

تأثیر تاریخ کاشت و کودهای با بنیان نانو بر صفات کمی و کیفی زعفران در منطقه گیلان

داود هاشم آبادی^{۱*}، سمانه ظهیری برسری^۲، فاطمه زارع دوست^۳، مریم جدید سلیماندارابی^۲ و حسن فیضی^۳

۱. دانشیار، گروه علوم باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۳. دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تربت حیدریه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۱۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۲۰)

چکیده

به منظور بررسی خصوصیات کمی و کیفی زعفران (*Crocus sativus* L.) تحت تأثیر نانو کود کامل (۰ (K₀), ۵ (K₁) و ۱۰ (K₂) میلی گرم در لیتر)، نانو لوله کربن (۰ (L₀) و ۲ (L₁) میلی گرم در لیتر) و تاریخ‌های مختلف کاشت (۲۵ مرداد (T₁), ۵ شهریور (T₂) و ۱۵ شهریور (T₃)) آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد تأخیر در تاریخ کاشت به همراه کاربرد نانو کودها موجب افزایش صفات کمی و کیفی زعفران شد و "L₁K₁T₃" در صفات طول دوره گل‌دهی (۱۴/۶۶ روز)، تعداد گل (۴/۳۳ عدد)، وزن تر کلاله (۰/۴۸۸ میلی‌گرم)، وزن خشک کلاله (۰/۲۲ میلی‌گرم)، سافرانال، پیکروکروسین و کروسین (به ترتیب با ۴۴/۵۶، ۸۱/۱۳ و ۱۸۸/۳۳ حداکثر جذب در طول موج مشخص بر اساس ماده خشک حداقل) برترین تیمار بود و در تمام صفات مذکور، به جز پیکروکروسین، تفاوت معنی‌داری با "L₁K₂T₃" نداشت. بیشترین مقدار آنتوسیانین گلبرگ متعلق به سه تیمار "L₁K₂T₃", "L₁K₂T₂" و "L₁K₁T₃" بود. به‌طور کلی می‌توان گفت که کاربرد نانو کودها با فراهمی مناسب عناصر غذایی و کاشت بنه‌ها در شهریور با فراهم نمودن رطوبت و دمای مناسب برای رشد، موجب بهبود عملکرد کمی و کیفی زعفران در این منطقه شد.

واژه‌های کلیدی: پیکروکروسین، سافرانال، صفات رویشی، کروسین، کود نانو.

Effects of planting date and nano fertilizers on quantity and quality features of saffron in Guilan

Davood Hashemabadi^{1*}, Samane Zahiri Barsari², Fatemeh Zaredost², Maryam Jadid Solimandarabi² and Hassan Feizi³

1. Associate Professor, Department of Horticulture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

2. Former M. Sc. Student, Young Researchers and Elite Club, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

3. Associate Professor, Department of Plant Production, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran

(Received: Aug. 1, 2018 - Accepted: Dec. 11, 2018)

ABSTRACT

The present study aimed to study quantitative and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by complete nano fertilizer (0 (K₀), 5 (K₁), and 10 (K₂) mg l⁻¹), carbon nanotube (0 (L₀) and 2 (L₁) mg l⁻¹) and different planting dates (August 15 (T₁), August 26 (T₂), and September 5 (T₃)) in a factorial experiment based on a RCBD with three replications. It was found that delayed sowing accompanied with the application of nano fertilizers promoted quantitative and qualitative traits; so that in the application of "L₁K₁T₃" for the duration of flowering period (14.66 days), flower number (4.033), stigma fresh weight (0.0488 mg), stigma dry weight (0.022 mg), and safranal (44.56), picrocrocin (81.13) and crocin (188.33); However, "L₁K₁T₃" is in all mentioned traits other than picrocrocin did not significant difference with "L₁K₂T₃". The highest anthocyanin was obtained under "L₁K₁T₃", "L₁K₂T₃", "L₁K₂T₂" and "L₁K₁T₃". In total, it can be said that the quantitative and qualitative yield of saffron was improved by the application of nano fertilizers – through making the optimum nutrients available-and the planting of roots in August-September – through making the optimum moisture and temperature available.

Keywords: Crocin, nano fertilizer, picrocrocin, safranal, vegetative traits.

* Corresponding author E-mail: davoodhashemabadi@yahoo.com

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) متعلق به تیره زنبق و گران‌بهارترین محصول کشاورزی در جهان است که ارزش دارویی- خوراکی و همچنین زینتی دارد. با توجه به جایگاه استراتژیک زعفران در کشاورزی ایران، انجام مطالعات در زمینه بهبود کمیت و کیفیت تولید این گیاه همراه با کاهش هزینه‌های تولید می‌تواند نقش مهمی در توسعه این محصول بومی ایران داشته باشد. یکی از مهمترین عوامل در این زمینه، بهبود حاصلخیزی خاک و مدیریت تغذیه‌ای گیاه است (Rezvani Moghaddam *et al.*, 2013; Baghai & Maleki Farahani, 2014; Koocheki *et al.*, 2011).

کودهای آلی و دامی نقش مؤثری در عملکرد زعفران دارند و توصیه شده است قبل از کاشت زعفران ۴۰ تا ۸۰ تن در هکتار کود کاملاً پوسیده به مزرعه زعفران اضافه شود. گرچه استفاده از کودهای آلی و دامی موجب حاصلخیزی خاک مزرعه شده، اما ممکن است تمامی عناصر مورد نیاز گیاه را به مقدار لازم فراهم ننماید. بررسی‌ها، نشان داده است که عملکرد گل زعفران با نیتروژن نیتراتی و پتاسیم تبدالی همبستگی مثبت و با نیتروژن آمونیایی و سولفات همبستگی منفی دارد. از نظر عناصر کم مصرف نیز آهن نقش مؤثری در عملکرد زعفران دارد (Behnia, 2012; Omidbaigi, 2011). برخی محققان مناسب‌ترین نسبت بین نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای زراعت زعفران را به ترتیب ۱، ۳ و ۴/۵ ذکر نموده‌اند که با توجه به وضعیت خاک باید در اختیار گیاه قرار گیرد. بنابراین نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی و لزوم بررسی در رابطه با نوع و مقدار کود مورد استفاده در زراعت زعفران احساس می‌شود، تا ضمن به حداقل رساندن مصرف نهاده‌های شیمیایی، حداکثر تولید و عملکرد زعفران به دست آید (Behdani *et al.*, 2005; Asadi *et al.*, 2014; Behnia, 2012; Omidbaigi, 2011; Chaji *et al.*, 2014).

استفاده از نانوکودها به منظور کنترل دقیق آزاد سازی عناصر غذایی می‌تواند گامی مؤثر در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست باشد. با بکارگیری نانو کودها به عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی کود به تدریج و

به صورت کنترل شده در خاک آزاد می‌شوند و عملکرد محصول را بهبود می‌بخشند (Baghai & Maleki, 2009; Farahani, 2014; Baruah & Dutta, 2009). Rashidi (2012) معتقد است که کاربرد نانو کودها ساده‌ترین و مؤثرترین روش به منظور کاهش تلفات عناصر غذایی و افزایش کارایی مصرف کود است.

Naderian Far *et al.* (2015) اثر کم آبیاری و نانو کود کامل سوپر میکرو را بر عملکرد و اجزای عملکرد ریحان بررسی و عنوان نمودند که بیشترین عملکرد دانه در بوته و بیشترین میزان اسانس در تیمار ۱۰۰ درصد کود سوپر میکرو به دست می‌آید. Koocheki *et al.* (2011) بیشترین تعداد گل، وزن خشک گل، کلاله و بنه زعفران را با کاربرد کود کامل حاوی ۱۲ درصد نیتروژن، ۸ درصد فسفر، ۴ درصد پتاسیم و کلات‌های آهن، روی، منگنز و مس به دست آوردند. اثر مثبت محلول‌پاشی نانو کود کامل بر رشد، نمو و مواد مؤثره بایونو آلمانی (Mohammadi & Azizi, 2015) و عملکرد و افزایش جذب عناصر غذایی برنج (Benzon *et al.*, 2015) گزارش شده است.

