



Effects of Bio-Fertilizer and Fe Nanoparticles on Quantitative and Qualitative Properties of Saffron (*Crocus sativus* L.) Under Salinity Stress

Alijan Salariyan¹, Sohrab Mahmoodi^{2*}, Mohammad Ali Behdani³, and Hamed Kaveh⁴

Submitted: 9 May 2021 Revised: 14 May 2022 Accepted: 22 January 2022 Available Online: 7 January 2022	How to cite this article: Salariyan, A., Mahmoodi, S., Behdani, M.A., and Kaveh, H. 2022. Effects of Bio-Fertilizer and Fe Nanoparticles on Quantitative and Qualitative Properties of Saffron (<i>Crocus sativus</i> L.) Under Salinity Stress. Saffron Agronomy & Technology, 10(1): 3-18. DOI: 10.22048/jsat.2022.284650.1425
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Abstract

In order to investigate the effects of salinity levels, bio-fertilizer, and nano-fertilizer of Fe on quantitative and qualitative characteristics of saffron, a factorial layout was conducted as a combined analysis in two locations based on a randomized complete block design with three replications in a farm in Torbat Heydariyeh in 2018-2019. Bio-fertilizer was applied at four levels of zero, 500, 1000, and 1500 kg ha⁻¹ and Fe nanoparticles were used at two levels of non-consumption and four liters per hectare. These factors were investigated in two locations with different irrigation salinities (2.29 and 4.49 dS m⁻¹). Bio-fertilizer (granulated bio-organic) was applied in the breaking crust stage (after the first irrigation in October). The results showed that the highest values for traits of the weight of flowers, number of flowers, dried weight of stigma, and weight of stigma + style were obtained in irrigation conditions with the salinity of 2.29 dS m⁻¹ than 4.49 dSm⁻¹. Examination of the interaction between salinity and nano-iron fertilizer showed that in the mentioned traits, the weight of flowers, number of flowers, dried weight of stigma, and weight of stigma + style, under the conditions of irrigation with the salinity of 2.29 dS m⁻¹, there was no significant difference between the application and non-application levels of nano-fertilizer of Fe; However, in the conditions of irrigation with the salinity of 4.49 dS m⁻¹, the application of nano-fertilizer of Fe compared to non-application, caused a significant increase of 35.5, 33, 32.8 and 34.1% of these traits, respectively. Mean comparisons for triple interaction showed that at both salinity levels of 2.29 and 4.49 dS m⁻¹, nano-fertilizer of Fe could increase the crocin content in the absence of bio fertilizer. However, applying different bio-fertilizer and Fe nano-fertilizer levels significantly reduced the crocin amount. So at the salinity of 4.49 dS m⁻¹ and applying 1000 kg ha⁻¹ of bio-fertilizer iron reduced the amount of crocin to 2.29 g lit⁻¹. The highest saffron amount was observed under salinity of 4.49 dS m⁻¹ and 500 and 1500 kg per hectare of bio-fertilizer and application of Fe nano-fertilizer and non-application bio-fertilizers and nano-particles of Fe. Irrigation with the salinity of 4.49 dS m⁻¹ in bio-fertilizer levels (except for 500 kg ha⁻¹) caused a significant increase in picrocrocin. So that at this salinity level, application of 1000 kg ha⁻¹ of bio-fertilizer increased the amount of picrocrocin to 2.53 g lit⁻¹. In general, it seems that for achieving higher yields, irrigation with less saline water, and the case of irrigation with saline water, the use of the nano-fertilizer of Fe to moderate the effects of salinity is recommended.

Keywords: Crocin, Flower weight, Picrocrocin, , Safranal

١- Ph.D. Student in Agronomy, University of Birjand and Researcher of Saffron Research Institute, University of Torbat Heydariyeh
٢- Associate Professor, Dept. of Agronomy & Plant Breeding and Faculty Member of Saffron Research Group, University of Birjand
٣- Professor, Dept. of Agronomy & Plant Breeding and Faculty Member of Saffron Research Group, University of Birjand
٤- Assistant Professor, Dept. of Plant Production, and Researcher of Saffron Research Institute, University of Torbat Heydariyeh
(*- Corresponding author Email: smahmoodi@birjand.ac.ir)



مقاله پژوهشی

بررسی اثرات کود زیستی و نانو ذرات آهن بر خصوصیات کمی و کیفی زعفران (*Crocus sativus* L.) در شرایط تنش شوری

علیجان سالاریان^۱، سهراب محمودی^{۲*}، محمدعلی بهدانی^۳ و حامد کاوه^۴

تاریخ دریافت: ۱۹ اردیبهشت ۱۴۰۰

تاریخ بازنگری: ۱۲ تیر ۱۴۰۰

تاریخ پذیرش: ۲ بهمن ۱۴۰۰

سالاریان، ع.، محمودی، س.، بهدانی، م. ع. و کاوه، ح. ۱۴۰۱. بررسی اثرات کود زیستی و نانو ذرات آهن بر خصوصیات کمی و کیفی زعفران (*Crocus sativus* L.) در شرایط تنش شوری. زراعت و فناوری زعفران، ۱(۱۰): ۱۸-۳.

چکیده

به منظور بررسی اثر سطوح کود زیستی، نانو کود آهن و شوری آب آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی زعفران، آزمایشی بصورت فاکتوریل دو عاملی (کود زیستی و نانو ذرات آهن) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای در شهرستان تربت حیدریه در سال ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد و مورد تجزیه مرکب در مکان (شوری) قرار گرفت. عامل کود زیستی در چهار سطح صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و عامل کود نانو ذرات آهن در دو سطح عدم مصرف و کاربرد چهار لیتر در هکتار بودند که در دو شرایط متفاوت شوری آب آبیاری (۲/۲۹ و ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر) بررسی شدند. کود زیستی (بیوارگانیک گرانول شده) در مرحله سله‌شکنی (بعد از اولین آبیاری در اواخر مهر ماه و در زمان گاورو شدن مزرعه) اعمال شد. نتایج نشان داد که صفات وزن گل، تعداد گل، وزن خشک کلاله و وزن کلاله + خامه، در شرایط آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر برتر بودند. همچنین در صفات مذکور، تحت شرایط اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر، بین سطوح کاربرد و عدم کاربرد نانو کود آهن اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما بررسی برهمکنش شوری و نانو کود آهن نشان داد که در شرایط اعمال آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد نانو کود آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن، به ترتیب باعث افزایش معنی‌دار ۳۵/۵، ۳۳، ۳۲/۸ و ۳۴/۱ درصدی در صفات وزن گل، تعداد گل، وزن خشک کلاله و وزن کلاله + خامه شد. بررسی مقایسات میانگین اثر متقابل سه گانه نشان داد که در هر دو سطح شوری ۲/۲۹ و ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، در شرایط عدم استفاده از کود زیستی، کاربرد نانو کود آهن توانست بطور معنی‌داری میزان کروسین را ارتقا دهد؛ اما در شرایط بکارگیری سطوح مختلف کود زیستی، کاربرد نانو کود آهن، میزان کروسین را بطور معنی‌داری کاهش داد. بطوری که در شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی، کاربرد آهن مقدار کروسین را به ۲/۲۹ گرم بر لیتر کاهش داد. بیشترین میزان ساfranال در شرایط اعمال شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و در تیمارهای کاربرد ۵۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی و کاربرد نانو کود آهن و همچنین عدم کاربرد کودهای زیستی و نانو آهن مشاهده شد. آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر در سطوح کود زیستی (به جزء تیمار ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) سبب افزایش معنی‌دار میزان پیکروکروسین گردید و در این سطح شوری، کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی، میزان پیکروکروسین را به ۲/۵۳ گرم بر لیتر افزایش داد. در مجموع به نظر می‌رسد که جهت حصول عملکردهای بالاتر، آبیاری بوسیله آب‌های با شوری کمتر و در صورت آبیاری بوسیله آب‌های شور، استفاده از کود آهن جهت تعدیل اثرات شوری قابل توصیه باشد.

کلمات کلیدی: پیکروکروسین، زعفران، ساfranال، کروسین، وزن گل.

