Journal of Saffron Research (semi-annual)
Vol. 12, No. 1, Spring & summer, 2024
p. 28- 50
http://dx.doi.org/10.22077/jsr.2024.6797.1226

University of Birjand

Original Article

The Effects of Potassium and Calcium Thiosulphates on Soil Properties, Flower and Corm Yield of Saffron Under On-farm Conditions

R. Ghahramanzadeh[1], S. Khorramdel[2*], M. Ghotb Sharif [3], S. Ghahramanzadeh[4]
1- Innovation project leader, Research and development department, Tessenderlo Kerley International, Belgium
2- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
3- PhD student in Agroecolology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
4- Master student in Horticulture, Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili
* Corresponding author Email: *khorramdel@um.ac.ir*

Received 1 January 2023; Accepted 20 September 2023

Extended Abstract

Introduction: Saffron (*Crocus sativus* L.) is one of the oldest plants in Iran and plays a significant role in improving the economic and social status of farmers. However, its production mostly relies on indigenous knowledge (Koocheki et al., 2009), and its yield is considerably lower compared to other producing countries (Koocheki et al., 2012). According to available statistics, there is at least a 70% yield gap in saffron crop in Iran (Koocheki, 2018).
Nutrients, especially towards the end of the growing season (Bertheloot et al., 2008; Dordas, 2009), play a crucial role in improving flower yield of saffron. Nutrient availability is considered as one of the most effective factors in promoting the growth of daughter corms (Koocheki et al., 2014; Koocheki & Seyyedi, 2015). This study aimed to assess the impact of potassium (as KTS®) and calcium (as CaTs®) thiosulphates on soil chemical properties, as well as the quantitative yield of saffron such as leaves, daughter corms, and flower of saffron under on-farm conditions.

Materials and Methods :This experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications under on-farm management in Zaveh, Torbat-e Heydariyeh county, Khorasan-e Razavi, Iran during the 2019-2020 and 2020-2021 growing seasons. The treatments included: T_1: conventional on-farm management as control, T_2: T_1+application of 40 liters of KTS per ha three times, T_3: T_1+application of 20 liters of KTS per ha three times, T_4: T_1+application of 50 liters of CaTs per ha four times, T_5: T_1+application of 100 liters of CaTs per ha two times and T_6: T_1+application of 67 liters of CaTs per ha three times. KTS and CaTs were applied as soil treatment with irrigation. The study assessed several traits, including flower yield indices (such as flower

numbers, fresh weight of flower, dried weight of stigma per m^2 and stigma length), leaf growth (including leaf length and leaf dried weight), daughter corm yield (such as number of daughter corms, dried weight of daughter corms per m^2, daughter corm diameter and mean weight of daughter corm), and soil properties (including pH, EC, total N, available P, and available K).

Results and Discussion: The results showed that the application of potassium fertilizers (KTS) and calcium (CaTs) had a significant effect on various indices related to flowers, and leaves, as well as on the soil chemical properties. T_6 had the highest and T_5 had the lowest stigma dry weights. Similarly, the highest and lowest number of daughter corms were obtained in T_6 and T_5 treatments, respectively. The highest leaf length and dry weight of leaves were observed in T_6. The highest and lowest of daughter corm numbers (with 7950 and 1865 corms.m^{-2}, respectively) and dried weight of daughter corms (equal to 24579 and 7859 g.m^{-2}, respectively) were belonged to T_6 and T_5, respectively. Furthermore, the highest and the lowest levels of available potassium content in the soil were observed in the first stage for T_4 and conventional management (with 625 and 254 mg.kg^{-1}, respectively), respectively. The highest levels of this characteristic were observed in the second, third, fourth, and fifth stages for T_3 (with 671, 697, 723, and 758 mg.kg^{-1}, respectively), while the lowest levels were associated with conventional agricultural management (equal to 233, 217, 201, and 189 mg.kg^{-1}, respectively).

Conclusion: Based on the results, T_6 was identified as the best treatment for saffron farms in Zaveh. The study suggests that paying close attention to the balance of nutrients and chemical parameters of soil can significantly improve crop yield and soil fertility in saffron farms. The application of calcium and potassium thiosulfate fertilizers as soil amendments during the growth season resulted in a decrease in pH and available phosphorus content, as well as an increase in electrical conductivity, total nitrogen, and available potassium content in the soil. Therefore, the use of KTS and CaTs fertilizers as thiosulphate are recommended for achieving sustainable production, particularly in arid and semi-arid areas where potassium and calcium are crucial for saffron cultivation. To determine the impact of these fertilizers on the intended soil properties, it is advisable to conduct further and more extensive studies on their application in saffron farms.

Acknowledgments
The authors acknowledge with gratitude Tessenderlo Kerley International, which supported this project.

Keywords: Sustainable production, Soil fertility, Nutrition management.

نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد دوازدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۳
شماره صفحه: ۵۰ – ۲۸
http://dx.doi.org/10.22077/jsr.2024.6797.1226

مقاله پژوهشی:

اثر تیوسولفات‌های پتاسیم و کلسیم بر ویژگی‌های خاک، عملکرد گل و بنه زعفران تحت مدیریت کشاورز (On-Farm)

رباب قهرمان‌زاده[۱]، سرور خرم‌دل[۲*]، مهنا قطب شریف[۳] و سارا قهرمانزاده[۴]

۱- سرپرست پروژه های نوآوری، بخش تحقیق و توسعه، تسندرلو کرلی اینترنشنال، بلژیک
۲- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.
۳- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.
۴- دانشجوی ارشد باغبانی، گروه علوم باغبانی ،دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
* نویسنده مسئول: khorramdel@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

چکیده

این مطالعه به منظور ارزیابی اثر تیوسولفات‌های پتاسیم (KTS®) و کلسیم (CaTs®) بر ویژگی‌های شیمیایی خاک، رشد برگ و عملکرد گل و بنه‌های دختری زعفران در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان تربت حیدریه در دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارها شامل T_1: مدیریت رایج کشاورز، T_2: T_1+۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت، T_3: T_1+۲۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت، T_4: T_1+ ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت+ ۵۰ لیتر در هکتار CaTs طی چهار نوبت، T_5: T_1+۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت+۱۰۰ لیتر در هکتار CaTs طی دو نوبت و T_6: T_1+۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت+۶۷ لیتر در هکتار CaTs طی سه نوبت بودند. نتایج در سال دوم نشان داد که اثر کاربرد کودهای KTS و CaTs بر بیشتر شاخص‌های گل، برگ و بنه‌های دختری زعفران و خصوصیات شیمیایی خاک معنی‌دار بود. حداکثر و حداقل وزن خشک کلاله و تعداد و وزن خشک بنه‌های دختری برای T_6 (بترتیب با ۰/۸۷ گرم در متر مربع و ۷۹۵۰ و ۱۸۶۵ بنه دختری بر متر مربع) و T_5 (بترتیب با ۰/۳۲ گرم در متر مربع و ۲۴۵۷۹ و ۷۸۵۹ گرم بر متر مربع) مشاهده شد. مصرف KTS و CaTs موجب کاهش شاخص واکنش و افزایش هدایت الکتریکی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس و پتاسیم قابل دسترس خاک گردید. بر این اساس، استفاده از تیوسولفات‌های پتاسیم و کلسیم برای دستیابی به تولید پایدار زعفران به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تولید پایدار، حاصلخیزی خاک، مدیریت تغذیه.

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان دارای نیچاکولوژی خاص (Khorramdel et al., 2021) در ایران می‌باشد که از فناوری‌های نوین سهم اندکی داشته و تولید آن عمدتاً متکی بر دانش بومی می باشد (Koocheki et al., 2009). میزان عملکرد این گیاه در مقایسه با سایر کشورهای تولیدکننده بسیار پایین است (Koocheki et al., 2012) که این امر لزوم توجه به مدیریت زراعی آن-را پررنگ می‌نماید. از طرف دیگر، این گیاه به دلیل نیاز آبی پایین و ارزش اقتصادی بالا نقش قابل توجهی در بهبود وضعیت اقتصادی و اجتماعی کشاورزان زعفران‌کار به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد (Dastranj & Sepaskhah, 2019).

ایران در حال حاضر، بزرگترین تولیدکننده زعفران در دنیا محسوب می شود و بیشترین سطح زیر کشت این محصول نیز به ایران اختصاص دارد (Shahnoushi et al., 2020). میانگین تولید جهانی زعفران برابر با ۳/۴۴۵ کیلوگرم کلاله خشک گزارش شده است (Cardonea et al., 2020). با وجود افزایش سطح زیر کشت زعفران، روند کاهشی برای عملکرد آن گزارش شده است (Hosseini et al., 2008; Gerkani Nezhad Moshizi et al., 2022). مطالعه تغییرات سطح زیر کشت و عملکرد زعفران در ایران در طی سال‌های گذشته نشان داده علی‌رغم آن‌که سطح زیر کشت این محصول از روند صعودی برخوردار است، ولی عملکرد در واحد سطح آن از روند نزولی تبعیت می‌کند؛ به نحوی که میانگین تولید آن از ۵/۷۶ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۳۵۲ به ۳/۴۲ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۳۹۶ رسیده است (Feizi & Tosan 2017; Koocheki 2018; Koocheki & Seyyedi, 2020). بر طبق آخرین آمارنامه جهاد کشاورزی (Ministry of Agriculture-Jihad, 2020)، سطح زیرکشت و میزان تولید زعفران در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به ترتیب ۱۲۰۲۴۱۲ هکتار و ۲۷۷/۱۸ تن و میانگین تولید کلاله خشک برابر با ۲/۳۱ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Agricultural Statistics, 2022) که پایین‌تر از میانگین جهانی می‌باشد (Cardonea et al., 2020).

مقایسه میانگین عملکرد کلاله در بین سه کشور عمده تولیدکننده در دنیا بیان‌کننده اختلاف زیاد عملکرد در ایران با سایر کشورها همچون اسپانیا و یونان (به ترتیب با ۱۲ و ۷ کیلوگرم در هکتار) است (Koocheki, 2018).

بر اساس رشد اندام‌های هوایی، مراحل فنولوژیکی اصلی زعفران به سه مرحله رشد زایشی[1] رویشی[2] رکود[3] تقسیم می‌شوند (Koocheki & Seyyedi, 2020; Lopez-Corcoles et al., 2015; Kumar et al., 2009). مرحله رکود اساساً تحت تأثیر وقوع درجه حرارت‌های بالا و پایین به ترتیب به جهت القای گلدهی و ظهور گل‌ها بوده که البته برخی عوامل به‌زراعی مانند انتخاب بنه مادری با وزن مناسب، مدیریت حاصلخیزی، تاریخ و عمق کاشت و آبیاری نیز بر میزان گلدهی این گیاه مهم می‌باشند (Koocheki & Seyyedi, 2020). طبق آمارها در مزارع زعفران در ایران، حداقل ۷۰ درصد خلاء عملکرد وجود دارد (Koocheki, 2018). دلیل روند کاهشی عملکرد، عمدتاً به نامناسب بودن مدیریت زراعی به ویژه حاصلخیزی و نیز تفاوت در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نسبت داده شده است (Shahriary et al., 2018). بر این‌اساس، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد گل و بنه زعفران، مدیریت صحیح تغذیه گیاهی می‌باشد (Khorramdel et al., 2015; Zabihi & Pishbin, 2018). البته توجه به خصوصیات شیمیایی خاک که علاوه بر فراهمی عناصر، جذب سایر عناصر را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد، امری مهم و اجتناب ناپذیر می‌باشد.

در راستای بهبود مدیریت زراعی، فراهمی عناصر غذایی به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد بنه‌های دختری در طول فصل رشد رویشی مطرح می‌باشد (Koocheki et al., 2014; Koocheki & Seyyedi, 2015). عناصر غذایی به ویژه در انتهای فصل رشد (Bertheloot et al., 2008; Dordas, 2009) نقش مهمی بر بهبود عملکرد گل داشته و عناصر غذایی قادر به جابجایی از اندام‌های رویشی بالای سطح خاک به اندام‌های زیرزمینی هستند (Koocheki et al., 2014).

1- Generative phase
2- Vegetative phase
3- Dormant phase

مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی علاوه بر بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی و افت کیفیت خاک موجب کاهش جمعیت میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی، تشدید شوری، تخریب خصوصیات خاک، اسیدی و قلیایی شدن و افت شدید ماده آلی شده و در نهایت، عدم تولید پایدار در بوم‌نظام‌های زراعی را به دنبال داشته است (Chen, 2008; Rezaei, 2013). از طرف دیگر، اگرچه کاربرد کودهای دامی موجب حفظ چرخه عناصر غذایی و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود و مصرف آن در مزارع زعفران رایج است، ولی به دلایلی کاربرد این مواد نیز رواج چندانی ندارد (Mogdoff, 2004). از جمله این دلایل، منابع نسبتاً محدود تأمین این مواد آلی بوده که جوابگوی نیاز بخش کشاورزی به کودهای آلی نمی‌باشد (Kalbasi, 1996).