یکی از محصولات نانو که در سالیان اخیر به طور قابل توجهی نظر محققین بخش کشاورزی را به خود جلب نموده است، نانولوله‌های کربنی است. این ترکیب می‌تواند با سازوکارهایی در سطح ریخت‌شناسی و فیزیولوژی سلول‌های گیاهی تغییر ایجاد کرده و اثر سودمندی روی رشد دانه‌ها ایجاد نماید. همچنین تأثیر نانولوله‌های کربن روی تسریع جوانه‌زنی بذرها به اثبات رسیده است، اما تاکنون گزارشی مبنی بر اثر این ماده روی رشد گیاهان پیازی منتشر نشده است (Wang *et al.*, 2009; Khodakovskaya *et al.*, 2004).

تعدادی از محققان اثرات مثبت نانولوله‌های کربنی چندجداره را بر جوانه‌زنی و رشد گیاه (Khodakovskaya *et al.*, 2009; Villagarcia *et al.*, 2012; Mondal *et al.*, 2011) و جذب بیشتر آب و تحریک رشد گیاهان (Tripathi *et al.*, 2011) گزارش نموده‌اند. Tiwari *et al.* (2014) نیز استفاده از نانولوله‌های کربنی را در بهینه‌سازی جذب آب و حمل و نقل مواد غذایی در مناطق خشک و بهبود رشد و عملکرد گیاهان گزارش نمودند.

۳۷° و ارتفاع از سطح دریا ۴۰ متر در دو سال زراعی ۹۴ و ۹۵ انجام شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش
Table 1. Physical and chemical properties of the soil used in the experiment

Texture	OC (%)	K (ppm)	P (ppm)	N (%)	EC (µmho/cm)	pH
Lomay	7.8	41.52	22	1.9	178.4	6.6

در این پژوهش از بنه‌های زعفران ۸ تا ۱۰ گرمی حاصل باغات ناردیس زعفران قائنات، نانو کود کامل خضرا (حاوی ۶ درصد نیتروژن، ۳ درصد فسفر، ۱۷ درصد پتاسیم، ۳ درصد منیزیم، ۱ درصد کلسیم، ۶ درصد گوگرد، ۴ درصد آهن، ۴ درصد روی، ۲ درصد منگنز، ۰/۵ درصد مس، ۰/۵ درصد بر، ۰/۱ درصد مولیبدن) و نانولوله‌های کربن سیگما آلدريج استفاده شد. این مطالعه در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار، ۳ تکرار، ۵۴ واحد آزمایشی و در هر واحد آزمایشی ۱۶ بوته اجرا شد. عامل اول شامل نانو کود کامل در سه سطح (صفر (K₀), ۵ (K₁) و ۱۰ (K₂) میلی‌گرم در لیتر)، عامل دوم شامل نانو لوله کربن در دو سطح (صفر (L₀) و ۲ (L₁) میلی‌گرم در لیتر) و عامل سوم شامل تاریخ‌های مختلف کاشت در سه سطح (۲۵ مرداد (T₁), ۵ شهریور (T₂) و ۱۵ شهریور (T₃)) بودند.

در سال اول، قبل از کشت، بنه‌های زعفران به مدت ۱۰ دقیقه داخل سوسپانسیون ۲ میلی‌لیتر نانو لوله‌های کربن در یک لیتر آب قرار داده شدند و پس از آن بلافاصله کشت بنه‌ها در کرت‌هایی به ابعاد ۱×۱ متر، فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و در عمق ۲۰ سانتی‌متری داخل کرت‌ها انجام شد. در سال دوم در نیمه دوم شهریور ماه (۲۸ تا ۳۰ شهریور) همزمان با سست کردن سطح کرت‌ها به منظور تسریع در روند خارج شدن چمچه‌ها، ۲ میلی‌گرم در لیتر نانو لوله‌های کربن به‌صورت کود آبیاری برای تیمارهای دارای نانو لوله کربن استفاده شد. آبیاری در پایان کاشت بنه‌ها (شهریور ماه) انجام شد و پس از آن به دلیل وقوع بارندگی مکرر آبیاری انجام نشد.

تاریخ کاشت یکی دیگر از عوامل مهم و تأثیر گذار در تولید محصولات کشاورزی است و شناخت مناسب‌ترین زمان کاشت زعفران برای هر منطقه جهت ارتقا کمی و کیفی محصول ضروری می‌باشد (Mohammadi Mirik *et al.*, 2009; Ghobadi *et al.*, 2015). زمان کاشت بنه زعفران به شرایط اقلیمی محل کاشت بستگی دارد (Omidbaigi, 2011). Behnia (2012) معتقد است که بنه‌های زعفران را باید با توجه به بحث فنولوژیکی زعفران کشت نمود؛ یعنی یا باید در مرحله اول رکود یعنی خرداد ماه تا اوایل تیر و یا در مرحله سوم رکود یعنی شهریور ماه یا اوایل مهرماه اقدام به کشت زعفران نمود.

Behdani & Fallahi (2015) یکی از مهمترین عوامل کاهش رشد بنه و پایین بودن عملکرد مزارع زعفران را به خصوص در سال اول عدم رعایت تاریخ کاشت مناسب این گیاه می‌دانند. Sarmadnia & Koocheki (1987) معتقدند تعیین مناسب‌ترین زمان کاشت زعفران در هر منطقه‌ای جهت دستیابی به حداکثر عملکرد ضروری است. Pazoki *et al.* (2011) گزارش نمودند که به دلیل تأثیر تاریخ کاشت بر مراحل مختلف رشد و نمو زعفران مانند بهاره‌سازی، زمستان‌گذرانی، عملکرد، تشکیل آغازه‌های برگ و توسعه‌ی آن‌ها تعیین مناسب‌ترین زمان کاشت یکی از مهمترین عوامل مربوط به کشت زعفران در هر منطقه است. در پژوهشی که در شرایط اقلیمی و خاکی لنگرود-گیلان انجام شد، بالاترین عملکرد و دوره بهره‌برداری زعفران در سال اول کشت از بالاترین تراکم (۸۰ بنه در متر مربع) در عمق ۵ سانتی‌متری در کشت شهریورماه به‌دست آمد (Sadeghi *et al.*, 2014).

اهمیت اقتصادی زعفران و همچنین رویش زعفران‌های خودرو در مناطق مختلف گیلان موجب ارائه این مطالعه بر روی زعفران شد تا با تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت و بهبود کمیت و کیفیت آن توسط نانو کودها جهت توسعه بیشتر این گیاه در استان گامی برداشته شود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه‌ای واقع در گیلان با طول و عرض جغرافیایی "۲۱۲/۷۶' ۲۰" و "۴۱/۷۷' ۱۱"

قطر بنه

در پایان دوره گل‌دهی ۱۰ بنه از خاک خارج شد و پس از حذف برگ‌ها و خاک از روی بنه‌ها، قطر بنه با کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد.