۱- دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه بیرجند و پژوهشگر پژوهشکده زعفران دانشگاه تربت حیدریه

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات و عضو هیأت علمی گروه پژوهشی زعفران دانشگاه بیرجند

۳- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات و عضو هیأت علمی گروه پژوهشی زعفران دانشگاه بیرجند

۴- استادیار گروه تولیدات گیاهی و پژوهشگر پژوهشکده زعفران دانشگاه تربت حیدریه

*- نویسنده مسئول: smahmoodi@birjand.ac.ir

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus*) یکی از گرانبهاترین گیاه دارویی موجود به شمار رفته و ارزش بسیار زیاد آن، باعث شده است تا از آن به عنوان طلای سرخ نام ببرند. ایران بزرگترین تولیدکننده و صادرکننده زعفران در جهان بوده و بیش از ۹۰ درصد تولید جهانی این محصول و بیش از ۸۴ درصد سطح زیر کشت آن به ایران اختصاص دارد (Agricultural Statistics, 2019) و استان خراسان به عنوان مهمترین منطقه تولید زعفران در ایران می‌باشد (Bolandi, 2008; Sahabi, 2017). از آنجایی زعفران گیاهی پیازی و چند ساله می‌باشد، عوامل مختلف محیطی (نور، رطوبت، دما و تغذیه) می‌توانند رشد و توسعه آن را کاملاً تحت تاثیر قرار دهند.

از جمله مواردی که فرآیند رشدی زعفران را تحت تاثیر قرار می‌دهد، مدیریت عناصر غذایی در زراعت آن می‌باشد (Immink, 2015). مدیریت تغذیه در گیاه زعفران یکی از مسائل مهم در تولید این محصول ارزشمند محسوب شود (Asadi et al., 2014). بطور کلی امروزه کودها به عنوان ابزاری جهت دستیابی به حداکثر تولید در واحد سطح محسوب می‌شوند و به منظور حصول پتانسیل عملکرد گیاهان، تأمین نیاز غذایی آن‌ها از طریق مصرف متعادل کودهای شیمیایی و بیولوژیک الزامی است (Juyban, 2018). این موضوع، شناخت جایگاه عناصر غذایی (خصوصاً عناصر پر مصرف) در گیاه و آگاهی از مقدار و نحوه مصرف کودهای شیمیایی برای گیاه را ضروری جلوه می‌دهد (Khaje Poor, 2009; Juyban, 2018).

در مورد گیاه زعفران، ضعیف شدن تدریجی و از بین رفتن ریشه بنه مادری و همچنین نداشتن ریشه در بنه دختری جهت جذب مواد غذایی مورد نیاز گیاه باعث می‌شود که زعفران، نتواند جذب قوی و مطلوبی از طریق سیستم ریشه‌ای خود داشته باشد. لذا جذب برگ در گیاه زعفران برای دریافت عناصر مورد نیاز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Kafi et al., 2002). این

موضوع اهمیت اقدام به موقع برای محلول‌پاشی برگ در زراعت زعفران را نشان می‌دهد. در همین راستا، صحابی (Sahabi, 2017) طی بررسی تأثیر محلول‌پاشی برگ بر روی خصوصیات عملکردی زعفران، در گزارشات خود اظهار داشت که بیشترین وزن خشک کلاله زعفران، در شرایط محلول‌پاشی کود کامل بدست آمد. استفاده از کودهای زیستی می‌تواند ضمن افزایش رشد موجب کاهش مصرف کودهای شیمیایی و آلودگی زیست محیطی و بهبود شاخص‌های کیفیت خاک و در نهایت تحقق اهداف کشاورزی پایدار شود. یکی از شیوه‌های زیستی برای افزایش تولید، استفاده بالقوه از موجودات خاکزی مفید که توانایی تولید مواد محرک رشد گیاه را داشته باشند، می‌باشد (Khosravi et al., 2009). تحقیقات نشان داده‌اند که کاربرد منفرد ازتوباکتر در زراعت زعفران تأثیری بر رشد این گیاه نداشته، ولی کاربرد تلفیقی آن با ۹۰ کیلوگرم کود شیمیایی نیتروژن سبب افزایش معنی‌دار عملکرد زعفران شد (Kirmani et al., 2014). امید و همکاران (Omidi et al., 2009) در آزمایشی تأثیر نیتروکسین را بر رشد بنه و کیفیت کلاله، بررسی کردند. در مطالعه آنان، کاربرد ۵ کیلوگرم در هکتار نیتروکسین توانست درصد سافرانال و پیکروکروسین را تا حدودی ارتقا بخشد، اعمال تیمار ترکیبی ۲/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروکسین و ۷۵ کیلوگرم اوره در هکتار، درصد کروسین را بطور معنی‌دار و قابل توجهی افزایش داد. علیپور و همکاران (Alipoor et al., 2013) گزارش کردند که کود زیستی نیتروکسین باعث افزایش وزن تر گل زعفران شد؛ با مصرف کود بیولوژیک نیتروکسین افزایش معنی‌داری در وزن خشک گل زعفران مشاهده گردید. به گونه‌ای که کود نیتروکسین باعث افزایش ۸۱ درصدی وزن خشک گل نسبت به عدم مصرف کود بیولوژیک شد.

امروزه با استفاده از نانو ذرات عناصر غذایی، می‌توان مدیریت تغذیه گیاهان را بهبود بخشید و علاوه بر آن میزان آلاینده‌هایی همچون فلزات سنگین و بقایای سموم را به حداقل ممکن کاهش داد (Javaheri et al., 2020). فناوری نانو با

مناطق، شوری خاک و آب آبیاری می‌باشد. برخی اثرات مخرب شوری روی رشد گیاه، پایین آمدن پتانسیل اسمزی محلول خاک، عدم تعادل تغذیه‌ای و اثرات مخرب یون‌های خاص (تنش شوری) یا ترکیبی از این عوامل می‌باشد (Kafi et al., 2018). شوری عامل شناخته شده‌ای است که تأثیر منفی بر تولید بسیاری از محصولات در سرتاسر جهان دارد. نمک‌های محلول در غلظت‌های بالا به علت عدم تعادل مواد غذایی تأثیر منفی بر رشد گیاه دارند. تحت شرایط شور، تجمع بالایی از یون‌های سمی از قبیل سدیم و کلر در کلروپلاست سلول‌ها رخ می‌دهد (Cha-um et al., 2013). قریشی و همکاران (Ghoreyshi et al., 2019) در گزارشات خود عنوان کردند که با افزایش شدت شوری از ۱/۵ به ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر، وزن گل‌های زعفران به شدت کاهش یافت. مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد کودهای زیستی و نانو کودها، می‌تواند در کاهش اثرات بازدارنده تنش-های خشکی و شوری مؤثر باشد (Anonymous, 2018; Zahedi & Alipoor, 2018). از این رو، تحقیق حاضر، با هدف بررسی اثرات ساده و متقابل کود بیولوژیک و نانو کود آهن بر عملکرد و برخی خصوصیات کیفی زعفران تحت شرایط تنش شوری صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه‌ای واقع در شهرستان تربت حیدریه با عرض جغرافیایی $34^{\circ}17'$ شمالی و طول جغرافیایی $59^{\circ}12'$ شرقی و ارتفاع ۱۳۳۳ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. آزمایش بصورت فاکتوریل دو عاملی (کود زیستی و نانو ذرات آهن) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد و مورد تجزیه مرکب در مکان (شوری) با اثر ثابت قرار گرفت. عامل کود زیستی (از نوع بیو ارگانیک گرانول شده) در چهار سطح صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم

