تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد ششم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳، ص ۳۸۷-۳۷۵

مقاله پژوهشی

تأثیر زمان اولین آبیاری و کاربرد کودهای کلات و نانوی آهن و روی بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک زعفران در کرمانشاه

عبدالرضا زند[۱]، محمد گلوی[۲*]، گودرز احمدوند[۳]، محمود رمرودی[۲]

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ابوعلی سینا همدان، همدان، ایران

* مسئول مکاتبه: mgalavi@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۹ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.338476.1227**

چکیده

به منظور بررسی تأثیر زمان آبیاری اول و کودهای کلات و نانو آهن و روی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک زعفران، این آزمایش در شهرستان کرمانشاه در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام گردید. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. تاریخ آبیاری اول به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ آبان‌ماه و کودهای کلات معمولی و نانو کلات به‌عنوان عامل فرعی در هفت سطح (کاربرد ۴، ۸ و ۱۲ کیلوگرم در هکتار کود کلات معمولی آهن و روی و ۴، ۸ و ۱۲ کیلوگرم در هکتار کود نانو کلات آهن و روی و تیمار شاهد (بدون مصرف کود) بودند. نتایج نشان داد که تأثیر تاریخ آبیاری اول و کود بر تعداد برگ در بوته، وزن خشک گل، وزن خشک کلاله، کروسین، پیکروکروسین، کلروفیل‌های a و b معنی‌دار شد. بیشترین وزن خشک گل با اعمال اولین آبیاری در ۱۰ آبان‌ماه حاصل شد که تقریبا ۱۴/۲۹ درصد بیشتر از تاریخ اولین آبیاری در ۳۰ آبان‌ماه بود. تحت تأثیر کود بیشترین آن از کاربرد ۱۲ کیلوگرم در هکتار نانو کلات آهن و روی به‌دست آمد. میزان پرولین با کاربرد کود، روند کاهشی داشت و کم‌ترین آن از کاربرد ۱۲ کیلوگرم در هکتار نانو کلات آهن و روی حاصل گردید. تحت تأثیر برهمکنش تاریخ آبیاری اول و کود تفاوت‌های معنی‌داری در ویژگی‌های مورد بررسی مشاهده شد. براساس نتایج وزن خشک کلاله و سافرانال در تاریخ‌های آبیاری زودتر افزایشی بود و بیشترین وزن خشک کلاله از کاربرد ۸ کیلوگرم در هکتار نانو کلات آهن و روی از اعمال اولین آبیاری در ۱۰ آبان‌ماه به‌دست آمد که در مقایسه با تاریخ اولین آبیاری در ۳۰ آبان و عدم کاربرد کود ۴۷/۵۶ درصد افزایش داشت. براساس نتایج برای حصول حداکثر عملکرد کلاله تاریخ اولین آبیاری ۱۰ آبان و کاربرد ۱۲کیلوگرم کلات معمولی یا ۸ کیلوگرم در هکتار نانو کلات مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، پیکروکروسین، کروسین، وزن کلاله

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) گیاهی ارزشمند با خصوصیات دارویی، مصارف غذایی و رنگرزی می‌باشد که با فرهنگ، اقتصاد و معیشت برخی از مناطق ایران عجین شده است. ایران بزرگترین تولید کننده زعفران دنیا می‌باشد و از لحاظ کیفی، زعفران ایران ارزش بسیار بالائی دارد. کل تولید زعفران جهان در سال ۲۰۱۷ حدود ۴۲۳ تن گزارش گردید که ۳۷۶ تن آن سهم ایران، و از کل سطح زیر کشت جهانی (۱۲۲۱۹۵ هکتار) حدود ۱۰۸۰۸۴ هکتار آن متعلق به ایران بود (Ganbari-Shirsavar, 2019). در سال ۱۳۹۹ سطح زیر کشت زعفران کشور ۱۲۱۲۵۰ هکتار بود که بیش از ۴۳۱ تن برداشت شد و بیشترین سطح زیر کشت زعفران در خراسان رضوی با ۹۰۹۲۰ هکتار و تولید ۳۰۰/۹۴ کیلوگرم بوده است. اسپانیا با حدود ۱۲-۱۰ درصد دومین تولید کننده زعفران است و پس از آن هند با ۳/۳ درصد، یونان با ۲/۰ درصد و مراکش با ۰/۳ درصد قرار دارند (Jalali-Heravi *et al.*, 2010).

در زراعت زعفران، عوامل مختلفی بر کمیّت و کیفیت آن دخیل هستند. شرایط اقلیمی و درجه حرارت عواملی هستند که در تعیین زمان اولین آبیاری تأثیر دارند (Molina *et al.*, 2004; Behdani *et al.*, 2004). اعمال اولین آبیاری در زمان مناسب در هر منطقه باعث می‌شود تا از نظر ظهور زودتر گل نسبت به برگ مدیریت مطلوبی صورت گیرد و ضمن افزایش کمیّت و کیفیت محصول هزینه‌های برداشت نیز کاهش یابند. زمان آبیاری اول در بیدار شدن بنه‌ها بسیار مهم می‌باشد

(Gresta *et al.*, 2008). براساس نتایج تحقیقی تقریباً ۱۶ روز قبل از اینکه میانگین درجه حرارت روزانه به محدوده ۱۴درجه سانتی‌گراد برسد باید اولین آبیاری زعفران انجام شود (Alizadeh *et al.*, 2009). تاریخ گلدهی و زمان انجام اولین آبیاری زعفران بسته به اقلیم و دمای منطقه بسیار متفاوت می‌باشد. در شهرستان‌هایی با ارتفاع بالاتر از سطح دریا و میانگین دمای پائین‌تر معمولاً زمان آبیاری و تاریخ گلدهی زود هنگام و در اوایل پائیز می‌باشد. با کم شدن ارتفاع و بالا رفتن دما، زمان انجام اولین آبیاری و تاریخ گلدهی به اواسط تا اواخر پائیز منتقل می‌شوند (Alizadeh *et al.*, 2009). طبق نتایج پژوهشی تحت تأثیر تاریخ اولین آبیاری و کودهای آلی در شهرستان خواف، بیشترین عملکرد گل زعفران (۹۲/۶ کیلوگرم در هکتار) با اولین آبیاری در ۳۰ مهرماه گزارش شده است که حدود ۳۸ درصد بیشتر از اعمال اولین آبیاری در ۱۵ مهرماه بود. همچنین تعداد گل نسبت به آبیاری ۱۵ مهرماه، ۳۳ درصد افزایش داشت. آنها اظهار داشتند که شروع آبیاری در ۳۰ مهر، بیشترین همزمانی را با تحریک گل انگیزی در زعفران دارد (Osmani Roudi *et al.*, 2015).