کلروفیل کل

برای اندازه‌گیری کلروفیل، برگ‌ها در پایان دوره گل‌دهی جدا و سپس به روش Mazumdar & Majumdar (2003) پروسه اندازه‌گیری کلروفیل انجام شد. به این منظور عصاره‌گیری با استون ۸۰ درصد انجام و سپس مقدار رنگدانه به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۰ و ۶۴۲ نانومتر خوانده شد و در آخر با کمک فرمول زیر مقدار کلروفیل برگ بر حسب میلی‌گرم در هر گرم وزن تر محاسبه گردید:

$$\text{کلروفیل کل} = 7.12 (A_{660}) + 16.8 (A_{642})$$

آنتوسیانین گلبرگ

از روش Mazumdar & Majumdar (2003) جهت اندازه‌گیری آنتوسیانین گلبرگ زعفران استفاده شد. به این منظور ۰/۵ گرم بافت تازه گلبرگ داخل هاون چینی با متانول عصاره‌گیری شد و از این عصاره برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین به روش اسپکتروفتومتری و در طول موج ۵۳۵ نانومتر استفاده شد. در نهایت مقدار آنتوسیانین از فرمول زیر به دست آمد و بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم بافت تازه گزارش شد.

$$\text{آنتوسیانین گلبرگ} = \frac{e \times b \times c}{d \times a} \times 100$$

که در آن: e = وزن نمونه؛ b = حجم نمونه برای اندازه‌گیری؛ c = کل محلول ساخته شده؛ d = حجم نمونه برداشت شده؛ a = عدد خوانده شده است.

سافرانال، کروسین و پیکروکروسین

جهت اندازه‌گیری ترکیبات فوق از روش Institute of Standard & Industrial Research Organization of Iran 259-2 (1993) استفاده شد و میزان جذب در طیف‌های ۲۵۷ نانومتر (پیکروکروسین)، ۳۳۰ نانومتر (سافرانال) و ۴۴۰ نانومتر (کروسین) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد.

تغذیه زعفران با نانو کود کامل در ۳ مرحله در سال و در غلظت‌های ذکرشده انجام شد. در سال اول کشت، اولین کوددهی با اولین آبیاری در تاریخ ۳۰ شهریور ۱۳۹۴، دومین کوددهی در ۱۰ آذر ۱۳۹۴ پس از اتمام گل‌دهی به صورت محلول‌پاشی روی برگ‌ها و سومین کوددهی نیز در تاریخ ۲۰ اسفند ۱۳۹۴ همراه با آبیاری انجام شد. کوددهی در سال دوم، در ۳۰ شهریور ۱۳۹۵ همراه اولین آبیاری انجام شد. دومین مرحله کوددهی در سال دوم نیز به صورت محلول‌پاشی روی برگ‌ها در ۱۰ آذر ۱۳۹۵ پس از اتمام گل‌دهی انجام شد.

برداشت گل‌ها و نمونه‌گیری جهت اندازه‌گیری صفات مختلف

گل‌دهی زعفران از اواسط آبان‌ماه آغاز و تا اوایل آذرماه به اتمام رسید. برداشت گل‌ها در مرحله غنچه و صبح زود انجام شد. در همان روز جداسازی گل از کلاله انجام شد، نمونه‌گیری جهت اندازه‌گیری صفات رویشی و زایشی از ۱۰ بوته و جهت اندازه‌گیری صفات کیفی در آزمایشگاه از کل بوته‌های هر کرت نمونه‌برداری انجام شد.

ارزیابی صفات

طول دوره گل‌دهی

طول دوره گل‌دهی زعفران با شمارش روزها از زمان ظهور اولین گل تا ظهور آخرین گل در هر کرت محاسبه شد و میانگین آن محاسبه و گزارش شد.

تعداد گل و تعداد برگ

تعداد گل در طول دوره گل‌دهی و تعداد برگ در پایان دوره گل‌دهی در ۱۰ بوته شمارش و سپس میانگین آن به عنوان تعداد گل و برگ در بوته گزارش شد.

وزن تر و خشک کلاله

جهت اندازه‌گیری وزن تر و خشک کلاله از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. به این منظور پس از برداشت گل‌ها، کلاله از گل خارج و وزن تر کلاله اندازه‌گیری شد. پس از آن کلاله‌ها در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت خشک و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

"LKT" روی تعداد گل زعفران در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲). بررسی مقایسه میانگین‌های اثر سه جانبه "LKT" نشان داد با کاربرد نانولوله‌های کربن تعداد گل نسبت به عدم کاربرد آن در سطوح مختلف نانو کود کامل و در هر سه تاریخ کاشت بخصوص ۱۵ شهریور افزایش یافته است. بیشترین تعداد گل (۴/۰۳۳) مربوط به تیمار "L₁K₁T₃" بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار "L₁K₂T₃" (۳/۹) نداشت. کمترین تعداد گل نیز با ۰/۴۶۶ گل متعلق به "L₀K₀T₁" بود (جدول ۳).

وزن تر کلالة

اثر ۳ جانبه "LKT" روی وزن تر کلالة در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمارهای شاهد کودی در هر سه تاریخ کاشت دارای کمترین مقدار وزن تر کلالة بودند. همانگونه که در جدول ۳ مشخص است در بین کلیه تیمارها، بیشترین وزن تر کلالة متعلق به دو تیمار "L₁K₁T₃" (۰/۰۴۸۸ میلی‌گرم) و "L₁K₂T₃" (۰/۰۴۸۶ میلی‌گرم) است که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای "L₁K₂T₂" (۰/۰۴۳۶ میلی‌گرم) و "L₁K₁T₂" (۰/۰۴۳۳ میلی‌گرم) نداشتند. کمترین وزن تر کلالة (۰/۰۲۹۶ میلی‌گرم) نیز متعلق به تیمار "L₀K₀T₁" بود (جدول ۳).

آنالیز داده‌ها

پس از جمع‌آوری داده‌ها، آنالیز صفات مورد بررسی به کمک نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های کمی

طول دوره گل‌دهی

اثر سه جانبه "LKT" روی طول دوره گل‌دهی زعفران در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سه جانبه "LKT" نشان داد که طول دوره گل‌دهی با تأخیر در زمان کاشت در همه سطوح کودی افزایش می‌یابد. همچنین افزایش معنی‌دار طول دوره گل‌دهی در تیمارهای دارای نانو کود کامل و نانو لوله‌های کربن نسبت به تیمارهای فاقد نانو کودها مشاهده شد. بیشترین طول دوره گل‌دهی (۱۴/۶۶ روز) متعلق به تیمار "L₁K₁T₃" بود که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار "L₁K₂T₃" (۱۴/۳۳ روز) نداشت. کمترین طول دوره گل‌دهی به تیمار "L₀K₀T₃" با ۴/۳۳ روز اختصاص داشت (جدول ۳).

