نشریه زراعت و فناوری زعفران
جلد ۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰ ص. ۲۷-۳

Saffron Agronomy & Technology
Vol. 9, No. 1, Spring 2021, P. 3-27.

مقاله علمی - پژوهشی

بهینه‌سازی کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد بر عملکرد گل و بنه زعفران (*Crocus sativus* L.) با استفاده از مدلسازی سطح-پاسخ

سرور خرم دل[1*]، فاطمه معلم بنهنگی[2] و جواد شباهنگ[3]

تاریخ دریافت: ۲۶ اسفند ۱۳۹۸ **تاریخ پذیرش:** ۲۲ مرداد ۱۳۹۹

خرم دل، س.، معلم بنهنگی، ف.، و شباهنگ، ج. ۱۴۰۰. بهینه‌سازی کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد بر عملکرد گل و بنه زعفران (*Crocus sativus* L.) با استفاده از مدلسازی سطح-پاسخ. نشریه زراعت و فناوری زعفران، ۹(۱): ۲۷-۳.

چکیده

بهینه‌سازی یکی از راهکارهای مدیریتی برای بهبود تولید و کارایی مصرف منابع و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی در نظام‌های تولید زعفران محسوب می‌شود. مدل سطح- پاسخ (RSM) مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری مورد استفاده برای بهینه‌سازی نهاده‌ها می‌باشد. در این مطالعه، بهینه‌سازی سطوح کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد بر عملکرد گل و بنه و خصوصیات کیفی زعفران با استفاده از RSM انجام شد. این آزمایش با ۱۳ تیمار و ۲ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. تیمارها بر اساس سطوح پایین و بالای کود دامی (۰ و ۱۰۰ تن در هکتار) و غلظت محلول‌پاشی برگی با دلفارد ® (۰ و ۱۰ پی‌پی‌ام) تعیین شدند. شاخص‌های عملکرد گل، عملکرد بنه‌های دختری و خصوصیات کیفی بعنوان متغیر وابسته اندازه‌گیری و تغییرات آن‌ها با مدل رگرسیونی ارزیابی شد. به منظور ارزیابی کیفیت مدل برازش شده از آزمون عدم برازش استفاده شد. بسندگی مدل با استفاده از آنالیز واریانس مورد ارزیابی قرار گرفت. کیفیت مدل‌های برازش شده با ضریب تبیین (R^2) ارزیابی شد. در نهایت، بهینه‌سازی کود دامی و غلظت محلول‌پاشی برگی بر اساس سناریوی اقتصادی انجام شد. نتایج نشان داد که اثر جزء خطی بر خصوصیات کیفی، اثر جزء درجه دو بر وزن خشک کلاله، میانگین قطر، تعداد و میانگین وزن بنه و محتوی کروسین و اثر متقابل بر شاخص‌های عملکرد گل معنی‌دار بود. آزمون عدم برازش در مورد هیچ یک از صفات معنی‌دار نشد که نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل درجه دو کامل بود. بیشترین مقدار مشاهده شده تعداد بنه‌های دختری برای تیمار ۵۰ تن در هکتار کود دامی+ بدون محلول‌پاشی (۴۱/۳۸ بنه در متر مربع) مشاهده شد. بیشترین مقدار مشاهده شده وزن خشک کلاله برای مصرف ۱۰۰ تن در هکتار کود دامی بدون محلول‌پاشی (با ۱۵۶/۳۳ میلی‌گرم بر متر مربع) بدست آمد. بیشترین مقدار مشاهده شده خصوصیات کیفی زعفران شامل محتوی پیکروکروسین، کروسین و سافرانال برای تیمار ۱۰۰ تن در هکتار کود دامی+ ۱۰ پی‌پی‌ام محلول‌پاشی با دلفارد (به ترتیب با ۸۹/۹۱ E1%257، ۱۸۰/۹۸ E1%440 و ۴۰/۱۵ E1%330) بدست آمد. در سناریوی اقتصادی وزن خشک کلاله، تعداد بنه‌های دختری و محتوی کروسین همزمان مد نظر قرار گرفت و مقادیر بهینه کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد به ترتیب برابر با ۹۲/۶۷ تن در هکتار و ۱/۲ پی‌پی‌ام بدست آمد. به طور کلی، بهینه‌سازی مصرف منابع با استفاده از مدل سطح- پاسخ می‌تواند به عنوان راهکاری مطلوب در تولید پایدار و بهبود خصوصیات گل و بنه و ویژگی‌های کیفی کلاله زعفران مد نظر قرار گیرد.

کلمات کلیدی: آزمون عدم برازش، تولید پایدار، محتوی کروسین

۱- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشجوی دکتری، گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دکتری گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: khorramdel@um.ac.ir)

DOI: 10.22048/JSAT.2020.223741.1385

مقدمه

زعفران از دیدگاه گیاهشناسی، گیاهی یکساله به شمار می‌رود که بر پایه رشد بنه به عنوان اندام‌های زیرزمینی رشد و نمو یافته و در شرایط زراعی می‌تواند تا چندین سال مورد بهره‌برداری قرار گیرد (Kumar et al., 2009). از نظر گیاهشناسی بنه‌های مادری در این گیاه تغییر شکل داده و تولید بنه‌های دختری می‌نماید و ساقه‌های زیرزمینی توسط برگ‌ها و فلس‌ها پوشانیده می‌شوند (Kumar et al., 2009). بنه‌های مادری رشد رویشی- زایشی داشته و بعد از مرحله گلدهی، بنه‌های دختری را تولید می‌کند (Renau-Morata et al., 2013; Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2020). مراحل رشدی با القای تقسیمات سلولی در مریستم‌ها و نمو بنه‌های جدید یا «بنه‌های دختری» شروع می‌شود. به دنبال رشد بنه‌های دختری که حاصل آغازش رشد جوانه‌های اصلی یا جانبی روی بنه مادری می‌باشند (Gresta et al., 2008a)، بنه‌های مادری تحلیل می‌روند (Bhagyalakshmi, 1999). هر بنه دختری در آغاز فصل بعدی رشد به عنوان بنه مادری رشد و تکثیر می‌یابد و این چرخه مجداً تکرار می‌شود. بدلیل عقیم بودن گل، این گیاه از طریق بنه‌های مادری که در حقیقت بذر زعفران تلقی شده، تکثیر می‌شود (Renau-Morata et al., 2012; Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2020). بررسی‌ها نشان داده است که کاشت بنه‌های مادری با وزن مناسب اولین عامل مؤثر در گلدهی زعفران می باشد (Gresta et al., 2008a; Renau-Morata et al., 2012). همچنین وجود سه سری کروموزوم در سلول‌های سوماتیکی زعفران، موجب شده تا استفاده از روش‌های معمول اصلاح نباتات در آن پیشرفت چندانی نداشته باشد (Kafi et al., 2002; Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2020)، بر این اساس به نظر می‌رسد که مدیریت تغذیه همراه با محلول‌پاشی برگی می‌تواند تأثیر مطلوبی بر رشد بنه‌های دختری و گلدهی این گیاه به همراه داشته باشد (Khorramdel et al., 2015). در همین راستا نتایج مطالعه‌ای تایید نموده است که محلول‌پاشی با اسید هیومیک به طور معنی‌داری موجب افزایش وزن خشک برگ و وزن بنه‌های دختری زعفران شد (Mollafilabi & Khorramdel, 2016).