تغییر و اثرگذاری در فرمولاسیون کودها و تولید موادی با ویژگی‌های مناسب و منحصر به فرد (نانو کود شیمیایی، نانو کود آلی و نانو کود بیولوژیک) می‌تواند نقش مهمی را در این زمینه ایفا کند. کاربرد انواع مختلف نانو ذرات عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان برای افزایش عملکرد تولیدات گیاهی یکی از استراتژی-هایی است که توجه محققین این زمینه را به خود جلب کرده است (Hiyasmin Rose et al., 2015). عنصر آهن، یکی از عناصر غذایی کم مصرف بوده که وجود آن در حد کافی برای رشد گیاهان زراعی ضروری است. این عنصر در ساختار ترکیباتی همچون سیتوکروم‌ها، سیتوکروم‌اکسیداز و همچنین ماده لگ-هموگلوبین شرکت می‌کند. کمبود آهن معمولاً توسط کلروز یا زردی پهنک بین رگبرگ‌ها در برگ‌های جوان مشخص می‌گردد (Taiz & Zeiger, 2006). در همین ارتباط، آلسچر و همکاران (Alscher et al., 2002) اظهار داشتند که عنصر آهن برای برخی از انواع آنزیم سوپر اکسید دسموتاز به عنوان کوفاکتور عمل کرده و فراهمی آن می‌تواند در بهبود فعالیت این آنزیم و ممانعت از بروز خسارات تنش اکسیداتیو در گیاه مؤثر باشد. تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از نانو ذرات آهن می‌تواند ضمن ارتقای سطح کمی و کیفی محصولات زراعی، نسبت به کودهای شیمیایی سبب کاهش آلودگی‌های زیست محیطی گردد (Rezazi, Javaheri et al., 2020). رزازی و همکاران (Rezazi et al., 2010) طی بررسی تأثیر نانو کود آهن بر عملکرد زعفران بیان نمودند که با افزایش مصرف نانو کود آهن از پنج به ۱۰ کیلوگرم در هکتار، وزن خشک کالاله بطور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. این نتایج و گزارشات تحقیقات مشابه، تأثیر مثبت کود آهن را بر روی عملکرد زعفران نشان می‌دهند.

قسمت عمده مناطق کشور ما، به دلیل بالا بودن مقدار تبخیر و تعرق و پایین بودن میزان نزولات جوی جزء مناطق خشک و نیمه خشک طبقه‌بندی می‌شود. یکی از مشکلات این

ترتیب که نوبت اول همراه با اولین آبیاری (مهرماه) و نوبت دوم در دومین آبیاری (زائیح آب- پایان گلدهی) بصورت کاربرد خاکی و یک نوبت در نیمه اول اسفند بصورت محلول پاشی (تغذیه برگ) با غلظت چهار در ۱۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت. آب مورد استفاده در این آزمایش از چاه موتورهاى دو منطقه مجزا با شوری‌های ۲/۲۹ و ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر بود. اولین مرحله آبیاری در نیمه مهرماه انجام و سپس برابر با نیازی گیاه، دو مرحله آبیاری دیگر انجام گردید. حجم آب مورد استفاده توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری شد و در مجموع برای هر مکان، ۴۷۵۰ مترمکعب در هکتار آبیاری صورت گرفت. هر کرت شامل شش ردیف کاشت به طول ۲/۴ متر با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین بلوک‌ها سه متر منظور شد. بنه‌ها با وزن هشت تا ۱۲ گرم و به فاصله پنج سانتی‌متر روی ردیف (با تراکم ۱۰۰ پیاز در متر مربع) و در عمق ۱۵ سانتی‌متر در داخل هر کرت و با دست کاشته شدند. پس از کاشت، تمامی عملیات زراعی نظیر آبیاری، مبارزه با علف هرز و سله‌شکنی در تمام تیمارها بصورت یکسان اعمال شد.

در هکتار و عامل کود نانو ذرات آهن در دو سطح عدم مصرف و کاربرد چهار لیتر در هکتار بودند که در دو شرایط متفاوت شوری آب آبیاری (۲/۲۹ و ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر) و شرایط اقلیمی مشابه و خصوصیات فیزیکی و شیمیائی یکسان خاک بررسی شدند. قابل ذکر است که کود زیستی شامل مواد هیومیک، اسید فولویک، دو سویه قارچ میکوریزای *Glomus versiforme* و *G. etunicatum* و نانو ذرات روی، آهن و گوگرد (نانو ذرات مغناطیسی عنصر مورد نظر با اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر) بود (جدول ۱) که از شرکت دانش بنیان نانو فناوری پژوهش مرکزی تهیه شد.

قبل از آماده‌سازی زمین، از شش نقطه به طور تصادفی و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری از خاک به عمل آمد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). بافت خاک نیز از نوع سیلت لوم بود. آماده‌سازی زمین در اردیبهشت ماه ۱۳۹۸ اجرا و کاشت در ۱۰ خرداد سال ۱۳۹۸ صورت گرفت. عامل کود بیوارگانیک (گرانول شده) در مرحله سله‌شکنی (بعد از اولین آبیاری در اواخر مهر ماه و در زمان گاو رو شدن مزرعه) اعمال شد. همچنین عامل نانو ذرات آهن بصورت محلول در آب در سه نوبت اعمال گردید. بدین

جدول ۱- خصوصیات کود زیستی

Table 1- Characteristics of bio-fertilizer

پتاسیم K ₂ O (mg.kg ⁻¹)	فسفر P ₂ O ₅ (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن N (%)	کربن آلی OC (%)	کلسیم Ca (%)	گوگرد S (%)	اسید هیومیک Humic acid (%)	اسید آمینه Amino acid (%)
1	1	3	16	3	15	10	0.50

جدول ۲- خصوصیات خاک محل انجام آزمایش

Table 2- Soil characteristics of the test site

هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن کل Total N (%)	کربن آلی OC (%)	آهن Fe (mg.kg ⁻¹)	روی Zn (mg.kg ⁻¹)	سدیم Na (mg.kg ⁻¹)	مس Cu (mg.kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg.kg ⁻¹)	کلسیم+منیزیم Ca+Mg (meq.lit ⁻¹)
8.58	7.94	265	11.4	0.038	0.492	3.64	0.62	40.3	0.34	2.04	21.5

مربع، وزن تر گل، وزن خشک کلاله، وزن خشک خامه و مجموع وزن کلاله و خامه در هر یک از کرت‌های آزمایشی با

با شروع گلدهی و رسیدن زمان برداشت گل‌ها (هفته اول آبان ماه) صفات مربوط به گل زعفران شامل تعداد گل در متر

جمع‌آوری سه بوته از هر کرت اندازه‌گیری شدند. جهت بررسی کیفیت گل زعفران، متابولیت‌های ثانویه تعیین کننده کیفیت زعفران شامل کروکسین، پیکرو کروسین و سافرانال که به ترتیب عوامل مؤثر در رنگ، طعم و عطر زعفران هستند، در آزمایشگاه و به روش طیف‌سنجی و با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شدند (Molina et al., 2005). بدین ترتیب که ۵۰۰ میلی‌گرم از نمونه خشک کلالة به یک بالن حجمی ۱۰۰۰ میلی‌لیتری منتقل و سپس با اضافه کردن ۹۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر، به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسید. این ترکیب به مدت یک ساعت در تاریکی با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه توسط یک همزن مغناطیسی حل شد و در ادامه هسته مغناطیسی برداشته و مجدداً محلول تا خط نشانه به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس بوسیله پیپت ۲۰ میلی‌لیتری محلول به یک بالن ۲۰۰ میلی‌لیتری انتقال داده شد و با آب مقطر تا خط نشانه به حجم رسید. در ادامه محلول حاصل جهت یکنواخت شدن خوب بهم زده و با صافی مربوطه، دور از نور صاف گردید. سپس میزان جذب در طیف‌های ۲۵۷ (پیکروکروسین)، ۳۳۰ (سافرانال) و ۴۴۰ (کروسین) نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. در ادامه، عدد بدست آمده در رابطه ۱ قرار گرفت و به ترتیب مقادیر پیکروکروسین، سافرانال و کروسین محاسبه شدند. در این رابطه، A: میزان جذب برای هریک از ترکیبات کیفی، D: میزان جذب هریک از ترکیبات کیفی که توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شده بر حسب نانومتر، M: وزن خشک کلالة بر حسب گرم و WMV: میزان رطوبت نمونه می‌باشند.

$$A_{1cm}^{%1}(\lambda_{max}) = \frac{D \times 10000}{M \times (100 - W_{MV})} \quad (1)$$

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار 17 Minitab و مقایسه میانگین‌ها به روش حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده (FLSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند و برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