فراهمی عناصر غذائی نیز از عوامل بسیار تأثیرگذار در زراعت زعفران می‌باشد (Gresta *et al.*, 2008). در این بین عناصر میکرو مثل آهن و روی می‌توانند در افزایش کمّی و کیفی نقش بسیار مهمی داشته باشند. عنصر آهن برای تولید کلروفیل ضروری است. همچنین روی برای تولید کلروفیل، هیدراتهای کربن و تریپتوفان مورد نیاز است (Akbarian *et al.*, 2012). طبق توصیه محققان فرم ریز مغذی‌های کلات کارآیی بالاتری نسبت به ترکیبات معمولی دارند، بنابراین کمبود آهن را می‌توان با استفاده مستقیم از آهن کلات شده در ناحیه ریشه یا محلول‌پاشی جبران کرد (Ahmadi and Jabbari, 2009). براساس نتایج تحقیقی با کاربرد ۱۰ کیلوگرم نانو کلات آهن، افزایش وزن خشک کلاله زعفران (۵۹ درصد)، وزن گل تر (۶۹ درصد)، تعداد گل (۵۱ درصد)، تعداد برگ (۶۲ درصد)، طول برگ (۱۴ درصد)، قطر بنه اصلی (۳۳ درصد) و وزن کل بنه (۴۲ درصد) در مقایسه با شاهد گزارش گردیده است. در ضمن میزان جذب آهن توسط اندام‌های هوایی در تیمارهای کود نانو در مقایسه با کود میکرو به میزان قابل توجهی (۱۱ درصد) افزایش یافت (Baghai and Maleki-Farahani, 2014). محققین یاد شده کارآیی کود نانو را بسیار موثرتر از کود میکرو گزارش کردند. تأثیر کاربرد عناصر آهن و روی در تولید ماده خشک کلاله بیشتر از پتاسیم گزارش شده است (Akbarian *et al.*, 2012). آنها همبستگی نسبتاً بالائی بین عملکرد و شاخص سطح برگ (R2=۰/۶۹) و بین طول کلاله و وزن خشک کلاله (R2=۰/۸۴) گزارش کردند و معتقدند عواملی که باعث افزایش طول کلاله و شاخص سطح برگ می‌شوند، می‌تواند ماده خشک کلاله را نیز افزایش دهند. استفاده از آهن، روی و پتاسیم باعث افزایش طول برگ، تعداد برگ و شاخص سطح برگ می‌گردد و در نهایت سبب افزایش فتوسنتز و افزایش عملکرد زعفران می‌شوند. عملکرد، ویژگی بسیار پیچیده‌ای است که تحت تأثیر عوامل متعدد و برهمکنش آنها قرار می‌گیرد (Fageria and Baligar, 2005). در منطقه قائنات خراسان جنوبی با کاربرد صفر، ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار نانوکلات آهن بر تولید زعفران، بیشترین وزن تر و خشک کلاله و تعداد گل از کاربرد ۱۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Zabet, 2017 Khaksarnejad and). در بررسی تأثیر نانو کودهای مختلف عناصر ریزمغذی مثل آهن، روی، بر، منگنز و پتاسیم گزارش شده است که نانو کودهای مختلف از نظر کلروفیل‌های a و کل اختلاف معنی‌داری با شاهد وجود نداشتند. با این وجود بیشترین میزان کلروفیل a از کاربرد نانو کود آهن و کمترین آن از کاربرد نانو کود منگنز حاصل گردید. میزان کلروفیل b تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت، گرچه تأثیر نانو کودهای مختلف بر میزان پروتئین و فنل برگ معنی‌دار گردید (Rostami *et al.*, 2018).

با توجه به اهمیت تأثیر بسزایی زمان اعمال اولین آبیاری و کود در بیدار شدن بنه‌های زعفران، این تحقیق با هدف مطالعه واکنش ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک زعفران تحت تأثیر تاریخ‌های مختلف اولین آبیاری و کاربرد کودهای آهن و روی در فرم‌های کلات و نانو کلات انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۶ و در سال دوم (کاشت سال اول مرداد ماه ۱۳۹۵) زعفران در دهستان درود فرامان شهرستان کرمانشاه در ارتفاع ۱۳۶۸ متر از سطح دریا با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۱

دقیقه شمالی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تاریخ آبیاری اول به عنوان عامل اصلی در سه سطح ۱۰(I1)، ۲۰ (I2) و ۳۰ (I3) آبان‌ماه و کودهای کلات معمولی و نانو کلات به عنوان عامل فرعی در هفت (سطح F0 (بدون کود)، F1، F2 و F3: به‌ترتیب ۴، ۸ و ۱۲ کیلوگرم در هکتار از کود کلات آهن و روی؛ F4، F5 و F6: به‌ترتیب ۴، ۸ و ۱۲ کیلوگرم در هکتار از کود نانو کلات آهن و روی) بودند.

تهیه زمین از تابستان ۱۳۹۵ شروع شد. کود دامی پوسیده بر اساس ۲۰ تن در هکتار پخش و توسط دیسک با خاک مخلوط گردید. در مهر ماه از خاک نمونه مرکب (۱۰ نقطه به‌صورت زیگزاگی) تا عمق ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک

Table 1- Soil physical and chemical properties

بافت خاک Soil texture	نیتروژن N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)	آهن Fe (ppm)	روی Zn (ppm)	کربن آلی Organic C (%)	pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m-1)
Clay loam	0.05	18.6	187	1.96	1.28	1.16	7.4	0.84

بر اساس توصیه کودی قبل از کاشت به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل با کودپاش توزیع و توسط دیسک با خاک مخلوط شدند (Amjadian, 2014). سپس تسطیح زمین صورت گرفت. کود اوره نیز به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت تقسیطی پس از گلدهی و همچنین اسفند ماه مصرف گردید. هر کرت شامل ۸ ردیف کاشت با فواصل ۶۰ سانتی‌متر و به طول ۶ متر بود. بنه‌ها در روی ردیف در فواصل ۱۰ سانتی‌متر از هم در عمق ۱۵ سانتی‌متری کشت شدند. جوانه‌های رأسی بنه‌ها در داخل جوی‌ها بسمت بالا قرار گرفتند تا در زمان رشد براحتی از خاک بیرون بیایند. اعمال تیمار تاریخ اولین آبیاری در ۱۰، ۲۰ و ۳۰ آبان با اندازه‌گیری آب مصرفی توسط کنتور انجام شد تا همه تیمارها مقادیر آب یکسانی دریافت کنند. پس از گاورو شدن خاک سله‌شکنی انجام گردید. تیمارهای کودی کلات و نانو تهیه از نمایندگی شرکت دانش بنیان صدور احرار شرق، بر اساس مساحت کرت‌ها با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین گردید و با ماسه شسته شده مخلوط و به‌طور نواری در امتداد ردیف‌های کشت و در عمق ۱۰ سانتی‌متری به‌طور یکنواخت قبل از اولین آبیاری توزیع گردید.

ویژگی‌های مورد بررسی: شامل تعداد برگ در بوته، تعداد گل در متر مربع، وزن خشک گل و کلاله، سافرانال، کروسین، پیکروکروسین، پرولین، پروتئین و کلروفیل‌های a، b بودند. گل‌های ظاهر شده در هر کرت آزمایشی به‌صورت روزانه جمع‌آوری، شمارش و توزین شد و مجموع وزن تر گل و کلاله در طی دوره گلدهی به عنوان عملکرد آن کرت در نظر گرفته شد. در زمان پایان دوره رویشی و قبل از زرد شدن برگ‌ها، تعداد برگ هر بنه شمارش گردید. اندازه‌گیری کلروفیل a و b با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی Analytika Jena 1500S, Germany-2010 انجام گردید. سپس با استفاده از معادله‌های ۱ و ۲، میزان کلروفیل‌های a و b محاسبه شدند (Arnon, 1967).

(۱)

$$\text{Chlorophyll a}=(19.3\times A663-0.86\times A645)V/100W$$

(۲)

$$\text{Chlorophyll b}=(19.3\times A645-3.6\times A663)V/100W$$

که در آن V= حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر, W= وزن تر نمونه بر حسب گرم هستند.

برای تعیین سافرانال، کروسین و پیکروکروسین از روش استاندارد ملی ایران کد ۲-۲۵۹ از طریق طیف سنجی انجام گرفت (INSO, 2013). طیف سنجی برای اندازه‌گیری سافرانال، کروسین و پیکروکروسین به‌ترتیب در طول موج ۳۳۰ ، ۴۴۰ و ۲۵۷ نانو متر انجام شد. برای اندازه‌گیری پرولین آزاد برگ در مرحله رشد رویشی از روش بیتس و همکاران (Bates *et al.*, 1973) استفاده شد. برای اندازه‌گیری پروتئین‌های محلول برگ

ابتدا نیتروژن کل لندازه‌گیری گردید. در این روش ابتدا نمونه را با اسید سولفوریک و کاتالیزور هضم نموده و سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر و معرف نسلر رنگ سنجی انجام شد. در این عمل کلیه پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه و ترکیبات نیتروژن‌دار به سولفات آمونیوم تبدیل می‌شوند و از میزان آمونیوم موجود نیتروژن کل محاسبه و سپس با ضریب ثابت ۵/۶ میزان پروتئین محاسبه گردید (Harris, 2003).

تجزیه و تحلیل آماری

آزمون نرمال بودن داده‌ها بر اساس آزمون t انجام شد. سپس تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از رویه GLM در نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گردید. مقایسات میانگین تیمارها بر اساس آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد و برشدهی برهمکنش تیمارها با استفاده از رویه slice در SAS انجام گردید (Soltani, 2010).