تعداد گل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر سه جانبه

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده زعفران

Table 2. Analysis of variance of different treatments on the measured traits of saffron

S.o.V.	df	Total chlorophyll	Petal anthocyanin	Safranal	Crocin	Picrocrocin	Leaf number	Corn diameter	Stigma fresh weight	Stigma dry weight	Flower number	Days to flower
Replication	2	0.0014 ^{ns}	3161 ^{**}	44536.6 [*]	106892 ^{**}	277641 ^{**}	246.1 ^{**}	35.31 [*]	0.00003 ^{ns}	0.000063 [*]	3.62 ^{**}	12.67 ^{**}
Carbon nanotube (L)	1	0.377 ^{**}	158627 ^{**}	704.16 ^{**}	16949 ^{**}	297.04 [*]	2978 ^{**}	718.1 ^{**}	0.00182 ^{**}	0.000071 ^{**}	6.70 ^{**}	211.1 ^{**}
Nano fertilizer (K)	2	1.907 ^{**}	135519 ^{**}	1620.59 ^{**}	26618 ^{**}	364.91 ^{**}	1113 ^{**}	290.9 ^{**}	0.00087 ^{**}	0.00057 ^{**}	5.96 ^{**}	143.2 ^{**}
Planting dates (T)	2	0.655 ^{**}	1592 [*]	701.75 ^{**}	7600.57 ^{**}	106.20 [*]	315.8 ^{**}	43.15 [*]	0.00062 ^{**}	0.00089 ^{**}	11.68 ^{**}	132.8 ^{**}
L × K	2	0.071 ^{**}	7556 ^{**}	123.25 ^{**}	3760.31 ^{**}	5.689 ^{ns}	46.91 [*]	45.84 [*]	0.00003 ^{ns}	0.000009 ^{ns}	0.265 ^{ns}	9.00 [*]
L × T	2	0.085 ^{**}	4323 ^{**}	27.33 ^{ns}	818.75 ^{ns}	21.74 ^{ns}	25.93 ^{ns}	41.25 [*]	0.000009 ^{ns}	0.000013 ^{ns}	0.429 [*]	0.842 ^{ns}
K × T	4	0.039 [*]	3501 ^{**}	7108 [*]	2144.85 ^{ns}	27.10 ^{ns}	8.26 ^{ns}	14.38 ^{ns}	0.00008 [*]	0.00007 [*]	0.189 ^{ns}	1.70 ^{ns}
L × K × T	4	0.051 ^{**}	760 [*]	20.75 ^{**}	580.91 ^{ns}	185.63 ^{**}	231.8 ^{**}	17.65 [*]	0.00082 ^{**}	0.000071 [*]	3.07 ^{**}	10.148 ^{**}
Error	34	0.0103	356.1	249.06	10209	340.06	15.87	10.5	0.000015	0.000012	0.121	2.48
C.V. (%)		4.47	4.25	6.26	11.35	8.85	12.65	12.63	11.53	29.98	23.82	13.84

*, **, ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

*, **, ns: Significantly differences at 5 and 1% of probability levels, and non-significant, respectively.

جدول ۳. مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده زعفران

Table 3. Mean comparison of the different treatments on the measured traits on saffron

Treatments	Total chlorophyll (mg g ⁻¹ F.W.)	Petal anthocyanin (mg 100g ⁻¹ F.W.)	Safranal (Max. absorbance of safranal at 330 nm based on min. D.W.)	Crocin (Max. absorbance of crocin at 440 nm based on min. D.W.)	Picrocrocin (Max. absorbance of picrocrocin at 257 nm based on min. D.W.)	Stigma fresh weight (mg)	Stigma dry weight (mg)	Corm diameter (mm)	Flower number	Leaf number	Days to flower (day)
L ₀ K ₀ T ₁	1.820 ^b	264.1 ^g	17.33 ^h	83.46 ^a	63.60 ^d	0.0296 ^h	0.002 ^g	18.59 ^b	0.466 ⁱ	19.26 ^f	4.33 ^h
L ₀ K ₁ T ₁	2.508 ^{cd}	421.8 ^d	22.20 ^f	90.73 ^a	68.60 ^{b-d}	0.0360 ^{efg}	0.007 ^{efg}	20.63 ^{gh}	1.333 ^{gh}	31.96 ^e	6.66 ^{fgh}
L ₀ K ₂ T ₁	2.660 ^{bc}	450.7 ^c	23.53 ^f	136.96 ^a	68.10 ^{b-d}	0.0370 ^{d-g}	0.008 ^{ef}	22.49 ^{fgh}	1.266 ^{gh}	36.66 ^{b-e}	8.33 ^{d-g}
L ₁ K ₀ T ₁	2.238 ^{ef}	392.7 ^e	17.96 ^{gh}	114.80 ^a	71.53 ^{b-d}	0.0366 ^{efg}	0.005 ^{fg}	29.28 ^{b-f}	0.733 ^{hi}	34.73 ^{de}	7.00 ^{e-h}
L ₁ K ₁ T ₁	2.581 ^{bc}	533.9 ^b	33.73 ^{bc}	164.03 ^a	73.23 ^{bc}	0.0416 ^{b-e}	0.010 ^{def}	26.98 ^{c-g}	1.733 ^{efg}	45.03 ^a	8.66 ^{def}
L ₁ K ₂ T ₁	2.349 ^{d-f}	533.5 ^b	28.86 ^{de}	170.43 ^a	74.66 ^{bc}	0.0426 ^{bcd}	0.012 ^{cde}	30.72 ^{b-e}	1.400 ^{gh}	41.96 ^{abc}	9.00 ^{c-f}
L ₀ K ₀ T ₂	1.721 ^h	323.2 ^f	20.46 ^g	98.76 ^a	66.63 ^{cd}	0.0333 ^{gh}	0.005 ^{fg}	18.79 ^h	1.033 ^{gh}	20.73 ^f	5.33 ^{gh}
L ₀ K ₁ T ₂	2.352 ^{d-f}	396.9 ^e	27.93 ^{ef}	116.90 ^a	74.09 ^{bc}	0.0393 ^{b-f}	0.009 ^{def}	22.64 ^{fgh}	1.733 ^{efg}	31.76 ^e	9.66 ^{c-f}
L ₀ K ₂ T ₂	2.249 ^{ef}	422.9 ^d	30.33 ^{cd}	154.10 ^a	69.60 ^{cde}	0.0376 ^{c-g}	0.013 ^{b-e}	24.10 ^{e-h}	2.200 ^{def}	35.63 ^{cde}	9.33 ^{c-f}
L ₁ K ₀ T ₂	1.989 ^g	395.8 ^e	24.06 ^f	105.06 ^a	67.54 ^{cd}	0.0360 ^{efg}	0.008 ^{ef}	22.35 ^{fgh}	1.466 ^{gh}	35.43 ^{cde}	7.00 ^{e-h}
L ₁ K ₁ T ₂	2.205 ^f	537.0 ^b	37.06 ^{bc}	177.83 ^a	75.26 ^{bc}	0.0433 ^{abc}	0.017 ^{abc}	33.90 ^{a-d}	3.133 ^{bc}	42.96 ^{ab}	10.00 ^{cde}
L ₁ K ₂ T ₂	2.265 ^{ef}	583.9 ^a	37.56 ^{bc}	185.03 ^a	77.46 ^b	0.0436 ^{ab}	0.017 ^{abc}	34.24 ^{abc}	2.933 ^{cd}	41.00 ^{a-d}	11.33 ^{bcd}
L ₀ K ₀ T ₃	1.743 ^h	344.0 ^f	19.36 ^{gh}	123.13 ^a	66.83 ^{cd}	0.0343 ^{fgh}	0.010 ^{def}	19.80 ^{gh}	1.700 ^{efg}	22.53 ^f	7.33 ^h
L ₀ K ₁ T ₃	2.249 ^{ef}	432.6 ^{cd}	31.70 ^{cd}	149.16 ^a	70.50 ^{b-e}	0.0386 ^{b-g}	0.017 ^{abc}	26.69 ^{d-g}	2.933 ^{cd}	30.46 ^e	12.00 ^{bc}
L ₀ K ₂ T ₃	2.377 ^{de}	451.4 ^c	33.10 ^{bc}	153.60 ^a	76.26 ^b	0.0396 ^{b-f}	0.018 ^{ab}	30.77 ^{b-e}	3.066 ^c	35.05 ^{cde}	11.00 ^{cd}
L ₁ K ₀ T ₃	1.856 ^{gh}	343.0 ^f	26.66 ^{ef}	138.66 ^a	72.10 ^{bc}	0.0380 ^{b-g}	0.014 ^{bcd}	27.04 ^{c-g}	2.433 ^{cde}	35.80 ^{cde}	9.33 ^{c-f}
L ₁ K ₁ T ₃	2.951 ^a	573.6 ^a	44.56 ^a	188.33 ^a	81.13 ^a	0.0488 ^a	0.022 ^a	36.25 ^{ab}	4.033 ^a	44.39 ^a	14.66 ^a
L ₁ K ₂ T ₃	2.748 ^b	589.7 ^a	40.46 ^{ab}	181.53 ^a	73.50 ^{bc}	0.486 ^a	0.021 ^a	37.60 ^a	3.900 ^{ab}	40.83 ^{a-d}	14.33 ^{ab}

* در هر ستون حروف مشترک عدم وجود تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) در آزمون LSD را نشان می‌دهد. L₁ و L₂ به ترتیب نشان‌دهنده ۰ و ۲ میلی‌گرم در لیتر نانو لوله کربن؛ K₁ و K₂ به ترتیب نشان‌دهنده ۰، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانو کود کامل و T₁، T₂ و T₃ نیز به ترتیب نشان‌دهنده تاریخ کاشت ۲۵ مرداد، ۵ شهریور و ۱۵ شهریور می‌باشند.