وزن تر گل

اثر متقابل شوری و نانو کود آهن بر وزن گل زعفران معنی‌دار شد (جدول ۳). بطوری که بیشترین وزن گل در تیمارهای اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط عدم کاربرد و کاربرد چهار لیتر نانو کود آهن در هکتار مشاهده شد و تنها در این دو تیمار بود که وزن گل به بیش از ۱۱/۱۵ گرم در متر مربع رسید. در سایر تیمارها وزن گل کمتر از ۹/۷ گرم در متر مربع بود (جدول ۴). هر چند در شرایط اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر، بین سطوح کاربرد و عدم کاربرد نانو کود آهن اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما در شرایط اعمال آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد نانو کود آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن، باعث افزایش معنی‌دار و ۳۵/۵ درصدی وزن گل زعفران گردید (جدول ۴). افزایش شوری از ۲/۲۹ به ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، در شرایط عدم کاربرد کود آهن، سبب کاهش معنی‌دار و ۵۵ درصدی وزن گل زعفران گردید. هر چند در شرایط اعمال آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد نانو کود آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن، بطور معنی‌داری اثرات منفی شوری را بر روی وزن گل زعفران تعدیل کرد. در همین راستا، قریشی و همکاران (Ghoreyshi et al., 2019) طی مطالعه اثر سطوح شوری آب و فرم‌های نیتروژن بر عملکرد زعفران در شرایط آب و هوایی بیرجند بیان نمودند که با افزایش شدت تنش شوری از ۱/۵ به ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر، طول دوره گلدهی و وزن گل‌های زعفران به شدت کاهش یافت. آنها این موضوع را به عدم تولید گل‌های درشت در تیمارهای تحت تنش شوری نسبت دادند. در تحقیقی دیگر، اصغری و همکاران (Asghari et al., 2019) در بررسی تأثیر کود گاوی بر عملکرد و خصوصیات مورفولوژیک و

۳۴ عدد در متر مربع رسید. در سایر تیمارها تعداد گل کمتر از ۳۲ عدد در متر مربع بود (جدول ۴). بر اساس نتایج تحقیق حاضر، علی‌رغم اینکه در شرایط اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر، بین سطوح کاربرد و عدم کاربرد نانو کود آهن اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، با این وجود، در شرایط اعمال آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد نانو کود آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن، باعث افزایش معنی‌دار و ۳۳ درصدی تعداد گل زعفران گردید (جدول ۴). کمترین تعداد گل نیز در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و عدم کاربرد نانو کود آهن مشاهده شد. بطوری که در این تیمار، تعداد گل، حتی به ۲۲ گل در متر مربع هم نرسید (جدول ۴). به نظر می‌رسد که در شرایط اعمال آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد نانو کود آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن، توانسته است که تا حدی اثرات منفی شوری را بر روی تعداد گل زعفران خنثی کند. اصغری و همکاران (Asghari et al., 2019) نیز در مطالعات خود به بررسی اثرات تنش شوری بر عملکرد و خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک زعفران در شرایط کاربرد کود گاوی پرداختند. این محققین اظهار داشتند که بیشترین تعداد گل در شرایط عدم اعمال شوری (آبیاری با هدایت الکتریکی یک دسی‌زیمنس بر متر) بدست آمد و کاربرد کود گاوی سبب افزایش معنی‌دار تعداد گل گردید.

فیزیولوژیک زعفران تحت تنش شرایط شوری گزارش کردند که بیشترین وزن تر گل در شرایط عدم اعمال شوری (آبیاری با هدایت الکتریکی یک دسی‌زیمنس بر متر) وجود داشت و کاربرد کود گاوی سبب افزایش معنی‌دار وزن تر گل گردید. بطوری که وزن تر گل زعفران از ۷۶ گرم در متر مربع، به بیش از ۱۱۴ گرم در متر مربع افزایش یافت. اما با افزایش شدت تنش شوری از یک به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، وزن تر گل بطور معنی‌دار و قابل توجهی کاهش یافت؛ به گونه‌ای که در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، وزن تر گل زعفران به کمتر از ۳۴ گرم در متر مربع رسید و کاربرد کود گاوی نیز نتوانست سبب افزایش معنی‌دار وزن تر گل در این سطح از شوری گردد. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2011) نیز در گزارشات خود به تأثیر مثبت و معنی‌دار کاربرد کودهای شیمیایی بر افزایش وزن تر گل زعفران اشاره کردند. آنها این موضوع را به تأثیر کودهای شیمیایی بر افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه نسبت دادند.

تعداد گل

اثر متقابل شوری و نانو کود آهن بر تعداد گل زعفران معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین صورت که بیشترین تعداد گل در تیمارهای اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط عدم کاربرد و کاربرد چهار لیتر نانو کود آهن در هکتار مشاهده شد و تنها در این دو تیمار بود که تعداد گل به بیش از

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر شوری و کودهای زیستی بر عملکرد گل و کلاله و خصوصیات کیفی زعفران
 Table 3- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of salinity and biological fertilizers effects on flower and stigma yield and quality criteria of saffron

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	وزن تر گل Fresh weight of flower	تعداد گل No. of flowers	کلاله خشک Dried weight of stigma	وزن خشک خامه Dried weight of style	وزن کلاله + خامه Weight of stigma + style	کروسین Crocin	سافرال Safranal	پیکروکروسین Picrocrocin
شوری Salinity (S)	1	247 ns	1530 ns	0.048 ns	0.009 ns	1.13 ns	0.497 **	0.027 ns	0.132 ns
تکرار × شوری Replication × S	4	63.7	542	0.015	0.002	0.469	0.012	0.011	0.019
کود زیستی Bio fertilizer (B)	3	6.47 ns	101 ns	0.001 ns	0.0002 ns	0.062	0.140 **	0.003 **	0.045 **
نانو کود آهن Nano fertilizer of Fe (N)	1	1.69 ns	30.6 ns	0.002 ns	0.0001 ns	0.014 ns	0.002 **	0.006 **	0.161 **
شوری × کود زیستی S × B	3	0.313 ns	7.56 ns	0.0002 ns	0.00003 ns	0.009 ns	0.030 **	0.002 *	0.025 **
شوری × نانو کود آهن S × N	1	112 **	963 **	0.016 *	0.001 *	0.427 **	0.017 **	0.003 *	0.014 *
کود زیستی × نانو کود آهن B × N	3	2.48 ns	22.9 ns	0.001 ns	0.0001 ns	0.007 ns	0.275 **	0.005 **	0.106 **
شوری × کود زیستی × نانو کود آهن S × B × N	3	10.4 ns	66.4 ns	0.001 ns	0.0001 ns	0.046 ns	0.066 **	0.003 **	0.004 ns
خطا Error	28	11.2	104	0.002 ns	0.0003	0.055	0.0002	0.0004	0.003
صرب تغییرات C.V. (%)	-	5.97	8.47	2.64	4.27	3.85	4.68	3.30	3.30

ns, * and **: non-significant, significant in 5% and 1% level, respectively.
 ns, * and **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح پنج و یک درصد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و نانو کود آهن بر صفات عملکرد گل و کلاله و محتوی پیکروکروسین زعفران

Table 4- Mean comparisons for interaction effect of salinity and Fe nano fertilizer on flower and stigma yield of saffron and picrocrocin content of saffron

شوری Salinity (dS.m ⁻¹)	نانو کود آهن Nano fertilizer of Fe (lit.ha ⁻¹)	وزن تر گل Fresh weight of flower (g.m ⁻²)	تعداد گل No. of flower (flower.m ⁻²)	وزن خشک کلاله Dry weight of stigma (g.m ⁻²)	وزن خشک خامه Dry weight of style (g.m ⁻²)	وزن کلاله + خامه Weight of stigma + style (g.m ⁻²)	پیکروکروسین Picrocrocin (g.lit ⁻¹)
	0	13.8	41.7	0.197	0.067	0.926	2.38
2.29	4	11.2	34.4	0.173	0.058	0.772	2.23
	0	6.24	21.5	0.098	0.029	0.430	2.46
4.49	4	9.68	32.1	0.146	0.041	0.653	2.37
	LSD 0.05	5.59	17.0	0.073	0.028	0.391	0.090