تیوسولفات ماده‌ای سازگار با محیط زیست بوده که گوگرد را نیز برای گیاه تأمین می‌نماید (Margon et al., 2015). مارگون و همکاران (Margon et al., 2015) کاربرد تیوسولفات آمونیوم را برای گیاهان مختلف زراعی توصیه نموده و اظهار داشتند که این ماده اثر منفی بر مخازن میکروبی خاک ندارد. کای و همکاران (Cai et al., 2018) نیز نتیجه گرفتند که کاربرد کود تیوسولفات پتاسیم دارای مزیت کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی در اکوسیستم‌های زراعی بوده و برای سیستم‌های زراعی نیازمند پتاسیم و گوگرد نیز مفید و موثر می‌باشد.

شیرانی و همکاران (Shirani et al., 2002) بیان کردند که کشاورزان ایرانی برای دستیابی، حفظ ثبات و پایداری تولید عمدتاً به مصرف کودهای شیمیایی روی می‌آورند. دامنه همبستگی تغییرات عملکرد گل زعفران با متغیرهای شیمیایی خاک از جمله میزان ماده آلی، فسفر قابل استفاده، نیتروژن معدنی و پتاسیم تبادلی برابر با ۸۰-۱۶ درصد تعیین شده است (Shahriary et al., 2018). در ابتدای هر فصل رشد، میزان عملکرد تحت تأثیر شرایط رشدی بنه‌های دختری در فصل قبل بوده، در حالی‌که از سال دوم به بعد، عملکرد به شدت وابسته به مدیریت زراعی می‌باشد (Gresta et al., 2008; Renau-Morata et al., 2012; Koocheki et al., 2014) که این امر اهمیت توجه به مدیریت زراعی، تعادل وضعیت عناصر غذایی، خصوصیات شیمیایی و به ویژه حاصلخیزی خاک را بدلیل تاثیر مستقیم بر فراهمی عناصر و در نتیجه رشد بنه‌های دختری پررنگ‌تر می‌نماید.

پتاسیم، یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی موثر در رشد گیاهان بعد از نیتروژن محسوب می شود (Sharma et al., 2022) که علاوه بر افزایش غلظت کلروفیل، کاروتنوئیدها و پرولین، کارایی مصرف عناصر غذایی را نیز بهبود می‌بخشد (Ding et al., 2018). این عنصر علاوه بر وظایف فیزیولوژیکی (Ruan et al., 2014)، در بهبود مقاومت به خشکی (Wang et al., 2013; Bader et al., 2021) و افزایش کیفیت نیز مؤثر بوده (Zabihi & Feizi, 2014) و از این‌رو، به «عنصر کیفیت»[1] معروف است (Hasanuzzaman et al., 2018).

خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2023) با استفاده از مدل‌سازی سطح-پاسخ میزان بهینه مصرف کودهای دامی و سولفات پتاسیم را براساس مدل اقتصادی برای زعفران به ترتیب ۸۰/۵۰ تن کود دامی در هکتار و ۳۷۱/۷۱ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم در هکتار گزارش نمودند. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2015) مهمترین عوامل شیمیایی خاک موثر بر عملکرد کلاله زعفران را به ترتیب میزان پتاسیم و فسفر قابل دسترس، قابلیت هدایت الکتریکی و نیتروژن کل عنوان نمودند.

عنصر کلسیم از دیگر عناصر پرمصرف بوده که اثر قابل توجهی بر بهبود فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان زراعی داشته و فاکتورهای مورفولوژیک و بیوشیمیایی ک تحت تنش شوری (NaCl) را نیز بهبود می‌بخشد (Sairam and Tyagi, 2005). شوری به علل متعددی از جمله سمیت یونی و بروز اختلال در روابط تغذیه‌ای بر فاکتورهای رشدی گیاهان تأثیر منفی می گذارد (Parida & Das, 2005). گیاهان از کلسیم برای رفع شوری استفاده می‌کنند که به آن شاخص «کارایی کاربرد کلسیم» گفته می شود (Tabatabai, 2014). بر اساس این شاخص، گیاهانی که در شرایط تنش شوری، میزان بیشتری از وزن خشک از دست‌رفته را توسط کلسیم جبران می‌کنند، کارایی بالاتری دارند. وجود کلسیم بر جذب بهتر سایر عناصر پرمصرف چون فسفر

1- Quality nutrient

نیز تأثیرگذار است (Rahdari, 2011). با این‌وجود، مطالعات نسبتاً کمی در خصوص تأثیر این عنصر پرمصرف روی رشد و عملکرد گیاهان مناطق خشک و به ویژه زعفران موجود می‌باشد.

بر این اساس، با توجه به محدود بودن اثر کاربرد کودهای تیوسولفات پتاسیم (KTS) و کلسیم (CaTs) بر زعفران و از طرفی اهمیت کاربرد این کودها در این گیاه به ویژه در شرایط خشک و نیمه‌خشک، هدف از اجرای این مطالعه، بررسی اثر کودهای تیوسولفات کلسیم و پتاسیم بر ویژگی‌های کمی گل، بنه‌های دختری و برگ زعفران و خصوصیات خاک با تأکید بر مدیریت رایج کشاورز در قطب تولید این گیاه در شرایط آب و هوایی شهن‌آباد، زاوه بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به صورت On-farm تحت مدیریت رایج کشاورز پیشرو واقع در زاوه، شهن آباد تربت حیدریه در دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل T_1: مدیریت رایج کشاورز (به عنوان شاهد)، T_1:T_2 + کاربرد ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت، T_3: T_1+ کاربرد ۲۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت T_4: T_1+ کاربرد ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت + کاربرد ۵۰ لیتر در هکتار CaTs طی چهار نوبت، T_5: T_1+ کاربرد ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت + کاربرد ۱۰۰ لیتر در هکتار CaTs طی دو نوبت و T_6: T_1+ کاربرد ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت+ کاربرد ۶۷ لیتر در هکتار CaTs طی سه نوبت بودند. کودهای KTS و CaTs به صورت خاک کاربرد همراه با آب آبیاری مورد استفاده قرار گرفتند. خصوصیات شیمیایی کودهای تیوسولفاته KTS® و CaTs® در جدول ۱ نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که مقادیر تیمارها بر اساس مطالعات اولیه به صورت پیش‌آزمایش، آنالیز خصوصیات شیمیایی خاک و در نظر گرفتن میزان کودهای مصرفی برای ترکیب‌پذیری مناسب با برنامه کودی رایج کشاورز شدند و تنها در سال اول اعمال شدند. کودها از شرکت اینترنشنال تسندرلو کرلی بلژیک تهیه گردید.

به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پیش از انجام آزمایش به صورت تصادفی نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک انجام شد (جدول ۲).

اردیبهشت (زرد آب) در هر دو سال آزمایش انجام گرفت. عملیات سله‌شکنی در مهر ماه با هدف تسهیل در خروج گل‌ها انجام پذیرفت. عملیات حذف علف‌های هرز نیز در زمان نیاز به صورت دستی در طول فصل انجام گرفت.

برای تعیین عملکرد گل و کلاله، برداشت گل از شروع گلدهی در آبان ماه آغاز و تا پایان آن انجام شد، به طوری‌که در هر نوبت نمونه‌برداری، تمام گل‌ها بصورت روزانه جمع‌آوری و اندازه‌گیری‌ها انجام شد. در هر نوبت تعداد گل‌ها شمارش و پس از توزین توسط ترازویی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم، کلاله از گلبرگ‌ها جدا گردید و در دمای اتاق و شرایط سایه، خشک و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد.

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی کودهای KTS® و CaTs®

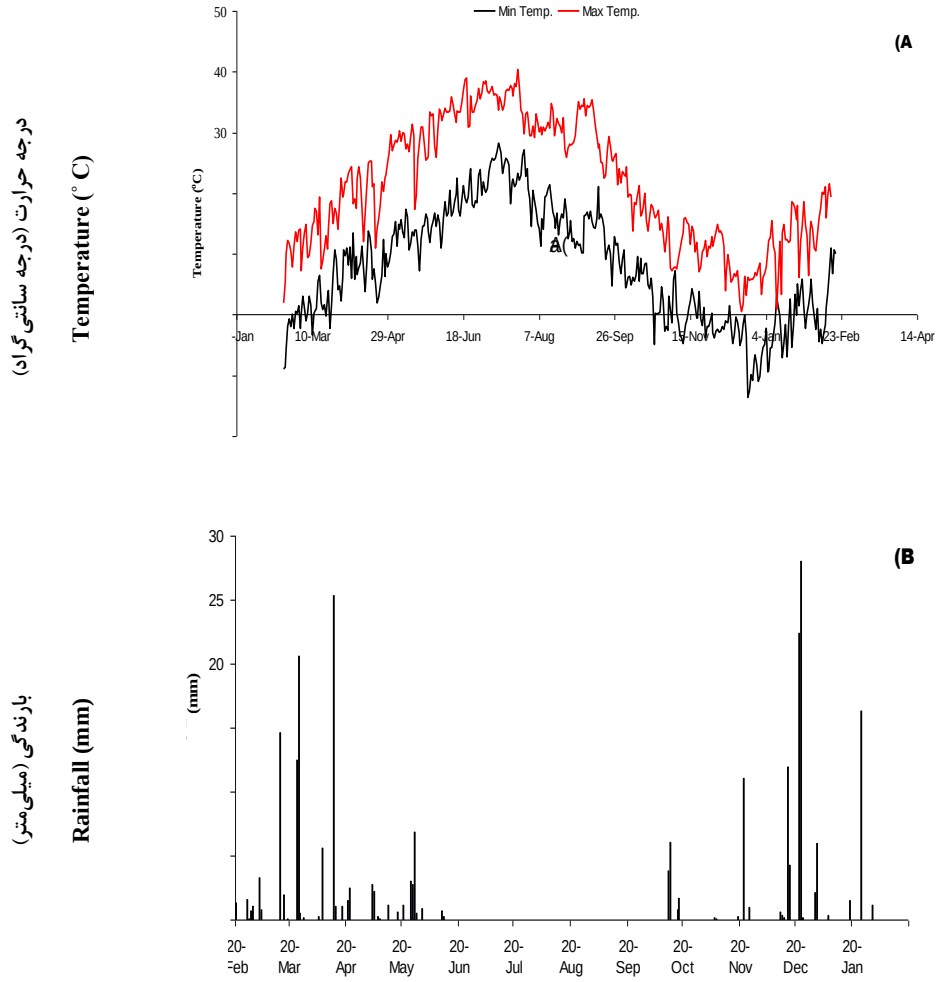
Table 1. Chemical properties of KTS® and CaTs® fertilizers

	KTS® (تیوسولفات پتاسیم) **KTS® (Potassium thiosulfate)**	**CaTs® (تیوسولفات کلسیم)** **CaTs® (Calcium thiosulfate)**
کلسیم Ca (w/w)	-	6%
پتاسیم K_2O (w/w)	25%	-
گوگرد S (w/w)	17%	10%
دامنه شاخص واکنش pH range	6.8-8.5	6.5-8.8
دامنه تراکم Density range (at 25°C)	1.45-1.49	1.22-1.26

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 2. Physical and chemical characteristics of the soil

بافت Texture			شاخص واکنش pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS/m)	نیتروژن کل(درصد) Total N (%)	فسفر قابل دسترس (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available P (mg/kg)	پتاسیم قابل دسترس (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available K (mg/kg)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)
شن (درصد) sand (%)	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)						
لوم‌شنی Sandy loam			8.61	2.22	0.054	7.5	250	0.62
57.76	8.66	33.58						



ماه‌های پس از کاشت

Months after sowing

شکل ۱. حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه و میانگین بارندگی ماهیانه در سال دوم مطالعه.

Fig 1. Daily min and max temperatures and average monthly rainfall in the second experiment year.

به منظور تعیین عملکرد بنه های دختری، در پایان مرحله رشد رویشی در اردیبهشت ماه، بنه‌های دختری از سطحی معادل ۲۵۰۰ سانتی‌متر مربع (۲۵×۲۵ سانتی‌متر) برداشت و پس از شمارش، قطر آن‌ها با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. در نهایت، بنه‌های دختری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت دو هفته نگهداری و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد.

خصوصیات اقلیمی منطقه شامل حداقل، حداکثر درجه حرارت و میانگین بارندگی ماهیانه طی سال دوم آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است.

ابعاد کرت‌ها ۱×۶ متر و در جهت آبیاری انتخاب شدند. عملیات داشت مطابق با مدیریت رایج کشاورز در تمام تیمارها به صورت یکسان اعمال شد. به طوری‌که آبیاری به صورت نشتی و سیفونی طی شش نوبت در اواخر شهریور (خاک‌آب)، اواسط مهر (بسار آب)، اواسط آبان (زاج آب)، اواسط آذر (آبیاری زمستانه)، اواسط دی (کولش آب) و اواسط فروردین تا اوایل اردیبهشت (زرد آب) انجام شد.

