



Original Article

Effects of Irrigation Water Quality, Bio-fertilizer and Nanoparticles of Fe on Yield and Some Physiological Traits of Saffron (*Crocus sativus* L.)

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

1- PhD Graduated Student in Agronomy of University of Birjand, Researcher of Saffron Institute, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran.

2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Academic Staff of Saffron Research Group and Plant and Environmental Stresses Research Group, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

3- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Academic Staff of Saffron Research Group and Plant and Environmental Stresses Research Group, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran.

*Corresponding Author: smahmoodi@birjand.ac.ir

Received 29 June 2021; Accepted 16 October 2021

Extended Abstract

Introduction: Nutrition management in saffron cultivation is one of the important issues in the production of this valuable product. Studies have shown that the use of bio-fertilizers and nano-fertilizers can be effective in reducing the inhibitory effects of drought and salinity stress. Also nano-fertilizers have high consumption efficiency and can optimally release their nutrients at a suitable point in the root growth area. The tendency of saffron to grow in a dry climate has caused the cultivation of this plant to expand in the eastern lands of the country. Meanwhile, the lands in the east of the country often face drought and salinity problems due to low and scattered rainfall. Thus, present study was performed to investigate the effects of salinity levels, bio-fertilizer and nano-fertilizer of Fe on yield and physiological characteristics of saffron.

Materials and Methods: Present study was performed in a farm that located in Torbat Heydarieh city, in 2018-2019. The experiment was conducted as factorial layout based on a randomized complete block design with three replications and analyzed by combined analysis in location (salinity). Bio-fertilizer was applied at four levels of zero, 500, 1000 and 1500 kg ha⁻¹ and nano particles of Fe was applied at two levels of non-used and application of four liters per hectare. These factors were investigated in two locations with different irrigation salinity (2.29 and 4.49 dS m⁻¹).

Results and Discussion: The results showed that there was the highest value for dry weight of stigma in irrigation conditions with salinity of 2.29 dS m⁻¹. In this trait, under the conditions of irrigation with 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 salinity of 4.49 dS m⁻¹, the application of

nano-fertilizer of Fe compared to non-application, caused a significant increase of 32.8% for dry weight of stigma. Comparison of mean for triple interaction showed that in irrigation conditions with salinity of 4.49 dS m^{-1} and in all levels of bio-fertilizer, the application of nano-fertilizer of Fe compared to control increased the amount of chlorophyll b and RWC, significantly. At both salinity levels of 2.29 and 4.49 dS m^{-1} , by increasing amounts of bio-fertilizer, the amount of carotenoids significantly increased. Also, at both salinity levels of 2.29 and 4.49 dS m^{-1} and all levels of bio-fertilizer, the application of Fe nano-fertilizer significantly increased carotenoids compared to conditions of non-application. In irrigation conditions with salinity of 4.49 dS m^{-1} and at levels of zero and 500 kg ha^{-1} of bio-fertilizer, the application of Fe nano-fertilizer prevented increasing of proline, significantly and prevented the occurrence of more electrolyte leakage.

Conclusion: In the present research, increasing the salinity from 2.29 to 4.49 dS m^{-1} caused a significant decrease in dry weight of saffron stigma. However, in the conditions of applying irrigation with a salinity of 4.49 dS m^{-1} , the application of iron nano-fertilizer caused a significant increase in dry weight of stigma compared to its non-application. With increasing amounts of bio-fertilizer in both irrigation conditions, the amount of chlorophyll a also increased. In addition, in irrigation conditions with a salinity of 4.49 dS m^{-1} and at all levels of bio-fertilizer, the application of iron nano-fertilizer significantly increased the amount of chlorophyll b and RWC, compared to the conditions without its application. Also, in irrigation conditions with salinity of 4.49 dS m^{-1} and at the levels of zero and 500 kg ha^{-1} of bio-fertilizer, the application of iron nano-fertilizer significantly prevented the increase of proline and in the same conditions and at all levels of bio-fertilizer, it prevented to do more electrolytes leakage. Based on these results, in order to achieve higher yields in saffron cultivation, irrigation with less saline water is recommended and in case of irrigation with salinity of more than 4.2 dS m^{-1} in saffron cultivation, the use of iron and bio-fertilizers is recommended to improve the physiological characteristics.

Conflict of Interest: The authors declare no potential conflict of interest related to this research.

Keywords: Carotenoids, Dry weight of stigma, Electrolytes leakage, Proline.



نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)

جلد یازدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۲

شماره صفحه: ۳۱-۴۷

doi <http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2021.4471.1164>

مقاله پژوهشی:

تأثیر کیفیت آب آبیاری، کود زیستی و نانو ذرات آهن بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک زعفران (*Crocus sativus* L.)

علیجان سالاریان^۱، سهراب محمودی^{۲*}، محمد علی بهدانی^۲، حامد کاوه^۴

۱- دانش آموخته دکتری زراعت دانشگاه بیرجند، پژوهشگر پژوهشکده زعفران، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران.

۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، عضو هیأت علمی گروه پژوهشی زعفران و گروه پژوهشی گیاه و تنش های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۳- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، عضو هیأت علمی گروه پژوهشی زعفران و گروه پژوهشی گیاه و تنش های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۴- استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۴

چکیده

با هدف بررسی اثر سطوح کود زیستی، نانو کود آهن و شوری آب آبیاری بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی زعفران، آزمایشی بصورت فاکتوریل دو عاملی (کود زیستی و نانو ذرات آهن) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان تربت حیدریه در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد و مورد تجزیه مرکب در مکان (شوری) قرار گرفت. عامل کود زیستی در چهار سطح صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم درهکتار و عامل کود نانو ذرات آهن در دو سطح عدم مصرف و کاربرد چهار لیتر در هکتار بودند که در دو مکان با شرایط متفاوت شوری آب آبیاری (۲/۲۹ و ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر) بررسی شدند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد کلاله، در شرایط آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد ولی در این سطح شوری، بین سطوح کاربرد و عدم کاربرد نانو کود آهن اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد نانو کود آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن، باعث افزایش معنی‌دار ۳۲/۸ درصدی عملکرد کلاله شد و همچنین بطور معنی‌داری سبب افزایش میزان کلروفیل b و محتوی نسبی آب (RWC) شد. در هر دو شرایط آبیاری، با افزایش مقادیر کود زیستی، میزان کاروتنوئیدها بطور معنی‌داری افزایش یافت و در تمامی سطوح کود زیستی، کاربرد نانو کود آهن، نسبت به شرایط عدم کاربرد آن، سبب افزایش معنی‌دار کاروتنوئیدها شد. در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و در سطوح صفر و ۵۰۰ کیلوگرم درهکتار کود زیستی، کاربرد نانو کود آهن، بطور معنی‌داری از افزایش پرولین جلوگیری و از نشتن بیشتر الکترولیت‌ها ممانعت کرد. در مجموع، در صورت آبیاری زعفران با آب شور، استفاده از کودهای زیستی و نانو کود آهن جهت بهبود خصوصیات فیزیولوژیک توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، کاروتنوئیدها، نشتن الکترولیت‌ها، عملکرد کلاله.