وزن خشک کلاله

اثر متقابل شوری و نانو کود آهن بر وزن خشک کلاله زعفران معنی دار شد (جدول ۳). بطوری که بیشترین وزن خشک کلاله در تیمارهای اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط عدم کاربرد و کاربرد چهار لیتر نانو کود آهن در هکتار مشاهده گردید و فقط در این دو تیمار بود که وزن خشک کلاله به بیش از ۰/۱۷۲ گرم در متر مربع رسید. در دو تیمار دیگر وزن خشک کلاله کمتر از ۰/۱۴۷ گرم در متر مربع بود (جدول ۴). در شرایط اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر، بین سطوح کاربرد و عدم کاربرد نانو کود آهن، از این نظر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. با این وجود، در شرایط اعمال آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد نانو کود آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن، باعث افزایش معنی‌دار و ۳۲/۸ درصدی وزن خشک کلاله زعفران گردید (جدول ۴). کمترین وزن خشک کلاله نیز در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و عدم کاربرد نانو کود آهن مشاهده شد. به گونه‌ای که در این تیمار، وزن خشک کلاله، حتی به ۰/۱ گرم در متر مربع هم نرسید (جدول ۴). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که افزایش شوری از ۲/۲۹ به ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک کلاله زعفران گردید. هر چند که در

بطوری که تعداد گل زعفران از ۱۶۱/۶ عدد در متر مربع، به بیش از ۲۳۸ عدد در متر مربع افزایش یافت. در شوری چهار دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد کود گاوی سبب کاهش اثرات منفی تنش شوری و افزایش معنی‌دار تعداد گل زعفران در متر مربع گردید. اما در شوری‌های ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد کود گاوی، نتوانست تأثیر معنی‌داری در کاهش اثرات مخرب تنش شوری داشته باشد. بهدانی و فلاحی (Behdani & Fallahi, 2016) گزارش کردند که یکی از بارزترین واکنش‌های گیاه زعفران در مواجهه با تنش شوری استفاده از مکانیسم‌های تحمل به شوری از جمله تجمع پرولین و افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول، جهت انجام تنظیم اسمزی می‌باشد. آهن یکی از عناصر غذایی دخیل در برخی فرآیندهای فیزیولوژیکی مهم گیاهی از جمله ساخت پروتئین‌ها و برخی آنتی‌اکسیدانت‌ها می‌باشد (Kafi et al., 2018). از طرف دیگر، حضور بی‌کربنات‌های تولید شده در خاک‌های آهکی و شور از حلالیت ترکیبات آهن‌دار و به دنبال آن، قابلیت جذب آهن می‌کاهد (Han et al., 1998)؛ اما استفاده از نانو کود آهن، به دلیل داشتن قابلیت جذب بالا، می‌تواند در افزایش سنتز ترکیبات حفاظت‌کننده از سلول‌های گیاهی و بهبود تحمل گیاه به تنش شوری مؤثر باشد (Paivandi et al., 2011).

شرایط اعمال آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد نانو کود آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن، تا اندازه‌های اثرات منفی شوری را بر روی وزن خشک کلاله زعفران کاهش داد. رزازی و همکاران (Rezazi et al., 2010) نیز طی بررسی تأثیر نانو کود آهن بر روی عملکرد زعفران اظهار داشتند که با کاربرد نانو کود آهن، وزن خشک کلاله زعفران بطور معنی‌داری افزایش یافت و با افزایش مصرف نانو کود آهن از پنج به ۱۰ کیلوگرم در هکتار، وزن خشک کلاله نیز بطور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. در پژوهشی دیگر، صحابی (Sahabi, 2017) نیز طی بررسی تأثیر محلول‌پاشی برگی بر روی خصوصیات عملکردی زعفران، در گزارشات خود اظهار داشت که بیشترین وزن خشک کلاله زعفران، در شرایط محلول‌پاشی کود کامل بدست آمد. بقائی و ملکی فراهانی (Baghaee & Maleki, 2013) بیان نمودند که بالاترین عملکرد کلاله خشک زعفران در شرایط کاربرد ۱۰ کیلوگرم نانوکلات آهن در هکتار بدست آمد. آنها همچنین گزارش کردند که علاوه بر حصول عملکرد بالا، احتمالاً افزایش نرخ فتوسنتز ناشی از جذب بیشتر آهن، سبب تولید بنه‌هایی با وزن بالا و افزایش معنی‌دار وزن بنه گردید.

وزن خشک خامه

اثر متقابل شوری و نانو کود آهن بر وزن خشک خامه زعفران معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین ترتیب که بیشترین وزن خشک خامه در تیمارهای اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط عدم کاربرد و کاربرد چهار لیتر نانو کود آهن در هکتار مشاهده گردید و فقط در این دو تیمار بود که وزن خشک خامه به بیش از ۰/۰۵۷ گرم در متر مربع رسید. در دو تیمار دیگر وزن خشک خامه کمتر از ۰/۰۴۲ گرم در متر مربع بود (جدول ۴). در شرایط اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر، بین سطوح کاربرد و عدم کاربرد نانو کود آهن، از

این نظر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین در شرایط اعمال آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر نیز بین سطوح کاربرد و عدم کاربرد نانو کود آهن، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). کمترین وزن خشک خامه نیز در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و عدم کاربرد نانو کود آهن مشاهده گردید. به گونه‌ای که در این تیمار، وزن خشک خامه، حتی به ۰/۰۳ گرم در متر مربع هم نرسید (جدول ۴). بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، افزایش شوری سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک خامه شد و کاربرد نانو کود آهن نیز نتوانست در کاهش اثرات منفی تنش شوری تأثیرگذار باشد. معمولاً شوری اجزای عملکرد را بسته به اینکه تنش در چه زمانی بر گیاه وارد شده است تحت تأثیر قرار می‌دهد (Rostami et al., 2015). غلظت بالای املاح در محیط ریزوسفر همراه با کاهش آب خاک و ایجاد تنش خشکی فیزیولوژیک و همچنین ایجاد مسمومیت یونی و عدم تعادل در جذب یون‌ها در اثر تنش شوری بواسطه کاهش ظرفیت فتوسنتزی برگ‌ها به گیاه آسیب می‌رساند (Munns & Tester, 2008). مسمومیت یونی و تنش اسمزی که در شرایط تنش شوری ایجاد می‌شوند (Adolf et al., 2013)، منجر به برهم خوردن تعادل متابولیسمی سلول شده و در نتیجه آن تنش اکسیداتیو در گیاه رخ می‌دهد (Kafi et al., 2018; Zhu, 2001). این موضوع سبب می‌شود تا گیاه، بخشی از ماده خشک تولیدی را که می‌تواند در ارتقای اجزای عملکرد و عملکرد اقتصادی محصول صرف شود، در کاهش اثرات تنش هزینه کند (Arshadi, 2016).

وزن کلاله + خامه

اثر متقابل شوری و نانو کود آهن بر وزن کلاله + خامه زعفران معنی‌دار شد (جدول ۳). بطوری که بیشترین وزن کلاله + خامه در تیمارهای اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط عدم کاربرد و کاربرد چهار لیتر نانو کود آهن در

وزن کلاله + خامه گردید.