* In each column, means with the similar letters are not significant different ($P < 0.05$) using LSD test. L₁ and L₂: 0 & 2 mg L⁻¹ Carbon nanotube; K₀, K₁ & K₂: 0, 5 & 10 mg L⁻¹ Nano fertilizer; T₁, T₂ & T₃: Planting dates at 15, 26 August & 5 September.

وزن خشک کلاله

۴۴/۳۹) برگ بود که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای "L₁K₂T₁"، "L₁K₁T₂"، "L₁K₂T₂" و "L₁K₂T₃" نداشتند. کمترین تعداد برگ متعلق به تیمارهای "L₀K₀T₁" (۱۹/۲۶ برگ)، "L₀K₀T₂" (۲۰/۷۳ برگ) و "L₀K₀T₃" (۲۲/۵۳ برگ) بود که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۳).

قطر بنه

تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بین تیمارهای "LKT" روی قطر بنه زعفران مشاهده شد (جدول ۲). کمترین قطر بنه به‌طور مشترک متعلق به تیمارهای "L₀K₀T₁" (۱۸/۵۹ میلی‌متر) و "L₀K₀T₂" (۱۸/۷۹ میلی‌متر) بود. تیمار "L₁K₂T₃" (۳۷/۶۰ میلی‌متر) بیشترین قطر بنه را به‌خود اختصاص داد که با تیمارهای "L₁K₁T₃" (۳۶/۲۵ میلی‌متر)، "L₁K₂T₂" (۳۴/۲۴ میلی‌متر) و "L₁K₁T₂" (۳۳/۹۰ میلی‌متر) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت بنه‌های زعفران متناسب با شرایط اقلیمی هر منطقه نقش مهمی در

اثر ۳ جانبه "LKT" روی وزن خشک کلاله در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین وزن خشک کلاله متعلق به دو تیمار "L₁K₁T₃" (۰/۰۲۲ میلی‌گرم) و "L₁K₂T₃" (۰/۰۲۱ میلی‌گرم) بود که با تیمارهای "L₀K₂T₃"، "L₁K₂T₂"، "L₁K₁T₂" و "L₀K₁T₃" تفاوت معنی‌داری نداشتند. کمترین وزن خشک کلاله نیز متعلق به تیمار "L₀K₀T₁" (۰/۰۰۲ میلی‌گرم) بود (جدول ۳).

تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس اثر سه جانبه "LKT" تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر تعداد برگ زعفران نشان داد (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به تعداد برگ زعفران نشان داد تعداد برگ با کاربرد نانو کودها، نسبت به عدم کاربرد در هر سه تاریخ کاشت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همانگونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود بیشترین تعداد برگ متعلق به تیمار "L₁K₁T₁" (۴۵/۰۳ برگ) و "L₁K₁T₃"

مثال گروهی از محققان گزارش دادند که کاهش طول دوره گل‌دهی و فراهم کردن امکان گل‌دهی همزمان بنه‌های زعفران یکی از مهمترین پیش نیازهای تولید زعفران به صورت مکانیزه است (Cavusoglu *et al.*, 2009)، در صورتی که Molina *et al.* (2004) معتقدند که افزایش طول دوره گل‌دهی در زعفران یکی از موارد مثبت در تولید این محصول می‌باشد، زیرا موجب کاهش نیاز به نیروی کار زیاد در یک بازه زمانی کوتاه می‌گردد. این محققان یکی از عوامل مؤثر در کاهش کشت و کار زعفران در اسپانیا را نیاز به نیروی کار فشرده و زیاد طی دو تا سه هفته گل‌دهی زعفران می‌دانند. آنان معتقدند که افزایش طول دوره گل‌دهی زعفران امکان تامین نیروی کار کافی در مناطقی با وسعت سطح کشت بالا را فراهم می‌نماید و از این جهت یکی از ویژگی‌های مثبت می‌باشد.

در پژوهش حاضر طول دوره گل‌دهی با تأخیر در تاریخ کاشت افزایش یافت و بالاترین طول دوره گل‌دهی (۱۴/۶۶ روز) متعلق به "L₁K₁T₃" بود که موجب افزایش تعداد گل و عملکرد تر و خشک کلاله شد. برخی از محققان افزایش طول دوره گل‌دهی زعفران را بخاطر بارندگی پاییزه و خسارت به گل‌ها و کلاله نامطلوب می‌دانند (Rostami & Mohammadi, 2013)، اما در پژوهش حاضر با توجه به بارندگی‌های مکرر در زمان برداشت گل‌ها به دلیل این که برداشت گل‌ها در مرحله غنچه انجام گردید خسارت چندانی به کلاله‌ها وارد نشد؛ بنابراین در این مطالعه افزایش طول دوره گل‌دهی مثبت عنوان می‌شود.

دستیابی به حداکثر عملکرد و افزایش دوره تولید زعفران علاوه بر شرایط آب‌وهوایی و خاک، نیازمند بهره‌گیری از عملیات زراعی مناسب از جمله فراهمی مناسب عناصر غذایی است که این مهم با توجه به دوره رشد طولانی و بهره‌برداری (عموماً ۸ ساله در ایران) و همچنین افزایش بنه‌ها در طول زمان اهمیت ویژه‌ای دارد. در واقع مدیریت صحیح کود یا تامین عناصر غذایی مورد نیاز زعفران در طول دوره تولید می‌تواند نقش چشمگیری در افزایش و ثبات تولید این گیاه با ارزش داشته باشد (Naderi Darbaghshahi *et al.*, 2008; Koocheki *et al.*, 2011; Amiri, 2008).

تولید این گیاه دارد. در پژوهش حاضر کشت بنه‌ها در تاریخ‌های ۱۵ و ۵ شهریورماه منجر به بهبود تمام صفات کمی مورد اندازه‌گیری نسبت به تاریخ کاشت ۲۵ مردادماه شد.

Sadeghi *et al.* (2014) اثر تاریخ کاشت، عمق و فاصله کاشت بر رشد بنه و عملکرد زعفران در لنگرود گیلان را بررسی نمودند و نشان دادند که با توجه به نوع اقلیم منطقه گیلان، کاشت زعفران در شهریورماه نسبت به تیر و مرداد مناسب‌تر است. این محققان بیشترین عملکرد گل و کلاله را در تاریخ کاشت شهریورماه ثبت نمودند. همچنین این پژوهشگران معتقدند از آنجاکه تاریخ کاشت به دو عامل دما و رطوبت خاک بستگی دارد، خنک‌شدن هوا در شهریورماه موجب افزایش عملکرد زعفران می‌شود که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. Behnia (2012) عنوان نمود که بهتر است از کشت بنه زعفران در تیرماه و اوایل مرداد خودداری گردد، زیرا گرمای هوا و رطوبت نسبی پایین در این ماه‌ها موجب از دست رفتن رطوبت بنه‌ها در حین جابه‌جایی و کشت شده و با آسیب به بنه‌ها موجب کاهش عملکرد زعفران می‌شود.