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده کشاورزی در دنیا محسوب می‌شود. این در حالی است که اراضی فاریاب در جهان بطور جدی مستعد شور شدن هستند (Kafi et al., 2018). به همین جهت، شوری عامل شناخته شده‌ای است که تأثیر منفی بر تولید بسیاری از محصولات در سرتاسر جهان دارد. 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 مناطق، شوری خاک و آب آبیاری می‌باشد (Cha-um et al., 2013; Kafi et al., 2018). تجمع نمک در اطراف ریشه، ابتدا از طریق منفی‌تر کردن پتانسیل اسمزی محلول خاک، توانایی گیاه را برای جذب آب کاهش می‌دهد. در صورت تداوم شوری، سمیت یونی در گیاه رخ می‌دهد. چرا که نمک‌ها، وارد جریان تعرقی گیاه شده و به سلول‌های در حال تعرق، خسارت وارد می‌کنند (Adolf et al., 2013; Kafi et al., 2018). در این شرایط، تجمع بالای یون‌های سمی از قبیل سدیم و کلر در کلروپلاست سلول‌ها رخ می‌دهد (Cha-tum et al., 2013). ضمن آنکه عدم تعادل در میزان املاح خاک ممکن است به رقابت بین عناصر منجر شود، یعنی حضور یک یون جذب دیگر را محدود می‌کند. این موضوع سبب می‌شود تا نمک‌های محلول در غلظت‌های بالا به علت عدم تعادل مواد غذایی تأثیر منفی بر رشد گیاه بگذارند (Kafi et al., 2018). اصغری و همکاران (Asghari et al., 2019) طی بررسی اثرات تنش شوری بر گیاه زعفران گزارش کردند که افزایش سطح شوری از چهار به هفت دسی‌زیمنس بر متر سبب افزایش اندک کلروفیل a در زعفران شد، اما افزایش شوری از هفت به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، باعث کاهش چشمگیر کلروفیل a زعفران گردید. در تحقیقی دیگر، رستمی و همکاران (Rostami et al., 2015) طی بررسی اثرات تنش شوری بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک زعفران، اظهار داشتند که به ازای هر واحد افزایش شوری، محتوی نسبی آب برگ، ۱/۵ درصد کاهش یافت. مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد کودهای زیستی و نانو کودها، می‌تواند در کاهش اثرات بازدارنده تنش‌های خشکی و شوری موثر باشد (Zahedi et al., 2018; Zahedi et al., 2018). به عنوان مثال، حاجی‌نیا و همکاران (Haji Nia et al., 2011) در بررسی اثر کود زیستی قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* و باکتری *Azospirillum* در افزایش تحمل گندم (رقم سرداری) به تنش شوری، اظهار داشتند که تلقیح گندم با این قارچ اندوفیت، موجب افزایش معنی‌دار میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ گیاه گندم در مقایسه با شاهد گردید و گیاهان تلقیح شده با قارچ *Piriformospora indica* بیشترین مقدار کربوهیدرات محلول (۱/۸۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) را دارا بودند. همچنین آنها بیان نمودند این ریزجانداران اندوفیت سبب افزایش معنی‌دار زیست‌توده تر و خشک گیاه گندم در شرایط تنش شوری شدند که البته تأثیر قارچ *Piriformospora indica* در ارتقای سطح زیست‌توده بیشتر بود. 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 خاکری مفید که توانایی تولید مواد محرک رشد گیاه را داشته باشند، می‌باشد (Khosravi et al., 2009). تحقیقات نشان داده‌اند که کاربرد منفرد از توباکتر 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). نتایج مطالعات پیوندی و همکاران (Paivandi et al., 2011) نشان داد که جایگزینی کود آهن تهیه شده با فناوری نانو در مقایسه با کودهای آهن رایج در غلظت مناسب یا کمتر، می‌تواند سبب افزایش رشد کمی و کیفی گیاه ریحان شود. در تحقیقی دیگر، محلول پاشی نانوذرات آهن و منگنز اثر تنش کم آبی را بر روی گیاه جو بطور معنی‌داری کاهش داد و منجر به افزایش شاخص برداشت و محصول دانه گردید (Zahedi et al., 2018). بطور کلی، پژوهش‌های بعمل آمده در ارتباط با اثربخشی نانوکودها، دلالت بر افزایش راندمان ورودی- خروجی در تولید محصولات کشاورزی از طریق بهبود کارایی جذب کود دارد (Cui et al., 2006). نانوکودها راندمان مصرف بالایی دارند و می‌توانند به صورت مطلوب در

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده کشاورزی در دنیا محسوب می‌شود. این در حالی است که اراضی فاریاب در جهان بطور جدی مستعد شور شدن هستند (Kafi et al., 2018). به همین جهت، شوری عامل شناخته شده‌ای است که تأثیر منفی بر تولید بسیاری از محصولات در سرتاسر جهان دارد. 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 مناطق، شوری خاک و آب آبیاری می‌باشد (Cha-um et al., 2013; Kafi et al., 2018). تجمع نمک در اطراف ریشه، ابتدا از طریق منفی‌تر کردن پتانسیل اسمزی محلول خاک، توانایی گیاه را برای جذب آب کاهش می‌دهد. در صورت تداوم شوری، سمیت یونی در گیاه رخ می‌دهد. چرا که نمک‌ها، وارد جریان تعرقی گیاه شده و به سلول‌های در حال تعرق، خسارت وارد می‌کنند (Adolf et al., 2013; Kafi et al., 2018). در این شرایط، تجمع بالای یون‌های سمی از قبیل سدیم و کلر در کلروپلاست سلول‌ها رخ می‌دهد (Cha-tum et al., 2013). ضمن آنکه عدم تعادل در میزان املاح خاک ممکن است به رقابت بین عناصر منجر شود، یعنی حضور یک یون جذب دیگر را محدود می‌کند. این موضوع سبب می‌شود تا نمک‌های محلول در غلظت‌های بالا به علت عدم تعادل مواد غذایی تأثیر منفی بر رشد گیاه بگذارند (Kafi et al., 2018). اصغری و همکاران (Asghari et al., 2019) طی بررسی اثرات تنش شوری بر گیاه زعفران گزارش کردند که افزایش سطح شوری از چهار به هفت دسی‌زیمنس بر متر سبب افزایش اندک کلروفیل a در زعفران شد، اما افزایش شوری از هفت به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، باعث کاهش چشمگیر کلروفیل a زعفران گردید. در تحقیقی دیگر، رستمی و همکاران (Rostami et al., 2015) طی بررسی اثرات تنش شوری بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک زعفران، اظهار داشتند که به ازای هر واحد افزایش شوری، محتوی نسبی آب برگ، ۱/۵ درصد کاهش یافت.

مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد کودهای زیستی و نانو کودها، می‌تواند در کاهش اثرات بازدارنده تنش‌های خشکی و شوری موثر باشد (Zahedi et al., 2018; Zahedi et al., 2018).

شرکت دانش بنیان نانو فناور پژوهش مرکزی تهیه شد و شامل مواد هیومیک، اسید آمینه، دو سویه قارچ میکوریزی *Glomus versiforme* و *G. etunicatum* و عناصر نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم و گوگرد بود (جدول ۱).

قبل از آماده سازی زمین، از شش نقطه به طور تصادفی و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری نمونه برداری از خاک به عمل آمد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). آماده سازی زمین در اردیبهشت ماه ۱۳۹۸ اجرا و کاشت در ۱۰ خرداد سال ۱۳۹۸ صورت گرفت. عامل کود بیوارگانیک (گرانول شده) در مرحله سله شکنی (بعد از اولین آبیاری در اواخر مهر ماه و گاو رو شدن مزرعه) اعمال شد. همچنین عامل نانو ذرات آهن بصورت محلول در آب در سه نوبت اعمال گردید. بدین ترتیب که نوبت اول همراه با اولین آبیاری (مهرماه) و نوبت دوم در دومین آبیاری (زائچ 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 موتورها دو منطقه مجزا با شوری های ۲/۲۹ و ۴/۴۹ دسی زیمنس 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 اندازه گیری 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 سانتی-متر بود. فاصله بین کرت ها یک متر و فاصله بین بلوک ها سه متر منظور شد. بنه های مادری با وزن هشت تا ۱۲ گرم و به فاصله پنج سانتی متر روی ردیف (با تراکم ۱۰۰ پیاز در متر مربع) و در عمق ۱۵ سانتی متر در داخل هر کرت و با دست کاشته شدند. پس از کاشت، تمامی عملیات زراعی نظیر آبیاری، مبارزه با علف هرز و سله شکنی در تمام تیمارها بصورت یکسان اعمال شد.

نقطه مناسبی از ناحیه رشد ریشه، عناصر غذایی خود را رها کنند (Lai, 2007).

زعفران (*Crocus sativus*) یکی از کالاهای صادراتی غیرنفتی مهم ایران است. ایران بزرگترین تولیدکننده و صادرکننده زعفران در جهان بوده و بیش از ۹۰ درصد تولید جهانی این محصول به ایران اختصاص دارد (Agricultural Statistics, 2019). استان خراسان رضوی به عنوان مهمترین منطقه تولید زعفران در ایران می باشد (Agricultural Statistics, 2019; Sahabi, 2017). نیاز پایین زعفران به آبیاری و البته تمایل آن به رشد در آب و هوای خشک، سبب شده است تا کشت و کار این گیاه بیشتر در اراضی شرق کشور گسترش پیدا کند (Kafi et al., 2002). این در حالی است که اراضی شرق کشور به دلیل نزولات جوی کم و پراکنده، اغلب با مشکلات خشکی و شوری مواجه هستند (Kafi et al., 2018). لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی تاثیر کودهای زیستی و نانو بر کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری بر زعفران صورت پذیرفت.