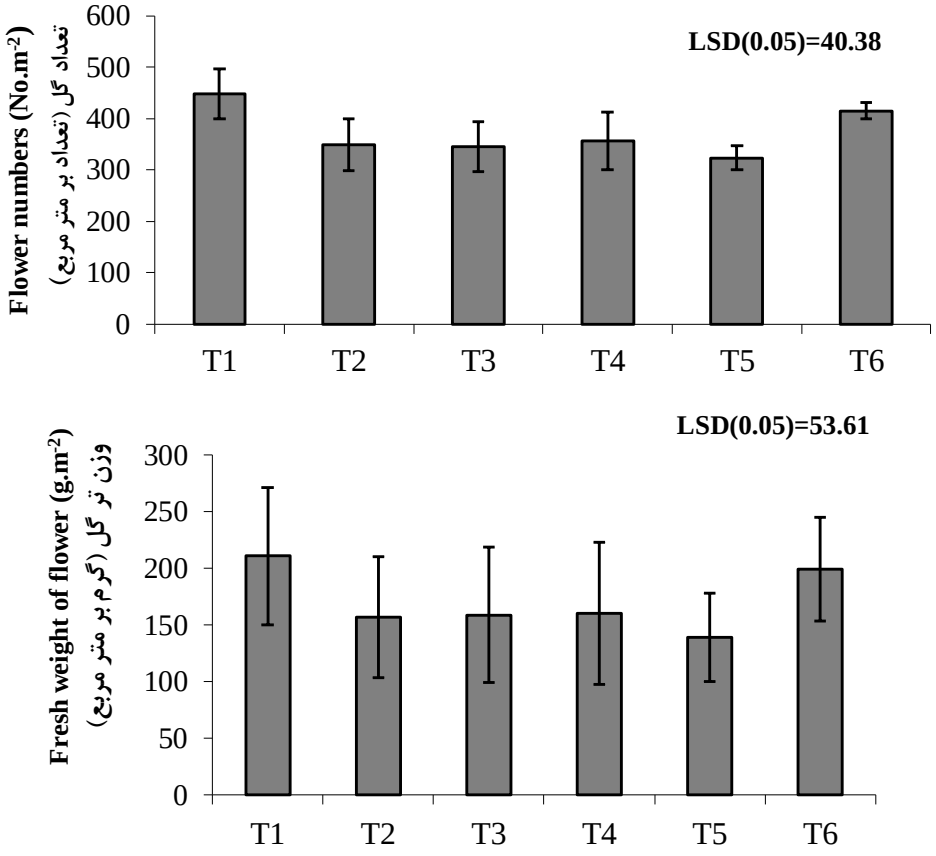
به منظور بررسی روند تغییرات خصوصیات شیمیایی خاک تحت تأثیر کاربرد کودهای CaTs و KTS یک هفته بعد از هر نوبت آبیاری، نمونه‌برداری به صورت تصادفی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برای هر کرت انجام، پنج نمونه برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شد. سپس نمونه‌ها در دمای محیط خشک و با الک دو میلی‌متر غربال شد. خصوصیات شیمیایی چون شاخص واکنش (pH) به روش الکترود، EC با دستگاه EC متر و میزان عناصر غذایی NPK (نیتروژن کل به روش هضم تر، فسفر قابل دسترس با روش استخراج $NaHCO_3$ و پتاسیم قابل جذب با روش استخراج NH_4OAc) اندازه‌گیری و تعیین شد.

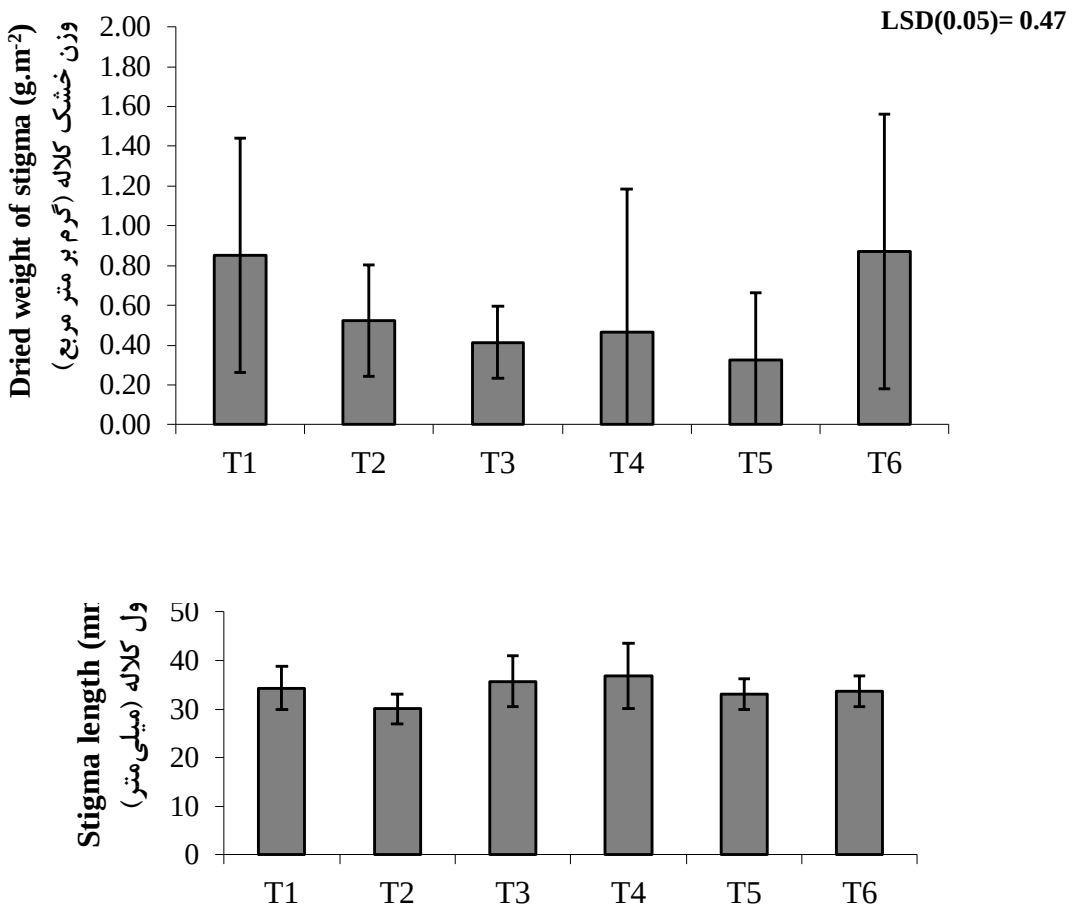
لازم به ذکر است به جهت تاثیر دقیق‌تر تیمارهای کودی بر خصوصیات خاک و رشد و عملکرد بنه‌های دختری و گل زعفران، تنها نتایج مربوط به سال دوم ارائه شده است.

تجزیه واریانس داده‌ها در سال دوم پس از اطمینان از همگنی واریانس خطا با استفاده از نرم‌افزار Minitab 17 انجام و برای رسم نمودارها از نرم‌افزارهای Excel 2013 و Sigma plot استفاده شد. میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

شاخص‌های گل: مقایسه میانگین تأثیر کودهای CaTs و KTS بر شاخص‌های گل زعفران در سال دوم در شکل ۲ نشان داده شده است.





شکل ۲. مقایسه میانگین اثر تیمارهای CaTs و KTS بر شاخص‌های گل زعفران.

T_1: مدیریت رایج کشاورز (به عنوان شاهد)، T_2: T_1+ ۴۰ لیتر KTS در هکتار طی سه نوبت، T_3: T_1+ کاربرد ۲۰ لیتر KTS در هکتار طی سه نوبت، T_4: T_1+ کاربرد ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت + کاربرد ۵۰ لیتر در هکتار CaTs طی چهار نوبت، T_5: T_1+ کاربرد ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت + کاربرد ۱۰۰ لیتر در هکتار CaTs طی دو نوبت و T_6 :T_1+ کاربرد ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت+ کاربرد ۶۷ لیتر در هکتار CaTs طی سه نوبت.

بر اساس خطای استاندارد، تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌ها با محدوده همپوشانی یکسان در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD وجود ندارد.

Fig. 2. Mean comparisons for the effect of CaTs and KTS treatments on flower indices of saffron.

T_1: conventional on-farm management as control, T_2: T_1+application of 40 liters of KTS per ha three times, T_3: T_1+application of 20 liters of KTS per ha three times, T_4: T_1+application of 50 liters of CaTs per ha four times, T_5: T_1+application of 100 liters of CaTs per ha two times and T_6: T_1+application of 67 liters of CaTs per ha three times. There are no significant differences between averages with similar overlap range according to standard error at $p \leq 0.05$ as determined by LSD test.

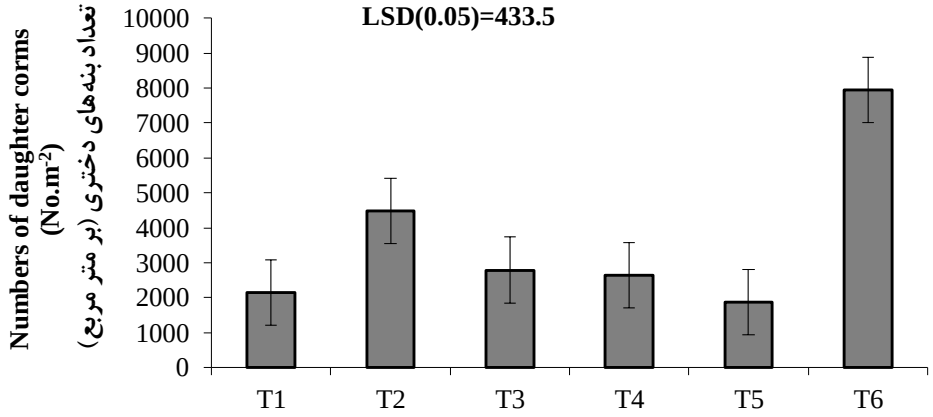
نتایج نشان داد که شاخص‌های گل زعفران در تیمارهای مختلف حاصلخیزی خاک با کودهای تیوسولفات کلسیم و پتاسیم تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۲). با این‌حال، بر ا ساس نتایج، بی‌شترین و کمترین تعداد گل مربوط به تیمار T_1 (۴۴۸ گل در متر مربع) و T_5 (۳۲۳ گل در متر مربع) بود. تیمار T_6 با کاهش ۷/۳۷ درصدی تعداد گل نسبت به شاهد در جایگاه دوم قرار داشت. میزان کاهش تعداد گل در تیمارهای T_2، T_3، T_4، T_5 و T_6 در مقایسه با تیمار مدیریت رایج کشاورز به ترتیب برابر با ۲۲، ۲۳، ۲۰، ۲۸ و ۷ در صد محا سبه گردید که

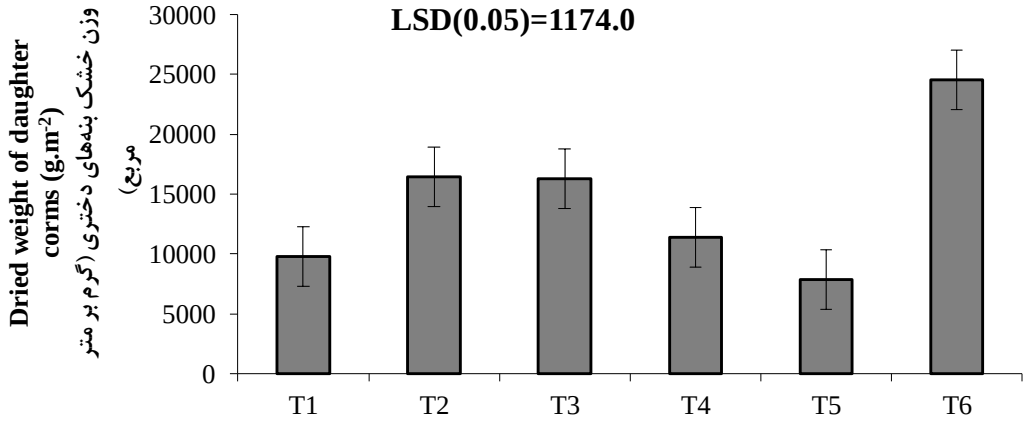
البته تفاوت بین تیمارهای T_4 و T_6 با شاهد معنی‌دار نبود (شکل ۲). حداکثر و حداقل وزن‌تر گل مشابه با صفت تعداد گل به ترتیب به تیمارهای T_1 (۲۱۰ گرم بر متر مربع) و T_5 (۱۳۹ گرم بر متر مربع) اختصاص داشت و تیمار T_6 با کاهش ۵/۲۴ در صدی شاخص وزن‌تر گل نسبت به شاهد، رتبه دوم را به خود اختصاص داد. میزان کاهش وزن تر گل در تیمارهای T_2، T_3، T_4، T_5 و T_6 نسبت به تیمار مدیریت رایج کشاورز به ترتیب برابر با ۲۵، ۲۵، ۲۴، ۳۴ و ۵ درصد محاسبه گردید که البته تفاوت بین تیمارهای T_2، T_3 و T_4 با شاهد معنی‌دار نبود (شکل ۲). حداکثر وزن خشک کلاله مربوط به تیمار T_6 (۰/۸۷ گرم در متر مربع) بود و کمترین میزان برای تیمار T_5 (۰/۳۲ گرم در متر مربع) مشاهده شد. همچنین میزان کاهش وزن تر گل در تیمارهای T_2، T_3، T_4، T_5 و شاهد با T_6 به ترتیب برابر با ۲، ۴۰، ۵۲، ۴۷ و ۶۳ درصد بدست آمد که البته تفاوت بین تیمارهای T_4 و شاهد با T_6 معنی‌دار نبود (شکل ۲). بیشترین و کمترین طول کلاله به ترتیب در تیمار T_4 (۳۶ میلی‌متر) و T_2 (۳۰ میلی‌متر) به دست آمد و طول کلاله در شاهد تقریباً در حد میانه این دو تیمار قرار داشت (شکل ۲). همچنین میزان کاهش وزن تر گل در تیمارهای T_2، T_3، T_5، T_6 و شاهد با T_4 به ترتیب برابر با ۷، ۱۸، ۳، ۱۰ و ۹ درصد محاسبه شد که البته تفاوت بین تیمارهای T_3 و شاهد با T_4 معنی‌دار نبود (شکل ۲). همچنین بر اساس مشاهدات مزرعه‌ای و تأکید کشاورز مشخص شد که مصرف کودهای CaTs و KTS موجب تأخیر در ظهور گل، وقوع مرحله گلدهی و تا حدودی طولانی‌تر شدن مرحله رشد زایشی زعفران شد که این امر در بلندمدت افزایش مدت گلدهی، افزایش عملکرد گل و به دنبال آن افزایش عملکرد کلاله زعفران را به عنوان گیاهی چندساله به دنبال دارد. علاوه بر این، کشاورز پیشرو نیز بر اساس مشاهدات تأکید نمود در صورت بروز سرماهای زودهنگام پاییزه که این‌قبیل نوسانات اقلیمی به دلیل تغییر اقلیم به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک چون ایران افزایش یافته است نیز مصرف این کودها می‌تواند در راستای حفظ تولید پایدار زعفران مؤثر واقع شود.

