محتوای کروسین کلاله در اثر محلول‌پاشی عناصر غذایی را تأیید نمودند. مالکی و همکاران (Maleki et al., 2021) اظهار داشتند محلول‌پاشی کود کامل میکرو موجب افزایش معنی‌دار میزان کروسین با مقدار ۲۷۱ نسبت به شاهد با مقدار ۲۵۸ شد. امینی فر و همکاران (Aminifard et al., 2023) نیز ضمن تأیید اثر مثبت مصرف اسیدهای آمینه بر محتوای کروسین زعفران، بیان داشتند تأمین نیاز غذایی گیاه ضمن تولید مقادیر کافی از ترکیبات اولیهٔ مؤثر در بیوسنتز گلیکوزیدها و تجزیه آنها به ترکیبات ثانویه، می‌تواند بر محتوای کروسین کلاله اثرگذار باشد.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و برخی عناصر غذایی بر محتوای کروسین کلاله زعفران (Fe= آهن، N= نیتروژن، Aa= آمینواسید، Zn= روی، Ca= کلسیم، Mg= منیزیم، B= بُر، Mn= منگنز و S= گوگرد)

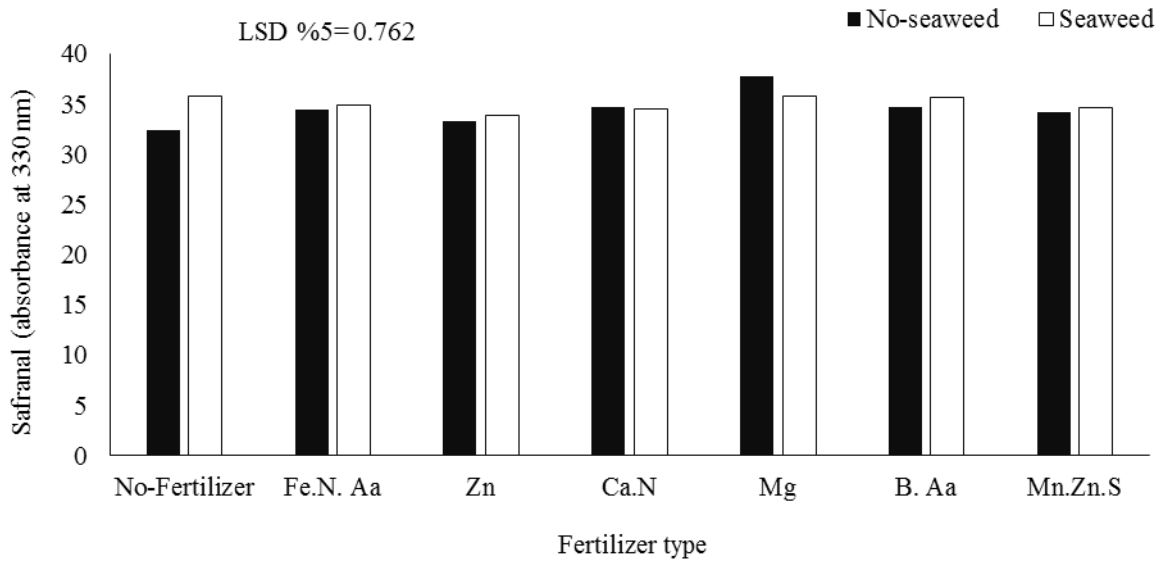
Figure 7- Mean comparison for the interaction of foliar application of seaweed extract and some nutrients on crocin content in stigma of saffron (Fe= Iron, N= Nitrogen, Aa= Aminoacid, Zn= Zinc, Ca= Calcium, Mg= Magnesium, B= Boron, Mn= Manganese, S= Sulfur).