مواد و روش ها

این پژوهش در مزرعه ای واقع در شهرستان تربت حیدریه با عرض جغرافیایی ۳۴°۱۷' شمالی و طول جغرافیایی ۵۹°۱۲' شرقی و ارتفاع ۱۳۳۳ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. آزمایش بصورت تجزیه مرکب در مکان در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار و دو شرایط آبیاری با آب چاه موتور (با شوری های ۲/۲۹ و ۴/۴۹ دسی زیمنس بر متر، در شرایط خاک با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی یکسان) و دو عامل کودی (کود زیستی و نانو ذرات آهن) انجام شد. عامل کود زیستی (از نوع بیو ارگانیک گرانول شده) در چهار سطح شامل مقادیر صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و عامل کود نانو ذرات آهن در دو سطح شامل مصرف چهار لیتر در هکتار و عدم مصرف بودند. قابل ذکر است که کود زیستی از

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی کود زیستی مورد استفاده.

Table 1. Chemical characteristics of used bio-fertilizer.

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

جدول ۲. خصوصیات خاک محل انجام آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتیمتر).

Table 2. Soil characteristics of the test site (depth 0-30 cm).

هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	اسیدیته pH	پتاسیم K ₂ O (ppm)	فسفر P ₂ O ₅ (ppm)	نیترژن کل Total N (%)	کربن آلی OC (%)	آهن Fe (ppm)	روی Zn (ppm)	سدیم Na (ppm)	مس Cu (ppm)	منگنز Mn (ppm)	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

میزان کلروفیل‌های a و b و همچنین کاروتنوئیدهای برگ‌ها نیز در همان زمان با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Wellburn, 1994) تعیین شدند. سنجش میزان پرولین برگ‌ها نیز به روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) صورت پذیرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab 17 و مقایسه میانگین‌ها به روش حداقل اختلاف معنی-دار محافظت شده (FLSD) انجام شدند و برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

عملکرد کلاله

اثر متقابل شوری و نانو کود آهن بر عملکرد کلاله زعفران معنی‌دار شد (جدول ۳). بطوری که بیشترین عملکرد 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 عملکرد کلاله به بیش از ۰/۱۷۲ گرم در متر مربع رسید. در دو تیمار دیگر عملکرد 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 عملکرد کلاله زعفران گردید (جدول ۴). کمترین عملکرد 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، عملکرد 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 عملکرد کلاله زعفران گردید. هر

با شروع گلدهی و رسیدن زمان برداشت گل‌ها (هفته اول آبان ماه) گل‌های زعفران جمع‌آوری و عملکرد کلاله آن اندازه‌گیری گردید. در همان زمان، محتوی نسبی آب برگ (RWC) با استفاده از جداسازی یک برگ جوان کاملاً توسعه یافته از بوته و اندازه‌گیری وزن تر آن و قرار دادن آن در آب به مدت ۲۴ ساعت (شرایط تاریکی و دمای چهار درجه سانتیگراد) و تعیین وزن اشباع و سپس وزن خشک آن (۷۵ درجه سانتیگراد آن به مدت ۲۴ ساعت) و با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید (Ritchie & Nguyen, 1990).

معادله ۱:

$$100 \times (\text{وزن خشک} - \text{وزن اشباع} / \text{وزن خشک} - \text{وزن تر}) = \text{محتوای رطوبت نسبی برگ}$$

جهت اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها (EL) یک برگ جوان کاملاً توسعه یافته از هر کرت بطور تصادفی انتخاب شد و در داخل ظروف شیشه‌ای که با ۲۰ میلی-لیتر آب دوبار تقطیر شده پر شده بود، قرار گرفت و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد. سپس نشت اولیه آن با استفاده از دستگاه EC^۲ متر اندازه-گیری گردید (EC₁). به منظور اندازه‌گیری میزان نشت کل الکترولیت‌ها در اثر مرگ سلول، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در اتوکلاو (با فشار ۱/۲ بار و دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد) قرار داده شدند. پس از آن، نمونه‌ها مجدداً به محیط آزمایشگاه منتقل شده و بعد از ۲۴ ساعت، نشت نهایی آنها (EC₂) اندازه‌گیری گردید. در نهایت درصد نشت الکترولیت‌ها با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد (Blum et al., 2001).

$$\text{معادله ۲: } EL\% = \frac{EC_1}{EC_2} \times 100$$

1 Relative Water Content

2 Electrolyte Leakage

3 Electrical Conductivity

یافت و با افزایش مصرف نانو کود آهن از پنج به ۱۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد کلاله نیز بطور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. در پژوهشی دیگر، صحابی (Sahabi, 2017) نیز طی بررسی تاثیر محلول‌پاشی برگی بر روی خصوصیات عملکردی زعفران، در گزارشات خود اظهار داشت که بیشترین عملکرد کلاله زعفران، در شرایط محلول‌پاشی کود کامل بدست آمد. بقائی و ملکی فراهانی (Baghaee & Maleki Farahani, 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 سرعت فتوسنتز ناشی از جذب بیشتر آهن، سبب تولید بنه‌هایی با وزن بالا و افزایش معنی‌دار وزن بنه گردید.

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 اندازه‌ای اثرات منفی شوری را بر روی عملکرد کلاله زعفران کاهش داد. با توجه به اینکه آهن در ساختار برخی پروتئین‌های حفاظت‌کننده اندامک‌ها و غشاهای زیستی حضور داشته و برای برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسدانی همچون سوپر اکسید دیسموتاز به عنوان کوفاکتور عمل می‌کند (Kafi et al., 2018)، لذا به نظر می‌رسد که فراهمی آن در زمان بروز تنش شوری می‌تواند در افزایش مقاومت گیاه در برابر این تنش موثر باشد. رزازی و همکاران (Rezazi et al., 2010) نیز طی بررسی تاثیر نانو کود آهن بر روی عملکرد زعفران اظهار داشتند که با کاربرد نانو کود آهن، عملکرد کلاله زعفران بطور معنی‌داری افزایش

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر شوری، کود زیستی و نانو کود آهن بر عملکرد کلاله و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه زعفران

Table 3. Analysis of variance (MS) for effects of salinity, bio-fertilizer and nano-fertilizer of Fe on stigma yield and some physiological characteristics of saffron.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد کلاله Yield of stigma	محتوی نسبی آب RWC	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئیدها Carotenoids	پرولین Proline	نشت الکترولیت‌ها EL
شوری Salinity (S)	1	0.048 ns	1887 **	0.076 ns	0.0002 *	0.385 *	1302 *	1279 **
خطای a Error a	4	0.015	19.2	0.010	0.00003	0.047	87.3	35.5
کود زیستی Bio-fertilizer (B)	3	0.001 ns	79.2 **	0.007 **	0.00003 **	0.044 **	54.7 **	43.4 **
نانو کود آهن Nano-fertilizer of Fe (N)	1	0.002 ns	1.69 **	0.0003 **	0.000004 **	0.005 **	5.33 **	6.45 **
شوری × کود زیستی S × B	3	0.0002 ns	6.02 **	0.0004 **	0.000001 **	0.001 **	16.7 **	4.90 **
شوری × نانو کود آهن S × N	1	0.016 *	1.02 **	0.0002 *	0.000001 **	0.003 **	5.33 **	0.160 *
کود زیستی × نانو کود آهن B × N	3	0.001 ns	0.19 ns	0.0002 *	0.000001 *	0.0002 **	0.670 ns	0.511 **
شوری × کود زیستی × نانو کود آهن S × B × N	3	0.001 ns	1.19 **	0.0001 ns	0.000001 *	0.0008 **	2.00 *	0.320 **
خطای b Error b	28	0.002	0.10	0.00004	0.000001	0.00003	0.450	0.040
ضریب تغییرات (%) CV (%)	-	29.03	0.39	2.61	7.63	1.03	2.84	0.87

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

ns, * and **: non-significant, significant in 5% and 1% level, respectively

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و نانو کود آهن بر صفات عملکرد کلاله و کلروفیل a زعفران.