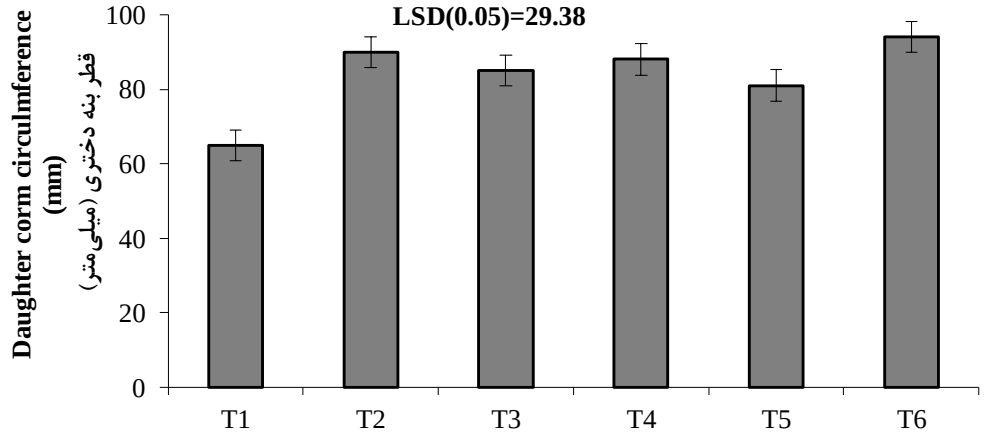
بهبود توسعه اندام‌های هوایی زعفران در بالای سطح خاک، رشد ریشه را تحریک کرده و توانایی گیاه را برای جذب عناصر غذایی بهبود می‌بخشد. به طور کلی، در سال اول با گلدهی زعفران عمدتاً به ذخایر بنه مادری همبستگی دارد، با این‌وجود، محتوی عناصر غذایی در خاک نیز مهم است. در این راستا، رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2013) نتیجه گرفتند که تعداد و عملکرد گل زعفران در سال اول به فراهمی عناصر غذایی خاک بستگی معنی‌داری ندارد. بهنیا و همکاران (Behnia et al.,1999) و یونال و چاووش اوغلو (Ünal & Çavuşoğlu, 2005) بیان کردند با توجه به این‌که عقیمی زعفران عامل محدودکننده‌ای از طریق اصلاح ژنتیکی است، برای افزایش عملکرد و کیفیت این گیاه باید از اتخاذ شیوه‌های مدیریت زراعی مناسب مانند تاریخ کاشت، کوددهی، آبیاری و مدیریت تغذیه استفاده شود. در این راستا، برخی دیگر از مطالعات در مورد زعفران نیز تأیید نموده‌اند که کوددهی اثر مثبتی بر بهبود رشد و عملکرد دارد (Behzad et al., 1990a; Behzad et al., 1990b; Mc Gimpsey et al., 1997). همانطور که پیش‌تر نیز ذکر گردید، تیوسولفات پتاسیم یکی از کود های رایج پتاسیم و گوگرد بوده که به عنوان بازدارنده نیتریفیکاسیون نیز عمل می‌کند (Abbasi et al., 2011; Goos, 1985; Saad et al., 1996; Sallade and Sims, 1992; Cai et al., 2018) و از این طریق می‌تواند علاوه بر تأمین پتاسیم و گوگرد مورد نیاز برای گیاه و تأثیر مثبت بر رشد، از هدررفت نیتروژن نیز جلوگیری کرده و در نتیجه باعث افزایش کارایی مصرف نیتروژن گردد.

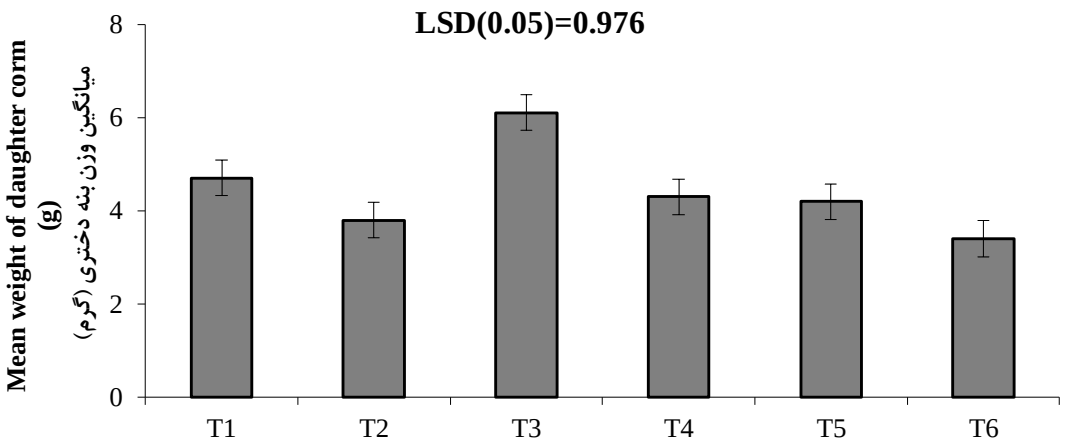
از آنجا که عملکرد کلاله از نسبت تعداد گل به میانگین وزن کلاله محاسبه می‌شود (Gresta et al., 2009)، وزن کلاله تأثیر کمتری بر عملکرد نهایی دارد. با این‌وجود، در این آزمایش مصرف تیمارهای CaTs و KTS از لحاظ آماری تأثیر معنی‌داری بر رشد کلاله نداشت (شکل ۲). دی‌خوان و همکاران (De-Juan et al., 2009) نیز در بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گل زعفران بیان داشتند که گلدهی با وزن تر کلاله ارتباط معنی‌داری نداشت. گلدهی زعفران به تعداد جوانه‌های گل‌دهنده در بنه بستگی داشته که علاوه بر خصوصیات بنه مادری، تحت تأثیر خصوصیات شیمیایی خاک به ویژه محتوی عناصر غذایی است (Liu et al., 2011). بر این اساس، تعدیل خصوصیات شیمیایی خاک و مدیریت آن به عنوان پایه و اساس تولید به عنوان

راهکاری زراعی برای دســـتیابی به پایداری تولید در زعفران به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک پیشنهاد می‌شود.









شکل ۳. مقایسه میانگین اثر تیمارهای CaTs و KTS بر شاخص‌های بنه دختری زعفران.

T_1: مدیریت رایج کشاورز (به عنوان شاهد)، T_2: T_1+ ۴۰ لیتر KTS در هکتار طی سه نوبت، T_3: T_1+ کاربرد ۲۰ لیتر KTS در هکتار طی سه نوبت، T_4: T_1+ کاربرد ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت + کاربرد ۵۰ لیتر در هکتار CaTs طی چهار نوبت، T_5: T_1+ کاربرد ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت + کاربرد ۱۰۰ لیتر در هکتار CaTs طی دو نوبت و T_6 :T_1+ کاربرد ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت+ کاربرد ۶۷ لیتر در هکتار CaTs طی سه نوبت.
میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD ندارند.

Fig. 3. Mean comparisons for the effect of CaTs and KTS fertilizers on daughter corm indicators of saffron.

T_1: conventional on-farm management as control, T_2: T_1+application of 40 liters of KTS per ha three times, T_3: T_1+application of 20 liters of KTS per ha three times, T_4: T_1+application of 50 liters of CaTs per ha four times, T_5: T_1+application of 100 liters of CaTs per ha two times and T_6: T_1+application of 67 liters of CaTs per ha three times.
Means with same letter (s) are not significantly different at $p \leq 0.05$ as determined by LSD test.

شاخص‌های بنه‌های دختری و برگ: مقایسه میانگین تأثیر کودهای CaTs و KTS بر شاخص‌های رشدی و عملکرد بنه‌های دختری زعفران در سال دوم در شکل ۳ آورده شده است.

بر اساس نتایج به دست آمده تعداد، وزن خشک، قطر بنه و میانگین وزن بنه های دختری زعفران به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای کودی CaTs و KTS قرار گرفت (شکل ۳). به طوری‌که بیشترین و کمترین تعداد (به ترتیب با ۷۹۵۰ و ۱۸۶۵ بنه دختری بر متر مربع) و وزن خشک بنه های دختری (به ترتیب با ۲۴۵۷۹ و ۷۸۵۹ گرم بر متر مربع) مربوط به تیمارهای T_6 و T_5 بود که با شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. میزان کاهش تعداد بنه‌های دختری در تیمارهای T_2، T_3، T_4، T_5 و شاهد (مدیریت کشاورز) در مقایسه با تیمار T_6 به ترتیب برابر با ۴۴، ۶۵، ۶۷، ۷۷ و ۷۳ درصد محاسبه شد. همچنین مقادیر این کاهش برای صفت وزن خشک بنه‌های دختری به ترتیب برابر با ۳۳، ۳۴، ۵۴، ۶۸ و ۶۰ درصد به دست آمد. اثر تیمارهای تغذیه‌ای CaTs و KTS بر میانگین وزن بنه‌های دختری زعفران معنی‌دار بود، به طوری‌که بیشترین و کمترین میزان به ترتیب مربوط به تیمارهای T_3 و T_6 بود (شکل ۳). این نتیجه حاکی از تأثیر مثبت کودهای CaTs و KTS در افزایش شاخص‌های بنه دختری می‌باشد که البته به نظر می‌رسد کاربرد این کودها با اثر بر خصوصیات شیمیایی خاک، رشد بنه‌های دختری را تحت تاثیر مثبت قرار داده است.

اگر چه قطر بنه دختری زعفران تحت تأثیر معنی‌دار تیمارهای کودی قرار نگرفت، ولی با این‌وجود بیشترین و کمترین میزان به ترتیب مربوط به تیمارهای T_6 و T_1 بود. میزان کاهش قطر بنه دختری در تیمارهای T_2، T_3، T_4، T_5 و شاهد تحت مدیریت کشاورز در مقایسه با تیمار T_6 به ترتیب برابر با ۴، ۱۰، ۶، ۱۴ و ۳۱ درصد و میزان کاهش قطر بنه دختری در تیمارهای T_2، T_4، T_5، T_6 و شاهد تحت مدیریت کشاورز در مقایسه با تیمار T_3 به ترتیب برابر با ۲۳، ۳۸، ۳۰، ۳۱ و ۴۴ درصد محاسبه شد (شکل ۳). با این‌وجود، همان طور که انتظار می‌رفت، میانگین وزن تک بنه‌دختری با تعداد و وزن خشک بنه‌های دختری رابطه نسبتاً معکوسی مشاهده شد.

بنه‌های مادری با تغذیه بهتر و کیفیت بالاتر، توانایی بیشتری برای جذب عناصر معدنی از خاک داشته و در پایان فصل رشد، بنه‌های دختری بیشتر و با وزن مناسب‌تری را تولید می‌کنند. از دیدگاه زراعی، زعفران که از طریق بنه و به صورت رویشی تکثیر می‌یابد، در مناطق مختلف جغرافیایی از تنوع نسبتاً کمی برخوردار است (Siracusa et al., 2013). تأمین عناصر غذایی نقش بسیار مهمی در گل انگیزی و بهبود رشد بنه‌های مادری زعفران ایفاء می‌کند (Mollafilabi & Khorramdel, 2016) و فراهمی متعادل عناصر غذایی در خاک بر پایه مدیریت صحیح کودی، از جمله موثرترین عوامل در پایداری تولید این گیاه به ویژه در نواحی خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود (Koocheki et al., 2009). بر این اساس، مشخص است که کاربرد کودهای CaTs و KTS با تأثیر بر خصوصیات خاک و ایجاد تعادل در ویژگی‌های شیمیایی خاک، وزن و تعداد بنه‌های دختری را بهبود بخشیده است.