نتایج و بحث

تعداد برگ در بوته: تأثیر زمان اولین آبیاری در سطح ۵ درصد و کود در سطح یک درصد بر تعداد برگ در بوته معنی‌دار شدند (جدول ۲)، به‌طوری‌که بیشترین تعداد برگ در بوته از آبیاری در ۱۰ آبان (۱۳/۹۵ برگ در بوته) به‌دست آمد که نسبت به آبیاری در تاریخ‌های ۲۰ و ۳۰ آبان به‌ترتیب ۱۳/۹۸ و ۶/۱۶ درصد بیشتر بود (جدول ۳). در بین تیمارهای کودی نیز بیشترین تعداد برگ با کاربرد نانو آهن و نانو روی هر کدام به میزان ۱۲ کیلوگرم در هکتار به تعداد ۱۴/۸۹ برگ در بوته حاصل شد که از نظر آماری با تیمارهای F5 (کلات نانو آهن و روی هر کدام به میزان ۸ کیلوگرم در هکتار) و F4 (کلات نانو آهن و روی هر کدام به میزان ۴ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). کمترین تعداد برگ در بوته در تیمارهای شاهد و F1 (آهن کلات و روی کلات هر کدام به میزان ۴ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب با ۱۰/۷۸ و ۱۰/۶۷ برگ در بوته به‌دست آمد که در یک گروه آماری قرار گرفتند. می‌توان چنین توجیه نمود که استفاده از نانو کودها به‌دلیل رهایش تدریجی عناصر غذایی در خاک و در اختیار قرار دادن آنها برای گیاه بهتر و نتیجه بخش‌تر است و از طرف دیگر، کودهای میکرو در مقایسه با کودهای نانو به‌میزان کم‌تری در آزادسازی عناصر نقش دارند. برهمکنش زمان آبیاری اول × کود بر تعداد برگ در بوته غیر معنی‌دار بود، اما برشدهی برهمکنش بر اساس زمان آبیاری بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای کودی در هر سطح از زمان آبیاری اول می‌باشد (جدول ۶). در تمامی تیمارهای آبیاری اول سطوح کودی F6، F5 و F4 (تمام سطوح تیمارهای کودی نانو) بالاترین تعداد برگ را در بوته داشتند و در برخی موارد از جمله ۳۰ آبان، تیمار کودی F3 (آهن کلات و روی کلات هر کدام به میزان ۱۲ کیلوگرم در هکتار) نیز با این گروه تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۶). در تمامی زمان‌های آبیاری اول کمترین تعداد برگ در بوته در تیمار شاهد و F1 (آهن کلات و روی کلات هر کدام به میزان ۴ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. عدم معنی‌داری برهمکنش زمان آبیاری اول × کود بر تعداد برگ در بوته بخاطر این روند یکسان می‌باشد، ولی به هر حال تیمار کودی به‌خصوص نانو باعث افزایش تعداد برگ در بوته گردید. در نتایج تحقیق دیگری نیز تولید برگ‌های طویل‌تر و بنه‌های قوی‌تر تحت تأثیر اولین آبیاری در ۱۵ مهر نسبت به ۳۰ مهر و ۱۵ آبان در منطقه خواف گزارش شده است (Osmani Roudi *et al.*, 2015). با کاربرد ۱۰ کیلوگرم نانو کلات آهن، افزایش ۶۲ درصدی تعداد برگ زعفران نسبت به شاهد گزارش گردیده است (Baghai and Maleki-Farahani, 2014). نامبردگان تأثیر نانو کلات آهن را در مقایسه با کلات معمولی و در مقادیر یکسان بر افزایش تعداد برگ بیشتر اعلام کردند (Baghai and Maleki-Farahani, 2014). نتایج تحقیقی حاکی از افزایش تعداد برگ، غلظت کلروفیل و در نتیجه رشد بیشتر و تولید بنه‌های قوی‌تر که منجر به افزایش عملکرد زعفران می‌شوند، تحت تأثیر کاربرد کود آهن و به‌خصوص نانو کلات آهن را گزارش نموده است (Maleki Farahani and Aghighi-Shahverdi, 2015). فراهمی عناصر غذایی ماکرو و میکرو از طریق تأثیر بر فرآیندهای رشدی در گیاه زراعی، می‌تواند موجب افزایش عملکرد و رشد گیاه گردد و این فرآیند توانایی آن را برای جذب تشعشع خورشیدی با توسعه سطح برگ افزایش می‌دهد (Behdani *et al.*, 2005).

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک زعفران تحت تأثیر زمان اولین آبیاری و کاربرد کودهای کلات و نانو آهن و روی

Table 2- Analysis of variance for some morphophysiological traits of saffron under the influence of first irrigation time and application of chelate and Nano iron and zinc fertilizers

منابع تغییر SOV	درجه آزادی df	تعداد برگ در بوته Number of leaf per plant	تعداد گل در متر مربع Number of flower per m^{-2}	وزن خشک گل Flower dry weight	وزن خشک کلاله Stigma dry weight	سافرانال Safranal	کروسین Crocin	پیکروکروسین Picrocrocin	پرولین Proline	پروتئین برگ Leaf protein	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b
تکرار Replication	2	3.82	14.33	0.003	1001.94	35.40	3.11	0.68	7.43	0.045	4.40	10.95
زمان آبیاری اول First irrigation time(I)	2	20.11*	62.90^{ns}	0.02*	1637.60*	4.11^{ns}	77.78*	72.97**	31.00^{ns}	0.033^{ns}	27.50**	44.09*
خطای a Ea	4	3.85	18.59	0.004	160.19	2.34	14.42	3.61	12.14	0.027	1.29	4.42
کود Fertilizer(F)	6	27.76**	142.44**	0.05**	1958.83**	38.66**	35.27**	32.28**	53.76**	0.044**	47.85**	57.37**
I×F	12	1.35^{ns}	2.57^{ns}	0.004^{ns}	126.15*	3.73**	2.31^{ns}	5.52**	2.85^{ns}	0.004^{ns}	2.39^{ns}	3.07^{ns}
خطای b Eb	36	0.86	3.66	0.003	59.70	0.81	1.26	0.86	4.59	0.004	1.57	3.16
ضریب تغییرات CV(%)	-	7.12	8.96	11.97	3.87	2.52	0.67	1.28	0.22	5.18	0.24	1.21

* و **: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns: عدم معنی‌داری

* and ** are significant at the 5 and 1% probability levels, respective and ns, not significant

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک زعفران تحت تأثیر زمان اولین آبیاری

Table 3- Mean Comparison for some morphophysiological traits of saffron under the influence of first irrigation time

زمان آبیاری اول First irrigation time	تعداد برگ در بوته Number of leaf per plant	تعداد گل در متر مربع Number of flower per m^{-2}	وزن خشک گل Flower dry weight ($g.m^2$)	کروسین Crocin ($E^{\%1}_{440nm}$)	پرولین Proline ($mg.kg^{-1}$)	پروتئین برگ Leaf protein ($g.100g^{-1}$)	کلروفیل a Chlorophyll a ($\mu g.g^{-1}$)	کلروفیل b Chlorophyll b ($\mu g.g^{-1}$)
I1	13.95^{a}	23.24^{a}	0.48^{a}	169.95^{a}	961.24^{a}	1.26^{a}	518.37^{a}	148.28^{a}
I2	12.00^{b}	20.90^{a}	0.46^{ab}	168.52^{ab}	962.38^{a}	1.25^{a}	517.73^{a}	147.84^{a}
I3	13.09^{ab}	19.86^{a}	0.42^{b}	166.14^{b}	963.67^{a}	1.19^{a}	516.15^{b}	145.58^{b}

در هر ستون، تیمارهایی که حداقل در یک حروف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌دار ندارند.

*Means in each column having at least a common letter are not significantly different by the Duncan test at 5 % probability level.

I1، I2 و I3: به‌ترتیب تاریخ اولین آبیاری.

I1, I2 and I3 of first irrigation time, respectively.