کروسین

اثر متقابل سه گانه شوری، کود زیستی و نانو کود آهن بر میزان کروسین زعفران معنی دار شد (جدول ۳). بدین صورت که بیشترین میزان کروسین در تیمار اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی/زیمنس بر متر در شرایط کاربرد کود زیستی و عدم کاربرد نانو کود آهن به میزان ۲/۹۹ گرم بر لیتر مشاهده شد. در سایر تیمارها میزان کروسین کمتر از ۲/۸۹ گرم بر لیتر بود (جدول ۵). میزان کروسین در تمامی سطوح اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی/زیمنس بر متر، از سطوح مشابه خود در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی/زیمنس بر متر بطور معنی داری بیشتر بود (جدول ۵). در هر دو سطح شوری ۲/۲۹ و ۴/۴۹ دسی/زیمنس بر متر، در شرایط عدم استفاده از کود زیستی، کاربرد نانو کود آهن توانست بطور معنی داری میزان کروسین را ارتقا دهد. اما در شرایط بکارگیری سطوح مختلف کود زیستی (در هر دو سطح ۲/۲۹ و ۴/۴۹ دسی/زیمنس بر متر)، کاربرد نانو کود آهن، میزان کروسین را بطور معنی داری کاهش داد (جدول ۵). کمترین میزان کروسین نیز در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی/زیمنس بر متر و عدم کاربرد کود زیستی و نانو کود آهن مشاهده شد. به گونه‌ای که در این تیمار، میزان کروسین، حتی به ۲/۲ گرم بر لیتر هم نرسید (جدول ۵). کروسین، یک کاروتنوئید بسیار آبدوست در زعفران می‌باشد و به عنوان عامل رنگ‌دهنده در زعفران شناخته شده است. قدرت رنگ‌دهی زعفران به عنوان یکی از پارامترهای تعیین کننده کیفیت در زعفران محسوب می‌شود که با اندازه‌گیری کروسین مشخص می‌گردد (Heydari & Khalili, 2016). در تحقیق حاضر، افزایش شوری از ۲/۲۹ به ۴/۴۹ دسی/زیمنس بر متر، با کاهش معنی دار میزان کروسین در سطوح مختلف کودی همراه بود و کاربرد کودهای زیستی و آهن نیز نتوانست در تعدیل اثرات تنش شوری تأثیر گذار باشد. هرچند

هکتار مشاهده گردید و تنها در این دو تیمار بود که وزن کلاله + خامه به بیش از ۰/۷۷۰ گرم در متر مربع رسید. در دو تیمار دیگر وزن خشک کلاله + خامه کمتر از ۰/۶۵۵ گرم در متر مربع بود (جدول ۴). در شرایط اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی-زیمنس بر متر، بین سطوح کاربرد و عدم کاربرد نانو کود آهن، از نظر مجموع وزن کلاله + خامه اختلاف معنی داری وجود نداشت. با این وجود، در شرایط اعمال آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی-زیمنس بر متر، کاربرد نانو کود آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن، باعث افزایش معنی دار و ۳۴/۱ درصدی وزن کلاله + خامه زعفران گردید (جدول ۴). کمترین وزن کلاله + خامه نیز در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی/زیمنس بر متر و عدم کاربرد نانو کود آهن مشاهده شد. بطوری که در این تیمار، وزن کلاله + خامه، به ۰/۴۳۱ گرم در متر مربع هم نرسید (جدول ۴). بر اساس یافته‌های این تحقیق، افزایش شوری از ۲/۲۹ به ۴/۴۹ دسی/زیمنس بر متر، سبب کاهش معنی دار وزن کلاله + خامه زعفران شد. هر چند که در شرایط اعمال آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی/زیمنس بر متر، کاربرد نانو کود آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن، تا حدی اثرات منفی شوری را بر روی وزن کلاله + خامه کاهش داد. امامی و همکاران (Emami et al., 2018) نیز در مطالعات خود به بررسی اثر محلول پاشی کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد زعفران پرداختند. آنها گزارش کردند که محلول پاشی این کودها در بهمن ماه، موجب تولید بنه‌های بزرگتر با ذخایر غذایی بیشتر و سرعت سبز شدن بالاتر شد و این موضوع بواسطه افزایش میزان رشد رویشی و زایشی زعفران، باعث بهبود عملکرد کلاله + خامه گردید. در پژوهشی دیگر، صحابی (Sahabi, 2017) در مطالعات خود بر روی تأثیر محلول پاشی برگی بر خصوصیات عملکردی زعفران، عنوان کرد که در سال اول آزمایش، محلول پاشی کود کامل تأثیری بر وزن کلاله + خامه زعفران نداشت. اما در سال دوم، محلول پاشی کود کامل سبب افزایش معنی دار و ۳۷ درصدی

زعفران، بر روی عملکرد محصول و همچنین خصوصیات کیفی زعفران تأثیر مثبت داشت. بطوری که کاربرد کود دامی به همراه عناصر غذایی آهن و روی به میزان مناسب، سبب بهبود مقدار کروستین که عامل ایجاد رنگ در زعفران است گردید.

که در هر دو سطح شوری ۲/۲۹ و ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین میزان کروستین در شرایط کاربرد ۱۵۰۰ کیلوگرم کود زیستی و عدم استفاده از نانو کود آهن بدست آمد. رضایی و پاسبان (Rezai & Paseban, 2006) در گزارشات خود بیان نمودند که بکار بردن عناصر غذایی به میزان کافی در زراعت

جدول ۵- مقایسات میانگین اثر متقابل شوری، کود زیستی و نانو کود آهن بر صفات کروستین و سافرانال زعفران

Table 5- Mean comparisons of interaction of salinity, bio fertilizer and nano fertilizer of Fe on crocin and saffranal of saffron

شوری Salinity	کود زیستی Bio fertilizer (kg.ha ⁻¹)	نانو کود آهن Nano fertilizer of Fe (lit.ha ⁻¹)	کروستین Crocin (g.lit ⁻¹)	سافرانال Saffranal (g.lit ⁻¹)	
2.29 dS.m ⁻¹	0	0	2.39	0.601	
		4	2.74	0.534	
	500	0	2.77	0.581	
		4	2.60	0.534	
	1000	0	2.57	0.561	
		4	2.88	0.541	
	1500	0	2.99	0.601	
		4	2.70	0.581	
	4.49 dS.m ⁻¹	0	0	2.15	0.674
			4	2.64	0.581
500		0	2.68	0.601	
		4	2.52	0.661	
1000		0	2.50	0.601	
		4	2.29	0.561	
1500		0	2.72	0.594	
		4	2.50	0.641	
LSD 0.05			0.022	0.032	

زیمنس بر متر، از سطوح مشابه خود در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر کمتر بود (جدول ۴). در هر دو سطح شوری ۲/۲۹ و ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، در شرایط عدم استفاده از کود زیستی، کاربرد نانو کود آهن بطور معنی‌داری میزان سافرانال را کاهش داد (جدول ۴). کمترین میزان سافرانال نیز در شرایط آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد نانو کود آهن، در دو شرایط عدم کاربرد و کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی مشاهده شد. به گونه‌ای که در این دو تیمار، میزان سافرانال، حتی به ۰/۵۴ گرم بر لیتر هم نرسید (جدول ۴). مطالعات نشان داده‌اند که کروستین یک کاروتنوئید محلول در آب است؛ در حالی که سافرانال با فرمول

سافرانال

اثر متقابل سه گانه شوری، کود زیستی و نانو کود آهن بر میزان سافرانال زعفران معنی‌دار شد (جدول ۲). بدین صورت که بیشترین میزان سافرانال در شرایط اعمال شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و در تیمارهای کاربرد ۵۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی و کاربرد نانو کود آهن و همچنین عدم کاربرد کودهای زیستی و نانو آهن مشاهده شد و فقط در این سه تیمار بود که میزان سافرانال به بیش از ۰/۶۴۰ گرم بر لیتر رسید. در سایر تیمارها میزان سافرانال کمتر از ۰/۶۰۲ گرم بر لیتر بود (جدول ۴). بر خلاف کروستین، میزان سافرانال در اغلب سطوح اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی-

آن $C_{10}H_{16}O$ جزء روغن‌های فرار بوده و عامل عطر در زعفران می‌باشد (Sahabi, 2017). به نظر می‌رسد که این تفاوت در ساختار مولکولی آنها، سبب شده است که افزایش سطح شوری سبب کاهش میزان کروسین و افزایش میزان سافرانال گردد. بلندی و همکاران (Bolandi et al., 2008) در بررسی اثر مدت زمان نگهداری بر روی خصوصیات کیفی زعفران دریافتند که در طول دوره نگهداری، میزان کروسین بطور معنی‌داری کاهش و میزان سافرانال بطور معنی‌داری افزایش یافت. لیچ و کنترال (Lage & Cantrell, 2009) در گزارشات خود اظهار داشتند که برخی از خصوصیات کیفی زعفران از جمله میزان سافرانال گل، بیشتر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی بوده و چندان وابسته به عوامل زراعی نیستند.