بنه‌های دختری از بنه مادری به عنوان اندام ذخیره‌کننده که تمام نیازهای غذایی گیاه را به ویژه در سال اول تولید حمایت نموده، ایجاد می‌شوند (López Rodríguez, 1989; Shahandeh, 2020) و البته ظرفیت گلدهی و عملکرد سال آینده را تعیین می‌کنند (Amiri, 2008; Gresta et al., 2008; De Juan et al., 2009; Kumar et al., 2009). بدین ترتیب، به نظر می‌رسد که رشد بنه‌های دختری علاوه بر ذخیره بنه‌های مادری به طور مستقیم به فراهمی عناصر غذایی در خاک بستگی دارد (Rezvani Moghaddam et al., 2013). اگرچه بسیاری از کودها ممکن است باعث افزایش تعداد بنه‌های دختری زعفران شوند، اما بنظر می‌رسد که توجه به وضعیت شیمیایی و تعادل عناصر غذایی در خاک نیز می‌تواند در بلندمدت سهم مؤثری در دستیابی به پایداری و ثبات تولید این گیاه چند ساله به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایفا نماید.

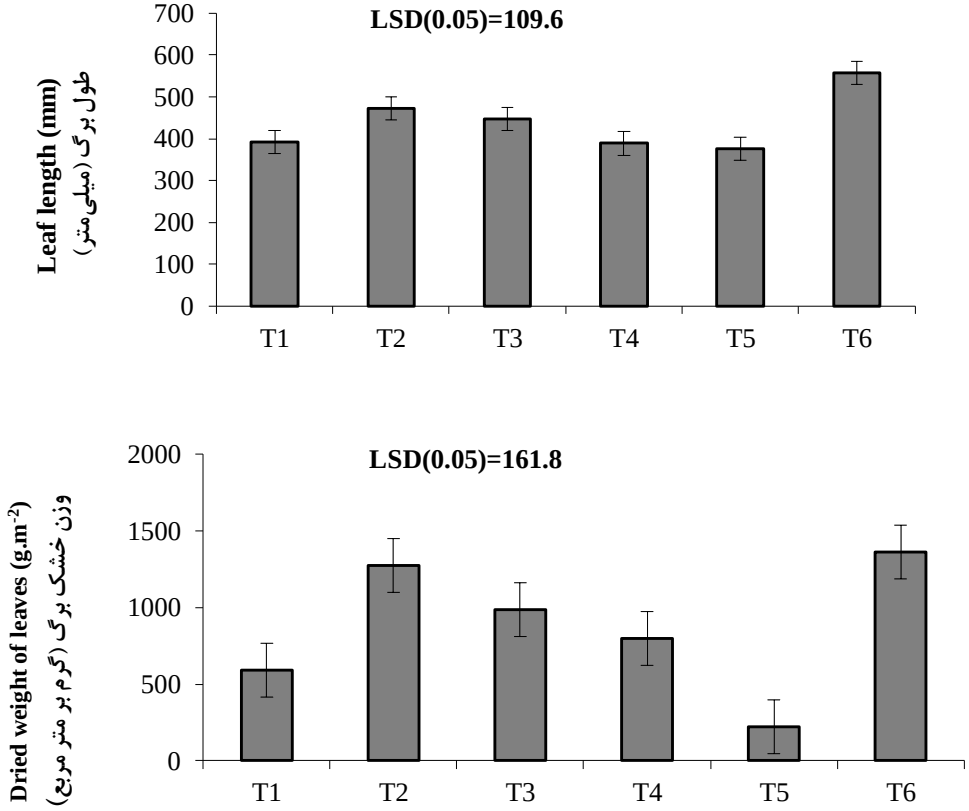
نتایج این مطالعه نیز تأیید نمود که کاربرد کودهای تیوسولفات کلسیم و پتاسیم کیفیت رشدی و وزن بنه‌های دختری را به طور معنی‌داری بهبود بخشید (شکل ۳). این نتایج احتمالاً مربوط به تأمین و دسترسی متعادل‌تر عناصر غذایی و بهبود خصوصیات شیمیایی خاک تحت تأثیر مصرف این کودهای تیوسولفاته می‌باشد (Shirani et al., 2002; Liu et al., 2014) که شرایط تغذیه‌ای و خصوصیات خاک را برای رشد بنه های دختری بهبود بخشیده است (Amiri, 2008).

افزایش توانایی گیاه در جذب عناصر غذایی باعث افزایش تولید ماده خشک می‌شود (Lea & Azevedo, 2006; Salvagiotti et al., 2009; Ramaekers et al., 2010) که این امر با توجه به فیزیولوژی گیاه زعفران بسیار مهم به نظر می‌رسد. نتایج سایر محققان نیز مؤید این مطلب است که کاربرد تیمارهای کودی بر میزان عناصر غذایی خاک تأثیر مثبت دارد (Liu et al., 2011). لازم به ذکر است از آنجا که در کشت زعفران، تولید بنه‌های مادری درشت و با وزن بالا از تعداد کل بنه‌ها اهمیت بیشتری دارد (Behdani & Fallahi, 2015)، به نظر می‌رسد که مصرف کودهای CaTs و KTS با بهبود محتوی عناصر غذایی، تعدیل خصوصیات خاک، موجب بهبود نسبی وزن تک بنه دختری شده است.

معیارهای رشد برگ: مقایسه میانگین تأثیر کودهای CaTs و KTS بر وزن خشک و طول برگ زعفران در سال دوم در شکل ۴ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج به دست آمده، طول و وزن خشک برگ زعفران به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مصرف کودهای تیوسولفات کلسیم و پتاسیم قرار گرفت؛ به طوری‌که بیشترین طول و وزن خشک برگ مربوط به تیمار T_6 (به ترتیب با ۵۵۷ میلی‌متر و ۱۳۵۹ گرم بر متر مربع) بود و با شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین مقادیر این صفات نیز برای تیمار T_5 (به ترتیب با ۳۷۶ میلی‌متر و ۲۲۱ گرم بر متر مربع) ثبت شد. میزان کاهش طول برگ در تیمارهای T_2، T_3، T_4، T_5 و شاهد تحت مدیریت کشاورز در مقایسه با تیمار T_6 به ترتیب برابر با ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۳۲ و ۳۰ درصد بدست آمد. میزان کاهش وزن خشک برگ در این تیمارها در مقایسه با تیمار تغذیه‌ای به ترتیب برابر با ۶، ۲۸، ۴۲، ۸۴ و ۵۶ درصد بود (شکل ۴). این نتیجه حاکی از نقش مثبت کودهای CaTs و KTS در بهبود معیارهای رشدی برگ می‌باشد. کمترین طول برگ در تیمارهای T_3، T_4، T_5 و T_1 به دست آمد که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۴). همچنین حداقل وزن خشک برگ نیز در تیمار T_5 ثبت شد (شکل ۴). گل‌های زعفران در ابتدای

فصل رشد که برگ‌های آن بسیار کوچک است، ظاهر می‌شود، بنابراین افزایش طول و وزن خشک برگ زعفران به مرور زمان به دلیل بهبود جذب عناصر غذایی رخ می‌دهد (Schmidt et al., 2007) و البته بالا بودن سهم اندام‌های فتوسنتزکننده می‌تواند تأثیر بسزایی بر گل‌آوری، رشد و عملکرد گل در سال بعد به همراه داشته باشد. کشاورزان نیز عقیده دارند اگر مدیریت زراعی به ویژه کوددهی به درستی و به صورت دقیق انجام شود، رشد برگ‌ها افزایش یافته و متعاقباً منجر به بهبود کیفیت بنه‌های دختری و به دنبال آن افزایش قابل توجه عملکرد زعفران در سال‌های آتی خواهد شد که این امر می‌تواند در بهبود سطح تولید این محصول در کشور و از طرفی، افت خلأ تولید آن به صورت ویژه‌ای مؤثر واقع گردد.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر تیمارهای CaTs و KTS بر شاخص‌های برگ زعفران.

T_1: مدیریت رایج کشاورز (به عنوان شاهد)، T_2: T_1+ ۴۰ لیتر KTS در هکتار طی سه نوبت، T_3: T_1+ کاربرد ۲۰ لیتر KTS در هکتار طی سه نوبت، T_4: T_1+ کاربرد ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت + کاربرد ۵۰ لیتر در هکتار CaTs طی چهار نوبت، T_5: T_1+ کاربرد ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت + کاربرد ۱۰۰ لیتر در هکتار CaTs طی دو نوبت و T_6: T_1+ کاربرد ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت+ کاربرد ۶۷ لیتر در هکتار CaTs طی سه نوبت.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD ندارند.

Fig. 4. Mean comparisons for the effect of CaTs and KTS fertilizers on leaf indicators of saffron.

T_1: conventional on-farm management as control, T_2: T_1+application of 40 liters of KTS per ha three times, T_3: T_1+application of 20 liters of KTS per ha three times, T_4: T_1+application of 50 liters of CaTs per ha four times, T_5: T_1+application of 100 liters of CaTs per ha two times and T_6: T_1+application of 67 liters of CaTs per ha three times.

Means with same letter (s) are not significantly different at $p \leq 0.05$ as determined by LSD test.

ویژگی‌های خاک: مقایسه میانگین تأثیر کودهای CaTs و KTS بر معیارهای شیمیایی خاک (شامل EC، pH و مقادیر عناصر NPK) در سال دوم در جدول ۳ نشان داده شده است.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، مصرف خاک‌کاربرد کودهای تیوسولفات کلسیم و پتاسیم حاوی گوگرد بوده (جدول ۱) که موجب کاهش شاخص واکنش خاک گردید. همچنین بیشترین مقدار شاخص واکنش در زمان های اول، دوم، سوم، چهارم و پنج نمونه‌برداری برای تیمارهای T_3، T_3، T_1+T_2، T_1 و T_1 (به ترتیب با ۹/۱۷، ۹/۱۴، ۹/۰۳، ۸/۹۸ و ۸/۹۵) بدست آمد و کمترین میزان مربوط به تیمارهای T_6، T_6، T_6، T_4 و T_4 (به ترتیب با ۸/۶۹، ۸/۶۳، ۸/۵۹، ۸/۵۲ و ۸/۴) بود. میزان افزایش شاخص واکنش خاک در تیمارهای T_2، T_3، T_4، T_5 و شاهد نسبت به T_6 در مرحله اول به ترتیب برابر با ۵، ۶، <۱، ۱ و ۵ درصد، در مرحله دوم نمونه‌برداری برابر با ۵، ۶، ۱، ۱ و ۶ درصد و در مرحله سوم نمونه‌برداری به ترتیب برابر با ۵، ۴، ۱، ۱ و ۵ درصد محاسبه گردید. میزان این افزایش برای تیمارهای T_2، T_3، T_5، T_6 و شاهد نسبت به T_4 در مرحله چهارم به ترتیب برابر با ۴، ۵، ۱، ۱> و ۵ درصد و برای مرحله پنجم به ترتیب برابر با ۵، ۶، ۲، ۱ و ۷ درصد بدست آمد (جدول ۳). علاوه بر این، مصرف کودهای تیوسولفات بدلیل دارا بودن گوگرد (جدول ۱) باعث کاهش شاخص واکنش خاک شده است.

بر اساس نتایج بدست آمده، مصرف کودهای تیوسولفات کلسیم و پتاسیم به صورت خاک‌کاربرد در طول فصل رشد افزایش هدایت الکتریکی خاک را به دنبال داشت. همچنین بیشترین مقدار هدایت الکتریکی در مراحل اول، دوم، سوم، چهارم و پنجم نمونه‌برداری برای تیمارهای T_6، T_4، T_6، T_6 و T_6 (به ترتیب با ۰/۹۵، ۰۷، ۱/۰۵، ۱/۱۱، ۱/۱۸ دسی‌زیمنس بر متر) بدست آمد و کمترین میزان در این مراحل مربوط به تیمارهای T_2، T_2، T_2، T_2و مدیریت رایج کشاورز (به ترتیب با ۰/۵۱، ۰/۱۳، ۰/۱۳، ۰/۰۹ و ۰/۱ دسی‌زیمنس بر متر) بود. میزان افزایش هدایت الکتریکی خاک برای مراحل اول، دوم، سوم و چهارم در تیمارهای T_3، T_4، T_5 و T_6 در مقایسه با تیمار T_2 از ۱۰۰ درصد و برای شاهد در این مراحل به ترتیب برابر با ۶۰، ۶۲، ۳۱ و ۲۲ درصد محاسبه گردید. میزان افزایش این شاخص در مرحله پنجم نمونه‌برداری برای تمام تیمارها نسبت به شاهد بیش از ۱۰۰ درصد بدست آمد (جدول ۳).