به طور کلی، اگرچه زعفران گیاهی دارای توقع کمی نسبت به حاصلخیزی خاک است، اما نتایج نشان داده است که مصرف کودهای آلی تأثیر مثبتی بر رشد بنه‌های دختری و گل و به تبع آن عملکرد کلاله دارد (Koocheki et al., 2011). فراهمی عناصر غذایی به ویژه نیتروژن و فسفر از جمله مهمترین عوامل مؤثر بر رشد بنه‌های دختری در طول فصل رشد رویشی محسوب می‌شود (Koocheki et al., 2014; Koocheki & Seyyedi, 2015). نیتروژن و فسفر نقش مهمی بر بهبود عملکرد گل زعفران دارند (Chaji et al., 2013) که به ویژه در انتهای فصل رشد به عنوان عناصر متحرک (Bertheloot et al., 2008; Dordas, 2009) قادر به جابجایی از اندام‌های رویشی بالای سطح خاک به اندام‌های زیرزمینی هستند (Koocheki et al., 2014). مصرف مقدار مناسب نهاده‌های آلی اثرات مثبتی بر ویژگی‌های رویشی زعفران دارد که به تخصیص بهتر عناصر غذایی به اندام‌های آن نسبت داده شده است (Jami et al., 2020). سیدی و همکاران (Seyyedi et al., 2018) اظهار داشتند مصرف کودهای آلی بدلیل فراهمی بیشتر فسفر برای بنه‌های مادری و سپس تخصیص آنها به بنه‌های دختری تأثیر مثبتی بر تمایز گل در طی فصل رشد ایفا می‌نماید. همچنین خاک‌های سنگین با درصد رس بالا و شن کم می‌توانند تأثیر منفی بر رشد بنه‌های دختری زعفران داشته باشند، در حالی‌که مصرف کودهای آلی با تأثیر مثبت بر خصوصیات فیزیکی خاک و سبک‌تر نمودن بافت آن بعنوان راهکاری مطلوب و پایدار برای بهبود وضعیت بستر رشد بنه‌ها محسوب می‌شود (Kumar et al., 2009). بر این

اساس، با توجه به کمبود ماده آلی خاک به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور نظیر مزارع زعفران (Rezvani Moghaddam et al., 2015)، می‌بایست کاربرد کود دامی در بوم‌نظام‌های تولید این گیاه به طور ویژه‌ای مورد توجه قرار گیرد.

به منظور بهبود عملکرد، کاهش اثرات زیست محیطی و هزینه‌های تولید، مصرف نهاده‌ها در نظام‌های زراعی باید بهینه-سازی شود. یکی از کاربردی‌ترین روش‌های آماری برای بهینه-سازی نهاده‌ها، روش سطح-پاسخ[۱] بوده (Arsalan, 2007; Kwak, 2005) که جایگزینی برای آزمایشات فاکتوریل می‌باشد. در این طرح با کمترین تعداد تیمار بر مبنای سطوح پایین و بالا، می‌توان بیشترین اطلاعات را بدست آورد (Arsalan, 2007; Kwak, 2005; Box & Hunter, 1957; Box & Wilson, 1951). نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2015) با بررسی اثر تراکم (۵۰ و ۲۵۰ بنه در مترمربع) و وزن بنه (کمتر از ۴ و ۸-۴ گرم) زعفران با استفاده از طرح مرکب مرکزی بیان داشتند که افزایش وزن بنه و تراکم اثر مثبتی بر افزایش عملکرد کلاله، قطر بنه، تعداد بنه دختری، تعداد بنه اصلی، تعداد گل و وزن تر گل داشت.

بر این اساس، هدف از اجرای این تحقیق بهینه‌سازی اثر کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد بر عملکرد کمی و کیفی گل و بنه زعفران با استفاده از طرح مرکب مرکزی در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا با دو تکرار اجرا شد. تعداد تیمارها در قالب طرح مرکب مرکزی با استفاده از معادله‌های ارائه شده توسط ارسلان (Arsalan, 2007) و باکس و هانتر (Box & Hunter, 1957) محاسبه شد. ترکیب تیمارها با توجه به سطوح بالا و پائین کود دامی از نوع گاوی پوسیده (۰ و ۱۰۰ تن در هکتار) و سطوح بالا و پایین غلظت محلول‌پاشی برگی با دلفارد® (۰ و ۱۰ پی‌پی-ام) تعیین شد (جدول ۱).

در مرحله آماده‌سازی زمین و پیش از کاشت، نمونه‌ای مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک مزرعه به صورت تصادفی تهیه و جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد. نتایج آزمون خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۲ ارائه شده است.

دلفارد حاوی ۱۲ درصد نیتروژن، چهار درصد K_2O، هشت درصد P_2O_5 و کلات‌های آهن، روی، منگنز و مس می‌باشد. نتایج مربوط به خصوصیات شیمیایی کود دامی در جدول ۳ ارائه شده است.

لازم به ذکر است زمین تحت آزمایش قبل از زعفران، جو پوششی کاشته شده که این امر بهبود نسبی خصوصیات شیمیایی خاک و به ویژه محتوی کربن آلی را موجب شده است.

زعفران روی شش ردیف دو متری با فاصله بین ردیف ۲۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲ سانتی‌متر (تراکم ۲۰۰ بنه در متر مربع) در اواخر خرداد ماه سال ۱۳۹۵ در کرت‌هایی به ابعاد ۱/۵×۲ متر کاشته شد. جهت جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها، بین کرت‌ها و بلوک‌ها به ترتیب ۵۰ و ۱۰۰ سانتی متر فاصله در نظر گرفته شد. در سال اول اولین آبیاری ۱۵ مهر ماه و پس از آن یک نوبت سله‌شکنی انجام شد. در سال دوم اولین آبیاری ۱۵ مهر ماه و بعد از آن سله‌شکنی انجام شد. آبیاری‌های بعدی به ترتیب بعد از برداشت گل، اسفند ماه و آخر اردیبهشت ماه (پایان مرحله رشد رویشی همزمان با زرد شدن برگ‌ها) انجام شد. تغذیه برگی به صورت محلول‌پاشی با کود دلفارد در دو نوبت اوایل و اواخر اسفند ماه و در هنگام صبح انجام گرفت.

۱- Response-Surface Methodology

جدول ۱- ضرایب و مقادیر تیمارها بر اساس طرح مرکب مرکزی

Table 1- Rates and coefficients for treatments based on central composite design

تیمارها Treatments		ضرایب* Coefficients*	
غلظت محلول‌پاشی برگی با دلفارد Leaf spraying with Dalfard (ppm)	میزان کود دامی Cow manure level ($t.ha^{-1}$)	X_2	X_1
0	0	-1	-1
0	100	-1	+1
10	0	+1	-1
10	100	+1	+1
5	0	0	-1
5	100	0	+1
0	50	-1	0
10	50	+1	0
5	50	0	0
5	50	0	0
5	50	0	0
5	50	0	0
5	50	0	0

X_1 و X_2: به ترتیب نشان‌دهنده متغیرهای مستقل کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد هستند.