Table 4. Mean comparisons for interaction of salinity and nano-fertilizer of Fe on yield of stigma and chlorophyll a of saffron.

شوری Salinity	نانو کود آهن Nano-fertilizer of Fe (lit ha ⁻¹)	عملکرد کلاله Yield of stigma (g m ⁻²)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg gFW ⁻¹)
۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر 2.29 dS m ⁻¹	0	0.197 a	0.281 a
	4	0.173 ab	0.282 a
۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر 4.49 dS m ⁻¹	0	0.098 c	0.197 c
	4	0.146 b	0.207 b
LSD 0.05	-	0.074	0.010

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون FLSD با یکدیگر ندارند. Means that have at least one letter in common, do not have significant difference at 5% probability level based on FLSD test.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل شوری، کود زیستی و نانو کود آهن بر صفات RWC، کلروفیل b، کاروتنوئیدها، پرولین و نشت الکترولیت در زعفران.

Table 5. Mean comparisons for interaction of salinity, bio-fertilizer and nano-fertilizer of Fe on RWC, chlorophyll b, carotenoids, proline and electrolyte leakage of saffron.

شوری Salinity	کود زیستی Bio-fertilizer (kg ha ⁻¹)	نانو کود آهن Nano-fertilizer of Fe (lit ha ⁻¹)	محتوی نسبی آب RWC (%)	کلروفیل b chlorophyll b (mg gFW ⁻¹)	کاروتنوئیدها carotenoids (mg gFW ⁻¹)	پرولین proline (μg gFW ⁻¹)	نشت الکترولیت- (%) ها	
۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر 2.29 dS m ⁻¹	0	0	85.3 d	0.0136 f	0.563 f	18.6 ef	19.9 i	
		4	84.3 e	0.0130 g	0.543 g	19.6 e	18.9 j	
	500	0	85.3 d	0.0143 e	0.586 e	19.6 e	17.9 k	
		4	86.3 c	0.0150 d	0.610 d	19.6 e	17.8 k	
	1000	0	87.3 b	0.0160 c	0.653 c	17.6 fg	17.1 l	
		4	87.3 b	0.0160 c	0.653 c	17.6 fg	17.1 l	
	1500	0	89.1 a	0.0166 b	0.676 b	17.6 fg	17.1 l	
		4	89.3 a	0.0176 a	0.697 a	16.6 g	15.8 m	
	۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر 4.49 dS m ⁻¹	0	0	70.3 l	0.0093 l	0.360 m	34.0 a	31.9 a
			4	71.3 k	0.0103 k	0.416 k	31.6 b	30.9 b
500		0	72.3 j	0.0093 l	0.386 l	30.6 b	29.0 c	
		4	72.3 j	0.0100 k	0.410 k	28.6 c	27.8 d	
1000		0	75.3 i	0.0110 j	0.453 j	27.3 c	27.1 e	
		4	76.3 h	0.0116 i	0.476 i	27.6 c	26.8 f	
1500		0	77.6 g	0.0123 h	0.503 h	25.6 d	25.8 g	
		4	78.3 f	0.0133 fg	0.543 g	24.6 d	25.0 h	
LSD 0.05		-	-	0.528	0.0001	0.008	1.12	0.334

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون FLSD با یکدیگر ندارند.
Means that have at least one letter in common, do not have significant difference at 5% probability level based on FLSD test.

محتوی نسبی آب (RWC)

معنی‌داری بر روی محتوی نسبی آب نداشت. اما در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و در تمامی سطوح کود زیستی، کاربرد نانو کود آهن، بطور معنی‌داری از کاهش محتوی نسبی آب جلوگیری کرد (جدول ۵). کمترین میزان محتوی نسبی آب نیز در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و عدم کاربرد کود زیستی و نانو کود آهن مشاهده شد. به گونه‌ای که در این تیمار، میزان محتوی نسبی آب، حتی به ۷۱ درصد هم نرسید (جدول ۵). رستمی و همکاران (Rostami et al., 2015) نیز طی بررسی اثرات تنش شوری بر روی برخی خصوصیات فیزیولوژیک زعفران، کاهش معنی‌دار محتوی نسبی آب را طی افزایش سطوح تنش شوری گزارش کرده و عنوان کردند که به ازای هر واحد افزایش شوری، محتوی نسبی آب برگ، ۱/۵ درصد کاهش یافت. آنها این موضوع را به تاثیر تنش شوری بر روی منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی برگ و کاهش فراهمی آب و بروز پدیده خشکی فیزیولوژیک نسبت دادند. تحقیقات نشان داده‌اند که تجمع برخی از املاح و عناصر در سیتوسول سلول‌های برگ می‌تواند باعث منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی سلول‌ها شده و از خروج آب از سلول‌ها جلوگیری کند (Chimenti et

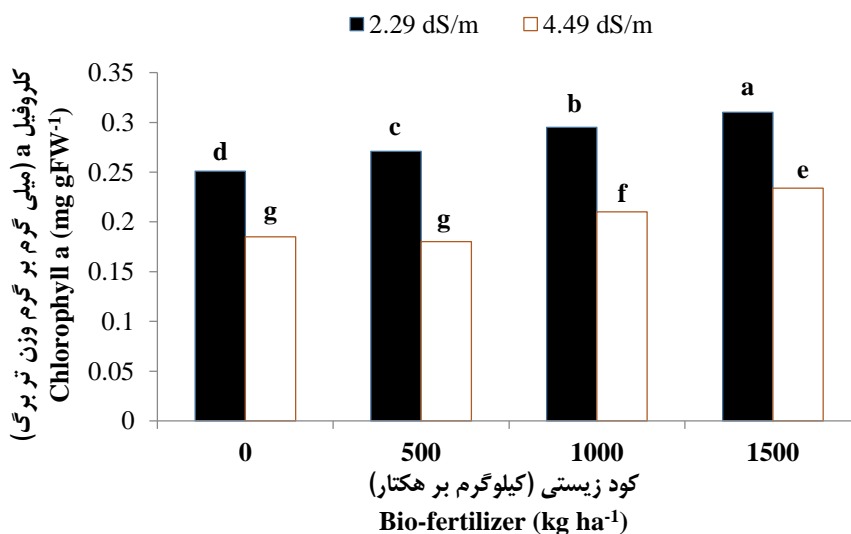
اثر متقابل سه گانه شوری، کود زیستی و نانو کود آهن بر میزان محتوی نسبی آب زعفران معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین صورت که بیشترین میزان محتوی نسبی آب در تیمارهای اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط کاربرد کود زیستی و سطوح نانو کود آهن مشاهده شد و فقط در این دو تیمار بود که محتوی نسبی آب به بیش از ۸۹ درصد رسید. در سایر تیمارها میزان محتوی نسبی آب کمتر از ۸۷/۵ درصد بود (جدول ۵). میزان محتوی نسبی آب در تمامی سطوح اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر، از سطوح مشابه خود در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر بطور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۵). به عبارت دیگر، در سطوح مختلف آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر، میزان محتوی نسبی آب بیش از ۸۵ درصد بود. در حالی که در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، میزان محتوی نسبی آب در سطوح مختلف تیماری حتی به ۷۹ درصد هم نرسید (جدول ۵). در شرایط آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد مقادیر کود زیستی ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار، کاربرد نانو کود آهن تاثیر

سید شریفی و سید شریفی (Seyed Sharifi & Seyed Sharifi, 2019) در تحقیقات خود دریافته‌اند که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط استفاده از کودهای زیستی می‌تواند تا حد زیادی اثرات نامطلوب ناشی از تنش خشکی را در گیاه آفتابگردان تعدیل کند.

کلروفیل a

اثر متقابل شوری و کود زیستی بر میزان کلروفیل a زعفران معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین ترتیب که بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط کاربرد ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی مشاهده شد و فقط در این تیمار بود که میزان کلروفیل a به بیش از ۰/۳۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ رسید. در سایر تیمارها میزان کلروفیل a کمتر از ۰/۲۹۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود (شکل ۱).