Koocheki *et al.* (2011) معتقدند که تعیین تاریخ کاشت مناسب می‌تواند موجب گل‌دهی مطلوب زعفران شود. در پژوهش حاضر تعداد گل با تأخیر در کاشت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بیشترین تعداد گل (۴/۳۳) متعلق به تاریخ کاشت ۱۵ شهریور بود. نتایج حاصل از پژوهش Sadeghi *et al.* (2014) نشان می‌دهد که بیشترین تعداد گل زعفران در لنگرود در تاریخ کاشت شهریور ماه به‌دست می‌آید، این محققان بر این عقیده‌اند که شرایط آب‌وهوایی گیلان در این ماه می‌تواند شرایط ایده‌آلی برای گل‌دهی زعفران ایجاد نماید که با نتایج پژوهش حاضر موافقت دارد.

در پژوهش Rostami & Mohammadi (2013) تاریخ کاشت اثر معنی‌داری روی طول دوره گل‌دهی نداشت؛ این محققان معتقدند که ایجاد تغییر در زمان شروع گل‌دهی و طول این دوره به شرایط اقلیمی، اجتماعی و اقتصادی منطقه مورد مطالعه و هدف تولید کننده ممکن است سودمند یا نامطلوب باشد؛ به‌عنوان

نانو کود کامل نسبت به شاهد افزایش یافته است. نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش Koocheki *et al.* (2011) که گزارش نمودند کاربرد نانو کود کامل در زراعت زعفران موجب فراهمی مناسب عناصر غذایی مورد نیاز زعفران شده و شاخص‌های رشد و عملکرد را افزایش می‌دهد، مطابقت دارد. در پژوهش Hosseini *et al.* (2004) رابطه مثبت بین کاربرد کودهای شیمیایی با طول دوره گل‌دهی و افزایش عملکرد زعفران گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر و نتایج پژوهش Asadi *et al.* (2014) که نشان‌دهنده اثر مثبت تیمارهای کودی روی طولانی شدن دوره گل‌دهی زعفران است مطابقت دارد.

Davoody *et al.* (2013) اثر مثبت نانو کودها را در افزایش صفات کمی و کیفی گیاهان به حلالیت بیشتر نانوکودها و همچنین سبک و کوچک بودن آنها و شانس بیشتر ریشه‌ها در تماس و جذب نانو ذرات می‌دانند. در پژوهش Rezvani Moghaddam *et al.* (2013) بیشترین تعداد گل زعفران در سال دوم و با کاربرد کود کامل به دست آمد. Koocheki *et al.* (2011) گزارش نمودند که کاربرد کود کامل در تغذیه زعفران می‌تواند با تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در بهبود ویژگی‌های رشد و عملکرد زعفران نقش مؤثری داشته باشد؛ در پژوهش این محققان بیشترین تعداد گل، وزن خشک گل، کلاله و بنه با کاربرد کود کامل به دست آمد.

شاخص‌های کیفی

کلروفیل کل

اثر سه جانبه "LKT" روی کلروفیل کل برگ زعفران در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین مقدار کلروفیل کل (۲/۹۵۱ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر) متعلق به تیمار "L₁K₁T₃" بود. تیمارهای "L₀K₀T₁" (۱/۸۲ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر)، "L₀K₀T₂" (۱/۷۲۱ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر) و "L₀K₀T₃" (۱/۷۴۳ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر) تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند و کمترین مقدار کلروفیل کل را بخود اختصاص دادند (جدول ۳).

استفاده از نانو تکنولوژی در تولید کودها، به‌منظور بهبود فرمولاسیون کود، افزایش کارایی استفاده از مواد غذایی و تولید کودی سازگار با محیط زیست است. محققین معتقدند که نانوکودها با افزایش جذب مواد غذایی توسط ریشه‌ها موجب مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها شده و بهبود رشد و عملکرد گیاه را منجر می‌شوند (DeRosa *et al.*, 2010). Naderi & Danesh Shahraki (2013) معتقدند که نانو کودها از طریق افزایش بهره‌وری کود، کاهش مقدار و تعداد دفعات کودپاشی و کاهش آلودگی محیط زیست، پتانسیل بالایی برای دستیابی به کشاورزی پایدار را دارند. در پژوهش حاضر استفاده از نانو لوله‌های کربن در تمامی صفات کمی اندازه‌گیری شده برتر از عدم کاربرد نانولوله‌های کربن بودند.

Nalwade & Bonawate (2014) گزارش نمودند که کاربرد ۸۰ میکرومول در میلی‌گرم نانو لوله کربن موجب افزایش جوانه‌زنی و افزایش رشد ریشه پیاز می‌شود، آنان معتقدند که نانولوله‌های کربنی توانایی افزایش رشد گیاه را دارند. نتایج پژوهش حاضر با توجه به اثر مثبت نانولوله‌های کربنی در افزایش صفات رویشی و زایشی زعفران با نتایج Nalwade & Bonawate (2014) مطابقت دارد. Tiwari *et al.* (2014) گزارش نمودند که کاربرد غلظت‌های پایین نانولوله‌های کربن موجب جذب بهتر آب، افزایش بیومس گیاهی و افزایش غلظت عناصر غذایی در ذرت می‌شود و به این ترتیب با کاهش استرس‌های وارد شده به گیاه موجب بهبود رشد می‌شود.

نتایج پژوهش Khodakovskaya *et al.* (2009) نشان داد گوجه‌فرنگی‌های رشدیافته در خاک تیمار شده با نانولوله‌های کربنی دارای گل و میوه بیشتری نسبت به تیمار شاهد هستند که با نتایج پژوهش حاضر که بیانگر افزایش تعداد گل، وزن تر و خشک کلاله می‌باشد مطابقت دارد. البته شاید اثر مثبت نانولوله‌های کربن در افزایش صفات کمی به نقش کربن در افزایش ماده آلی خاک باشد که برای اثبات، نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد.

بررسی نتایج مربوط به اثر نانوکود کامل روی صفات کمی زعفران نشان داد تمامی صفات کمی با کاربرد

آنتوسیانین گلبرگ

اثر سه جانبه تیمارها روی آنتوسیانین گلبرگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمارهای "L₁K₂T₃" (۵۸۹/۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر)، "L₁K₂T₂" (۵۸۳/۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) و "L₁K₁T₃" (۵۷۳/۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند و برترین تیمارها در صفت آنتوسیانین گلبرگ بودند. "L₀K₀T₁" با ۲۶۴/۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر کمترین مقدار آنتوسیانین گلبرگ را داشت و تیمار مناسبی در صفت فوق نبود (جدول ۳).

سافرانال (عطر)

تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بین تیمارهای اثر سه جانبه "LKT" روی مقدار سافرانال کلاله زعفران وجود داشت (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد نانو کودها در هر سه تاریخ کاشت موجب افزایش مقدار سافرانال شد. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود تیمار "L₁K₁T₃" با ۴۴۷/۵۶ حداکثر جذب در طول موج ۳۳۰ نانومتر بر اساس ماده خشک حداقل بیشترین مقدار سافرانال را در بین تیمارها داشت که تفاوت معنی‌داری با تیمار "L₁K₂T₃" (۴۰/۴۶) حداکثر جذب در طول موج ۳۳۰ نانومتر بر اساس ماده خشک حداقل نداشت. کمترین مقدار سافرانال کلاله نیز متعلق به "L₀K₀T₁" (۱۷/۳۳) حداکثر جذب در طول موج ۳۳۰ نانومتر بر اساس ماده خشک حداقل بود (جدول ۳).