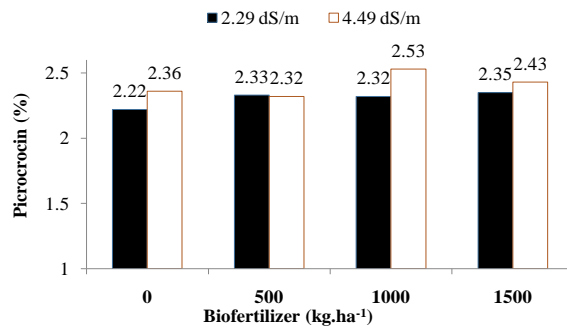
پیکروکروسین

اثر متقابل شوری و کود زیستی بر میزان پیکروکروسین زعفران معنی‌دار شد (جدول ۲). بدین صورت که بیشترین میزان پیکروکروسین در تیمار آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی-زیمنس بر متر در شرایط کاربرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی مشاهده شد و فقط در این تیمار بود که میزان پیکروکروسین به بیش از ۲/۵ گرم در لیتر رسید. در سایر تیمارها میزان پیکروکروسین کمتر از ۲/۴۴ گرم بر لیتر بود (شکل ۱). در تمامی سطوح کود زیستی (به جزء تیمار ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی-زیمنس بر متر سبب افزایش معنی‌دار میزان پیکروکروسین گردید (شکل ۱). تیمار آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی-زیمنس بر متر و عدم مصرف کود زیستی، کمترین میزان پیکروکروسین را از خود نشان داد. بطوری که در این تیمار، میزان پیکروکروسین حتی به ۲/۲۴ گرم بر لیتر هم نرسید (شکل ۱). علاوه بر این، اثر متقابل مکان و نانو کود آهن بر میزان پیکروکروسین زعفران معنی‌دار شد (جدول ۲). بطوری که بیشترین میزان پیکروکروسین در

تیمار اعمال آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی-زیمنس بر متر در شرایط عدم کاربرد نانو کود آهن مشاهده شد و تنها در این تیمار بود که میزان پیکروکروسین به بیش از ۲/۴۵ گرم بر لیتر رسید. در سایر تیمارها میزان پیکروکروسین کمتر از ۲/۳۹ گرم بر لیتر بود (جدول ۳). در هر دو سطح تیمار شوری، کاربرد نانو کود آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن، باعث کاهش معنی‌دار پیکروکروسین زعفران گردید (جدول ۳). چنین به نظر می‌رسد که افزایش شوری سبب افزایش میزان پیکروکروسین زعفران شده است. اثر متقابل کود زیستی و نانو کود آهن بر میزان پیکروکروسین زعفران معنی‌دار شد (جدول ۲). بدین ترتیب که بیشترین میزان پیکروکروسین در سطوح ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی و در شرایط عدم کاربرد نانو کود آهن مشاهده شد و فقط این دو تیمار بودند که میزان پیکروکروسین بیش از ۲/۵ گرم بر لیتر را از خود نشان دادند. در سایر تیمارها میزان پیکروکروسین حتی به ۲/۴۴ گرم بر لیتر هم نرسید (شکل ۲). سطوح مختلف کود زیستی در شرایط عدم مصرف نانو کود آهن، نسبت به سطوح مشابه خود در شرایط کاربرد چهار لیتر در هکتار کود آهن، بطور معنی‌داری، میزان پیکروکروسین بیشتری از خود نشان دادند. همچنین، در شرایط عدم کاربرد نانو کود آهن، افزایش مقادیر کود زیستی سبب افزایش معنی‌دار میزان پیکروکروسین گردید (شکل ۲). پیکروکروسین یک گلیکوزید تلخ مزه است که عامل ایجاد طعم در زعفران می‌باشد (Mollafilabi et al., 2020; Sahabi, 2017). احتمالاً افزایش شوری و بالا رفتن میزان برخی املاح در بنه زعفران، در افزایش فعالیت آنزیم‌های مؤثر در بیوسنتز پیکروکروسین نقش داشته و این امر سبب افزایش میزان پیکروکروسین تحت تیمارهای با شوری بیشتر شده است. رستمی و همکاران (Rostami et al., 2015) در گزارشات خود اظهار داشتند که با افزایش سطوح شوری از دو به ۱۰ دسی-زیمنس بر متر، میزان گلوکز در گیاه زعفران بطور معنی-

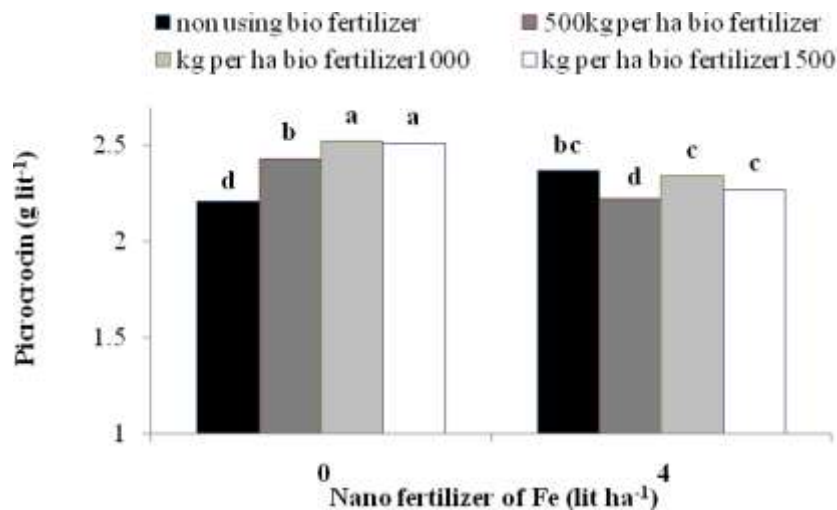
بواسطه تأثیر بر روی ارتقای میزان گلوکز در زعفران، می‌تواند در افزایش میزان پیکروکروسین در این گیاه مؤثر باشد.

داری افزایش پیدا کرد. با توجه به اینکه گلوکوزیدها یکی از مشتقات گلوکز هستند، لذا به نظر می‌رسد که افزایش شوری،



شکل ۱- مقایسات میانگین اثر متقابل شوری و کود زیستی بر میزان پیکروکروسین زعفران.
Figure 1- Mean comparisons of interaction of salinity and bio fertilizer on picrocrocin of saffron.

LSD_{0.05} = 0.090



شکل ۲- مقایسات میانگین اثر متقابل کود زیستی و نانو کود آهن بر میزان پیکروکروسین زعفران.
Figure 2- Mean comparisons of interaction of bio fertilizer and nano fertilizer of Fe on picrocrocin of saffron.

LSD_{0.05} = 0.090

نتیجه گیری

حدی اثرات منفی شوری بر روی صفات وزن گل، تعداد گل، وزن خشک کلاله، وزن کلاله + خامه را کاهش دهد. اما استفاده از کود زیستی، تأثیر معنی داری بر روی صفات کمی زعفران نداشت. لذا جهت حصول عملکردهای بالاتر در زراعت زعفران، آبیاری بوسیله آبهای با شوری کمتر توصیه شده و در صورت آبیاری بوسیله آبهای شور، استفاده از کود آهن جهت تعدیل اثرات شوری توصیه می گردد.