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳، مصرف کودهای تیو سولفات کلسیم و پتاسیم به صورت خاک‌کاربرد در طول فصل رشد بهبود میزان نیتروژن کل خاک را موجب شد. به طوری‌که بیشترین محتوی نیتروژن کل خاک در مراحل اول، دوم، سوم، چهارم و پنجم نمونه‌برداری مربوط به تیمارهای T_3، T_6، T_6، T_6 و T_6 (به ترتیب با ۰/۰۵۷، ۰/۰۵۸، ۰/۰۶۲، ۰/۰۶۸ و ۰/۰۷۷ درصد) بود و کمترین میزان در تمام مراحل برای تیمار مدیریت رایج کشاورز (به ترتیب با ۰/۰۲۱، ۰/۰۱۴، ۰/۰۱۱، ۰/۰۴ و ۰/۰۳ درصد) مشاهده شد. میزان افزایش محتوی نیتروژن خاک برای تیمار T_2 برابر با ۶۲ درصد و برای سایر تیمارها بیش از ۱۰۰ درصد محاسبه گردید. میزان این افزایش برای مراحل دوم و سوم نمونه‌برداری در تمام تیمارها بیش از ۱۰۰ درصد به دست آمد. میزان افزایش این صفت برای مرحله چهارم در تیمارهای T_2، T_3، T_4، T_5 و T_6 در مقایسه با شاهد به ترتیب برابر با ۲۳، ۲۸، ۵۵، ۳۸ و ۷۰ درصد محاسبه گردید. میزان این افزایش در مرحله پنجم برای تیمار T_2 در مقایسه با مدیریت رایج کشاورز برابر با ۷۳ درصد و برای سایر تیمارها بیش از ۱۰۰ درصد محاسبه گردید (جدول ۳).

با توجه به نتایج ذکر شده در جدول ۳، مصرف کودهای تیو سولفات کلسیم و پتاسیم به صورت خاک‌کاربرد در طول فصل رشد موجب افزایش محتوی فسفر قابل دسترس خاک گردید.

همچنین بیشترین محتوی فسفر قابل دسترس در مرحله اول، دوم، سوم، چهارم و پنجم نمونه‌برداری به ترتیب به تیمارهای T_3، T_3، T_3، T_5 و T_5 (با ۲۶/۲، ۲۹/۳، ۳۰/۰۴، ۳۴/۴۹ و ۳۹/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بدست آمد و کمترین میزان به تیمارهای مدیریت کشاورز، T_2، T_6، T_6 و T_6 (با ۹/۰۶، ۱۵/۱۱، ۱۳/۲۳، ۹/۰۴ و ۵/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) اختصاص داشت

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر تیمارهای CaTs وKTS بر معیارهای شیمیایی خاک

Table 3. Mean comparisons for the effects of CaTs and KTS treatments on soil chemical criteria

	تیمارها Treatments	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	LSD (0.05)
شاخص واکنش pH	t_1	9.15	9.15	9.17	8.73	8.78	8.69	1.02
	t_2	9.11	9.08	9.14	8.71	8.72	8.63	1.06
	t_3	9.03	9.03	8.97	8.68	8.64	8.59	1.54
	t_4	8.98	8.87	8.92	8.52	8.59	8.54	1.22
	t_5	8.95	8.84	8.89	8.40	8.53	8.46	1.14
هدایت الکتریکی EC (dS/m)	t_1	0.24	0.15	0.87	0.93	0.71	0.95	0.89
	t_2	0.21	0.13	0.84	1.07	0.65	0.98	0.56
	t_3	0.17	0.13	0.78	1.02	0.58	1.05	0.43
	t_4	0.11	0.09	0.65	0.98	0.43	1.11	0.74
	t_5	0.10	0.31	0.13	0.84	0.27	1.18	0.93
نیتروژن کل Total N (%)	t_1	0.021	0.034	0.057	0.046	0.049	0.045	0.018
	t_2	0.014	0.037	0.054	0.057	0.051	0.058	0.014
	t_3	0.011	0.041	0.056	0.059	0.058	0.062	0.08
	t_4	0.04	0.049	0.051	0.062	0.055	0.068	0.03
	t_5	0.03	0.052	0.062	0.069	0.067	0.077	0.009
فسفر قابل دسترس Available P (mg/kg)	t_1	9.06	10.19	26.2	23.25	20.50	20.75	9.25
	t_2	18.86	15.11	29.3	26.76	25.04	17.06	5.02
	t_3	23.45	18.34	30.04	29.03	29.93	13.23	5.78
	t_4	26.41	27.83	33.31	32.23	34.49	9.04	8.83
	t_5	28.15	28.21	36.05	37.76	39.04	5.01	7.78
پتاسیم قابل دسترس Available K (mg/kg)	t_1	254	446	615	625	446	434	134.45
	t_2	233	462	671	649	472	459	78.89
	t_3	217	473	697	668	491	445	93.23
	t_4	201	484	723	701	504	433	67.76
	t_5	189	506	758	711	523	422	58.08

T_1: مدیریت رایج کشاورز (به عنوان شاهد)، T_2: T_1+ ۴۰ لیتر KTS در هکتار طی سه نوبت، T_3: T_1+ کاربرد ۲۰ لیتر KTS در هکتار طی سه نوبت، T_4: T_1+ کاربرد ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت + کاربرد ۵۰ لیتر در هکتار CaTs طی چهار نوبت، T_5: T_1+ کاربرد ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت + کاربرد ۱۰۰ لیتر در هکتار CaTs طی دو نوبت و T_6 :T_1+ کاربرد ۴۰ لیتر در هکتار KTS طی سه نوبت+ کاربرد ۶۷ لیتر در هکتار CaTs طی سه نوبت.

t_1، t_2، t_3، t_4 و t_5: به ترتیب نشان‌دهنده سه هفته بعد از هر نوبت آبیاری هستند.

*مقادیر بزرگتر از مقدار LSD در هر ردیف بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند ($p\leq ۰/۰۵$).

T_1: conventional on-farm management as control, T_2: T_1+application of 40 liters of KTS per ha three times, T_3: T_1+application of 20 liters of KTS per ha three times, T_4: T_1+application of 50 liters of CaTs per ha four times, T_5: T_1+application of 100 liters of CaTs per ha two times and T_6: T_1+application of 67 liters of CaTs per ha three times.
t_1, t_2, t_3, t_4 and t_5: are three weeks after each irrigation respectively.
* Values within each row followed by larger than the LSD values are significantly different ($p\leq 0.05$).

. میزان افزایش فسفر قابل دسترس خاک در مرحله اول برای تیمار T_2 در مقایسه با تیمار مدیریت رایج برابر با ۱۲ درصد و برای سایر تیمارها بیش از ۱۰۰ درصد محاسبه گردید. میزان این افزایش در مرحله دوم برای تیمارهای T_3، T_4، T_5، T_6 و مدیریت رایج در مقایسه با تیمار T_2 به ترتیب برابر با ۹۴، ۷۷، ۶۶، ۱۳ و ۲۵ درصد بدست آمد. در مرحله سوم، میزان افزایش محتوی فسفر قابل دسترس برای تیمارهای T_2 و مدیریت رایج کشاورز در مقایسه با تیمار T_6 به ترتیب برابر با ۳۹ و ۷۷ درصد و برای سایر تیمارها بیش از ۱۰۰ در صد تعیین گردید. میزان این افزایش در مراحل چهارم و پنجم نمونه‌برداری برای تمام تیمارها در مقایسه با تیمار T_6 بیش از ۱۰۰ درصد محاسبه شد (جدول ۳).

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، مصرف کودهای تیوسولفات کلسیم و پتاسیم به صورت خاک‌کاربرد در طول فصل رشد افزایش میزان پتاسیم قابل دسترس خاک را موجب گردید. همچنین بیشترین و کمترین میزان محتوی پتاسیم قابل دسترس خاک در مرحله اول به ترتیب مربوط به تیمار T_4 و مدیریت رایج (به ترتیب با ۶۲۵ و ۲۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. بیشترین میزان این صفت در مراحل دوم، سوم، چهارم و پنجم برای تیمار T_3 (به ترتیب با ۶۷۱، ۶۹۷، ۷۲۳ و

۷۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد و کمترین میزان مربوط به مدیریت رایج کشاورز (به ترتیب با ۲۳۳، ۲۱۷، ۲۰۱ و ۱۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. میزان افزایش محتوی پتاسیم قابل دسترس در مرحله اول نمونه‌برداری برای تیمارهای T_2، T_5 و T_6 به ترتیب برابر با ۷۶، ۷۶ و ۷۱ درصد و برای دو تیمار دیگر بیش از ۱۰۰ درصد در مقایسه با مدیریت رایج محاسبه گردید. در مرحله دوم، میزان افزایش محتوی پتاسیم قابل دسترس برای تیمارهای T_2 و T_6 در مقایسه با مدیریت رایج کشاورز به ترتیب برابر با ۹۸ و ۹۷ درصد و برای سایر تیمارها بیش از ۱۰۰ درصد تعیین گردید. میزان این افزایش در مرا حل سوم، چهارم و پنجم نمونه‌برداری برای تمام تیمارها در مقایسه با تیمار مدیریت رایج کشاورز بیش از ۱۰۰ درصد محاسبه گردید (جدول ۳).

مصرف عناصر غذایی پرمصرف مانند پتاسیم و کلسیم به صورت کودهای تیوسولفاته برای تأمین نیاز گیاه با حفظ سطوح هر یک از این عناصر در محلول خاک به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک بدلیل کمبود محتوی رطوبتی که بر جذب عناصر غذایی تأثیرگذار است، بایستی همواره مدنظر کشاورزان زعفران‌کار باشد. برر سی‌ها مؤید آن ا ست که فراهمی عنا صر غذایی برای بهبود رشد گیاه زعفران و تولید عملکرد قابل قبول ضروری است (Cole et al., 2016). دیویدسون و همکاران (Davidson et al., 2000) نیز نتیجه گرفتند هنگامی‌که گیاهان در مرحله یک‌سانی از ر شد و نمو قرار داشته و سایر عوامل تأثیرگذار ثابت می‌باشند، فراهمی و تعادل عنا صر غذایی در ترکیب شیمیایی خاک بر ر شد گیاهان تأثیر معنی‌داری دارد. همانطور که در جدول ۳ نیز مشاهده می‌شود، استفاده از کودهای تیوسولفاته CaTs و KTS احتمالاً از طریق تأثیر بر میزان pH و EC و تعدیل خ صو صیات شیمیایی خاک، به طور قابل توجهی بر میزان فراهمی عنا صر غذایی پرم صرف NPK در لا یه سطحی خاک تأثیر داشـ ته که این امر شاخص‌های مربوط به رشد و عملکرد برگ و بنه‌های دختری و گلدهی زعفران را تحت تأثیر قرار داده است (شکل‌های ۲، ۳ و ۴).

هدایت الکتریکی یکی از شاخص‌های کلیدی برای بررسی وضعیت عناصر غذایی خاک بوده که با محتوای آب خاک همبستگی مثبت داشته (Vyavahare et al., 2023) و میزان توصیه عناصر را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Mascianica, 1983; Kang et al., 2022).

اندازه‌گیری و ثبت دقیق شاخص واکنش خاک در خاک‌های آهکی بالا به دلیل خصوصیت بافری خاک در عمل بسیار سخت می باشد. در واقع، زمان و حتی مکان مناسب (منطقه نفوذ کود در محل ریشه)، نوع نمونه‌برداری از خاک‌های مختلف بر روی نتایج این شاخص شیمیایی خاک به شدت تاثیرگذار است، ولی در طرح‌ها و گزارش‌های مختلف تحت شرایط کنترل‌شده اثر تیوسولفات روی شاخص واکنش و پتانسیل اکسیداسیون و احیای خاک عنوان شده است (Nakajima et al., 2019; Husson, 2023). کاهش موقتی شاخص واکنش در خاک‌های آهکی باعث آزادسازی فسفر تثبیت‌شده در خاک شده که در نتایج سایر مطالعات نیز رابطه مستقیم بین میزان تیوسولفات (ترکیب دو کود) و آزادسازی فسفر مشاهده شده است. البته شیوه‌ها و عملیات مختلف زراعی نیز با تغییر ویژگی‌ها، عوامل محیطی و پارامترهای بیولوژیکی خاک، آزادسازی و جذب فسفر توسط گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Zamuner et al., 2008; Peters et al., 2011; Zhu & Li, 2018; Cheng et al., 2020). خاک‌ورزی، اصلاح شاخص واکنش خاک (Tiecher et al., 2023) و مالچ‌پاشی (Cheng et al., 2020; Lu et al., 2020) نیز از دیگر پارامترهای زراعی موثر بر کارایی مصرف فسفر و معدنی‌شدن فسفر در خاک معرفی شده‌اند.

علاوه بر موارد ذکر شده، به نظر می‌رسد که تفاوت در میزان عناصر غذایی در خاک، علاوه بر جذب از خاک و تبدیل آن در گیاه، تحت تأثیر برخی موارد قرار می‌گیرد که در ادامه به تعدادی از مهمترین آنها اشاره شده است. نتایج مطالعه‌ای نیز نشان داده است که بین محتوی رطوبتی خاک و تغذیه فسفر، رابطه هم‌افزایی وجود دارد و با تغییر محتوی رطوبتی از اشباع به سمت رطوبت‌های کمتر، جریان رطوبت به صورت مایع کاهش می‌یابد که در شرایط وجود رطوبت کم، محتوی رطوبتی به منافذ خیلی‌ریز محدود شده که در نتیجه انتشار فسفر را محدود می‌نماید (Shirmohammadi et al., 2020). ریزموجودات خاکزی نیز به طور مستقیم آزادسازی و چرخه فسفر خاک را از طریق حلالیت، معدنی‌شدن، تثبیت و غیره تحت تأثیر قرار می‌دهند (Du et al., 2008). ریزموجودات خاکزی همچنین انحلال فسفر را

تقویت می‌کنند (Malik et al., 2012; Wang et al., 2019). دیلون و همکاران (Dhillon et al., 2017) نیز بیان داشتند که فسفر با کانی‌های خاک پیوند تشکیل داده و به شکل‌های غیرقابل استفاده برای گیاه تبدیل می‌گردند. همچنین محققان بر این باورند که میزان بالای برخی عناصر غذایی، به دلیل برهم زدن تعادل عناصر غذایی در خاک، فراهمی و قابلیت جذب سایر عناصر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کلسیم و فسفر، وضعیت برخی عناصر غذایی چون پتاسیم را بهبود می‌بخشد (Li et al., 2023; Zhu & Li, 2018).