با قرار گرفتن گیاه در شرایط تنش‌های خشکی و شوری، میزان املاح و متابولیت‌ها هم در سلول‌های برگ و هم در کلروپلاست‌ها افزایش می‌یابد که این امر منجر به کاهش پتانسیل اسمزی برگ و در نهایت کاهش پتانسیل آب برگ می‌گردد. این فرآیند باعث می‌شود تا در طول مراحل اولیه تنش، علی‌رغم کاهش محتوی نسبی آب، حجم استرومای کلروپلاست ثابت بماند و در نتیجه ظرفیت فتوسنتزی کلروپلاست، در طول کاهش اولیه پتانسیل آب و محتوی آب نسبی برگ حفظ شود (Kafi et al., 2018; Hessini et al., 2019). با توجه به اینکه یکی از اثرات تنش شوری، درک شرایط کم‌آبی و به عبارتی درک وضعیت تنش خشکی توسط گیاه است (Kafi et al., 2018)، لذا چنانچه بتوان با کاربرد عناصری مانند نیتروژن و آهن، در منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی سیتوسول و انجام تنظیم اسمزی در سلول‌های برگ تاثیرگذار بود، می‌توان تا حدی از کاهش محتوی نسبی آب جلوگیری کرد.

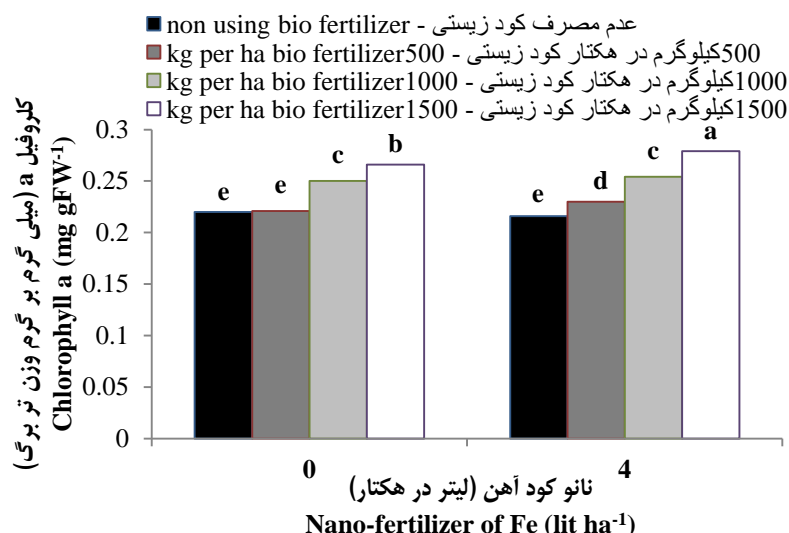


شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و کود زیستی بر میزان کلروفیل a زعفران.

Fig 1. Mean comparisons of interaction of salinity and bio-fertilizer on chlorophyll a of saffron.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون FLSLD با یکدیگر ندارند (LSD 0.05=0.010).

Means that have at least one letter in common, do not have significant difference at 5% probability level based on FLSLD test. (LSD 0.05=0.010).



شکل ۲. مقایسات میانگین اثر متقابل کود زیستی و نانو کود آهن بر میزان کلروفیل a زعفران.

Fig 2. Mean comparisons of interaction of bio-fertilizer and nano-fertilizer of Fe on chlorophyll a of saffron.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون FLSD با یکدیگر ندارند (LSD 0.05=0.010).

Means that have at least one letter in common, do not have significant difference at 5% probability level based on FLSD test (LSD 0.05=0.010).

دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد نانو کود آهن در مقایسه با آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و سطح مشابه نانو کود آهن، ۲۶/۶ درصد بیشتر بود. در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، کاربرد نانو کود آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن، باعث افزایش معنی‌دار و ۴/۸ درصدی کلروفیل a زعفران گردید؛ هرچند که این افزایش در مقدار کلروفیل a، به اندازه آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر نبود (جدول ۴). چنین به نظر می‌رسد که افزایش میزان شوری سبب کاهش مقدار کلروفیل a زعفران شده است. هر چند، کاربرد نانو کود آهن توانست تا حدی اثرات منفی تنش شوری بر روی کلروفیل a زعفران را خنثی کند. اثر متقابل کود زیستی و نانو کود آهن بر میزان کلروفیل a زعفران معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین ترتیب که بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار مصرف ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی و کاربرد نانو کود آهن مشاهده شد و فقط این تیمار بود که میزان کلروفیل a بیش از ۰/۲۷۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ از خود نشان داد. میزان کلروفیل a در این تیمار در مقایسه با شرایط مشابه کود زیستی و عدم کاربرد نانو کود آهن ۴/۶۶ درصد بیشتر بود. بطور کلی در سایر تیمارها میزان کلروفیل a حتی به ۰/۲۶۷ میلی‌گرم بر گرم وزن

میزان کلروفیل a در تیمار آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی نسبت به تیمار آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد مقدار مشابه کود زیستی به میزان ۲۴/۵ درصد بیشتر بود. در سطوح مختلف کود زیستی آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل a گردید (شکل ۱). تیمار آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و عدم مصرف کود زیستی، کمترین میزان کلروفیل a را از خود نشان داد. بطوری که در این تیمار، میزان کلروفیل a حتی به ۰/۱۸۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ هم نرسید (شکل ۱). علاوه بر این، اثر متقابل شوری و نانو کود آهن بر میزان کلروفیل a زعفران معنی‌دار شد (جدول ۳). بطوری که بیشترین میزان کلروفیل a در شرایط آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد و در این تیمار بین شرایط کاربرد و عدم کاربرد نانو کود آهن اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در این دو تیمار میزان کلروفیل a به بیش از ۰/۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ رسید. در حالی که در دو تیمار دیگر میزان کلروفیل a کمتر از ۰/۲۰۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۴). به عبارت دیگر، میزان کلروفیل a در شرایط آبیاری با شوری ۲/۲۹

گردد و نیز با توجه به محدودیت رشد ریشه، گیاه به-طور مضاعف با کمبود این عناصر مواجه می‌گردد که با محلول‌پاشی آنها کمبود این عناصر در گیاه جبران می-شود.

کلروفیل b

اثر متقابل سه گانه شوری، کود زیستی و نانو کود آهن بر میزان کلروفیل b زعفران معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین صورت که بیشترین میزان کلروفیل b در تیمار اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط کاربرد ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی و کاربرد نانو کود آهن مشاهده شد و فقط در این تیمار بود که میزان کلروفیل b به بیش از ۰/۰۱۷۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ رسید. در سایر تیمارها میزان کلروفیل b کمتر از ۰/۰۱۶۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۵). میزان کلروفیل b در تمامی سطوح اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر، از سطوح مشابه خود در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر بطور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۵). بررسی نتایج مقایسات میانگین نشان داد که در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، میزان کلروفیل b در سطوح مختلف تیماری حتی به ۰/۰۱۳۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ هم نرسید (جدول ۵). با این وجود، در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و در تمامی سطوح کود زیستی، کاربرد نانو کود آهن، نسبت به شرایط عدم کاربرد آن، بطور معنی‌داری سبب افزایش میزان کلروفیل b شد (جدول ۵). کمترین میزان کلروفیل b نیز در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و عدم کاربرد نانو کود آهن و در دو شرایط عدم کاربرد و کاربرد ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی مشاهده شد. به گونه‌ای که در این دو تیمار، میزان کلروفیل b، حتی به ۰/۰۰۹۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ هم نرسید (جدول ۵). چنین به نظر می‌رسد که افزایش شوری از ۲/۲۹ به ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر در کاهش میزان کلروفیل b کاملاً تاثیرگذار بوده است. هرچند که کاربرد کود زیستی و خصوصاً کود آهن، توانست تا حدی در کاهش اثرات نامطلوب شوری بر کلروفیل b تاثیرگذار باشد. در همین راستا، منصورفر و همکاران (Mansoorifar et al., 2012) طی بررسی