X_1 and X_2: indicate independent variables such as cow manure and leaf spraying with Dalfard, respectively.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 2- Physical and chemical properties of soil

بافت Texture	واکنش pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس Available P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس Available K ($mg.kg^{-1}$)
لوم سیلتی Silty loam	7.82	0.55	0.71	0.054	12.18	106

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی کود دامی

Table 3- Chemical properties of cow manure

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	رطوبت Moisture (%)
7.41	11.4	0.985	0.389	1.85	38.4

برای تعیین عملکرد گل و کلاله زعفران، نمونه‌برداری از زمان شروع گلدهی آغاز و تا پایان دوره گلدهی ادامه یافت. گل‌ها، بصورت روزانه جمع‌آوری و شمارش و وزن تر آن‌ها تعیین شد. وزن خشک کلاله نیز اندازه‌گیری و ثبت شد. در اواخر اردیبهشت ماه نمونه‌برداری از بنه‌های دختری، از سطحی به ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی‌متر، انجام و وزن کل بنه‌های دختری، تعداد کل بنه‌های دختری، قطر بنه‌ها، وزن یک بنه اندازه‌گیری شد. کلاله‌ها برای خشک شدن طبق دستورالعمل گرستا و همکاران (Gresta et al., 2008a; Gresta et al., 2008b) در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده و پس از آن جهت تعیین خصوصیات کیفی ارسال شدند. جهت تعیین خصوصیات کیفی، کروسین (عامل رنگ)، پیکروکروسین (عامل طعم) و سافرانال (عامل عطر) اندازه‌گیری شد. عصاره‌گیری از کلاله‌های خشک با آب مقطر طبق روش استاندارد ISO/TS 3632-2 (2003) انجام شد. بدین صورت که حدود ۰/۲ گرم کلاله زعفران از هر تیمار توزین و در ارلن با حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر ریخته شد. جهت جلوگیری از رسیدن نور، ارلن‌ها با فویل آلومینیومی پوشانده شدند. پس از افزودن حدود ۲۰۰ میلی‌لیتر

آب مقطر به کلاله‌های آسیاب شده، نمونه‌ها به مدت یک ساعت روی همزن مغناطیسی قرار داده شدند. مایع حاصل در بالن ۵۰۰ میلی‌لیتری پیچیده شده در فویل آلومینیومی، به حجم رسانیده شد. سپس ۲۰ میلی‌لیتر از این مایع در یک ارلن ۲۰۰ میلی‌لیتر با آب مقطر به حجم رسانیده و مایع حاصل به‌وسیله پمپ خلأ مخزن هوا و کاغذ صافی سیلیکات (استات سلولز با قطر ۰/۴۵ میکرومتر) صاف گردید. اندازه‌گیری جذب نوری محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل WPA, S2000 UV/Vis) در طول موج‌های ۲۵۷، ۳۳۰ و ۴۴۰ نانومتر به‌ترتیب برای پیکروکروسین، سافرانال و کروسین انجام و نتایج بر اساس حداکثر جذب یک درصد محلول آبی در طول موج‌های ذکر شده ($E_{\lambda max}^{1\%}$) بر مبنای ماده خشک حداقل بیان گردید (Molina et al., 2010).

به منظور انتخاب مدل مناسب، مدل درجه دو کامل[1] با اثرات متقابل بین فاکتورها برازش داده شد (معادله ۲). سپس بر اساس معیارهای آماری تجزیه رگرسیون (مقادیر میانگین مربعات، سطح احتمال معنی‌داری و ضریب تبیین) و آزمون عدم برازش[2] بهترین مدل انتخاب گردید (Koocheki et al., 2013a; Koocheki et al., 2016).

$$Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2 \qquad (۱)$$

در این معادله، Y: متغیر وابسته (صفات کمی مربوط به گل و بنه‌های دختری و خصوصیات کیفی زعفران)، x_1: متغیر مستقل کود دامی، x_2: متغیر مستقل محلول‌پاشی برگی و a_1 تا a_5: ضرایب معادله می‌باشند. در نهایت، نتایج پیش‌بینی با داده‌های مشاهده شده به منظور برآورد دقت مدل با خط یک به یک مورد مقایسه قرار گرفتند و اعتبار مدل‌های رگرسیون با استفاده از جذر میانگین مربعات خطا[3] بررسی شد (معادله ۲) (Nassiri Mahallati et al., 2015).

$$nRMSE\ (\%) = \frac{100}{\bar{O}} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \qquad (۲)$$

که در این معادله، $\bar{O}$: میانگین مشاهده‌ها، P_i: مقدار پیش‌بینی شده و O_i: مقدار مشاهده شده می‌باشد. nRMSE به صورت درصد اختلاف نسبی مقدار پیش‌بینی شده در برابر مقدار مشاهده شده بیان می‌شود و بر اساس تعریف، قدرت پیش‌بینی مدل در صورتی‌که nRMSE کمتر از ۱۰ درصد باشد، عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد، خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد، متوسط و بالاتر از ۳۰ درصد، ضعیف می‌باشد (Nassiri Mahallati et al., 2015).

مقادیر بهینه کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد با توجه به سناریوی اقتصادی تعیین گردید. بدین‌ترتیب که وزن خشک کلاله، تعداد بنه‌های دختری در متر مربع و کروسین به عنوان فاکتورهای تعیین‌کننده در نظر گرفته شد. مقدار شاخص مطلوبیت[4] برای ارزیابی دقت مقادیر بهینه‌سازی محاسبه و مورد استفاده قرار گرفت. هر چه این شاخص به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بالاتر در شبیه‌سازی مقدار متغیرهای وابسته تحت تأثیر متغیرهای مستقل می‌باشد (Arsalan, 2007; Box & Hunter, 1957; Box & Wilson, 1951; Kwak, 2005; Nassiri Mahallati et al., 2015).

از آنجا که عملکرد گل در سال اول کاشت زعفران در ارتباط مستقیم با اندوخته عناصر غذایی در بنه‌های مادری می‌باشد (Nassiri Mahallati et al., 2007) و از طرف دیگر تأمین عناصر در خاک تحت تأثیر مدیریت تغذیه نمی‌تواند اهمیت زیادی در تولید این گیاه داشته باشد (Rezvani Moghaddam et al., 2014)، لذا به علت اطمینان از اثر تیمارهای تغذیه‌ای بر رشد و عملکرد کمی و کیفی زعفران فقط نتایج مربوط به سال دوم گلدهی و رشد رویشی مبنا قرار گرفت.

جهت تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و رسم نمودارها از

1- Full quadratic regression
۲- Lack of-fit
۳- RMSE: Root mean square error
۴- Desirability index

نرم‌افزار Minitab ver.17 استفاده شد.

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مدل درجه دو کامل برای اثر کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد بر شاخص‌های عملکرد گل و بنه زعفران

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of full quadratic model for effects of cow manure and leaf spraying with Dalfard on flower yield and daughter corm yield of saffron

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد گل Flower number	وزن تر گل Fresh weight of flower	وزن خشک کلاله Dried weight of stigma	وزن خشک بنه‌های دختری Dried weight of replacement corm	قطر بنه دختری Replacement corm diameter	تعداد بنه‌های دختری Number of replacement corm	میانگین وزن بنه دختری Mean weight of replacement corm
مدل Model	6	5816.0^{ns}	12.3037^{ns}	155.580**	682.58^{ns}	0.10166^{ns}	155.580**	1.18012^{ns}
تکرار Blocks	1	471.2^{ns}	0.9989^{ns}	0996^{ns}	35.85^{ns}	0.01456^{ns}	0.996^{ns}	0.01555^{ns}
خطی Linear	2	4493.6^{ns}	9.5003^{ns}	44.945^{ns}	1233.40^{ns}	0.13152^{ns}	44.945^{ns}	0.84547^{ns}
کود دامی (C) Cow manure (C)	1	3081.7^{ns}	6.5142^{ns}	31.422^{ns}	100.58^{ns}	0.11078^{ns}	31.422^{ns}	0.12687^{ns}
محلول‌پاشی برگی با دلفارد (D) Leaf spraying with Dalfard (D)	1	5905.4^{ns}	12.4864^{ns}	58.468^{ns}	2366.21^{ns}	0..15225^{ns}	58.468^{ns}	1.56408^{ns}
درجه دو Square	2	7467.8^{ns}	15.8082^{ns}	399.901**	745.77^{ns}	0.6109*	399.90**	2.66413**
C × C	1	1337.4^{ns}	2.8321^{ns}	782.007**	1273.84^{ns}	0.31960**	782.007**	4.21013**
D × D	1	8814.7^{ns}	18.6576^{ns}	45.600^{ns}	741.96^{ns}	0.02834^{ns}	45.600^{ns}	0.03843^{ns}
اثر متقابل 2-way interaction	1	10501.8*	2.02064*	42.791^{ns}	101.29^{ns}	0.01015^{ns}	42.791^{ns}	0.04594^{ns}
C× D	1	10501.8*	2.02064*	42.791^{ns}	101.29^{ns}	0.01015^{ns}	42.791^{ns}	0.04594^{ns}
خطا Error	19	2534.5	5.3639	42.313	791.66	0.04648	42.313	0.53491
عدم برازش Lack-of- fit	11	3010.9^{ns}	6.3725^{ns}	30.279^{ns}	931.09^{ns}	0.05393^{ns}	30.279^{ns}	0.28237^{ns}
خطای خالص Pure error	8	1879.5	3.9771	58.861	599.93	0.03622	58.861	0.88216

ns غیرمعنی دار و * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

Ns: non-significant and * and **; are significant at 5 and 1 probability levels, respectively.