نتایج برخی مطالعات نشان داده است که شاخص‌های موثر در وضعیت سطح خاک به طور معنی‌داری بر دمای آب تأثیر گذاشته و بدلیل تغییر در شرایط هیدروترمال خاک، پویایی عناصر غذایی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند (Keller et al., 2012; Annaheim et al., 2015; Yan et al., 2016; Cheng et al., 2020). همچنین برخی مطالعات نیز تأکید نموده‌اند که در دسترس بودن عناصر با افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی در خاک افزایش می‌یابد (Boateng et al., 2006; Taiwo et al., 2018). محتوای ماده آلی خاک و نوع اجزای معدنی خاک به ویژه رس، خصوصیات اصلی خاک بوده که بر جذب عناصر غذایی توسط گیاه تأثیر می‌گذارند (Taiwo et al., 2018; Malik et al., 2012) که یکی از دلایل افزایش بازارهای جهانی کودهای آلی در جهت توسعه کشاورزی پایدار می‌باشد (Wang et al., 2018; Nakajima et al., 2019; Husson, 2023).

بررسی‌ها مؤید آن است که استفاده از انواع کودها در کشت زعفران عمدتاً بر اساس تجربیات کشاورزان و نه خصوصیات شیمیایی خاک انجام می‌شود که این امر با توجه به افت سطح تولید زعفران نیازمند مدیریت مناسب اکولوژیکی می‌باشد. مطابق با سایر مطالعات، نتایج این تحقیق نیز نشان داد که غلظت عناصر غذایی و سایر ویژگی‌های شیمیایی خاک در لایه سطحی خاک به طور معنی‌داری تحت تأثیر استفاده از کودهای تیوسولفاته کلسیم و پتاسیم قرار گرفت (Liu et al., 2011; Vieira et al., 2008; Covaleda et al., 2009; Darilek et al., 2009). بر این اساس، یکی از راهکارهای بهبود فعالیت‌های بیولوژیکی استفاده از کودهای اکولوژیکی در خاک می‌باشد (AL-Jabori et al., 2011; Wang et al., 2018; Nakajima et al., 2019; Purbajanti et al., 2019; Lu et al., 2020; Husson, 2023; Vyavahare et al., 2023). کای و همکاران (Cai et al., 2018) نیز نتیجه گرفتند که تیوسولفات پتاسیم به عنوان مهارکننده نیتریفیکاسیون عمل نموده و به دلیل کاهش پتانسیل انتشار اکسیدهای نیتروژن نقش مهمی در کاهش هدررفت این عنصر ایفا می‌نماید که این امر با توجه به پتانسیل زعفران در انتشار گازهای گلخانه‌ای (Khorramdel et al., 2021) و لزوم بهبود کارایی مصرف نیتروژن در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته حائز اهمیت می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه روی اثر کودهای تیوسولفات پتاسیم و کلسیم (به صورت CaTs و KTS) بر ویژگی‌های خاک، رشد برگ و عملکرد گل و بنه زعفران تحت مدیریت رایج کشاورز پیشرو در منطقه زاوه در تربت‌حیدریه نشان داد که کودهای تیوسولفاته CaTs و KTS در افزایش رشد برگ، عملکرد گل و شاخص‌های رشدی بنه دختری زعفران و معیارهای شیمیایی خاک کارآمد بودند. به طوری‌که کاربرد کودهای CaTs و KTS باعث کاهش pH و افزایش EC، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس و پتاسیم قابل دسترس در خاک در مقایسه با مدیریت رایج کشاورز پیشرو شد. اگرچه شاخص واکنش خاک تحت تأثیر اعمال تیمارهای کودهای CaTs و KTS تغییر اندکی را نشان داد، ولی در طول زمان بهبود فراهمی عناصر غذایی پرمصرف NPK را موجب گردید. بدین ترتیب، استفاده صحیح از عناصر غذایی و تعادل آن‌ها در خاک (بر اساس شاخص واکنش و EC به عنوان دو پارامتر کلیدی) با تأثیر بر فراهمی عناصر غذایی پرمصرف، می‌تواند در افزایش عملکرد و حاصلخیزی خاک در مزارع زعفران مؤثر باشد. به طور کلی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که مدیریت زراعی زعفران با تأکید بر خصوصیات خاک باعث تحریک رشد این گیاه و فراهمی و جذب بیشتر عناصر از خاک می‌شود. به طور کلی، بر اساس نتایج خصوصیات خاک، شاخص‌های رشدی گل، برگ و تعداد و وزن بنه‌های دختری، T_6 (شاهد+ ۴۰ لیتر KTS + ۶۷ لیتر CaTs) به عنوان بهترین تیمار کاربردی معرفی گردید. در مجموع، استفاده از کودهای KTS و CaTs به منظور تأمین نیاز پتاسیم، کلسیم و گوگرد برای زعفران و از طرفی تأثیر بر اصلاح خصوصیات شیمیایی خاک و آزاد سازی سایر عناصر غذایی موجود در خاک

برای قابل جذب بودن توسط گیاه به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک برای دستیابی به ثبات و تولید پایدار زعفران توصیه می‌شود.

قدردانی

بودجه این طرح کاربردی توسط شرکت اینترنشنال تسندرلو کرلی اینترنشنال تأمین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Al-Jabori, J. S. J., Al-Obaed, B. S. O., & Al-Amiri, A. H. F. (2011). Effect of soil gypsum content and kind of organic matter on status and behavior of potassium. Tikrit J. Agric. Sci. 11(4), 299-310.

Amiri, M. E. (2008). Impact of animal manures and chemical fertilizers on yield components of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agric. Environ. Science*, 4 (3), 274–279.

Annaheim, K., Doolette, A., Smernik, R., Mayer, J., Oberson, A., Frossard, E., & Bünemann, E. (2015). Long-term addition of organic fertilizers has little effect on soil organic phosphorus as characterized by 31P NMR spectroscopy and enzyme additions. *Geoderma*, 257–258, 67–77.

Bader, B. R., Taban, S. K., Fahmi, A. H., Abood, M. A., & Hamdi, G. J. (2021). Potassium availability in soil amended with organic matter and phosphorous fertiliser under water stress during maize (*Zea mays* L.) growth. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(6), 390-394.

Behnia, M. R., Estilai, A., & Ehdaie, B. (1999). Application of fertilizers for increased saffron yield. *Journal of Agron. Crop Sci*ence, 182, 9-15. [In Persian].

Behzad, S., Razavi M., & Mahajeri M. (1990a). The effect of mineral nutrients (NPK) on saffron production. *Journal of International Symposium on Medicinal and Aromatic Plants, XXIII IHC* 306, 426-430.

Behzad, S., Razavi, M., & Mahajeri, M. (1990b). The effect of various amount of ammonium phosphate and urea on saffron production. *Journal of International Symposium on Medicinal and Aromatic Plants*, 306, 337–339.

Bertheloot, J., Martre, P., & Andrieu, B. (2008). Dynamics of light and nitrogen distribution during grain filling within wheat canopy. *Journal of Plant Physiology*, 148, 1707–1720.

Boateng, S., Zickermann, J., & Kornahrens, M. (2006). Poultry manure effect on growth and yield of maize. *West African Journal of Applied Ecology*, 9(1), 1–11.

Cai, Z., Gao, S., Xu, M., and Hanson, B. D. 2018. Evaluation of potassium thiosulfate as a nitrification inhibitor to reduce nitrous oxide emissions. Science of the Total Environment 618, 243-249. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.274

Cardone, L., Castronuovo, D., Perniola, M., Cicco, N., & Candido, V. (2020). Saffron (*Crocus sativus* L.), the king of spices: An overview. *Scientia Horticulturae*, 272, 109560.

Cole, J. C., Smith, M. W., Penn, C. J., Cheary, B. S., & Conaghan, K. J. (2016). Nitrogen, phosphorus, calcium, and magnesium applied individually or as a slow release or controlled release fertilizer increase growth and yield and affect macronutrient and micronutrient concentration and content of field-grown tomato plants. *Journal of Scientia Horticulturae*, 211, 420–430.

Covaleda, S., Pajares, S., Gallardo, J. F., Padilla, J., Baez, A., & Etchevers, J. D. (2009). Effect of different agricultural management systems on chemical fertility in cultivated tepetates of the Mexican transvolcanic belt. *Journal of Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129, 422-427.

Darilek, J. L., Huang, B., Wang, Z., Qi, Y., Zhao, Y., Sun, W., Gu, Z., & Shi, X. (2009). Changes in soil fertility parameters and the environmental effects in a rapidly developing region of China. *Journal of Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129, 286-292.

Dastranj, M., & Sepaskhah, A. L. (2019). Saffron response to irrigation regime, salinity and planting method. Scientia *Horticulture*, 251, 215-224.

Davidson, H., Mecklenburg, R., & Peterson, C. (2000). *Nursery Management Administration and Culture*, 4th ed. Pearson.

De-Juan, J.A., Corcoles, L., Munoz, R., & Picornell, R. (2009). Yield and yield components of saffron under different cropping systems. Ind. *Journal of Crops Production*, 30, 212–219.

Dhillon, J., Torres, G., Driver, E., Figueiredo, B., & Raun, W. R. (2017). World phosphorus use efficiency in cereal crops. *Agronomy Journal*, 109(4), 1670-1677.

Ding, X., Jiang, Y., Zhao, H., Guo, D., He, L., Liu, F., Zhou, Q., Nandwani, D., Hui, D., & Yu,

J. (2018). Electrical conductivity of nutrient solution influenced photosynthesis, quality, and antioxidant enzyme activity of pakchoi (*Brassica campestris* L. ssp. Chinensis) in a hydroponic system. *PLoS One*, 13(8), e0202090. doi: 10.1371/journal.pone.0202090

Dordas, C. (2009). Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation: partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source–sink relations. *Journal of European Agronomy*, 30: 129–139.

Du, F., Liang, Z., Xu, X., Zhang, X., & Shan, L. (2008). Spatial heterogeneity of soil nutrients and aboveground biomass in abandoned old-fields of loess hilly region in Northern Shaanxi, China. *Acta Ecologica Sinica*, 28, 13–22.

Feizi, H., & Tosan, M. (2017). Saffron yield variability by climatic factors in the northeast of Iran. *Journal of Acta Horticulturae*, 109-114.

Gerkani Nezhad Moshizi, Z., Bazrafshan, O. Ramezani Etedali, H., Esmaeilpoor, Y., & Collins, B.(2022) . The effect of past climate change on the water footprint trend in saffron at homogeneous agroclimatic regions of Khorasan. *Journal of Saffron Research*, 10 (2), 295-311. [In Persian].

Gresta, F., Avola, G., Lombardo, G. M., Siracusa, L., & Ruberto, G. (2009). Analysis of flowering, stigmas yield and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by environmental conditions. *Scientia Horticulturae*, 119 (3), 320–324.

Gresta, F., Lombardo, G. M., Siracusa, L., & Ruberto, G. (2008). Effect of mother corm dimension and sowing time on stigma yield: Daughter corms and qualitative aspects of saffron (*Crocus sativus* L.) in a Mediterranean environment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 1144-1150.

Hasanuzzaman, M., Borhannuddin Bhuyan, M. H. M., Nahar, K., Hossain, M. S., Al Mahmud, J., Hossen, M. S., Masud, A. A. C. M., & Masayuki Fujita, M. (2018). Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Journal of Agronomy*, 8, 31.

Hosseini, M., Mollafilabi, A., & Nassiri, M. (2008). Spatial and temporal patterns in saffron (*Crocus sativus* L.) yield of Khorasan province and their relationship with long-term weather variation. *Journal of Iranian Field Crop Research*, 6 (1), 79-88. [In Persian].

Husson, O. (2023). Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. *Plant & Soil*, 362, 389–417. DOI 10.1007/s11104-012-1429-7

Kalbasi, M. (1996). The status of organic matter in Iranian soils and the role of compost. The 5th Congress of Soil Sciences of Iran. Karaj. Iran. p. 7-11. [In Persian].

Kang, H. J., Oh, M. H., & Won-Pyo Park, W. P. (2022.). Determination of application rates of nitrogen fertilizer for 'Shiranuhi' mandarin in plastic film houses using soil electrical conductivity. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 55(4), 413-423.

Keller, M., Oberson, A., Annaheim, K. E., Tamburini, F., Mäder, P., Mayer, J., Frossard, E., & Bünemann, E. K. (2012). Phosphorus forms and enzymatic hydrolyzability of organic phosphorus in soils after 30 years of organic and conventional farming. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175, 385–393. 31

Khorramdel, S., Eskandari Nasrabadi, S., & Mahmoodi, G. (2015). Evaluation of mother corm weights and foliar fertilizer levels on saffron (*Crocus sativus* L.) growth and yield components. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2 (1), 9-14.