تر برگ هم نرسید (شکل ۲). سطوح مختلف کود زیستی در شرایط کاربرد چهار لیتر در هکتار نانو کود آهن، نسبت به سطوح مشابه خود در شرایط عدم مصرف کود آهن، بطور معنی‌داری، میزان کلروفیل a بیشتری از خود نشان دادند. در هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد نانو کود آهن، افزایش مقادیر کود زیستی سبب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل a گردید (شکل ۲). به نظر می‌رسد که کاربرد کود زیستی توانسته است بواسطه تامین آب و مواد غذایی لازم برای سنتز کلروفیل (مانند نیتروژن) باعث افزایش مقدار آن گردد. اصغری و همکاران (Asghari et al., 2019) طی بررسی اثرات کود گاوی بر خصوصیات فیزیولوژیک زعفران تحت تنش شوری گزارش کردند که افزایش سطح شوری از چهار به هفت دسی‌زیمنس بر متر سبب افزایش اندک کلروفیل a در زعفران شد، اما افزایش شوری از هفت به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، باعث کاهش چشمگیری کلروفیل a زعفران گردید. آنها همچنین اظهار داشتند که با افزایش سطوح کود گاوی، میزان کلروفیل a زعفران بطور معنی‌داری افزایش یافت. با توجه به اینکه نیتروژن جزء لاینفک مولکول‌های کلروفیل بوده و نقش بسزایی در ساختمان کلروفیل دارد، فراهمی آن به میزان کافی، می‌تواند در افزایش سنتز کلروفیل موثر باشد (Koocheki & Sarmad, 2013). در همین راستا، ارشدی (Arshadi, 2016) در گزارشات خود، افزایش معنی‌دار کلروفیل a را در گیاه نخود، طی کاربرد توام کودهای زیستی ریزوبیوم و میکوریزا گزارش کرد. وی این موضوع را به فراهمی عناصر مورد نیاز برای سنتز کلروفیل a (خصوصاً نیتروژن) توسط ریزوبیوم و میکوریزا نسبت داد. در تحقیقی دیگر، رستمی و همکاران (Rostami et al., 2018) طی بررسی اثر کودهای مختلف بر روی خصوصیات بیوشیمیایی نعنا فلفلی تحت شرایط تنش شوری گزارش کردند که هرچند بیشترین مقدار کلروفیل a در شرایط عدم اعمال تنش شوری و کاربرد نانو کود آهن مشاهده شد، اما در شرایط شوری متوسط (۴۰ میلی مولار)، محلول‌پاشی با کودهای آهن و روی، محتوی کلروفیل a را افزایش داد. این محققین اظهار داشتند که از آنجایی که شوری به دلیل افزایش فشار اسمزی و کاهش میزان رطوبت در دسترس گیاه موجب کاهش تحرک عناصر روی و آهن در محلول خاک می-

خصوصیات فیزیولوژیک ارقام نخود زراعی در شرایط تنش خشکی اظهار داشتند که کاهش محتوی کلروفیل‌های a، b و کل طی افزایش شدت تنش رخ داد که البته این کاهش، در میزان کلروفیل b شدیدتر بود. این پژوهشگران کاهش محتوی کلروفیل‌ها در شرایط تنش را به افزایش کاتابولیسم آنها و تخریب ساختمان رنگریزه‌های فتوسنتزی خصوصاً کلروفیل و فراهم نبودن شرایط لازم جهت سنتز کلروفیل نسبت دادند. آنها همچنین بیان نمودند که در همه ارقام مورد بررسی، با افزایش شدت تنش خشکی از میزان کلروفیل b کاسته شد. لکن بیشترین کاهش مربوط به رقم بیونج و در تنش خشکی شدید بود و کمترین تغییر در میزان کلروفیل b در رقم هاشم اتفاق افتاد که در آن، بین سطوح عدم تنش و تنش‌های خشکی ملایم و شدید، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. رستمی و همکاران (Rostami et al., 2018) نیز در تحقیقات خود به بررسی اثر کودهای مختلف بر روی خصوصیات بیوشیمیایی نعنا فلفلی تحت شرایط تنش شوری پرداختند. آنها دریافتند که بیشترین مقدار کلروفیل b در شرایط عدم اعمال تنش شوری و کاربرد نانو کود آهن مشاهده شد، اما در شرایط شوری متوسط (۴۰ میلی‌مولار)، محلول‌پاشی با کود روی، محتوی کلروفیل b را افزایش داد. بطوری که بین این تیمار و تیمار عدم اعمال شوری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. البته در این پژوهش، استفاده از نانو کود آهن نتوانست اثرات منفی تنش شوری را بر روی کلروفیل b در شرایط شوری متوسط کاهش دهد.

کاروتنوئیدها

اثر متقابل سه گانه شوری، کود زیستی و نانو کود آهن بر میزان کاروتنوئیدهای زعفران معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین ترتیب که بیشترین میزان کاروتنوئیدها در تیمار اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط کاربرد ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی و کاربرد نانو کود آهن مشاهده شد و تنها در این تیمار بود که میزان کاروتنوئیدها به بیش از ۰/۶۹۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ رسید. در سایر تیمارها میزان کاروتنوئیدها کمتر از ۰/۶۷۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۵). میزان کاروتنوئیدها در تمامی سطوح اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر

متر، از سطوح مشابه خود در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر بطور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۵). در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، میزان کاروتنوئیدها در سطوح مختلف تیماری حتی به ۰/۵۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ هم نرسید، در حالی که در شرایط آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر، میزان کاروتنوئیدها در سطوح مختلف تیماری بیشتر از ۰/۵۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۵). در هر دو شرایط آبیاری با شوری‌های ۲/۲۹ و ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، با افزایش مقادیر کود زیستی، میزان کاروتنوئیدها نیز بطور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین در هر دو شرایط آبیاری با شوری‌های ۲/۲۹ و ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و در تمامی سطوح کود زیستی، کاربرد نانو کود آهن، نسبت به شرایط عدم کاربرد آن، بطور معنی‌داری سبب افزایش میزان کاروتنوئیدها شد (جدول ۵). کمترین میزان کاروتنوئیدها نیز در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و عدم کاربرد نانو کود آهن و کود زیستی مشاهده شد. به گونه‌ای که در این تیمار، میزان کاروتنوئیدها، حتی به ۰/۳۶۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ هم نرسید (جدول ۵). رنگدانه‌های فتوسنتزی از مهمترین عوامل مؤثر در ظرفیت فتوسنتزی گیاهان هستند، چرا که بطور مستقیم بر سرعت و میزان فتوسنتز و تولید زیست‌توده تاثیرگذارند. این ترکیبات، علاوه بر به دام انداختن انرژی نورانی خورشید و انتقال آن به سامانه فتوسنتزی گیاه، جزء سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه نیز تلقی شده و به تخریب رادیکال‌های آزاد و عوامل مؤثر در تنش اکسیداتیو می‌پردازند (Taiz & Zeiger, 2003; Arshadi, 2016). افزایش غلظت املاح در محیط ریزوسفر، عموماً بر روی فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه اثر منفی می‌گذارد؛ چرا که افزایش شوری، با ایجاد خشکی فیزیولوژیک و بروز سمیت یونی و همچنین برهم خوردن تعادل در جذب یون‌ها همراه است (Rostami et al., 2015). در تحقیق حاضر، افزایش شوری از ۲/۲۹ به ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر کاملاً در کاهش میزان کاروتنوئیدها تاثیرگذار بود. هرچند که کاربرد کودهای زیستی و آهن توانست تا حدی اثرات نامطلوب تنش شوری بر روی کاروتنوئیدهای زعفران را خنثی کند. عرفانیان و همکاران (Erfaniyan et al., 2014)