نتایج و بحث

خصوصیات مرتبط با عملکرد گل و بنه

نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دو کامل برای متغیرهای وابسته نشان داد اثر جزء خطی بر هیچ‌یک از صفات

مربوط به عملکرد گل و عملکرد بنه‌های دختری معنی‌دار نبود. اثر جزء درجه دو بر وزن خشک کلاله، میانگین قطر بنه‌های دختری، تعداد بنه‌های دختری و میانگین وزن یک بنه و اثر متقابل بر تعداد گل و وزن تر گل معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود. آزمون عدم برازش در مورد هیچ یک از کدام صفات معنی‌دار نشد که نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل درجه دو کامل برای صفات مربوط به گل و عملکرد زعفران می‌باشد (جدول ۴).

بر اساس نتایج آنالیز رگرسیون و ضرایب تبیین و nRMSE برای برازش روابط بین متغیرهای مستقل و وابسته، مدل درجه دو کامل بیش از ۴۰ درصد از تغییرات شاخص‌های عملکرد گل و بین ۵۳/۷۳–۴۰/۸۵ درصد تغییرات مربوط به شاخص‌های عملکرد بنه را توصیف کرد (جدول ۵). مقدار nRMSE برای شاخص‌های مربوط به گل شامل تعداد گل، وزن تر گل و وزن خشک کلاله به ترتیب ۶/۴۴، ۵/۴۲ و ۶/۸۷ محاسبه شد که نشان‌دهنده پیش‌بینی خوب مدل می‌باشد. مقدار این ضریب برای شاخص‌های مربوط به عملکرد بنه دختری شامل وزن خشک و تعداد بنه‌های دختری و قطر و وزن تک بنه دختری به ترتیب برابر با ۷/۶۶، ۴/۹۴، ۲/۰۴ و ۴/۲۳ درصد بدست آمد که مقدار پایین این ضریب نشاندهنده پیش‌بینی خوب مدل برای قطر بنه دختری بوده و بیان‌کننده پیش‌بینی خوب مدل برای سایر شاخص‌های مرتبط با بنه دختری می‌باشد (جدول ۵).

مقادیر مشاهده شده و برازش شده برای شاخص‌های عملکرد گل زعفران تحت تأثیر مصرف کود دامی و محلول‌پاشی برگی در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۵- ضرایب رگرسیون و تبیین و nRMSE برای مدل درجه دو کامل: $y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2$ تحت تأثیر کود دامی و محلول-پاشی برگی با دلفارد بر شاخص‌های عملکرد گل و بنه زعفران

Table 5- Regression and R^2 coefficients and RMSE for full quadratic model: $y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2$ affected as cow manure and leaf spraying with Dalfard on flower yield and corm yield criteria of saffron

	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	ضریب تبیین R^2 (%)	nRMSE (%)
تعداد گل Flower number	163.6	-0.218	-13.17	0.00622	1.598	-0.1449	42.02	6.44
وزن تر گل Fresh weight of flower	75.2	-0.101	-6.06	0.00286	0.735	-0.0666	42.01	5.42
وزن خشک کلاله Dried weight of stigma	163.6	-0. 218	-13.17	0. 0062	1.598	-0. 1449	42.02	6.87
وزن خشک بنه‌های دختری Dried weight of replacement corm	73.1	0.621	-6.73	-0.00607	0.464	-0.0142	41.40	7.66
میانگین قطر بنه‌های دختری Replacement corm diameter	1.861	-0.00841	-0.0010	0.000096	-0.00287	0.000143	40.85	2.04
تعداد بنه‌های دختری Number of replacement corm	18.74	0.490	-1.13	-0.00476	0.115	-0.00925	53.73	4.94
میانگین وزن بنه دختری Mean weight of replacement corm	3.807	-0.0355	-0.090	0.000349	0.0033	-0.00030	41.06	4.23

X_1 و X_2: به ترتیب نشان‌دهنده متغیرهای مستقل کود دامی و محلول‌پاشی برگی هستند.

X_1 and X_2: indicate independent variables such as cow manure and leaf spraying`, respectively.

جدول ٦- مقادیر مشاهده شده و برازش شده برای شاخص‌های عملکرد گل زعفران تحت تاثیر مصرف کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد

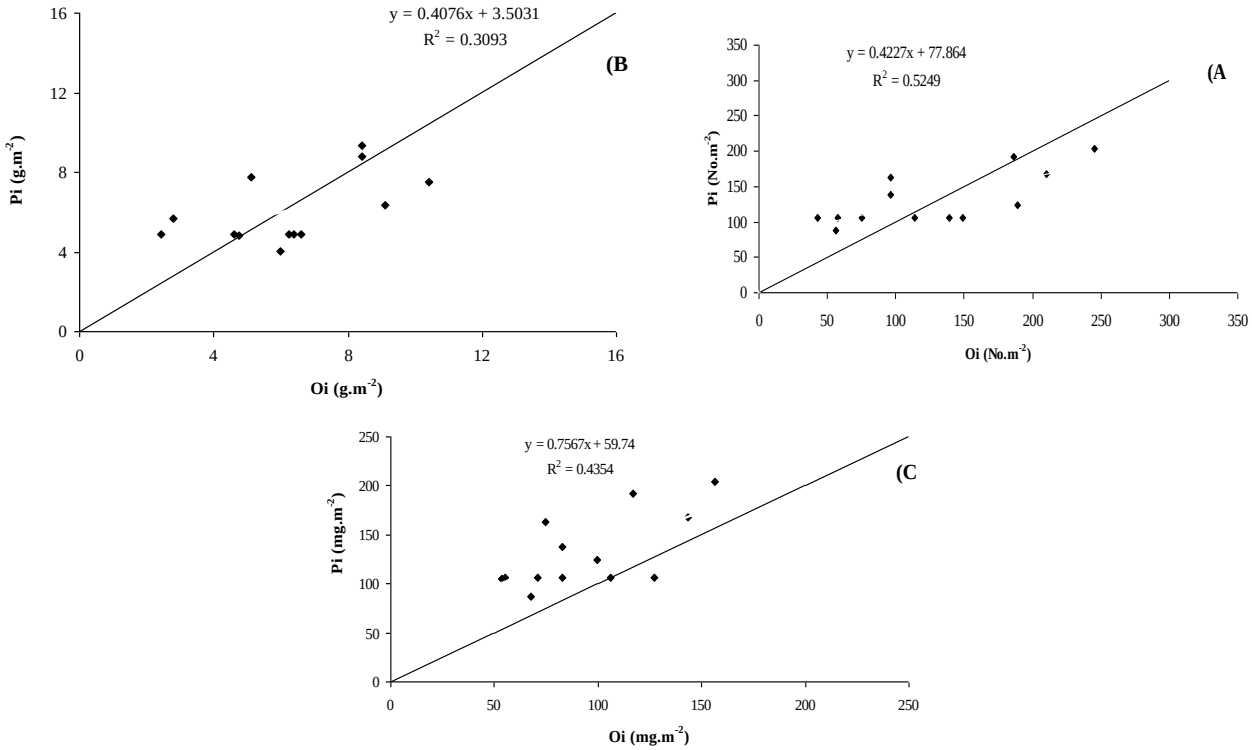
Table 6- Observed and predicted values for flower yield criteria of saffron affected as cow manure and leaf spraying levels with Dalfard