کروسین (رنگ)

طبق جدول تجزیه واریانس داده‌ها اثر سه جانبه "LKT" روی مقدار کروسین کلاله زعفران معنی‌دار نشد (جدول ۲)، اما بررسی نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر سه جانبه تیمارها روی مقدار کروسین زعفران نشان داد که کاربرد نانو لوله‌های کربن و نانو کود کامل موجب افزایش مقدار کروسین می‌شود. بین کلیه تیمارها، بیشترین مقدار کروسین به ترتیب متعلق به تیمارهای

"L₁K₁T₃" (۱۸۸/۳۳) حداکثر جذب در طول موج ۴۴۰ نانومتر بر اساس ماده خشک حداقل، "L₁K₂T₂" (۱۸۵/۰۳) حداکثر جذب در طول موج ۴۴۰ نانومتر بر اساس ماده خشک حداقل، "L₁K₂T₃" (۱۸۱/۵۳) حداکثر جذب در طول موج ۴۴۰ نانومتر بر اساس ماده خشک حداقل) و "L₁K₁T₂" (۱۷۷/۸۳) حداکثر جذب در طول موج ۴۴۰ نانومتر بر اساس ماده خشک حداقل) بود. کمترین مقدار کروسین کلاله زعفران برای تیمار "L₀K₀T₁" (۸۳/۴۶) حداکثر جذب در طول موج ۴۴۰ نانومتر بر اساس ماده خشک حداقل) ثبت شد (جدول ۳).

پیکروکروسین (طعم)

اثر سه جانبه "LKT" روی مقدار پیکروکروسین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمارهای دارای نانو لوله کربن و نانو کود کامل در هر سه تاریخ کاشت دارای پیکروکروسین بیشتری نسبت به تیمارهای فاقد نانو کودها هستند. به‌طورکلی و در بین کلیه تیمارها، "L₁K₁T₃" با ۸۱/۱۳ حداکثر جذب در طول موج ۲۵۷ نانومتر بر اساس ماده خشک حداقل، دارای بیشترین مقدار پیکروکروسین کلاله بود. کمترین مقدار پیکروکروسین کلاله نیز به تیمار "L₀K₀T₁" (۶۳/۶۰) حداکثر جذب در طول موج ۲۵۷ نانومتر بر اساس ماده خشک حداقل) اختصاص داشت (جدول ۳).

در بین صفات کیفی، بالاترین مقدار کروسین، پیکروکروسین و سافرانال متعلق به تاریخ کاشت ۱۵ شهریورماه بود. تأخیر در تاریخ کاشت تأثیر چندانی روی کلروفیل برگ نداشت، گرچه بالاترین مقدار کلروفیل کل در تاریخ کاشت ۱۵ شهریورماه به‌دست آمد. کاشت بنه‌های زعفران در ۱۵ شهریور موجب بهبود مقدار آنتوسیانین گلبرگ نسبت به تاریخ کاشت ۲۵ مردادماه شد.

اثر نانو کود کامل روی سافرانال، کروسین و پیکروکروسین مثبت بود و کاربرد کودها موجب افزایش مقدار صفات مذکور شد. به‌طورکلی بررسی نتایج نشان می‌دهد که استفاده از نانو کود کامل با تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه توانسته است در اکثر صفات مورد بررسی برتر از شاهد باشد.

زعفران مشخص شد اثر متقابل نانو کودها و تاریخ کاشت به‌طور قابل ملاحظه‌ای صفات کمی و کیفی را تحت تأثیر قرار داد. همچنین مشخص شد تأخیر در زمان کاشت به همراه کاربرد نانولوله‌های کربن و نانو کود کامل بهترین عملکرد را در صفات کمی و کیفی دارد، به‌طوری‌که تیمار "L₁K₁T₃" در صفات طول دوره گل‌دهی (۱۴/۶۶ روز)، تعداد گل (۴/۰۳۳)، وزن تر کلاله (۰/۰۴۸۸ میلی‌گرم)، وزن خشک کلاله (۰/۰۲۲ میلی‌گرم)، تعداد برگ (۴۴/۳۹)، مقدار پیکروکروسین (۸۱/۱۳) حداکثر جذب در طول موج ۲۵۷ نانومتر بر اساس ماده خشک حداقل، سافرانال (۴۴/۵۶) حداکثر جذب در طول موج ۳۳۰ نانومتر بر اساس ماده خشک حداقل، کروسین (۱۸۸/۳۳) حداکثر جذب در طول موج ۴۴۰ نانومتر بر اساس ماده خشک حداقل و کلروفیل کل (۲/۹۵۱) میلی‌گرم در هر گرم وزن تر) برتر بود. بنابراین این تیمار جهت دستیابی به صفات کمی و کیفی مطلوب زعفران در استان گیلان توصیه می‌شود.

Heydari *et al.* (2014) تأثیر مصرف برخی کودهای شیمیایی و بیولوژیک را بر خصوصیات کمی و کیفی زعفران بررسی نمودند و گزارش دادند که اثر تغذیه زعفران با کود شیمیایی و زیستی بر شاخص‌های کیفی کلاله شامل مولفه‌های رنگ (کروسین)، طعم (پیکروکروسین) و عطر (سافرانال) معنی‌دار است. در این بررسی بیشترین میزان پیکروکروسین در تیمار کود شیمیایی به‌دست آمد، همچنین در این پژوهش تیمارهای کودی موجب افزایش کلروفیل شدند. Naghdi Badi *et al.* (2011) نیز عنوان کردند که اثر تیمارهای کودی بر میزان پیکروکروسین، سافرانال و کروسین زعفران مثبت است.

نتیجه‌گیری کلی

از مجموع نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق در رابطه با اثر سه جانبه "LKT" روی صفات کمی و کیفی

REFERENCES

1. Amiri, M.E. (2008). Impact of animal manures and chemical fertilizers on yield components of saffron (*Crocus sativus* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 4(3), 274-279.
2. Asadi, G., Rezvani Moghaddam, P. & Hassanzadeh Aval, F. (2014). Effects of soil and foliar applications of nutrients on corm growth and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in six-year-old farm. *Journal of Saffron Agronomy and Technology*, 2(1), 31-44. (in Farsi)
3. Baghai, N. & Maleki Farahani, S. (2014). Comparison of nano and micro chelated iron fertilizers on quantitative yield and assimilates allocation of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, 2(1), 156-169. (in Farsi)
4. Baruah, S. & Dutta, J. (2009). Nanotechnology applications in sensing and pollution degradation in agriculture: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 7, 191-204.
5. Behdani, M.A. & Fallahi, H.R. (2015). *Saffron: Technical Knowledge Based on Research Approaches*. University of Birjand Press. pp. 411. (in Farsi)
6. Behdani, M.A., Koochaki, A., Nassiri Mahalati, M. & Rezvani Moghadam, P. (2005). Evaluation of quantitative relationships between saffron yield and nutrition (on farm trial). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 3(1), 1-14. (in Farsi)
7. Behnia, M.R. (2012). *Saffron: History, botany, chemistry, production*. University of Tehran Press, pp. 506.
8. Benzon, H.R.L., Rubenecia, M.R.U., Ultra, V.U. & Lee, S.C. (2015). Nano fertilizer affects the growth development and chemical properties of rice. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 7 (1), 105-117.
9. Cavusoglu, A., Erkel, E.I. & Sülüsüglu, M. (2009). Saffron (*Crocus sativus* L.) studies with two mother corm dimensions on yield and harvest period under greenhouse condition. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 3, 126-129.
10. Chaji, N., Khorassani, R., Astarai, A. & Lakzian, A. (2014). Effect of phosphorous and nitrogen on vegetative growth and production of daughter corms of saffron. *Journal of Saffron Research*, 1(1), 1-12. (in Farsi)
11. Davoody, N., Seghatoleslami, M.J., Mousavi, G.R. & Azari Nasrabad, A. (2013). The effect of foliar application of nano-zinc oxide on yield and water use efficiency of foxtail millet in drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 6(1), 37-46. (in Farsi)