تعداد گل در متر مربع: تعداد گل در متر مربع تحت تأثیر زمان اولین آبیاری قرار نگرفت، گرچه به‌طور معنی‌داری در سطح یک درصد نسبت به اعمال تیمار کود واکنش نشان داد (جدول ۲). بیشترین تعداد گل در واحد سطح از کاربرد فرم نانویی در تیمارهای F5 و F6 به‌ترتیب ۲۶/۴۴ و ۲۵/۲۲ گل در متر مربع به‌دست آمد و پس از آن تیمار F3 (۱۲+۱۲ کیلوگرم در هکتار آهن +روی فرم کلات) با ۲۳/۵۶ گل در متر مربع قرار داشت (جدول ۴). می‌توان چنین استنباط نمود که استفاده از نانو کودها به‌دلیل رهایش تدریجی عناصر غذایی در خاک و در اختیار قرار دادن آنها برای گیاه در مقایسه با کلات معمولی بهتر و موثرتر بوده است. برشدهی برهمکنش تیمارها نشان می‌دهد که در هر سه تاریخ آبیاری اول تیمارهای کودی F5 و F6

برتری محسوسی نسبت به بقیه تیمارها داشتند و پس از آن تیمار F3 با اختلاف اندک نسبت به آنها قرار گرفت (جدول ۶). براساس نتایج پژوهشی نیز تأثیر زمان‌های مختلف آبیاری اول زعفران از ابتدای شهریور تا ابتدای آبان در مشهد تفاوت معنی‌داری در عملکرد گل مشاهده نشد که با نتایج آزمایش حاضر تطابق دارد (Mohammad Abadi *et al.*, 2011). نتایج تحقیق دیگری حاکی از اختلاف بسیار معنی‌داری بین سطوح مختلف کودی نانو کلات آهن بر تعداد کل گل در متر مربع و وزن تر گل‌ها می‌باشد و بالاترین مقادیر را برای ویژگی‌های فوق با کاربرد ۱۰ کیلوگرم در هکتار نانو کلات آهن گزارش کردند (Khaksarnezhad and Zabet, 2017). آنها همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد کل گل‌ها با ویژگی‌های وزن تر و خشک کلاله و وزن تر گل‌ها مشاهده کردند. در بررسی مقادیر مختلف نانو کلات آهن در مقابل کلات معمولی گزارش شده است که نوع و مقدار کود آهن، تعداد گل را تحت تأثیر قرار می‌دهد و پاسخ زعفران به تیمار کودی آهن برای تعداد گل مثبت است، به‌طوری‌که با کاربرد ۱۰ کیلوگرم در هکتار نانو کلات آهن، تعداد گل ۱۰۴ درصد از تیمار شاهد بیشتر بود. همچنین تعداد گل با کاربرد ۱۰ کیلوگرم کلات معمولی با ۵ کیلوگرم نانو کلات در یک گروه آماری بود (Maleki Farahani *et al.*, 2015). بر اساس نظر این محققین توانایی رساندن و فراهمی عنصر توسط نانو کلات بیشتر از کلات معمولی است. در تحقیقی با اعمال تیمار بذرمالی، آبیاری و محلول‌پاشی با کود نانوبیولوژیک تعداد گل ۱۷۶ درصد نسبت به شاهد افزایش گزارش شده است (Feizi *et al.*, 202).

جدول ۴- مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک زعفران تحت تأثیر کاربرد کودهای کلات و نانو آهن و روی

Table 4- Mean Comparison for some morphophysiological traits of saffron under the influence of application of chelate and Nano iron and zinc fertilizers

کود Fertilizer ($kg.ha^{-1}$)	تعداد برگ در بوته Number of leaf per plant	تعداد گل در متر مربع Number of flower per m^{-2}	وزن خشک گل Flower dry weight ($g.m^2$)	کروسین Crocin ($E^{\%1}_{440nm}$)	پرولین Proline ($mg.kg^{-1}$)	پروتئین برگ Leaf protein ($g.100g^{-1}$)	کلروفیل a Chlorophyll a ($\mu g.g^{-1}$)	کلروفیل b Chlorophyll b ($\mu g.g^{-1}$)
F0	10.78^{d}	15.89^{d}	0.34^{d}	165.22^{e}	964.22^{a}	1.10^{c}	513.16^{d}	143.31^{d}
F1	10.67^{d}	17.11^{d}	0.40^{c}	166.44^{d}	965.89^{a}	1.19^{b}	516.00^{c}	144.49^{d}
F2	12.33^{c}	20.33^{c}	$0.43b^{c}$	167.67^{c}	962.00^{b}	1.20^{b}	517.37^{b}	147.31^{c}
F3	13.89^{b}	23.56^{b}	0.46^{b}	168.89^{b}	964.11^{a}	1.27^{a}	518.84^{a}	148.43^{bc}
F4	14.11^{ab}	20.78^{c}	0.46^{b}	168.56^{bc}	961.78^{b}	1.27^{a}	517.37^{b}	147.40^{c}
F5	14.44^{ab}	26.44^{a}	0.54^{a}	171.22^{a}	959.33^{c}	1.27^{a}	519.23^{a}	149.40^{ab}
F6	14.89^{a}	25.22^{ab}	0.54^{a}	169.44^{b}	959.67^{c}	1.31^{a}	519.94^{a}	150.24^{a}

در هر ستون، تیمارهایی که حداقل در یک حروف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی دار ندارند.

Means in each column having at least a common letter are not significantly different by the Duncan test at 5 % probability level.

F0، شاهد (بدون کود)، F1، F2 و F3 : به‌ترتیب ۴، ۸ و ۱۲ کیلوگرم در هکتار از کود کلات آهن و روی؛ F4، F5 و F6 : به‌ترتیب ۴، ۸ و ۱۲ کیلوگرم در هکتار از کود نانو کلات آهن و روی.

F0, control, F1, F2 and F3: 4, 8 and 12 $kg.ha^{-1}$ of iron and zinc chelate fertilizer, F4, F5 and F6: 4, 8 and 12 $kg.ha^{-1}$ of Nano-chelate iron and zinc fertilizer, respectively.

وزن خشک گل: وزن خشک گل تحت تأثیر زمان اولین آبیاری و کاربرد کود به‌ترتیب در سطوح پنج و یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین وزن خشک گل در تاریخ آبیاری ۱۰ آبان به میزان ۰/۴۸ گرم در متر مربع به‌دست آمد و سپس تاریخ‌های ۲۰ و ۳۰ آبان به ترتیب با ۰/۴۶ و ۰/۴۲ قرار گرفتند (جدول ۳). در بین تیمارهای کودی نیز بیشترین وزن خشک گل در تیمارهای F5 و F6 هر دو به مقدار ۰/۵۴ گرم در متر مربع بدست آمد (جدول ۴). بیشترین وزن خشک گل (۰/۴۸ گرم در متر مربع) با اعمال اولین آبیاری در ۱۰ آبان‌ماه حاصل شد که تقریبا ۱۴/۲۹ درصد بیشتر از تاریخ اولین آبیاری در ۳۰ آبان‌ماه بود. تحت تأثیر کود بیشترین آن از کاربرد ۱۲ کیلوگرم در هکتار نانو کلات آهن و روی به‌دست آمد. برشدهی برهمکنش تاریخ آبیاری اول × کود نشان داد که در تاریخ ۱۰ آبان تیمارهای کودی F6 و F5 بیشترین وزن خشک را داشتند

و با تاخیر در آبیاری اول تیمارهای F4، F3 و F2 نیز با آنها اختلاف معنی‌دار نداشتند ضمن اینکه وزن خشک گل تولید شده در تاریخ‌های دیرتر کمتر بود (جدول ۶). نتایج مطالعه‌ای برای تعیین مناسب‌ترین زمان آبیاری اول در خراسان شمالی، رضوی و جنوبی نشان داده است که مکان‌هایی با ارتفاع بالاتر از سطح دریا و میانگین دمای کمتر، تاریخ گلدهی و است و بالعکس با کم شدن ارتفاع منطقه و بالا رفتن دمای هوای منطقه، زمان آبیاری اول و بالطبع تاریخ گلدهی آن به تاخیر می‌افتد و به اواسط و حتی اواخر پائیز منتقل می‌گردد (Alizadeh *et al.*, 2009). در نتایج تحقیقی، واکنش معنی‌دار وزن گل زعفران تحت تأثیر نوع کود آهن (کلات معمولی یا نانوکلات) و مقدار آن گزارش شده است (Maleki Farahani and Aghighi-Shahverdi, 2015). آنها با افزودن کود آهن، روند افزایشی وزن گل را برای هر دو فرم و به‌ویژه برای کود نانو مشاهده کردند که با نتایج آزمایش دیگری تطابق داشت (Baghai and Maleki Farahani, 2014).