میزان کود دامی Cow manure level ($t.ha^{-1}$)	غلظت محلول‌پاشی برگی با دلفارد Leaf spraying with Dalfard (ppm)	تعداد گل Flower number ($No.m^{-2}$)		وزن تر گل Fresh weight of flower ($g.m^{-2}$)		وزن خشک کلاله Dried weight of stigma ($mg.m^{-2}$)	
		مشاهده شده Observed	برازش شده Predicted	مشاهده شده Observed	برازش شده Predicted	مشاهده شده Observed	برازش شده Predicted
0	0	96.07	163.60	10.40	7.52	74.79	163.60
100	0	245.35	204.00	8.43	9.37	156.33	204.00
0	10	186.23	191.70	8.43	8.81	117.03	191.70
100	10	56.16	87.20	5.98	4.00	67.85	87.20
0	5	96.07	137.70	9.11	6.33	82.94	137.70
100	5	75.38	105.65	4.76	4.85	53.44	105.65
50	0	209.88	168.25	5.10	7.73	143.17	168.25
50	10	189.18	123.90	2.79	5.69	99.35	123.90
50	5	138.93	106.13	2.45	4.87	82.77	106.13
50	5	149.28	106.13	6.59	4.87	127.21	106.13
50	5	113.81	106.13	6.25	4.87	106.05	106.13
50	5	57.64	106.13	4.62	4.87	70.72	106.13
50	5	42.86	106.13	6.39	4.87	55.25	106.13

X_1 و X_2: به ترتیب نشاندهنده متغیرهای مستقل کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد هستند.

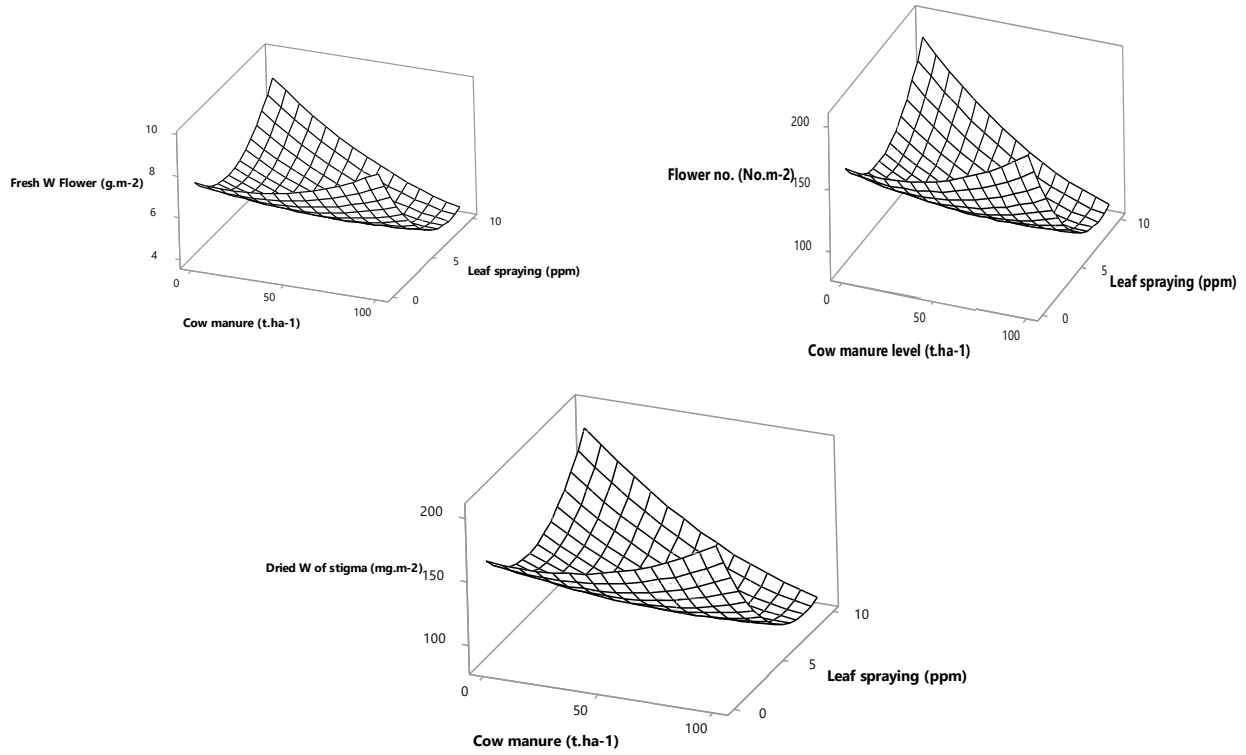
X_1 and X_2: indicate independent variables such as cow manure and leaf spraying with Dalfard, respectively.

بیشترین تعداد گل، وزن تر گل و وزن خشک کلاله مشاهده شده برای مصرف ۱۰۰ تن در هکتار کود دامی بدون محلول-پاشی (به ترتیب با ۲۴۵/۳۵ گل در متر مربع، ۱۱۲/۸۶ گرم بر متر مربع و ۱۵۶/۳۳ میلی‌گرم بر متر مربع) بدست آمد. کمترین تعداد گل، وزن تر گل و وزن خشک کلاله مشاهده شده مربوط به مصرف ۵۰ تن در هکتار کود دامی+ ۵ پی‌پی‌ام محلول‌پاشی (به ترتیب با ۴۲/۸۶ گل در متر مربع، ۱۹/۷۲ گرم بر متر مربع و ۵۵/۲۵ میلی‌گرم بر متر مربع) بود. بیشترین مقدار برازش شده این صفات به ترتیب برای ۱۰۰ تن در هکتار کود دامی+ بدون محلول‌پاشی (به ترتیب با ۲۰۴/۰ گل در متر مربع، ۹۳/۷۰ گرم بر متر مربع و ۲۰۴/۰ میلی‌گرم بر متر مربع) حاصل شد. کمترین مقدار برازش شده این صفات به ۱۰۰ تن در هکتار کود دامی+ ۱۰ پی‌پی‌ام محلول‌پاشی (به ترتیب با ۸۷/۲۰ گل در متر مربع، ۴۰/۰ گرم بر متر مربع و ۸۷/۲۰ میلی‌گرم بر متر مربع) اختصاص داشت (جدول ۶ و شکل‌های ۱ و ۲). با افزایش مصرف کود دامی تا ۱۰۰ تن در هکتار شاخص‌های عملکرد گل شامل تعداد گل، وزن‌تر گل و وزن خشک کلاله به ترتیب ۱۰، ۲۴ و ۴ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت. افزایش غلظت محلول‌پاشی برگی با دلفارد تا ۱۰ پی‌پی‌ام این شاخص‌ها را به ترتیب ۲۲، ۷۰ و ۲۰ درصد در مقایسه با شاهد کاهش داد (جدول ۶).