Khorramdel, S., Moallem Banhangi, F., & Davarpanah, S. J. (2021). Effect of intercropping patterns with mallow on replacement corms and flower yield and qualitative criteria of saffron in the third year. *Saffron Agronomy & Technology*, 8(4), 479-495. [in Persian].

Khorramdel, S., Moallem Banhangi, F., & Ibrahimi, M. J.(2023) . Optimization of manure and potassium fertilizers in saffron cultivation by using surface-response methodology. *Journal of Saffron Research*, 11 (1), 1-188. [In Persian].

Khorramdel, S., Nassiri Mahallati, M., Soltan Ahmadi, A., Hooshmand, M., and Mostafavi, M. J. (2021). Evaluation of carbon footprint and N_2O emission indicators for saffron production systems in Khorasan provinces. *Saffron Agronomy & Technology*, 9(3): 249-267. [in Persian].

Koocheki, A. (2018). Agro-ecological aspects of saffron production with a holistic approach. In: 5th National Conference on Saffron. [in Persian].

Koocheki, A., & Seyyedi, S. M. (2015). Relationship between nitrogen and phosphorus use efficiency in saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by mother corm size and fertilization. *Journal of Industrial Crops and Products*, 71, 128–137.

Koocheki, A.,& Seyyedi, S. M.(2020) . Saffron "seed", the corm. In: A. Koocheki and M. Khajeh-Hosseini (Eds.). Saffron: Science, Technology and Health. Elsevier Inc. p. 93-118.

Koocheki, A., Najibnia, S.,& Lalehgani, B. (2009). Evaluation of saffron yield (*Crocus sativus* L.) in intercropping with cereals, pulses and medicinal plants. *Journal of Iranian Field Crops Research*, 7 (1), 175-184. [In Persian].

Koocheki, A., Seyyedi, S. M.,& Jamshid Eyni, M. (2014). Irrigation levels and dense planting affect flower yield and phosphorus concentration of saffron corms under semi-arid region of Mashhad. Northeast Iran. Scientia Horticulturae, 180, 147–155.

Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S.,& Azimi, R.(2012). The effect of irrigation intervals and intercropped marjoram (*Origanum vulgare*) with saffron (*Crocus sativus*) on possible cooling effect of corms for climate change adaptation. *Journal of Iranian Field Crops Research*, 11 (3), 390-400. [In Persian].

Kumar, R., Singh, V., Devi, K., Sharma, M., Singh, M. K., & Ahuja, P. S. (2009). State of art of saffron (*Crocus sativus* L.) agronomy: A comprehensive review. *Food Reviews International*, 25, 44–85.

Lea, P. J., & Azevedo, R. A. (2006). Nitrogen use efficiency, 1 uptake of nitrogen from the soil. *Annals of Applied Biology*, 149 (3), 243–247.

Li, Y., Xu, X., Suo, L., Sun, Y., Sun, N., Liu, J., Li, S., Zou, G., & Liao, S. (2023). The effects of calcium and sulfur fertilizers accompanied by different side elements on the growth and Cd uptake of *Spinacia oleracea* grown in cd-contaminated alkaline soil. *Horticulturae, 9*, 835. https://doi.org/10.3390/horticulturae9070835

Liu, B., Li, Y., Zhang, X., Wang, J., & Gao, M. (2014). Combined effects of chlortetracycline and dissolved organic matter extracted from pig manure on the functional diversity of soil microbial community. *Journal of Soil Biol Biochem*, 74, 148–155.

Liu, Z., Chen, X., Shi, Y., & Niu, M. (2011). Available K and Total Organic C Accumulation in Soil with the Utilization Ages of the Vegetable Greenhouses in the Suburb of Shenyang. *Journal of Procedia Environmental Sciences*, 8, 48–53.

López Rodríguez, F.N. (1989). Estudio histológico de *Crocus sativus* L. Tesina de Licenciatura, Universidad Pública de Pamplona, Pamplona, España.

Lopez-Corcoles, H., Brasa-Ramos, A., Montero-García, F., Romero-Valverde, M., & Montero-Riquelme, F. (2015). Phenological growth stages of saffron plant (*Crocus sativus* L.) according to the BBCH Scale. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 13(3), e09SC01. http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2015133-7340

Lu, X., Mahdi, A. K., Han, X. Z., Chen, X., Yan, J., Biswas, A., & Zou, W. X. (2020). Long-term application of fertilizer and manures affect P fractions in Mollisol. *Scientific Reports*, 10(1), 14793. doi: 10.1038/s41598-020-71448-2.

Magdoff, F., & Weil, R. R. (2004). Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture. CRC Press.

Malik, M. A., Marschner, P., & Khan, K. S. (2012). Addition of organic and inorganic P sources to soil. Effects on P pools and microorganisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 49, 106–113.

Margon, A., Parente, G., Piantanida, M., Cantone, P., & Leita, L. (2015) Novel Investigation on Ammonium Thiosulphate (ATS) as an Inhibitor of Soil Urease and Nitrification. *Agricultural Sciences*, 6: 1502-1512. http://dx.doi.org/10.4236/as.2015.612144

Mascianica, M. P. (1983). Relationships between electrical conductivity and fertilizer levels in an azalea liner growing medium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 14(7), 575-584. https://doi.org/10.1080/00103628309367390

McGimpsey, J. A., Douglas, M. H., & Wallace, A. R. (1997). Evaluation of saffron (*Crocus sativus* L.) production in New Zealand. *Journal of Crop Hortic. Science*, 25, 159-168.

Ministry of Agriculture-Jihad. (2022). Agricultural Statistics, (Vol. II). Islamic Republic of Iran, Ministry of AgricultureJihad, available at: https://koaj.ir/modules/showframework.aspx?RelFacilityId=1241&ObjectID=851&FrameworkPageType=SEC [in Persian].

Mollafilabi, A., & Khorramdel, S. (2016). Effects of cow manure and foliar spraying on agronomic criteria and yield of saffron (*Crocus Sativus* L.) in a six-year-old farm. *Journal of Agronomy and Technology*, 3 (4), 237- 249. [In Persian].

Nakajima, T., Kawano, Y., Ohtsu, I., Maruyuama-Nakashita, A., Allahham, A., Sato, M., Sawada, Y., Yokota Hirai, M.Y., Yokoyama, T.Y., & Naoko Ohkama-Ohtsu, N. (2019). Effects of thiosulfate as a sulfur source on plant growth, metabolites accumulation and gene expression in *Arabidopsis* and rice. *Plant & Cell Physiology*, 60(8), 1683–1701. doi:10.1093/pcp/pcz082

Peters, K., Jensen, L. S., Hjorth, M., & Magid, J. (2011). Carbon, nitrogen and phosphorus distribution in particle-size fractionated pig and cattle slurry. *Journal of Environmental Quality*, 40, 224–232.

Purbajanti, E. D., Slamet, W., Fuskhah, E., & Rosyida. (2019). Effects of organic and inorganic fertilizers on growth, activity of nitrate reductase and chlorophyll contents of peanuts (*Arachis hypogaea* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 250(1), 012048.

Ramaekers, L., Remans, R., Rao, I.M., Blair, M. W., & Vanderleyden, J. 2010. Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants. *Journal of Field Crop Research*, 117, 169–176.

Renau-Morata, B., Nebauer, S. G., Sánchez, M., & Molina, R. V. (2012). Effect of corm size, water stress and cultivation conditions on photosynthesis and biomass partitioning during the vegetative growth of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Industrial Crops and Products*, 39, 40-46.

Rezaei, H. (2013). A review of research on the use of cow manure in agricultural lands of Iran. *Journal of Land Management*, 1 (1), 55-68. [In Persian].

Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S.,& Mollafilabi, A.(2015 .Evaluation of soil physical and chemical characteristics impacts on morphological criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, 3(2): 188-203. [in Persian].

Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Molafilabi, A., & Seyyedi, S. M. (2013). Effect of biological and chemical fertilizers on replacement corm and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Crop Science*, 15, 234–246. [In Persian].

Ruan, L., Zhang, J., & Xin, X. (2014). Effect of poor-quality irrigation water on potassium release from soils under long-term fertilization. *Acta Agriculturae Scandinavica B- Soil & Plant Science*, 6455(1), 45.

Salvagiotti, F., Castellarín, J. M., Miralles, D. J., & Pedrol, H. M. (2009). Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Journal of Field Crop Research*, 113 (2), 170–177.

Schmidt, M., Betti, G., & Hensel, A. (2007). Saffron in phytotherapy: Pharmacology and clinical uses. *Journal of Wiener medizinische Wochenschrift*, 157, 315-319.

Shahandeh, H. (2020). Soil conditions for sustainable saffron production. In: Saffron: Science, Technology and Health. Koocheki, A., Khajeh-Hosseini, M., (Eds.). Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 545 p.

Shahnoushi, N., Abolhassani, L., Kavakebi, V., Reed, M.,& Saghaian, S. (2020). Economic analysis of saffron production. In: A. Koocheki and M. Khajeh-Hosseini (Eds.). *Journal of* Saffron: Science, Technology and Health, 337-356.

Shahriary, R., Rezvani Moghaddam, P., Jahan, M., & Khorasani, R. (2018). Effects of nutrition management on saffron (*Crocus sativus* L.) stigma and flower yield. *Journal of Saffron Agronomy and Technology*, 6 (2), 181-196. [In Persian].

Sharma, S., Kaur, G., Singh, P., Alamri, S., Kumar, R., & Siddiqui, M. H. (2022). Nitrogen and potassium application effects on productivity, profitability and nutrient use efficiency of irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of PLoS ONE*, 17(5), e0264210.

Shirani, H., Hajabasi, M.A., Afyuni, M., & Hemmat, A. (2002). Effect of farmyard manure and tillage system on soil physical properties and corn yield in central Iran. *Journal of Soil and Tillage Research*, 68 (2), 101-108.

Shirmohammadi, E., Alikhani, H., Pourbabaee, A. A., & Etesami, H. (2020). The effect of plant growth promoting rhizobacteria isolated from dryland farming on available phosphorus and some physiological and growth traits of wheat under water-deficit stress. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(3), 787-800. [In Persian]

Siracusa, L., Gresta, F., Avola, G., Lombardo, G.M., Albertini, E., Raggi, L., Marconi, G. & Ruberto, G. (2013). Agronomic, chemical and genetic variability of saffron from Eurasia and Oceania by LC-UV–vis-DAD and AFLP analyses. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60 (2), 711–721.

Taiwo, A. A., Adetunji, M. T., Azeez, J. O., & Elemo, K. O. (2018). Kinetics of potassium release and fixation in some soils of Ogun State, Southwestern, Nigeria as influenced by organic manure. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 7(3), 251–259.

Tiecher T., Fontoura S. M. V., Ambrosini V. G., Araújo E. A., Alves L. A., Bayer C., & Gatiboni L. C. (2023). Soil phosphorus forms and fertilizer use efficiency are affected by tillage and soil acidity management. *Geoderma*, 435, 116495.

Ünal, M., & Çavuşoğlu, A. (2005). The effect of various nitrogen fertilizers on saffron (Crocus *sativus* L.) yield. Akdeniz Üniv. *Journal of Ziraaf Fak. Dergisi*, 18(2), 257-260.

Vieira, F. C. B., Bayer, C., Mielniczuk, J., Zanatta, J., & Bissani, C. A. (2008). Long-term acidification of a Brazilian Acrisol as affected by no till cropping systems and nitrogen fertiliser. *Australian Journal of Soil Research*, 46, 17-26.

Vyavahare, G. D., Lee, Y., Seok, Y. J., Kim, H. N., Sung, J., & Park, J. H. (2023). Monitoring of soil nutrient levels by an ec sensor during spring onion (*Allium fistulosum*) cultivation under different fertilizer treatments. *Agronomy*, 13, 2156. https://doi.org/10.3390/agronomy13082156

Wang, J., Anderson, C. W. N., Xing, Y., Fan, Y., Xia, J., Sabry M. Shaheen, S. M., Rinklebe, J., & Feng, X. (2018). Thiosulphate-induced phytoextraction of mercury in *Brassica juncea*: Spectroscopic investigations to define a mechanism for Hg uptake. *Environmental Pollution*, 242, 986e993.

Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q.,& Shiwei Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(4), 7370–7390.

Yan, Z., Chen, S., Li, J., Alva, A., & Chen, Q. (2016). Manure and nitrogen Olsen-P application

enhances soil phosphorus mobility in calcareous soil in greenhouses. *The Journal of Environmental Management*, 181, 26–35.

Zabihi, H. R., & Pishbin, M. (2018). Management of basic nutrients and organic matter in the nutrition of saffron farms. *Journal of Saffron*, 2(1), 1-9. [In Persian].

Zabihi, H., & Feizi, H. (2014). Saffron response to the rate of two kinds of potassium fertilizers. *Journal of Saffron Agronomy and Technology*, 2(3), 191-198. [in Persian].

Zamuner, E. C., Picone, L. I., & Echeverria, H. E. (2008). Organic and inorganic phosphorus in Mollisol soil under different tillage practices. *Soil Research*, 99, 131-138.

Zhu, J., & Li, M. (2018). Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: a review. *Science of the Total Environment*, 612, 522–537.

COPYRIGHTS

© 2024 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 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)