صفر و ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی، کاربرد نانو کود آهن، بطور معنی‌داری از افزایش پرولین جلوگیری کرد (جدول ۵). به عبارت دیگر، در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی، کاربرد نانو کود آهن، به میزان ۶/۵۴ درصد نسبت به شرایط مشابه شوری و کود زیستی و در حالت عدم کاربرد نانو کود آهن، میزان پرولین را کاهش داد. بیشترین میزان پرولین نیز در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و عدم کاربرد کود زیستی و نانو کود آهن مشاهده شد. به گونه‌ای که در این تیمار، میزان پرولین، به ۳۴ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ رسید (جدول ۵). عموماً افزایش مقدار پرولین در گیاه به موازات افزایش خسارت به غشاهای سلولی صورت می‌پذیرد و گیاه تلاش می‌کند تا با ارتقای سطح پرولین در بافت‌های خود، تا حد امکان از خسارت وارده به غشاءها بکاهد (Shinde et al., 2016). از این رو، به نظر می‌رسد که افزایش کمتر آنتی‌اکسیدانتهایی همچون پرولین در بافت‌های گیاه می‌تواند نشان‌دهنده درک کمتر تنش توسط گیاه باشد (Arshadi, 2016). در تحقیق حاضر، میزان پرولین در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد نانو کود آهن و ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی، نسبت شرایط مشابه آبیاری و عدم کاربرد کود زیستی و نانو کود آهن ۲۷/۶ درصد کمتر بود. احتمالاً کاربرد کودهای زیستی و آهن در شرایط تنش شوری، توانسته است تا در کاهش اثرات منفی تنش بر روی زعفران موثر باشد. این موضوع می‌تواند در کاهش اختلاف پتانسیل بالقوه و بالفعل زعفران در تولید کلاله موثر باشد. به عبارت دیگر، هرچند افزایش سنتز پرولین در گیاه در زمان بروز تنش، سبب افزایش مقاومت گیاه به تنش می‌شود (Yamada et al., 2005)، اما تولید آن مستلزم صرف انرژی خواهد بود. لذا چنانچه بتوان شرایطی را مهیا کرد تا گیاه درک کمتری از تنش داشته باشد، می‌توان از اتلاف انرژی و هزینه برای تولید آن جلوگیری کرد. رضائی چپانه و همکاران (Rezaei et al., 2013) در مطالعه واکنش‌های فیزیولوژیکی رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) به محدودیت آب دریافتند که با افزایش شدت تنش، گیاه رازیانه میزان پرولین خود را افزایش داد که این مکانیسم سبب شد تا میزان کلروفیل تنها در تیمار ۱۵۰ میلی‌متر

نیز با بررسی روند تغییرات صفات مرفوفیزیولوژیک ژنوتیپ‌های نخود در پاسخ به تنش شوری دریافتند که با افزایش شدت تنش، میزان کاروتنوئیدها کاهش می‌یابد. این محققین گزارش کردند که در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپ MCC760 کمترین کاهش در میزان کاروتنوئید را در سطوح مختلف شوری از خود نشان داد. آنها بیان نمودند که بالاتر بودن سطح کاروتنوئیدها در این ژنوتیپ احتمالاً سبب افزایش توانایی آن در برابر اثرات نامطلوب تنش اکسیداتیو شده و از این طریق تحمل بیشتری در برابر تنش شوری داشته باشد. در تحقیقی دیگر، جوادی‌پور و همکاران (Javadipoor et al., 2013) در مطالعات خود مبنی بر ارزیابی پارامترهای فتوسنتزی، محتوا و فلورسانس کلروفیل برگ ارقام گلرنگ تحت تنش شوری گزارش کردند که با افزایش شدت شوری، میزان کاروتنوئیدها در برخی از ارقام گلرنگ روند کاهشی از خود نشان داد.

پرولین

اثر متقابل سه‌گانه شوری، کود زیستی و نانو کود آهن بر میزان پرولین زعفران معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین صورت که کمترین میزان پرولین در تیمارهای اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط کاربرد مقادیر ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی مشاهده شد و فقط در این تیمارها میزان پرولین کمتر از ۱۷ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ بود. در سایر تیمارها میزان پرولین بیش از ۱۸/۵ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۵). میزان پرولین در تمامی سطوح اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر، از سطوح مشابه خود در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر بطور معنی‌داری کمتر بود (جدول ۵). به عبارت دیگر، در سطوح مختلف آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر، میزان پرولین کمتر از ۲۰ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ بود. در حالی که در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، میزان پرولین در سطوح مختلف تیماری بیش از ۲۴/۵ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۵). در شرایط آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر و سطوح مختلف کود زیستی، کاربرد نانو کود آهن تاثیر معنی‌داری بر روی پرولین نداشت. اما در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و در سطوح

تبخیر از تشتک تبخیر (S_4) یعنی در سطح تنش خیلی شدید کاهش یابد، اما در سایر تیمارهای آبیاری (S_1 ، S_2 و S_3) از نظر میزان کلروفیل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بنابراین، افزایش پرولین در گیاه رازیانه سبب پایداری کلروفیل تحت تنش کم آبی شد و به دنبال آن منجر به حفظ ظرفیت فتوسنتزی و ثبات نسبی عملکرد دانه گردید. البته رستمی و همکاران (Rostami et al., 2015) در گزارشات خود، عدم تاثیر معنی‌دار تنش شوری را بر روی میزان پرولین گیاه زعفران عنوان کردند. آنها اظهار داشتند که مقدار پرولین تا هدایت الکتریکی چهار دسی‌زیمنس بر متر روند افزایشی و بعد از آن با افزایش میزان شوری، روند کاهشی داشت. اما این تغییرات در میزان پرولین معنی‌دار نبودند.

نشت الکترولیت‌ها (EL)

اثر متقابل سه‌گانه شوری، کود زیستی و نانو کود آهن بر میزان نشت الکترولیت‌ها زعفران معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین صورت که کمترین میزان نشت الکترولیت‌ها در تیمارهای اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط کاربرد ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی و چهار لیتر در هکتار نانو کود آهن مشاهده شد و فقط در این تیمار میزان نشت الکترولیت‌ها کمتر از ۱۶ درصد بود. در سایر تیمارها میزان نشت الکترولیت‌ها بیش از ۱۷ درصد بود (جدول ۵). میزان نشت الکترولیت‌ها در تمامی سطوح اعمال آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر، از سطوح مشابه خود در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر بطور معنی‌داری کمتر بود (جدول ۵). به عبارت دیگر، در سطوح مختلف آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر، میزان نشت الکترولیت‌ها کمتر از ۲۰ درصد بود. در حالی که در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، میزان نشت الکترولیت‌ها در سطوح مختلف تیماری بیش از ۲۵ درصد بود (جدول ۵). در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و در تمامی سطوح کود زیستی، کاربرد نانو کود آهن، بطور معنی‌داری از افزایش نشت الکترولیت‌ها جلوگیری کرد (جدول ۵). اما این اثربخشی برای نانو کود آهن در شرایط آبیاری با شوری ۲/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر، کم-رنگ بود و فقط در دو سطح صفر و ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. بیشترین میزان نشت الکترولیت‌ها

نیز در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و عدم کاربرد کود زیستی و نانو کود آهن مشاهده شد. بطوری که در این تیمار، میزان نشت الکترولیت‌ها، به ۳۱/۹ درصد رسید (جدول ۵). پایداری غشاء از جمله عواملی است که تحت تاثیر تنش‌های مختلف از جمله شوری قرار می‌گیرد و با افزایش شدت تنش، از خاصیت نفوذپذیری انتخابی آن کاسته می‌شود (Garg & Singla, 2009). در واقع، افزایش نشت یونی، به منزله افزایش تاثیرگذاری تنش بر روی گیاه است. به همین جهت از نشت الکترولیت‌ها به عنوان شاخصی برای سنجش میزان تاثیرگذاری تنش بر روی گیاه استفاده می‌شود (Naghizadeh et al., 2014). حفظ انسجام غشاءهای سلولی و کاهش نشت الکترولیت‌ها و همچنین پاکسازی ROSها، از جمله مکانیسم‌های مقاومت گیاه در برابر تنش‌های خشکی و شوری هستند (El Sabagh et al., 2019). انجام این مکانیسم‌ها نیازمند شکل‌گیری ترکیبات بیوشیمیایی مرتبط با آنها است و این مهم، خود مستلزم فراهمی عناصر لازم جهت بیوسنتز آنها می‌باشد. در همین راستا، نقی‌زاده و همکاران (Naghizadeh et al., 2014) در گزارشات خود، افزایش ۲۷ درصدی نشت الکترولیت‌ها را برگ زعفران، طی افزایش شوری از ۴ به ۵ دسی‌زیمنس بر متر عنوان کردند. در پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد که کاربرد کودهای زیستی و نانو کود آهن، توانسته است تا در شرایط افزایش شدت شوری، در درک کمتر تنش توسط گیاه و همچنین شکل‌گیری مکانیسم‌های مقاومت به تنش شوری جهت کاهش بروز پدیده نشت یونی در گیاه زعفران موثر باشد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، افزایش شوری از ۲/۲۹ به ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر، سبب کاهش معنی‌دار عملکرد کلاله زعفران گردید. 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 عملکرد کلاله شد. با افزایش مقادیر کود زیستی در هر دو شرایط آبیاری، میزان کلروفیل a نیز افزایش یافت و بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار آبیاری با شوری ۲/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط کاربرد ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کود زیستی مشاهده شد. علاوه بر

نتایج، اثرات مثبت کود زیستی و نانو کود آهن را در زراعت زعفران، خصوصاً در شرایط آبیاری با منابع آبی شور نشان می‌دهند. لذا جهت حصول عملکردهای بالاتر در زراعت زعفران، آبیاری بوسیله آب‌های با شوری کمتر توصیه شده و در صورت آبیاری بوسیله آب‌های با شوری بیش از ۴/۲ دسی‌زیمنس بر متر، استفاده از کودهای زیستی و آهن جهت بهبود خصوصیات فیزیولوژیک توصیه می‌گردد.