شکل ۱- مقایسه خط رگرسیون با خط ۱:۱ و R^2 برای خصوصیات عملکرد گل (شامل الف) تعداد گل، ب) وزن تر گل و ج) وزن خشک کلاله)) زعفران با توجه به مدل درجه دو کامل

Figure 1- Comparisons for the regression line with 1:1 line and R^2 for flower yield criteria (such as A) flower number, B) fresh weight of flower and C) dried weight of stigma) of saffron based on full quadratic model.



شکل ۲- سطح- پاسخ خصوصیات عملکرد گل (شامل الف) تعداد گل، ب) وزن تر گل و ج) وزن خشک کلاله)) زعفران نسبت به سطوح کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد

Figure 2- Response- surface for flower yield criteria (such as A) flower number, B) fresh weight of flower and C) dried weight of stigma) of saffron affected as cow manure and leaf spraying levels with Dalfard.

نتایج سطح- پاسخ شاخص‌های عملکرد گل زعفران نسبت به مصرف کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد نشان داد که با افزایش مصرف کود دامی، تعداد گل، وزن تر گل و وزن خشک کلاله بهبود یافت. همچنین با افزایش غلظت محلول-پاشی این شاخص‌ها ابتدا کاهش و سپس به طور نسبی افزایش یافت (شکل ۲). با وجود کم‌توقع بودن گیاه زعفران نسبت به عناصر غذایی، مصرف کود دامی نقش مهمی در بهبود عملکرد کمی این گیاه دارد. گزارش شده است که ۶۷ درصد تغییرات عملکرد زعفران در مزارع مناطق مرکز و جنوب خراسان مرتبط با فراهمی عناصر غذایی پرمصرف به ویژه فسفر و تأمین کودهای آلی می‌باشد (Behdani et al., 2005). سایر بررسی‌ها نیز موید آن‌است ۸۰-۱۶ درصد از تغییرات عملکرد گل زعفران به خصوصیات خاک از جمله میزان ماده آلی، فسفر قابل استفاده، نیتروژن معدنی و پتاسیم تبادلی وابسته می‌باشد (Temperini et al., 2009; Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2020). محتوی فسفر در کودهای دامی معمولاً بالا می‌باشد (Glæsner et al., 2012; Dai et al., 2015; Anwar et al., 2017) که این امر تأثیر مستقیمی با افزایش رشد و عملکرد دارد. بررسی‌ها نشان داده است که مصرف کود دامی موجب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می‌شود (Abrishamkesh et al., 2015; Gamage et al., 2016) که این امر نیز می‌تواند بهبود خصوصیات رشد و عملکرد را موجب گردد. از طرف دیگر، به نظر می‌رسد که مصرف کود دامی با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی در درازمدت و تأثیر بر ویژگی‌هایی از قبیل نفوذ آب به خاک، ضریب آبگذری و زهکشی (Huang et al., 2017; Abrishamkesh et al., 2015; Gamage et al., 2016; Sulfab,

2013; Munshi et al., 1989) و همچنین تأثیر بر ساختمان و بافت خاک، باعث ایجاد شرایط مطلوب‌تری برای رشد گیاه شده که در نتیجه عملکرد گل و به تبع آن عملکرد کلاله بهبود یافته است. حسن‌زاده اول و همکاران (Hassanzadeh Aval et al., 2013) رابطه خطی بین تولید و عملکرد زعفران و به‌کارگیری کودهای دامی را تایید نمودند.

اسدی و همکاران (Asadi et al., 2014) با بررسی اثر تغذیه خاکی و برگی بر رشد بنه و عملکرد گل زعفران در مزرعه شش ساله عنوان نمودند که با افزایش مقدار مصرف کود کامل از صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد گل تر از ۷۴۹ به ۹۶۳ کیلوگرم در هکتار و عملکرد کلاله خشک از ۵/۹۸ به ۷/۹۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. آنها به این نتیجه رسیدند که سطوح محلول‌پاشی عناصر غذایی بر تعداد گل، وزن تر و خشک گل و وزن تر و خشک کلاله تأثیر معنی‌داری نشان نداد. نتایج مطالعه‌ای روی اثر تغذیه برگی بر زعفران در استان خراسان جنوبی نشان داد که مصرف یک بار کود مایع مخلوط (نیتروژن ۱۲ درصد، اکسید پتاسیم چهار درصد، اکسید فسفر هشت درصد، کلات‌های آهن، روی، منگنز و مس) با غلظت هفت درصد در مقایسه با شاهد، افزایش ۳۳ درصدی عملکرد کلاله را به دنبال داشت و تولید محصول در مزارع سنتی را دو کیلوگرم در هکتار افزایش داد (Hosseini et al., 2004). سایر محققین نیز اثر مثبت محلول‌پاشی را بر عملکرد گل زعفران متذکر شده‌اند (Bozorgi et al., 2012; Rabani Foroutagheh et al., 2013; Khorramdel et al., 2015). بزرگی و همکاران (Bozorgi et al., 2012) با بررسی تغذیه برگی آهن به صورت محلول‌پاشی در سه مرحله (ابتدای رشد رویشی، یک هفته قبل از گلدهی و دو هفته پس از گلدهی) بر زعفران گزارش نمودند که محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری با شاهد داشت. با توجه به استفاده رو به گسترش محلول‌پاشی جهت افزایش عملکرد گل و بنه زعفران، بررسی تعداد دفعات، زمان و غلظت مناسب کاربرد این محلول‌ها امری ضروری است. براین اساس، به نظر می‌رسد کود دامی با اثر مثبت بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، عناصر غذایی را به تدریج در طول دوره رشد در اختیار گیاه قرار داده که موجب بهبود شاخص‌های مربوط به عملکرد گل و کلاله زعفران شده است. دیگر محققان تاکید دارند که بدلیل تأثیر مثبت نیتروژن و فسفر در بهبود شاخص‌های گل و بنه (Chaji et al., 2013; Koocheki et al., 2014; Koocheki & Seyyedi, 2015; Koocheki et al., 2015; Khorramdel et al., 2015)، مصرف کود دامی و محلول‌پاشی بهبود عملکرد بنه‌های دختری را به دنبال داشت. همانطور که مشخص است، در خصوص تأثیر محلول‌پاشی بر رشد و عملکرد زعفران نتایج متناقضی وجود دارد. با این وجود، در گیاهان مختلف مسیر اصلی ورود عناصر غذایی به داخل گیاه سیستم ریشه‌ای بوده و جذب از طریق برگ‌ها مسیری فرعی محسوب می‌شود؛ با توجه به مورفولوژی خاص گیاه زعفران نیز به نظر می‌رسد دلیل عمده تأثیر پایین محلول‌پاشی مربوط به سطح برگ کم، زاویه‌دار بودن برگ و از طرفی مومی بودن لایه سطحی برگ می‌باشد که میزان جذب برگی را به میزان زیادی کاهش می‌دهد. نتایج مطالعه اسدی و همکاران (Asadi et al., 2014) نیز در تایید این نتایج می‌باشد.

کمترین مقدار مشاهده شده وزن خشک و تعداد بنه‌های دختری برای تیمارهای بدون مصرف کود دامی+ ۵ پی‌پی‌ام محلول‌پاشی (۲۰/۹۹ گرم بر متر مربع) و ۱۰۰ تن در هکتار کود دامی+ ۱۰ پی‌پی‌ام محلول‌پاشی (۸/۸۷ بنه در متر مربع) حاصل گردید و بیشترین مقادیر این صفات مربوط به تیمار مصرف ۵۰ تن در هکتار کود دامی+ بدون محلول‌پاشی (به ترتیب با ۱۲۹/۲۷ گرم بر متر مربع و ۴۱/۳۸ بنه در متر مربع) بود. کمترین و بیشترین مقدار برازش شده وزن خشک و تعداد بنه-های دختری به ترتیب برای ۱۰۰ تن در هکتار کود دامی+ ۱۰ پی‌پی‌ام محلول‌پاشی (به ترتیب با ۳۹/۴۰ گرم بر متر مربع و ۱۱/۰۹ بنه در متر مربع) ۵۰ تن در هکتار کود دامی+ بدون محلول‌پاشی (به ترتیب با ۸۸/۹۸ گرم بر متر مربع و ۳۱/۳۴ بنه در متر مربع) مشاهده شد.