محتوای سافرانال کلاله

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر اصلی محلول‌پاشی عناصر غذایی و اثر متقابل عناصر غذایی و عصارهٔ جلبک دریایی در سطح احتمال یک درصد بر محتوای سافرانال کلاله معنی‌دار بود (جدول ۵). کاربرد برگیِ جلبک دریایی و عناصر غذایی بجز در مورد تیمارهای منیزیم و کلسیم، میزان سافرانال موجود در کلاله زعفران را افزایش داد، به طوری‌که کمترین میزان این شاخص در تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی عناصر غذایی و عصارهٔ جلبک) به دست آمد. بالاترین میزان این ماده در شرایط مصرف منفرد منیزیم (بدون کاربرد جلبک دریایی) بدست آمد که ۱۶/۷ درصد نسبت به شاهد بیشتر بود. همچنین، مصرف منفرد عصارهٔ جلبک دریایی محتوای سافرانال کلاله را نسبت به شاهد ۱۰/۶ درصد افزایش داد (شکل ۸). ساخت اسانس‌های ترپنوئیدی از جمله سافرانال نیاز به ترکیب‌های فسفردار دارد و برای تأمین انرژی لازم به نیتروژن وابسته است. از این‌رو کاربرد عصاره جلبک دریایی و سایرکودهای نیتروژن‌دار می‌تواند محتوای این ترکیب را در کلاله افزایش دهد (Khandan Deh-Arbab et al., 2020).

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت تغذیه برگی زعفران در مرحله‌ای از رشد که ریشه‌های بنه مادری از بین رفته و ریشه بنه‌های دختری هنوز تشکیل نشده و یا کارایی بالایی در جذب ندارند، نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف عناصر غذایی و عصارهٔ جلبک دریایی می تواند باعث بهبود وضعیت رشدی و گلدهی گیاه شود.



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و برخی عناصر غذایی بر محتوای سافرانال کلاله زعفران (Fe= آهن، N= نیتروژن، Aa= آمینواسید، Zn= روی، Ca= کلسیم، Mg= منیزیم، B= بُر، Mn= منگنز و S= گوگرد)

Figure 8- Mean comparison for the interaction of foliar application of seaweed extract and some nutrients on safranal content in stigma of saffron (Fe= Iron, N= Nitrogen, Aa= Aminoacid, Zn= Zinc, Ca= Calcium, Mg= Magnesium, B= Boron, Mn= Manganese, S= Sulfur).

کاربرد منگنز همراه با جلبک دریایی و بدون آن باعث افزایش معنی‌دار بیشترین تعداد گل نسبت به شاهد شد. با این حال بالاترین عملکرد کلاله خشک در شرایط کاربرد عنصر منیزیم و جلبک دریایی بدست آمد که در نهایت با توجه به اینکه این صفت عملکرد اقتصادی زعفران است از این حیث این تیمار قابل توصیه است. در بین صفات کیفی مقدار کروسین از اهمیت بالاتری برخوردارتر است لذا تیمارهای کاربرد منیزیم بدون کاربرد جلبک دریایی و جلبک دریایی به تنهایی بترتیب بیشترین مقدار این صفت را دارا بودند که قابل توصیه است. در نهایت با توجه به اینکه اطلاعات کمی در خصوص مصرف توام عناصر ریزمغذی و پرمصرف بخصوص منگنز، منیزیم، بر و کلسیم همراه با جلبک دریایی روی زعفران در اختیار است لذا نتایج این تحقیق می‌تواند برای بهبود کمیت و کیفیت زعفران مورد استفاده قرار گیرد.

قدردانی

این پژوهش مستخرج از نتایج پایان نامه دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد می باشد و با استفاده از اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه تربت حیدریه اجرا شده است، که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Ahmadi, E., Sahabi, H., Fallahi, H.R., & Feizi, H. (2022). Evaluation quantitative and qualitative response of saffron to foliar application of nutrients. M.Sc. Thesis, University of Torbat Heydarieh. (In Persian with English Summary).

Akbarian, M.M., Heidari Sharifabad, H., Noormohammadi, G., & Darvish Kojouri, F. (2012). The effect of potassium, zinc and iron

foliar application on the production of saffron (*Crocus sativus*). *Annals of Biological Research, 3*(12), 5651-5658.

Ali, N., Farrell, A., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2016). The effect of Ascophyllum nodosum extract on the growth, yield and fruit quality of tomato grown under tropical conditions. *Journal of Applied Phycology, 28*, 1353-1362. https://doi.org/10.1007/s10811-015-0608-3.

Aminifard, M.H., Khandan Deh-Arbab, S., Fallahi, H.R., & Kaveh, H. (2022). Evaluation of the effects of amino acid and mother corm weight on antioxidant activity and stigma quality of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research, 10*, 183-194. https://doi.org/10.22077/jsr.2021.4762.1172.

Aminifard, M.H., Khandan Deh-Arbab, S., Fallahi, H.R., & Kaveh, H. (2022). Effects of different levels of algae extract and mother corm weight on photosynthetic pigment content, growth and yield of saffron. *Journal of Saffron Research, 9*(2), 296-309. (In Persian with English Summary). http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2018.1663.1063.