این، در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و در تمامی سطوح کود زیستی، کاربرد نانو کود آهن، نسبت به شرایط عدم کاربرد آن، بطور معنی‌داری سبب افزایش میزان کلروفیل b و RWC شد. همچنین در شرایط آبیاری با شوری ۴/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر و در سطوح صفر و ۵۰۰ کیلوگرم درهکتار کود زیستی، کاربرد نانو کود آهن، بطور معنی‌داری از افزایش پرولین جلوگیری و در همان شرایط و در تمامی سطوح کود زیستی، از نشت بیشتر الکترولیت‌ها ممانعت کرد. این

منابع

- Adolf, V.I., Jacobsen, S.E., & Shabala, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, 92, 43-54.
- Arshadi, M.J. (2016). Investigation of the effect of seeds inoculation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) with arbuscular mycorrhiza and pseudo-endomycorrhiza in response to drought stress (Ph.D thesis), Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad, Iran. [in Persian].
- Asghari, R., Dadashi, M., Razavi, A., Feizi, H., & 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].
- Baghaee, N., & 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].
- Bates, I.S., Waldern, R.P., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39, 205-207.
- Blum, A., Klueva, N., & Nguyen, H.T. (2001). Wheat cellular thermos-tolerance is related to yield under stress. *Euphytica* 117, 117-123.
- Cha-um, S., Batin, C.B., Samphumphung, T., & 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.
- Chimenti, C.A., Marcantonio, M., & Hall, A.J., (2006). Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) in both early growth and flowering phases. *Field Crops Research* 95, 305-315.
- Cui, H., Sun, C., Liu, Q., Jiang, J., & Gu, W. (2006). Applications of nanotechnology in agrochemical formulation, perspectives, challenges and strategies. institute of environment and sustainable development in agriculture. Chinese Academy of agricultural sciences, Beijing, China.
- El Sabagh, A., Hossain, A., Barutcular, C., Gormus, O., Ahmad, Z., Hussain, S., Islam, M., Alharby, H., Bamagoos, A., Kumar, N., Akdeniz, H., Fahad, S., Meena, R.S., Abdelhamid, M., Wasaya, A., Hasanuzzaman, M., Sorour, S., & Saneoka, H. (2019). Effects of drought stress on the quality of major oilseed crops: Implications and possible mitigation strategies, *Applied Ecology and Environmental Research*, 17,4019-4043.
- Erfaniyan, M., Vesal, S.R., & Bagheri, A.R. (2014). Trends in morpho-physiological traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in response to salinity stress induced by sodium chloride. *Iranian Journal of Pulses Research* 5(1), 117-128. [in Persian].
- Garg, N., & Singla, R. (2009). Variability in the response of chickpea cultivars to short-term salinity, in terms of water retention capacity, membrane permeability and osmo-protection. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33, 1-7.
- Haji Nia, S., Zare, M.J., Mohammadi Gol Tappeh, E., & Rejali, F. (2011). Evaluation of the usefulness of Piriformospora indica endophytic fungus and Azospirillum Sp in increasing the tolerance of wheat of Sardari cultivar (*Triticum aestivum*) to salinity stress. *Environmental stresses in agricultural sciences*, 4(1), 21-31. [in Persian].
- Hessini, K., Issaoui, K., Ferchichi, S., Saif, T., Abdelly, C., Siddique, K.H.M., & Cristina,

- C. (2019). Interactive effects of salinity and nitrogen forms on plant growth, photosynthesis and osmotic adjustment in maize. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry* 139, 171-178.
- Javadipoor, Z., Movahedi Dehnavi, M., & Baluchi, H.R. (2013). Evaluation of photosynthetic parameters, content and leaf fluorescence of safflower cultivars under salinity stress. *Electronic Journal of Crop Production* 6(2), 35-56. [in Persian].
- Kafi, M., Borzuie, A., Salehi, M., Kamandi, M., Masumi, A., & Nabati, J. (2018). Physiology of Environmental Stresses in Plants. Jihad Daneshgahi Publications of Mashhad. 502 p. [in Persian].
- Kafi, M., Hemati Kakhki, A., & Karbasi, A. (2002). Saffron, production and processing technology. Ferdowsi University of Mashhad Publications. 276 p. [in Persian].
- Khosravi, H., Samar, S.M., Fallahi, E., Davoodi, H., & 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., & Ansari-Ul-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.
- Koocheki, A.R., & Sarmad Nia, Gh. (2013). Crop physiology. Ferdowsi University of Mashhad Publications. [In Persian].
- Lai, R., (2007). Soil science in the Era of hydrogen economy and 10 billion people. The Ohio state University, USA. pp. 1-9.
- Mansoorifar, S., Shaban, M., Ghobadi, M., & Sabaghpour, S.H. (2012). Physiological characteristics of chickpea (*cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress and nitrogen fertilizer as starter. *Iranian Journal of Pulses Research* 3(1), 101-110.[in Persian].
- Naghizadeh, M., Gholami Shabestari, M., & Shamsaddin Saied, M. (2014). The study of some physiological responses of three Iranian saffron (*Crocus sativus* L.) landraces to salinity stress. *Saffron Agronomy and Technology* 2(3), 127-136. [in Persian].
- Paivandi, M., Parande, H., & 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.
- Rezaei Chiyaneh, E. Zehtab Salmasi, S. Ghassemi Golezani, K. & delazar, A. (2013). Physiological responses of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) to water limitation. *Journal of Agroecology* 4(4), 347-355. [in Persian].
- Rezazi, A., Labafi, M.R., Mehrabi, Z., Nazeran, M.H., & 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].
- Ritchie, S.W., & Nguyen, H.T. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111.
- Rostami, G., Moghaddam, M., Ghasemi, A., & Tehranifar, A. (2018). Effect of foliar application of iron and zinc to sulfated and nanoparticle forms on morphological and biochemical properties of peppermint under salinity stress. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*. 11(3), 707- 720. [in Persian].
- Rostami, M., Mohammad Parast, B., & 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].
- 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. (Master's thesis). Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. [in Persian].
- Seyed Sharifi, R., & Seyed Sharifi, R. (2019). The effect of bio-fertilizer application on yield, oil content and antioxidant activity of sunflower enzymes in cut-off irrigation treatments. *Journal of Plant Process and Function*. 8, 97-107. [in Persian].
- Shinde, S., Villamor, J.G., Lin, W., Sharma, S., & Verslues, P.E. (2016). Proline coordination with fatty acid synthesis and redox metabolism of chloroplast and mitochondria. *Journal of Plant Physiology*. 172, 1074-1088.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2003). Plant Physiology. Sinauer Associates, Inc. Publishers.
- Wellburn, A.R. (1994). The spectral determination of chlorophyll a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*. 144, 307-313.
- Yamada, M., Morishita, H., Urano, K., Shiozaki, N., Yamaguchi Shinozaki, K., Shinozaki, K., & Yoshida, Y. (2005). Effects of free proline accumulation in petunias under drought stress. *Journal of Experimental Botany*. 56, 1975-1981.
- Zahedi, H., & 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), 861- 647. [in Persian].

COPYRIGHTS

© 2023 by the authors. Published by University of Birjand – Saffron Research Group. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