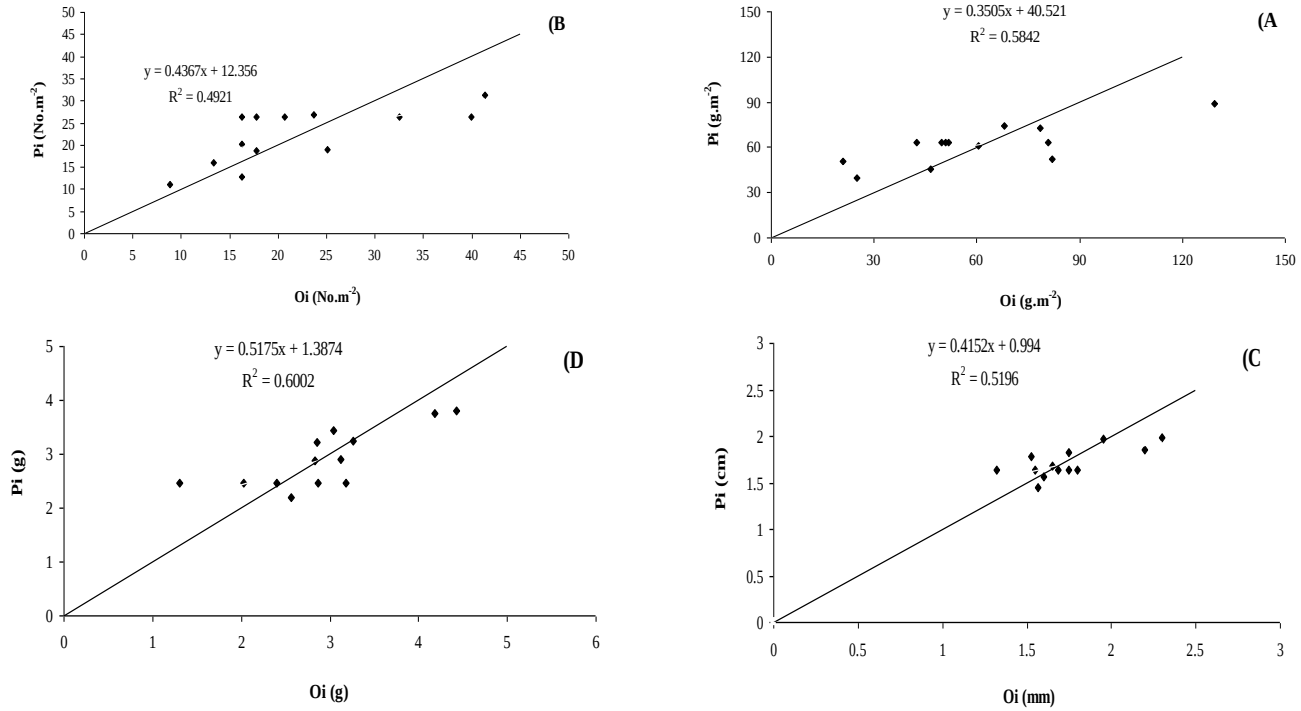
جدول ۷- مقادیر مشاهده شده و برازش شده برای شاخص‌های عملکرد بنه زعفران تحت تأثیر کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد

Table 7- Observed and predicted values for corm yield criteria of saffron affected as cow manure and leaf spraying levels with Dalfard

میزان کود دامی Cow manure level ($t.ha^{-1}$)	غلظت محلول‌پاشی برگی با دلفارد Leaf spraying with Dalfard (ppm)	وزن خشک بنه‌های دختری Dried weight of replacement corm ($g.m^{-2}$)		میانگین قطر بنه‌های دختری Replacement corm diameter (cm)		تعداد بنه‌های دختری Number of replacement corms ($No.m^{-2}$)		میانگین وزن بنه دختری Mean weight of replacement corm (g)	
		مشاهده شده Observed	برازش شده Predicted	مشاهده شده Observed	برازش شده Predicted	مشاهده شده Observed	برازش شده Predicted	مشاهده شده Observed	برازش شده Predicted
0	0	78.47	73.10	2.20	1.86	17.74	18.74	4.42	3.81
100	0	67.99	74.50	2.30	1.98	16.26	20.14	4.18	3.75
0	10	81.98	52.20	1.60	1.56	25.13	18.94	3.26	3.24
100	10	25.11	39.40	1.75	1.83	8.87	11.09	2.83	2.88
0	5	20.99	51.05	1.53	1.78	13.30	15.97	3.04	3.44
100	5	46.39	45.35	1.95	1.97	16.26	12.74	2.85	3.23
50	0	129.27	88.98	1.65	1.68	41.38	31.34	3.12	2.90
50	10	60.52	60.98	1.57	1.46	23.65	26.92	2.56	2.18
50	5	80.92	63.38	1.68	1.64	39.91	26.25	2.03	2.46
50	5	50.75	63.38	1.55	1.64	17.74	26.25	2.86	2.46
50	5	49.78	63.38	1.75	1.64	20.69	26.25	2.41	2.46
50	5	51.70	63.38	1.80	1.64	16.26	26.25	3.18	2.46
50	5	42.55	63.38	1.32	1.64	32.52	26.25	1.31	2.46

X_1 و X_2: به ترتیب نشاندهنده متغیرهای مستقل کود دامی و محلول‌پاشی برگی هستند.

X_1 and X_2: indicate independent variables such as cow manure and leaf spraying, respectively.