نتایج تحقیق حاضر مبنی بر بررسی اثرات شوری و کودهای زیستی و نانو آهن روی زعفران، نشان دادند که افزایش شوری از ۲/۲۹ به ۴/۴۹ دسی زیمنس بر متر، سبب کاهش معنی دار وزن گل، تعداد گل، وزن خشک کلاله، وزن خشک خامه، وزن کلاله + خامه و میزان کروستین و افزایش معنی دار میزان سافرانال و پیکروکروسین زعفران گردید. همچنین استفاده از نانو کود آهن در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی زیمنس بر متر، توانست تا

منابع

- Adolf, V.I., Jacobsen, S.E., and Shabala, S. 2013. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany* 92: 43-54.
- Agricultural Statistics. 2019. Ministry of Agriculture Jihad. Crop Products Part. (In Persian).
- Alipoor, Z., Mahmudi, S., Behdani, M.A., and Sayari Zahon, M.H. 2013. Study of the effect of livestock and chemical fertilizers and corm size on yield and yield components of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research* 1 (2): 73-84. (In Persian with English Summary).
- Alscher, R.G., Erturk, N., and Heath, L.S. 2002. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plant. *Journal of Experimental Botany* 53: 1331-1341.
- Anonymous, 2018. Bioser Company of Nanotechnology Knowledge-Based, Information and Statistics Department of Research Unit. (In Persian).
- Arshadi, M.J. 2016. Investigation of the effect of seeds inoculation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) with arbuscular mycorrhiza and pseudo-endo mycorrhiza in response to drought stress. Ph.D. Dissertation. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English Summary).
- Asadi, G.A., Rezvani Moghaddam, P., and Hasanzadeh Avval, F. 2014. Effects of soil and leaf nutrition on corm growth and yield flower of saffron in a six-year field. *Saffron Agronomy and Technology* 2 (1): 31-44. (In Persian with English Summary).
- Asghari, R., Dadashi, M., Razavi, A., Feizi, H., and Bakhtiari S. 2019. Effect of cow manure on yield and morphological and physiological characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) under salinity stress. *Saffron Agronomy and Technology* 7 (2): 171-184. (In Persian with English Summary).
- Baghaee, N., and Maleki Farahani, S. 2013. Comparison of chelate fertilizer of Fe with nano and micro bases on quantitative yield and allocation of photosynthetic materials of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology* 1 (2): 156-169. (In Persian with English Summary).
- Behdani, M.A., and Fallahi, H.R. 2016. Saffron, Technical Knowledge Based on Research Approaches. Birjand University Publications. 102 p. (In Persian).
- Bolandi, M. 2008. Modeling the chemical changes

- of saffron stigma and determining its shelf life in different storage conditions. Ph.D. Dissertation. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English Summary).
- Bolandi, M., Shahidi, F., Sedaghat, N., Farhoush, R., and Mousavi-Nik, H. 2008. Shelf-life determination of saffron stigma: Water activity and temperature studies. *World Applied Sciences Journal* 5 (2): 132-136.
- Cha-um, S., Batin, C.B., Samphumphung, T., and Kidmanee, C. 2013. Physio-morphological changes of cowpea (*Vigna unguiculata* Walp.) and jack bean (*Canavalia ensiformis* L.) in responses to soil salinity. *Austrian Journal of Crop Science* 7 (13): 2128-2135.
- Emami, M., Armin, M., and Jami Moeini, M. 2018. Effect of foliar application time of organic and chemical fertilizers on yield and yield components of saffron. *Saffron Agronomy and Technology* 6 (2): 167-179. (In Persian with English Summary).
- Ghoreyshi, Gh.R., Khasheie Seyuki, A., and Bieki, A. 2019. Effect of salinity levels and nitrogen forms on yield of saffron in Birjand climate. *Journal of Saffron Research* 7 (2): 343-353. (In Persian with English Summary).
- Han, Z.H., Shen, T., Korcak, R.F., and Baligar, V.C. 1998. Iron absorption by iron-efficient and inefficient species of apples. *Journal of Plant Nutrition* 21: 181-190.
- Heydari, S., and Khalili, M. 2016. Extraction and determination of crocin in saffron samples by dispersive liquid-liquid micro-extraction. *Saffron Agronomy and Technology* 4 (3): 225-237. (In Persian with English Summary).
- Hiyasmin Rose, L., Benzon, M., Rosnah, U., Rubenecia, V.U., Litra, J.R., and Sang Chul, L. 2015. Nano fertilizer effects on the growth, development and chemical properties of rice. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research* 7 (1): 105-117.
- Immink, R.G.H. 2015. *Plant Physiology and Flower Bulbs*. Wageningen University, Wageningenur. 20 p.
- Javaheeri, S., Astaraei, A.R., Khorassani, R., Zabihi, H.R., and Emami, H. 2020. Effect of Zinc and Iron nano particles and organic fertilizers on quality and quantity yields of tomato (*Solanum lycopersicum*). *Applied Research in Field Crops* 32 (4): 16-32. (In Persian with English Summary).
- Juyban, A. 2018. Study of the effect of levels of irrigation, nitrogen and potassium on growth characteristics, physiological and yield of halophyte species, blue panic grass (*Panicum antidoteale* Retz.). Ph.D. Dissertation. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English Summary).
- Kafi, M., Borzuie, A., Salehi, M., Kamandi, M., Masumi, A., and Nabati, J. 2018. *Physiology of Environmental Stresses in Plants*. Jihad Daneshgahi Publications of Mashhad. 502 p. (In Persian).
- Kafi, M., Hemati Kakhki, A., and Karbasi, A. 2002. *Saffron, Production and Processing Technology*. Ferdowsi University of Mashhad Publications. 276 p. (In Persian).
- Khaje Poor, M.R. 2009. *Principles of Agronomy*. Jihad Danishgahi Publications of Isfahan. 386 p. (In Persian).
- Khosravi, H., Samar, S.M., Fallahi, E., Davoodi, H., and Shahabian, M. 2009. Inoculation of Golden Delicious' apple trees on M9 root stock with *Azotobacter* improves nutrient uptake and growth indices. *Journal of Plant Nutrition* 32: 946-953.
- Kirmani, N.A., Sofi, J.A., Bhat, M.A., and Ansar-UI-Haq, S. 2014. Sustainable saffron production as influenced by integrated nitrogen management in typic hapludalfs of NW Himalayas. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 45: 653-668.
- Lage, M., and Cantrell, C.L. 2009. Quantification

- of saffron (*Crocus sativus* L.) metabolites crocins, picrocrocin and safranal for quality determination of the spice grown under different environmental Moroccan conditions. *Scientia Horticulturae* 121: 366-373.
- Mollafilabi, A., Khorramdel, S., and Shabahang, J. 2020. Effects of different drying methods on moisture content, drying time and qualitative criteria of saffron stigma. *Journal of Saffron Research* 7 (2): 177-188. (In Persian with English Summary).
- Molina, R., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J., and Garcia-Luis, A. 2005. Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulturae* 103 (3): 361-379.
- Munns, R., and Tester, M. 2008. Mechanism of salinity tolerance, *The Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
- Omidi, H., Naghdibadi, H.A., Golzad, A., Torabi, H., and Fotokian, M.H. 2009. The effect of chemical and biological nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Medicinal Plants* 9 (3): 98-109.
- Paivandi, M., Parande, H., and Mirza, M. 2011. Compared the impact of nano iron chelated with iron chelate on growth parameters and antioxidant enzyme activity of *Ocimum Basilicum*. *Journal of Cellular and Molecular Biology* 4: 1-12.
- Rezvani Moghaddam, P., Mohammad Abadi, A.A., Fallahi, J., and Aghhavani Shajari, M. 2011. Effects of chemical and organic fertilizers on number of corm and stigma yield of saffron (*Crocus sativus* L.). 59th International Congress and Annual Meeting of the Society for Medicinal Plant and Natural Product Research, Antalya, Turkey, 4-9 September 2011.
- Rezai, S., and Paseban, M.P. 2006. The effect of micronutrients and manure fertilizers on the quantity and quality of Khorasan Saffron. *Proceeding of 2nd international symposium on Saffron Biology and Technology*, Mashhad, Iran.
- Rezazi, A., Labafi, M.R., Mehrabi, Z., Nazeran, M.H., and Khalaj, H. 2010. Effect of iron chelate nano fertilizer on yield of saffron (*Crocus sativus* L.). 11th Iranian Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding. 2nd to 4th of August 2010, Shahid Beheshti University, Iran. (In Persian).
- Rostami, M., Mohammad Parast, B., and Golfam, R. 2015. Effect of different levels of salinity stress on some physiological characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology* 3 (3): 179-193. (In Persian with English Summary).
- Sahabi, H. 2017. Effect of maternal corm weight and foliar application on yield and characteristics of daughter corm of Iranian and Spanish saffron (*Crocus sativus* L.) corms. Ph.D. Dissertation. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English Summary).
- Taiz, L., and Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. Sinauer Associates. Inc. Publishers.
- Zahedi, H., and Alipoor, A. 2018. Effect of foliar application of iron and manganese nano chelate on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) under dehydration stress conditions at different growth stages. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences* 11 (4): 647-861. (In Persian with English Summary).
- Zhu, J. 2001. Plant salt tolerance. *Journal of Trends in Plant Science* 6 (2): 66-71.