جدول ۵- میانگین مربعات برشدهی برهمکنش زمان آبیاری × کاربرد کود کلات و نانو در برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی زعفران

Table 5- Mean square of interaction of irrigation time × application of chelate and Nano fertilizer in some morphophysiological traits of saffron

زمان آبیاری اول First irrigation timing	درجه آزادی Df	تعداد برگ در بوته Number of leaf per plant	تعداد گل در متر مربع Number of flower per m^{-2}	وزن خشک گل Flower dry weight	وزن خشک کلاله Stigma dry weight	سافرانال Safranal	کروسین Crocin	پیکروکروسین Picrocrocin	پرولین Proline	پروتئین برگ Leaf protein	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b
I1	6	10.49**	51.86**	0.025**	836.67**	30.02**	15.82**	20.41**	17.63**	0.012*	13.84**	19.98**
I2	6	14.78**	51.86**	0.014**	432.20**	11.49**	16.43**	13.76**	20.82**	0.014**	18.94**	28.66**
I3	6	5.19**	43.87**	0.016**	942.24**	4.59**	7.65**	3.16**	21.00**	0.026**	19.85**	14.86**

* و **: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and ** are significant at the 5 and 1% probability levels, respective

I1، I2 و I3: به‌ترتیب تاریخ اولین آبیاری.

I1, I2 and I3 of first irrigation time, respectively.

وزن خشک کلاله: نتایج نشان داد که برهمکنش تاریخ آبیاری اول و کود بر وزن خشک کلاله در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). بررسی برهمکنش بر اساس برشدهی نشان می‌دهد که در تاریخ ۱۰ آبان، سطح کودی F5 با ۲۳۶/۹۶ میلی‌گرم در متر مربع بیشترین وزن خشک کلاله را بخود اختصاص داد و بقیه تیمارهای کودی در این تاریخ به طور معنی‌داری دارای وزن خشک کلاله کمتری بودند، اما با تأخیر زمان اولین آبیاری به ۲۰ و ۳۰ آبان ماه، تفاوت تأثیر تیمارهای کودی F2، F3، F4، F5 و F 6 بر وزن خشک کلاله از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. براساس مقایسه میانگین‌ها وزن خشک کلاله در تاریخ‌های آبیاری زودتر افزایشی بود و بیشترین وزن خشک کلاله (۲۳۶/۹۶ میلی‌گرم در متر مربع) از کاربرد ۸ کیلوگرم در هکتار نانو کلات آهن و روی از اعمال اولین آبیاری در ۱۰ آبان‌ماه به‌دست آمد که در مقایسه با تیمار اولین آبیاری در ۳۰ آبان و عدم کاربرد کود (۱۶۰/۵۹ میلی‌گرم در متر مربع)، ۴۷/۵۶ درصد افزایش داشت (جدول ۶). نتایج تحقیقی نیز افزایش غیرمعنی‌دار عملکرد کلاله خشک زعفران را با اعمال اولین آبیاری در آبان نسبت به شهریور و مهر گزارش کرده است (Mohammad Abadi *et al.*, 2011). در تحقیقات متعدد گزارش گردیده است که عملکرد کلاله زعفران در واکنش به فرم نانویی نسبت به کلات معمولی افزایش بیشتری نشان داده است (Khaksarnezhad and Zabet, 2017; Maleki Farahani and Aghighi-Shahverdi, 2015). همچنین حداکثر عملکرد با کاربرد ۱۰ کیلوگرم نانو کلات آهن به‌دست آمد ضمن اینکه عملکرد حاصل از ۵ کیلوگرم نانو کلات آهن با عملکرد ناشی از مصرف ۱۰ کیلوگرم کلات معمولی آهن در یک گروه آماری قرار دارند (Maleki Farahani and Aghighi-Shahverdi, 2015). نتایج پژوهشی نشان دا که محلول‌پاشی نانواکسید روی و روی معمولی اثرات مثبتی بر تعداد گل و عملکرد کلاله زعفران دارند (Rostami *et al.*, 2019).

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش زمان آبیاری اول × کاربرد کود کلات و نانو آهن و روی بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی زعفران

Table 6- Mean comparison interaction of irrigation time × chelate and Nano iron and zinc fertilizer application in some morphophysiological traits of saffron

زمان آبیاری اول First irrigation timing	کود Fertilizer	تعداد برگ در بوته Number of leaf per plant	تعداد گل در متر مربع Number of flower per m^{-2}	وزن خشک گل Flower dry weight ($g.m^2$)	وزن خشک کلاله Stigma dry weight ($mg.m^{-2}$)	سافرانال Safranal ($E^{\%1}_{330nm}$)	کروسین Crocin ($E^{\%1}_{440nm}$)	پیکروکروسین Picrocrocin ($E^{\%1}_{257nm}$)	پرولین Proline ($mg.kg^{-1}$)	پروتئین برگ Leaf protein ($g.100g^{-1}$)	کلروفیل a Chlorophyll a ($\mu g.g^{-1}$)	کلروفیل b Chlorophyll b ($\mu g.g^{-1}$)
I1	F0	11.00 ^{d}	16.67^{d}	0.34^{c}	185.82^{c}	31.94^{c}	166.67^{c}	69.33^{e}	963.67^{ab}	1.13^{b}	514.30^{d}	144.43^{c}
	F1	12.00 ^{cd}	19.00^{d}	0.42^{b}	190.85^{c}	32.51^{c}	168.00^{c}	71.67^{d}	964.67^{a}	1.24^{a}	517.00^{c}	145.33^{c}
	F2	13.33 ^{c}	22.67^{c}	0.47^{b}	205.87^{b}	34.94^{b}	170.00^{b}	73.00^{cd}	959.33^{cd}	1.25^{a}	518.77^{abc}	148.57^{ab}
	F3	15.00 ^{b}	26.00^{ab}	0.48^{b}	213.02^{b}	38.63^{a}	170.33^{b}	74.00^{c}	962.67^{abc}	1.31^{a}	519.30^{ab}	149.10^{ab}
	F4	15.00 ^{b}	23.67^{bc}	0.47^{b}	208.08^{b}	36.04^{a}	170.00^{b}	73.00^{cd}	960.67^{bcd}	1.29^{a}	518.47^{bc}	148.33^{b}
	F5	15.67 ^{a}	28.00^{a}	0.59^{a}	236.96^{a}	39.58^{a}	174.00^{a}	77.33^{a}	959.00^{d}	1.31^{a}	520.17^{ab}	151.00^{ab}
	F6	15.67 ^{a}	26.67^{a}	0.61a	212.44^{b}	39.26^{a}	170.67^{a}	75.67^{b}	958.67^{d}	1.30^{a}	520.60^{a}	151.17^{a}
I2	F0	10.00 ^{cd}	16.33^{d}	0.40^{c}	177.80^{c}	32.81^{c}	165.67^{c}	69.33^{e}	964.33^{a}	1.12^{c}	512.40^{c}	143.63^{d}
	F1	8.67 ^{d}	16.33^{d}	0.38^{c}	192.88^{b}	33.07^{c}	165.67^{c}	71.33^{d}	964.67^{a}	1.21^{bc}	517.70^{b}	144.10^{cd}
	F2	10.67 ^{c}	20.00^{c}	0.39^{c}	201.47^{ab}	33.93^{c}	167.33^{c}	74.00^{b}	963.67^{a}	1.22^{abc}	518.30^{ab}	146.63^{bc}
	F3	12.67 ^{b}	23.00^{b}	0.44^{bc}	208.40^{a}	37.20^{ab}	170.33^{ab}	73.00^{bc}	964.67^{a}	1.30^{ab}	518.67^{ab}	149.20^{ab}
	F4	14.00 ^{ab}	19.00^{cd}	0.50^{ab}	210.79^{a}	35.87^{b}	169.33^{b}	72.33^{cd}	961.67^{ab}	1.31^{a}	517.57^{b}	149.23^{ab}
	F5	13.67 ^{ab}	27.33^{a}	0.56^{a}	210.50^{a}	37.43^{a}	171.67^{a}	76.00^{a}	958.67^{b}	1.30^{ab}	519.40^{ab}	151.07^{a}
	F6	14.33 ^{a}	24.33^{a}	0.52^{ab}	205.39^{a}	36.52^{ab}	169.67^{b}	74.00^{b}	959.00^{b}	1.28^{ab}	520.07^{a}	151.00^{a}
I3	F0	11.33^{c}	14.67^{f}	0.27^{c}	160.59^{b}	34.01^{c}	163.33^{c}	68.33^{c}	964.67^{bc}	1.06^{c}	512.77^{d}	141.87^{d}
	F1	11.33^{c}	16.00^{ef}	0.39^{b}	168.61^{b}	35.04^{bc}	165.67^{b}	69.33^{bc}	968.33^{a}	1.13^{bc}	513.30^{cd}	144.02^{cd}
	F2	13.00^{b}	18.33^{de}	0.44^{ab}	196.07^{a}	35.72^{b}	165.67^{b}	69.67^{bc}	963.00^{bcd}	1.12^{bc}	515.03^{bc}	146.73^{abc}
	F3	14.00^{ab}	21.67^{bc}	0.47^{ab}	202.38^{a}	36.19^{ab}	166.00^{b}	70.33^{ab}	965.00^{ab}	1.21^{b}	518.57^{a}	147.00^{ab}
	F4	13.33^{ab}	19.67^{cd}	0.42^{ab}	202.32^{a}	35.26^{bc}	166.33^{ab}	70.00^{b}	963.00^{bcd}	1.20^{b}	516.07^{b}	144.63^{bcd}
	F5	14.00^{ab}	24.00^{ab}	0.48^{a}	202.02^{a}	37.48^{a}	168.00^{a}	71.67^{a}	960.33^{d}	1.21^{b}	518.13^{a}	146.20^{abc}
	F6	14.67^{a}	24.67^{a}	0.48^{a}	198.70^{a}	37.26^{a}	168.00^{a}	70.33^{ab}	961.33^{cd}	1.35^{a}	519.17^{a}	148.57^{a}