Aminifard, M.H., Khandan Deh-Arbab, S., Fallahi, H.R., & Kaveh, H. (2023). Evaluation of the effects of amino acid and mother corm weight on antioxidant activity and stigma quality of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research, 10*(2), 183-194. (In Persian with English Summary). http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2021.4762.1172.

Arab, S. (2023). The effects of seaweed extract and ascorbic acid foliar application on quantitative and qualitative traits of saffron. *Journal of Saffron Research, 11*(1), 79-93. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22077/jsr.2023.6211.1210.

Asadi, G.A., Rezvani Moghaddam, P., & Hassanzadeh Aval, F. (2014). Effects of soil and foliar applications of nutrients on corm growth and flower yield of saffron (Crocus sativus L.) in six-year-old farm. *Saffron Agronomy and Technology 2*(1), 31-44. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22048/jsat.2014.6184.

Askary, M., Behdani, M.A., Mollaei, H., & Fallahi, H.R. (2023). Evaluation of the effects of organic and conventional cultivation practices on phytochemical and anti-cancer activities of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology, 25*(1), 139-154. https://doi.org/10.52547/jast.25.1.139.

Ayoubi, K.A., Eisvand, H.R., Heydari, S., & Mousavi-Fard, S. (2023). Effects of foliar application of iron and zinc micro nutrient elements on quantitative and qualitative yield Saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research, 11*(1), 66-78. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22077/jsr.2023.6083.1206.

Azizi, G., Musavi, S.G., Seghatoleslami, M.J., & Fazeli Rostampour, M. (2020). The effect of foliar application of seaweed extract, urea and micronutrient fertilizers on performance and its components of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research 8*(1), 141-158. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22077/jsr.2019.2064.1080.

Behdani, M.A., & Fallahi, H.R. (2015). Saffron: Technical Knowledge Based on Research Approaches. University of Birjand Press. [In Persian].Behdani, M.A., Gerami Sadeghian, M., Eslami, S. V., & Aminifard, M.H. (2020). Effect of foliar application of seaweed extract and liquid poultry manure on vegetative growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology, 8*(3), 307-323. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22048/jsat.2020.219303.1382.

Crouch, I.J., & Van Staden, J. (1992). Effect of seaweed concentrate on the establishment and

yield of greenhouse tomato plants. *Journal Applied Phycology, 4*, 291–296. https://doi.org/10.1007/BF02185785.

Del Poso, A., Perez, P., Gutierrez, D., Alonso, A., Morcuende, R., & Martinez-Carrasco, R. (2007). Gas exchange acclimation to elevated CO2 in upper-sunlit and lower-shaded canopy leaves in relation to nitrogen acquisition and partitioning in wheat grown in field chambers. *Environment and Experimental Botany, 53*, 371–380. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.04.009.

Ebrahimi, M. (2018). Apocarotenoids of Crocus sativus L: from Biosynthesis to Pharmacology. Jihad Daneshgahi Press, 104 p. [In Persian].

Fallahi, H.R., & Mahmoodi, S. (2018). Evaluation of the impacts of water availability and nutritional management on some physiological indices and saffron replacement corms growth. Final Report of Research Project, University of Birjand. (In Persian with English Summary).

Fallahi, H.R., Hosseini, S.A.H., Sahabi, H., Aghhavani-Shajari, M., Zareei, E., Ghaemi-Poor, F., & Maraki, Z. (2019). Effects of nutrients spraying on saffron stigma quality in a one-year-old field. 8th National Congress on Medicinal Plants. 24-25 April, Tehran. 378p.

Feizi, H., & Moradi, R. (2020). Assessing involved managing factors in gap yield between traditional and ideal saffron cultivating systems in Razavi and South Khorasan provinces. *Journal of Saffron Research, 7*, 59-74. http://dx.doi.org/10.22077/jsr.2019.2242.1089.

Feizi, H., Moradi, R., Pourghasemian, N., & Sahabi, H. (2021). Assessing saffron response to salinity stress and alleviating potential of gamma amino butyric acid, salicylic acid and vermicompost extract on salt damage. *South African Journal of Botany, 141*, 330-343. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.04.036.