12. DeRosa, M.R., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R. & Sultan, Y. (2010). Nanotechnology in fertilizers. *Nature Nanotechnology*, 5, 91.
13. Ghobadi, F., Ghorbani Javid, M. & Sorooshzadeh, A. (2015). Effects of planting date and corm size on flower yield and physiological traits of saffron (*Crocus sativus* L.) under varamin plain climatic conditions. *Saffron Agronomy and Technology*, 2 (4), 265-276. (in Farsi)
14. Heydari, Z., Besharati, H. & Maleki Farahani, S. (2014). Effect of some chemical fertilizer and biofertilizer on quantitative and qualitative characteristics of saffron. *Journal of Saffron Agronomy and Technology*, 2(3), 177-189. (in Farsi)
15. Hosseini, M., Sadeghian, B. & Aghamiri S.A. (2004). Influence of foliar fertilization on yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Acta Horticulturae*, 650, 207-209.
16. Institute of Standard & Industrial Research Organization of Iran. 1993. Saffron – Specification, No. 259-2. (in Farsi)
17. Khodakovskaya, M., Dervishi, E., Yang Xu, M., Li, Zh., Watanabe, F. & Biris, S.A. (2009). Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. *ACS Nano (ACS Publications)*, 3(10), 3221-3227.
18. Koocheki, A., Jahani, M., Tabrizi, L. & Mohamadabadi, A. (2011). Evaluation of biological and chemical fertilizer and corms density on flower yield and characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Water and Soil*, 25 (1), 206-196.
19. Koocheki, V., Jahani, M., Tabrizi, L. & Mohammadabadi, A.A. (2011). Investigation on the effect of biofertilizer, chemical fertilizer and plant density on yield and corm criteria of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Water and Soil*, 25 (1), 196-206. (in Farsi)
20. Mazumdar, B.C. & Majumdar, K. (2003). *Methods on physicochemical analysis of fruits*. Daya Publishing House, 187p.
21. Mohammadi Mirik, A.A., Saeidi, Gh. A. & Rezaei A.A.M. (2009). Interaction effects of planting date with seeding rate on agronomic traits of different genotypes of flax. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7(1), 221-230. (in Farsi)
22. Mohammadi, S. & Azizi, M. (2015). Effects of different levels of Farmax® nano fertilizer and foliar spraying time on growth and effective substance of German chamomile (*Matricaria recutita*). *Journal of Horticulture Science*, 28 (4), 435-145. (in Farsi)
23. Molina, R.V., Garcia-Luis, A., Valero, M., Navarro, Y. & Guardiola, J.L. (2004). Extending the harvest period of saffron. *Acta Horticulturae*, 650, 219-225.
24. Mondal, A., Basu, R., Das, S. & Nandy, P. (2011). Beneficial role of carbon nanotubes on mustard plant growth: an agricultural prospect. *Journal of Nanoparticle Research*, 13, 4519-4528.
25. Naderi Darbaghshahi, M.R., Khajebashi, S.M., Banitaba, S.A.R. & Dehdashti, S.M. (2008). Effects of planting method, density and depth on yield and production period of saffron (*Crocus sativus* L.) in Isfahan region. *Seed and Plant Improvement Journal*, 24 (4), 643-657. (In Farsi)
26. Naderi, M.R. & Danesh Shahraki, A. (2013). Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture and Crop Science*, 5 (19), 2229-2232.
27. Naderian Far, M., Ansary, H., Azizi, M. & Ziaei, A.N. (2015). Effect of deficit irrigation and fertilization on yield and yield components of basil in two soil textures. *Journal Water Research in Agriculture*, 29(3), 353-366. (in Farsi)
28. Naghdi Badi, H., Omid, H., Golzad, A., Torabi, H. & Fotoookian, M.H. (2011). Change in crocin, safranal and picrocrocin content and agronomical characters of saffron (*Crocus sativus* L.) under biological and chemical of phosphorous fertilizers. *Journal of Medicinal Plants*, 4 (40), 58-68. (in Farsi)
29. Nalwade, A.R. & Bonawate, G.S. (2014). Carbon nanomaterials stimulate the growth of onion (*Allium cepa* L.) var. Phule Suvarana. *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research*, 4(2), 862-869.
30. Omidbaigi, R. (2011). *Production and processing of medicinal plants*. Beh Nashr Publications Mashhad, Vol. 2, pp. 438. (In Farsi)
31. Pazoki, A., Karaminejad, M & Foladi Targhi, A. (2011). Effects of planting dates and genotypes on yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in Natanz region. *Crop Physiology*, 2(8), 3-12.
32. Rashidi, S. (2012). Nanofertilizer in the environment. In: *Proceedings 1th Nano Technology and its Application in Agriculture and Natural Resources Conference*, 15-16 May, University of Tehran, Karaj, Iran, pp. 1-7. (in Farsi)
33. Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Molafilabi, A. & Seyyedi, M. (2013). Effect of biological and chemical fertilizers on replacement corm and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 15 (3), 234-246. (in Farsi)
34. Rostami, M. & Mohammadi, H. (2013). Effects of planting date and corm density on growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) under Malayer climatic conditions. *Agroecology*, 5(1), 27-38. (in Farsi)

35. Sadeghi, S.M., Dehnadi-Moghaddam, G. & Dooroodian, H. (2014). Evaluation of effects of date, depth and corm sowing distance on corms growth and stigma yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in Langarood, Guilan province. *Journal of Saffron Agronomy and Technology*, 2(2), 45-54. (in Farsi)
36. Saiedirad, M.H. & Mokhtarian, A. (2009). *The Hand book of saffron production*. TAK Publication, pp. 103.
37. Sarmadnia, Gh. & Koocheki, A. (1987). *Physiology of crop plants*. Jahad Daneshgahi Mashhad Press, pp. 400. (in Farsi)
38. Tiwari, D.K.N., Villasen, L.M., Villegas, J., Carreto Montoya, L. & Borjas Garcia, S.E. (2014). Interfacing carbon nanotubes (CNT) with plants: Enhancement of growth, water and ionic nutrient uptake in maize (*Zea mays*) and implications for nano agriculture. *Applied Nanoscience*, 4, 577-591.
39. Tripathi, S., Sonkar, S.K. & Sarkar, S. (2011). Growth stimulation of cheakpea (*Cicer arietinum*) plant by water soluble carbon nanotubes. *Nanoscale*, 3, 1176-1181.
40. Villagarcia, H., Dervishi, E., Silva, K., Biris, A.S. & Khodakovskaya, M.V. (2012). Surface chemistry of carbon nanotubes impacts the growth and expression of water channel protein in tomato plants. *Small*, 8, 2328-2334. <https://doi.org/10.1002/sml.201102661>.
41. Wang, H.F., Wang, J., Deng, X.Y., Sun, H.F., Shi, Z.J., Gu, Z.N., Liu, Y.F. & Zhao, Y.L. (2004). Bio distribution of carbon single-wall carbon nanotubes in mice. *Journal of Nanoscience & Nanotechnology*, 4, 1019-1024.