در هر ستون، تیمارهایی که حداقل در یک حروف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی دار ندارند.

*Means in each column having at least a common letter are not significantly different by the Duncan test at 5 % probability level.

F0 شاهد (بدون کود)، F1، F2 و F3 : به‌ترتیب ۴، ۸ و ۱۲ کیلوگرم در هکتار از کود کلات آهن و روی؛ F4، F5 و F6 : به‌ترتیب ۴، ۸ و ۱۲ کیلوگرم در هکتار از کود نانو کلات آهن و روی.

F0, control, F1, F2 and F3: 4, 8 and 12 $kg.ha^{-1}$ of iron and zinc chelate fertilizer, F4, F5 and F6: 4, 8 and 12 $kg.ha^{-1}$ of nano-chelate iron and zinc fertilizer, respectively.

I1، I2 و I3: به‌ترتیب تاریخ اولین آبیاری.

I1, I2 and I3 of first irrigation time, respectively.

سافرانال: برهمکنش تاریخ آبیاری اول و کود در سطح یک درصد بر سافرانال معنی‌دار بود (جدول ۲). مقدار سافرانال به‌طور بسیار معنی‌داری تحت تأثیر برهمکنش زمان اولین آبیاری و سطوح کود ریز مغذی قرار گرفت (جدول ۶). عنصر آهن برای ساخت کلروپلاست و کاروتنوئیدها ضروری است و تولید سافرلنال در زعفران از طریق جداسازی زاگزانتین در چرخه کاروتنوئیدها آغاز می‌شود. از این رو کاربرد کودهای کلات آهن از طریق افزایش مقدار کاروتنوئیدها بر میزان سافرانال تاثیرگذار باشد (Akbarian *et al.*, 2012). تأثیر مثبت کودهای کلات و نانوکلات آهن بر میزان سافرانال در تحقیق دیگری نیز ثابت شده است (Maleki-Farahani and Aghighi-Shahverdi, 2015).

کروسین: اثر زمان اولین آبیاری بر میزان کروسین در سطح احتمال پنج درصد و اثر کود در سطح یک درصد بر آن معنی‌دار بودند (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین‌ها با تأخیر در زمان اولین آبیاری از ۱۰ به ۳۰ آبان میزان کروسین به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳). به‌طوری‌که میزان آن در آبیاری ۳۰ آبان ۲/۲۴ درصد کمتر از آبیاری ۱۰ آبان بود. در بین تیمارهای کودی، بیشترین میزان کروسین اندازه‌گیری شده از سطح کودی F5 به‌دست آمد که در مقایسه با تیمار عدم

مصرف کود ۳/۶۳ درصد بیشتر بود و با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. در بین سطوح کودی کلات با افزایش هر سطح کودی از ۴ به ۸ و ۱۲ کیلوگرم (تیمارهای F1 تا F3)، میزان کروسین به‌صورت صعودی و به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. در بین کودهای نانو این افزایش از ۴ به ۸ کیلوگرم (F4 به F5) به‌صورت افزایشی بود، ولی با افزایش بیشتر به ۱۲ کیلوگرم، میزان کروسین مقداری کاهش نشان داد (جدول ۴). برشدهی برهمکنش نیز نشان داد که تیمار F5 (۸+۸ کیلوگرم در هکتار از کودهای نانویی آهن و روی) در تاریخ اولین آبیاری (۱۰ آبان) از بقیه تیمارها میزان کروسین بیشتری تولید کرد، ولی با تاخیر در آبیاری این افزایش بتدریج کمتر گردید (جدول ۶). بر اساس نتایج آزمایشی مصرف کود نانو کلات آهن میزان کروسین را به‌طور معنی‌داری نسبت به کود کلات معمولی افزایش داد (Maleki Farahani and Aghighi-Shahverdi, 2015) که با نتایج آزمایش ما تطابق دارد. نتایج تحقیقی نشان داد که افزایش مصرف روی نانو و معمولی تا ۳ گرم در لیتر تأثیر قابل توجهی بر کروسین نداشتند، اما محتوای کروسین به‌طور قابل توجهی در غلظت‌های بالاتر (۶ و ۹ گرم در لیتر) کاهش یافت (Rostami *et al.*, 2019).

پیکروکروسین: برهمکنش زمان اولین آبیاری و کود در سطح یک درصد به‌طور معنی‌داری بر میزان پیکروکروسین معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طوری‌که در هر یک از زمان‌های اولین آبیاری بین تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۶). در اولین آبیاری در ۱۰ و ۲۰ آبان، بیشترین مقدار پیکروکروسین در تیمار F5 به‌دست آمد که با بقیه تیمارها اختلاف آن معنی‌دار بود، اما اولین آبیاری در ۳۰ آبان، بین تیمار F5 با تیمارهای F6 و F3 اختلاف معنی‌دار دیده نشد هرچند که در این تاریخ تمامی سطوح کودی کاهش محسوسی نسبت به تاریخ‌های ما قبل خود داشتند. نتایج تحقیقی نیز نشان داد که میزان پیکروکروسین تحت تأثیر نوع و مقدار کود کلات قرار گرفت، به‌طوری‌که کود نانو کلات دارای غلظت بیشتری از پیکروکروسین نسبت به کلات معمولی بود و بالاترین ضریب خاموشی پیکروکروسین در غلظت ۱۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (Maleki Farahani and Aghighi-Shahverdi, 2015). رنگیزه‌های کروسین و پیکروکروسین از ترکیباتی هستند که در مسیر سنتز اسیدموالونیک سنتز می‌شوند که خود از فرآورده‌های تنفسی می‌باشد و استیل کوانزیم A و عنصر آهن از عواملی هستند که در این چرخه نقش حیاتی دارند و کمبود آن می‌تواند کیفیت زعفران استحصالی را کاهش دهد (Robio Moraga *et al.*, 2009).

پرولین: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که زمان اولین آبیاری بر میزان پرولین معنی‌دار نبود، ولی این ویژگی در سطح یک درصد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کود قرار گرفت (جدول ۲). میزان پرولین با کاربرد کود روند کاهشی داشت و کم‌ترین آن از کاربرد ۱۲ کیلوگرم در هکتار نانو کلات آهن و روی حاصل گردید و در بین تیمارهای کودی بیشترین میزان پرولین از تیمار عدم مصرف کود به‌دست آمد و تمام سطوح کودی نانو نسبت به سطوح کودی کلات، میزان پرولین کمتری داشتند (جدول ۴). برشدهی برهمکنش تیمارها بر این ویژگی نشان داد که در تاریخ ۱۰ آبان، تیمارهای F1، شاهد و F3 بیشترین میزان پرولین را داشتند. در تاریخ ۲۰ آبان بیشترین میزان در تیمارهای شاهد، F1، F2 و F3 بود و تیمار F4 با آنها اختلاف معنی‌داری نداشت و نهایتاً در ۳۰ آبان بیشترین مقدار در تیمار F1 بود که تقریباً با تیمار F3 اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین مقادیر نیز در هر سه تاریخ در تیمارهای F5 و F6 به‌دست آمد (جدول ۶). در بررسی کلات معمولی و نانو کلات آهن در یونجه (*Medicago sativa* L.) گزارش شده است که بیشترین مقدار آنتی اکسیدان‌ها و پرولین در تیمار شاهد حاصل شد (Askary *et al.*, 2018).