Gerami Sadeghian, M., Behdani, M.A., Eslami, S. V., & Aminifard, M.H. (2022). Evaluation of acadian seaweed extract and biomex liquid poultry on the qualitative traits and secondary metabolites of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research, 10*(1), 14-27. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22077/jsr.2020.3243.1125.

Heydari, M., Danishian Moghadam, A.M., & Nourafcan, H. (2017). Effect of vermicompost and liquid seaweed fertilizer on morpho-physiological properties of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Crop Ecophysiology, 10(*4), 891-906. (In Persian with English Summary).

INSO (Iranian National Standardization Organization). (2013). Saffron: Test Methods (Code: 259-2). 5th Revision. Available at: https://standard.inso.gov.ir/. [In Persian].

Kalaivanan, C., Chandrasekaran, M., & Venkatesalu, V. (2012). Effect of seaweed liquid extract of Caulerpa scalpelliformis on growth and biochemical constituents of black gram (*Vigna mungo* (L.) Hepper. *Physiology Society, 42*(2), 46-53.

Khandan Deh-Arbab, S. (2018). Effect of amino acid, algae extract and corm weight on quantitative, qualitative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.). M.Sc. Thesis, University of Birjand. (In Persian with English Summary).

Khandan Deh-Arbab, S., Aminifard, M.H., Fallahi, H.R., & Kaveh, H. (2020). Evaluating the effects of growth promoting fertilizer containing seaweed extract and mother corm weight on antioxidant activity and stigma quality of saffron. *Plant Productions 43*(2), 213-226. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22055/ppd.2019.26492.1630.

Kholdbarin, B., & Eslamzadeh, T. (2002). Mineral Nutrition of Higher Plants. University of Shiraz Press. Shiraz, Iran. [In Persian].

Maleki, M., Seghatoleslami, M., Mousavi, G., &

Feizi, H. (2021). Studying the effect of irrigation management and foliar application of growth stimulator on yield and some qualitative traits of saffron. *Saffron Agronomy and Technology, 8*(3), 511-525. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22048/jsat.2020.226314.1390.

Ministry of Agriculture Jihad. (2022). Agricultural statistics in 2021: Horticultural and Greenhouse Products. 328 p. [In Persian].

Mohammadi Limaei, A., Majidian, M., & Mohsenabadi, G.R. (2019). Effects of foliar application of zinc, boron and copper micronutrients on growth indices and yield of sweet corn. *Journal of Plant Process and Function, 33,* 431-48. (In Persian with English Summary). https://doi.org/20.1001.1.23222727.1398.8.33.3.3.

Mohammadzadeh Toutounchi, P., & Amirinia, R. (2016). Effect of foliar application of iron, zinc and manganese on yield and yield components of fenugreek. *Journal of Crops Improvement, 18*(1), 69-78. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/jci.2016.56548.

Mollafilabi, A. (2014). Effect of new cropping technologies on growth characteristics, yield, yield components of flower and corm criteria of saffron (*Crocus sativus* L.). Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi Univesity of Mashhad. (In Persian with English Summary).

Mollafilabi, A., & Khorramdel, S. (2016). Effects of cow manure and foliar spraying on agronomic criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in a six year old farm. *Saffron Agronomy and Technology, 3*(4), 237-249. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22048/jsat.2016.11897.

Shahriary, R., Rezvani Moghaddam, P., Jahan, M., & Khorasani. R. (2018). The effects of nutrition management on saffron (*Crocus sativus* L.) stigma and flower yield. *Saffron Agronomy and Technology, 6*(2), 181- 196. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22048/jsat.2017.50067.1154.

Tabatabaeian, J., Hassanian Badi, S., & Kadkhodaee, A. (2020). Effect of micronutrient foliar application on quantitative and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology, 8*(2), 147-163. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22048/jsat.2019.179188.1342.

Thambiraj, J., Lingakumar, K., & Paulsamy, S. (2012). Effect of seaweed liquid fertilizer (SLF) prepared from *Sargassum wightii* and *Hypnea musciformis* on the growth and biochemical constituents of the pulse, *Cyamopsis tetragonoloba* (L.). *Journal of Agriculture Research,* 1(1), 65-701.

Vijayanand, N., Ramya, S.S., & Rathinavel, S. (2014). Potential of liquid extracts of *Sargassum wightii* on growth, biochemical and yield parameters of cluster bean plant. *Asian Pacific Journal of Reproduction, 3*(2), 150-155. https://doi.org/10.1016/S2305-0500(14)60019-1.