پروتئین برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که زمان اولین آبیاری بر میزان پروتئین برگ معنی‌دار نبود، ولی به‌طور بسیار معنی‌داری تحت تأثیر کود قرار گرفت (جدول ۲). میزان پروتئین برگ با تأخیر زیاد در اولین آبیاری (۳۰ آبان) کاهش غیر معنی‌دار را نشان داد (جدول ۳). در تیمارهای کود کلات و نانو بالاترین سطح کودی کلات (F3) و تمام سطوح کودی نانو (F4 تا F6) از میزان پروتئین برگ خشک بالاتری برخوردار بودند (جدول ۴). برشدهی برهمکنش تیمارهای آزمایشی حاکی از آن است که سطوح کودی نانو F4 تا F6 و سطح کودی کلات F3 برای افزایش میزان پروتئین برگ مطمئن‌ترین سطوح هستند. بنظر می‌رسد که در تیمار F6 تاریخ آبیاری ۳۰ آبان در برآورد میزان پروتئین برگ خطائی رخ داده باشد و میزان آن را بیشتر محاسبه کرده‌اند، ولی با توجه به بقیه نتایج نباید این

عدد کمتر از بقیه تیمارها در گروه تاریخ آبیاری ۳۰ آبان باشد (جدول ۶). نتایج تأثیر نانو کودهای مختلف در زعفران نشان داد که بیشترین میزان پروتئین برگ در نانو کود پتاسیم، بر و روی و کمترین میزان آناز کاربرد نانو کود آهن به‌دست آمد (Rostami *et al.*, 2018).

کلروفیل a و b: مقادیر کلروفیل a و b تحت تأثیر زمان اولین آبیاری به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد و تحت تأثیر کود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲). تأخیر در اولین آبیاری تا ۳۰ آبان باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل a و b گردید (جدول ۳) و بالاترین میزان کلروفیل a در تیمار F6 به‌دست آمد گرچه با تیمارهای F5 و F3 در یک گروه قرار گرفتند. بیشترین مقدار کلروفیل b نیز در تیمارهای F5 و F6 به‌دست آمد (جدول ۴). برشدهی برهمکنش برای کلروفیل a نشان داد که در دو تاریخ ۱۰ و ۲۰ آبان تیمارهای F6، F5، F3 و F2 دارای میزان کلروفیل a بالاتری بودند (جدول ۶)، اما تأخیر بیشتر در آبیاری اول تا ۳۰ آبان باعث شد تا دامنه مقدار کود نانو و کلات مؤثر به مقادیر بالاتر (تیمارهای F6 و F5 نانو و تیمار F3 کلات) محدود گردد. برشدهی برهمکنش برای کلروفیل b (جدول ۶) نشان داد که کلروفیل b به اندازه کلروفیل a به مقدار کودهای نانو و کلات حساس نبود و دامنه وسیع‌تری از کودهای کلات و نانو باعث افزایش کلروفیل b گردید و تأخیر در آبیاری اول باعث کاهش محسوس در کلروفیل b گردید. براساس نتایج آزمایشی روی زعفران حداکثر کلروفیل a از تیمار اکسید روی معمولی با غلظت ۹ گرم در لیتر و سپس اکسید روی نانو با غلظت ۳ گرم در لیتر به‌دست آمد (Rostami *et al.*, 2019). در آزمایش دیگری گزارش شده است که نانو کود آهن بیشترین تأثیر را در افزایش کلروفیل a در بین نانو کودهای عناصر مختلف داشت و تأثیر عنصر روی نیز در افزایش کلروفیل a و کلروفیل کل قابل توجه بود (Rostami *et al.*, 2018). به‌طورکلی عنصر آهن نقش اساسی در متابولیسم کلروفیل دارد و به عنوان کوفاکتور در بسیاری از آنزیم‌های دخیل در فعالیت سلولی از قبیل فتوسنتز، تنفس و تمایز سلولی شرکت دارد و کمبود آن می‌تواند کارآیی اندامک‌های فتوسنتزی را به میزان زیادی کاهش دهد (Bybordi and Mamedov, 2010). میزان کلروفیل و تجمع متابولیت‌ها در لندام‌های هوایی در تحت تأثیر عنصر روی افزایش می‌یابد و همچنین تغییر در میزان کلروفیل می‌تواند ناشی از عنصر روی بر فرآیندهایی باشد که منجر به سنتز کلروفیل می‌شوند (Arif *et al.*, 2012).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که انجام اولین آبیاری در اوایل آبان، عملکرد کلاله را افزایش داد. مصرف کود کلات معمولی آهن و روی برای حصول عملکرد حداکثری بین ۸ تا ۱۲ کیلوگرم و مصرف نانو کلات آهن و روی به میزان حداکثر ۸ کیلوگرم در هکتار می‌تواند نتایج خوبی داشته باشد. براساس نتایج وزن خشک کلاله با اولین آبیاری در تاریخ ۱ آبان با ۸ کیلوگرم در هکتار نانو کلات آهن و روی (۲۳۶/۹۶ میلی‌گرم در متر مربع) در مقایسه با اولین آبیاری در ۳۰ آبان و عدم کاربرد کود (۱۶۰/۵۹ میلی‌گرم در متر مربع)، ۴۷/۵۶ درصد افزایش داشت. نتایج کلی نشان داد که برای حصول حداکثر عملکرد اقتصادی (کلاله) تاریخ آبیاری ۱۰ آبان و کاربرد ۱۲ کیلوگرم در هکتار کلات معمولی آهن و روی یا ۸ کیلوگرم در هکتار نانو کلات آهن و روی مناسب می‌باشد.

References

Ahmadi, A. and Jabbari, F., 2009. Introduction to plant physiology. Vol. 1, Tehran University Press, Tehran, Iran, pp.158-163. [In Persian]

Akbarian, M.M., Heidari Sharifabad, H., Noormohammadi, G. and Darvish Kojouri, F., 2012. The effect of potassium, zinc and iron foliar application on the production of saffron (*Crocus sativus*). *Annals of Biological Research*, *3*(12), pp.5651-5658.

Alizadeh, A., Sayari, N., Ahmadian, J., and Mohamadian, A., 2009. Study for zoning the most appropriate time of irrigation of saffron (*Crocus Sativus* L.) in Khorasan Razavi, North and Southern provinces. *Journal of Water*

and Soil, 23(1), pp.109-118. **doi: 10.22067/jsw.v0i0.1539**

Amjadian, O.A., 2014. Planting saffron in Kermanshah climate condition. The first conference on new findings in the environment and agricultural ecosystems. https://AgroCongress.ir.

Arif, M., Asifshehzad, M., Bashir, F., Tasneem, M., Yasin, G., and Iqbal, M., 2012. Boron, zinc and microtone effects on growth, chlorophyll contents and yield attributes in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *African Journal of Biotechnology, 11*(48), pp.10851-10858. **doi: 10.5897/ajb12.393**

Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal,* 23, pp.112-121.

Askary, M., Amini, F., Talebi, S.M., and Shafiei Gavari, M., 2018. Effects of Fe-chelate and iron oxide nanoparticles on some of the physiological characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences, 11*(2), pp.449-458. [In Persian]. **doi: 10.22077/escs.2017.522.1104**

Baghai, N.A. and Maleki-Farahani, S., 2014. Comparison of iron chelate fertilizer with fundamentals of micro and nano on quantitative yield and allocation of Photosynthesis material of farming saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Research, 1*(2), pp.156-169. [In Persian]. **doi:10.22077/jsr.2013.442**

Behdani, M.A., Nassiri, M., and Koocheki, A., 2004. Modeling saffron flowering time across a temperature gradient. *Acta Horticulture, 650,* pp.215–218. **doi: 10.17660/actahortic.2004.650.24**

Behdani, M.A., Koocheki, A., Nassiri, M., and Rezvani, P., 2005. Evaluation of quantitative relationships between saffron yield and nutrition (on farm trial). *Iranian Journal of Field Crops Research, 3*(1), pp.1-14. [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v3i1.1287**

Bybordy, A., and Mamedov, G., 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae, 2*(1), pp.94-103. **doi: 10.15835/nsb213531**

Fageria, N.K. and Baligar, V.C., 2005. Growth components and zinc recovery efficiency of upland rice genotypes. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 40,* pp.1211–1215. **doi: 10.1590/s0100-204x2005001200008**

Feizi, H., Hosseini, A., Sahabi, H. and Nazarian, R., 2020. Response of flower and corm yield of saffron (*Crocus sativus* L.) to nano biologic fertilizer application in comparison to current cow manure and chemical fertilizer. *Saffron Agronomy & Technology, 8*(1), pp.75-88. **doi: 10.22048/jsat.2019.177567.1339**

Ganbari-Shirsavar, A. 2019. Research interview: Investigation of production and export of Iranian saffron (Actions of the Ministry of Jihad Agriculture). Research Assistant. Political Research Office. Islamic Republic of Iran Broadcasting. Avail: http://www.iribnews.ir [In Persian].

Gresta, F., Lombardo, G.M., Siracusa, L. and Ruberto, G., 2008. Saffron, an alternative crop for sustainable agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development, 28,* pp.95–112. **doi: 10.1051/agro:2007030**

Grotz, N. and Guerinot, M.L., 2006. Molecular aspects of Cu, Fe and Zn homeostasis in plants. *Biochemistry and Biophysica Acta, 763*(7), pp.595-608. **doi: 10.1016/j.bbamcr.2006.05.014**

Harris. D.C., 2003. Quantitie Chemical Analysis (Ninth Edition W.H). Freeman publisher, p. 938.

INSO. 259-2. Saffron- test methods. 2013. Islamic Republic of Iran. Iranian National Standardization Organization.

Jalali-Heravi, M., Parastar, H. and Ebrahimi-Najafabadi, H., 2010. Self-modeling curve resolution techniques applied to comparative analysis of volatile components of Iranian saffron from different regions. *Analytica Chimica Acta, 662,* pp.143–154. **doi: 10.1016/j.aca.2010.01.013**

Khaksarnezhad, E. and Zabet, M., 2017. The effect of Nano iron chelated on the yield and yield components of saffron (*Crocus sativus* L.) in South Khorasan. *Journal of Saffron Research, 5*(1), pp.45-52. [In Persian]. **doi: 10.22077/jsr.2017.600**

Maleki Farahani, S. and Aghighi-Shahverdi, M., 2015. Evaluation the effect of nono-iron fertilizer in compare to iron chelate fertilizer on qualitative and quantitative yield of saffron. *Journal of Crops Improvement*, *17*(1), pp.155-168. [In Persian]. **doi: 10.22059/jci.2015.54795**

Maleki Farahani, S., Khalesi, A. and Sharghi, Y., 2015. Effect of Nano iron chelate fertilizer on iron absorption and saffron (*Crocus sativus* L.) quantitative and qualitative characteristics. *Asian Journal of Biological Sciences, 8*(2), pp.72-82. **doi: 10.3923/ajbs.2015.72.82**

Mohammad Abadi, A.A., Rezvani Moghaddam, P. and Fallahi, J., 2011. Effects of planting pattern and the first irrigation date on growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agroecology, 3*(1), pp.84-93. [In Persian]. **doi: 10.22067/jag.v3i1.9973**

Molina, R.V., Garcìa-Luis, A., Coll, V., Ferrer, C. and Valero, M., 2004. Flower formation in the saffron Crocus (*Crocus sativus* L.), the role of temperature. *Acta Horticulture, 650,* pp.39–47. **doi: 10.17660/actahortic.2004.650.2**

Osmani Roudi, H.R., Masoumi, A., Hamidi, H. and Razavi, S.A.R., 2015. Effects of first irrigation date and organic fertilizer treatments on saffron (*Crocus sativus* L.) yield under Khaf climatic conditions. *Saffron Agronomy & Technology, 3*(1), pp.25-33. **doi: 10.22048/jsat.2015.9609**

Rostami, M., Maleki, M. and Effati, A.R., 2018. The effect of foliar application of chemical nano-fertilizers on physiological traits of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology, 5*(4), pp.345-359. **doi: 10.22048/jsat.2017.54127.1160**

Rostami, M., Mirzaei Talarposhti, R., Mohammadi, H. and Scott Demyan, M., 2019. Morpho-physiological response of saffron (*Crocus sativus* L.) to particle size and rates of zinc fertilizer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 50*(4), pp.1-8. **doi: 10.1080/00103624.2019.1614602**

Rubio Moraga, A., Luis Rambla, J., Ahrazem, O., Granell, A. and Gómez-Gómez, L., 2009. Metabolite and target transcript analyses during *Crocus sativus* stigma development. *Phytochemistry, 70,* pp.1009-1016. **doi: 10.1016/j.phytochem.2009.04.022**

Soltani, A., 2010. Re-consideration of application of statistical methods in agricultural researches. Jahad-e-Daneshgahi Mashhad Press. 76p. [In Persian].

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 6, Issue 4, Winter 2024, P. 375-387

Effect of first irrigation time and chelate and iron Nano fertilizer application on saffron morphophysiology traits in Kermanshah

Abdoulreza Zand[1], Mohammd Galavi[2*], Goodarz Ahmadvand[3], Mahmood Ramroudi[2]

[1] Ph.D. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
[2] Department Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
[3] Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
[*]Corresponding Author: mgalavi@uoz.ac.ir

Received: 20 April 2022 Accepted: 19 June 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.338476.1227**

Abstract

Introduction: Numerous factors influence the quantity and quality of saffron. Climate and temperature are important factors in determining the time of the initial irrigation Applying the initial irrigation at the appropriate time in each area enables the management of flowers in terms of earlier emergence than leaves, while also increasing the quantity and quality of the product and lowering harvest costs. The timing of the initial irrigation was critical for the corms to awaken. Nutrient availability, particularly microelements such as iron and zinc, is another critical factor in saffron cultivation. Iron is required for chlorophyll synthesis, while zinc is required for chlorophyll, carbohydrates, and tryptophan synthesis. Chelate micronutrients, according to researchers, are more effective than conventional compounds. The purpose of this study was to determine the response of saffron's morphophysiological characteristics to the first date of irrigation and the application of iron and zinc fertilizers in chelate and Nano-chelate forms.

Materials and Methods: This experiment was conducted in Faraman Dorod village of Kermanshah province in 2016-2017 to determine the effect of first irrigation time and chelate and Nano-chelate forms of iron and zinc fertilizers on the morpho-physiological characteristics of saffron. Split plots were used in a randomized complete block design with three replications. The first irrigation time was on November 31 Oct, 10 and 20 Nov as main plots, and chelate and Nano-chelate fertilizers were included as subplots in levels (F1, F2, and F3 at 4, 8, and 12 $kg.ha^{-1}$ from iron and zinc chelate fertilizers, respectively, as well as F4, F5, and F6 at rates of 4, 8, and 12 $kg.ha^{-1}$ from iron and zinc Nano-chelate fertilizers, respectively, and control (F0, without fertilizer)). SAS software, version 9.1, was used to conduct analysis of variance on the data. The Duncan test indicates that the means in each column that has at least one letter are not significantly different at the 5% probability level.

Results and Discussion: The results revealed that the first irrigation date and fertilizer had a significant impact on the number of leaves per plant, flower dry weight, stigma dry weight, crocin, picrocrocin, and chlorophylls a and b. The application of the first irrigation on 10 October resulted in the highest dry weight of flowers (0.48 $g.m^{-2}$) by approximately 14.29 percent compared to the application of the first irrigation on 30 October. Under the influence of fertilizer, the application of 12 $kg.ha^{-1}$ of iron and zinc Nano-chelates produced the highest flower dry weight. The application of fertilizer decreased the amount of proline, with 12 kg/ha of nano-iron and nano-zinc chelates producing the lowest levels. Under the influence of the interaction between the date of the first irrigation and the type of fertilizer, significant differences were observed between the examined treatments. According to the results, the dry weight of stigma and safranal increased with earlier irrigation dates, and the highest dry weight of stigma (236.96 $mg.m^{-2}$) was obtained by applying 8 $kg.ha^{-1}$ of nano-iron chelate and zinc with the first irrigation on 10 November. The highest dry weight of stigma increased by 47.56 percent when compared to the initial irrigation treatment on 30 November and no fertilizer application (160.59 $mg.m^{-2}$).

Conclusion: The results showed that to obtain maximum stigma yield, 1st of November for first irrigation and the application of 12 $kg.ha^{-1}$ of chelate or 8 $kg.ha^{-1}$ of Nano-chelate is suitable.

Keywords: Crocin, Picrocrocin, Proline, Stigma weight