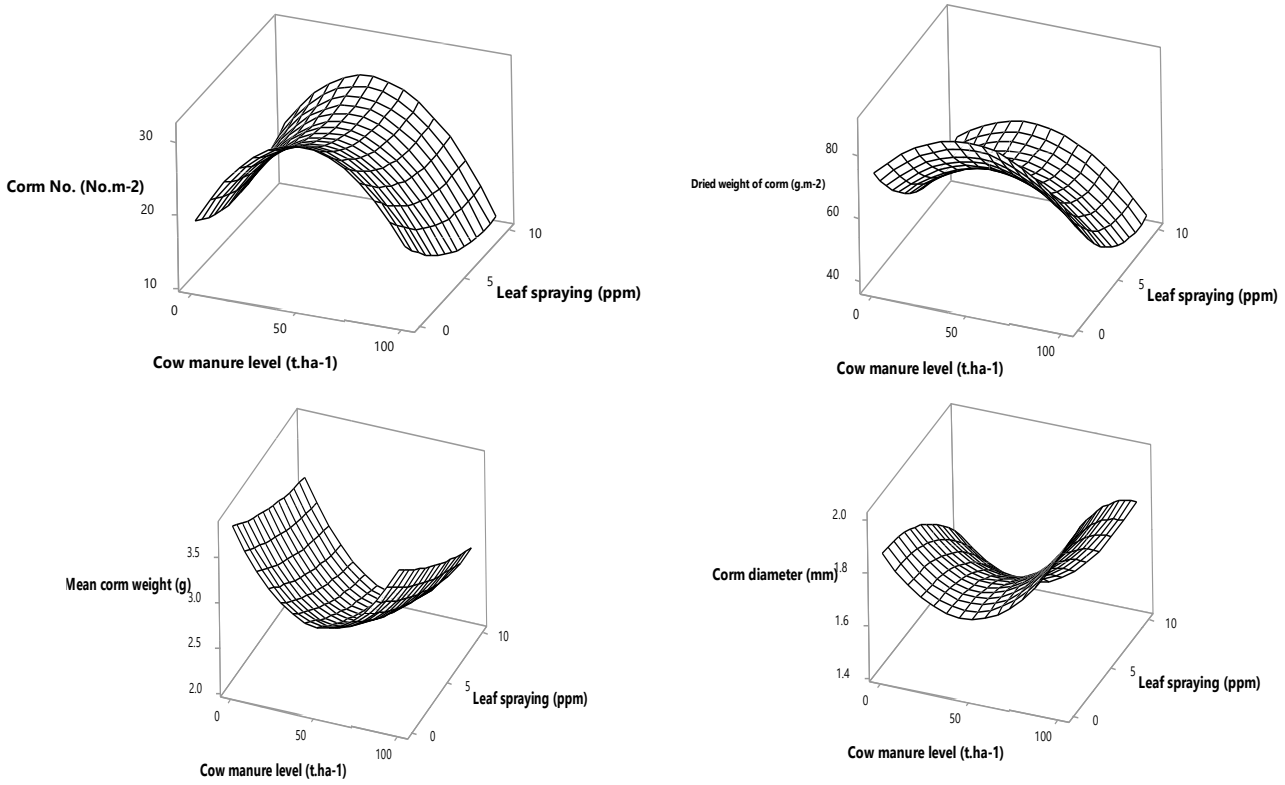
شکل ۳- مقایسه خط رگرسیون با خط ۱:۱ و R^2 برای خصوصیات بنه‌های دختری (شامل الف) وزن خشک، ب) تعداد، ج) قطر و د) میانگین وزن)) زعفران با توجه به مدل درجه دو کامل

Figure 3- Comparisons for the regression line with 1:1 line and R^2 for daughter corm criteria (such as A) dried weight, B) number, C) diameter and D) mean weight) of saffron based on full quadratic model.

بیشترین مقدار مشاهده شده و برازش شده قطر بنه‌های دختری برای ۱۰۰ تن در هکتار کود دامی+ بدون محلول‌پاشی (به ترتیب با ۲/۳۰ و ۱/۹۸ سانتی‌متر) و کمترین میزان به ترتیب برای ۵۰ تن در هکتار کود دامی+ ۵ پی‌پی‌ام محلول‌پاشی (۱/۳ سانتی‌متر) و ۵۰ تن در هکتار کود دامی+ ۱۰ پی‌پی‌ام محلول‌پاشی (با ۱/۴۶ سانتی‌متر) حاصل شد. بیشترین مقدار مشاهده شده و برازش شده میانگین وزن بنه دختری برای شاهد (بدون مصرف کود دامی+ بدون محلول‌پاشی (به ترتیب با ۴/۴۲ و ۳/۸۱ گرم)) و کمترین میزان به ترتیب برای ۵۰ تن در هکتار کود دامی+ ۵ پی‌پی‌ام محلول‌پاشی (۱/۳۱ گرم) و ۵۰ تن در هکتار کود دامی+ ۱۰ پی‌پی‌ام محلول‌پاشی (با ۲/۱۸ گرم) بدست آمد (جدول ۷ و شکل‌های ۳ و ۴).

نتایج سطح- پاسخ شاخص‌های عملکرد بنه‌های دختری زعفران تحت تأثیر مصرف کود دامی و محلول‌پاشی مشخص نمود که با افزایش مصرف کود دامی تا ۵۰ تن در هکتار وزن خشک و تعداد بنه افزایش و با مصرف بیشتر این شاخص‌ها کاهش یافت. با این‌وجود، افزایش غلظت محلول‌پاشی تا ۵ پی‌پی‌ام کاهش نسبی این شاخص‌ها را به دنبال داشت. با افزایش مصرف کود دامی تا ۵۰ تن در هکتار ابتدا قطر و وزن بنه کاهش و با افزایش مصرف بهبود این شاخص‌ها بدست آمد. بر اساس نمودار سطح- پاسخ، روند مشخصی برای اثر محلول‌پاشی برگی با دلفارد بر قطر و وزن بنه‌های دختری مشاهده نگردید (شکل ۴). همچنین افزایش مصرف کود دامی ۱۰۰ تن در هکتار بهبود شاخص‌های عملکرد بنه‌های دختری شامل وزن بنه در واحد سطح، قطر بنه، تعداد بنه در واحد سطح و میانگین وزن بنه دختری را به ترتیب با ۲۳، ۱۳، ۲۰ و ۵ درصد در مقایسه با شاهد

موجب گردید. در حالی‌که مقادیر این صفات با افزایش غلظت دلفارد تا ۱۰ پی‌پی‌ام به صورت محلول‌پاشی برگی برابر با ۳۰، ۲۰، ۲۰، و ۲۶ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت (جدول ۶). با توجه به اینکه زعفران گیاهی چندساله است، مدیریت تغذیه خاک برای این گیاه دارای اهمیت بیشتری می‌باشد، به طوری‌که این گیاه بنه‌دار از سال دوم به بعد تولید بنه‌های دختری جدید کرده که این بنه‌ها در سطح نزدیک‌تری به خاک تشکیل شده و از شرایط محیطی از جمله سرما یا گرما، تأثیر بیشتری می‌پذیرد. لذا افزودن کودهای آلی و دامی، می‌تواند موجب افزایش عملکرد و درصد ماده خشک بنه شده و ریشه‌ها را افزایش می‌دهد که این اثرات ممکن است در نتیجه افزایش محتوی رطوبت خاک، تعادل بیولوژیکی و در نهایت، رشد بهتر گیاه به‌دلیل افزایش فراهمی و دسترسی به عناصر غذایی باشد. به نظر می‌رسد کاهش شاخص‌های عملکرد بنه تحت تأثیر محلول‌پاشی وابسته به تعادل بین عناصر غذایی است؛ به عنوان مثال، مصرف فسفر می‌تواند وزن بنه را که نشان‌دهنده میزان ذخیره مواد غذایی است افزایش دهد و از طرفی، افزایش نیتروژن وزن اندام‌های رویشی را موجب می‌گردد که این افزایش، فعال شدن جوانه‌ها و در نتیجه تولید تعداد بنه را موجب می گردد که در نتیجه کاهش وزن را به دنبال دارد (Chaji et al., 2013). بر این اساس ضرورت بهینه‌سازی مصرف عناصر غذایی در دستیابی به عملکرد بنه و گل بالا همراه با خصوصیات کیفی بهتر در زعفران به وضوح آشکار می‌گردد.



شکل ۴- سطح- پاسخ خصوصیات بنه‌های دختری (شامل الف) وزن خشک، ب) تعداد، ج) قطر و د) میانگین وزن)) زعفران نسبت به سطوح کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد

Figure 4- Response- surface for daughter corm criteria (such as A) dried weight, B) number, C) diameter and D) mean weight) of saffron affected as cow manure and leaf spraying levels with Dalfard.

با توجه به اینکه مریستم‌های تشکیل‌دهنده بنه‌های دختری زعفران بعد از اتمام گلدهی بنه مادری و در فاصله زمانی ۱۵ آبان‌ماه تا ۱۵ آذرماه فعال می‌شوند (Kafi et al., 2002; Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2020)، تعداد نهایی بنه‌های دختری قبل از اعمال تیمارهای تغذیه خاکی و برگی تشکیل شده است. بنابراین، مصرف کود دامی با بهبود شرایط رشدی و تحریک سرعت رشد گیاه، علاوه بر بهبود رشد اندام‌های فتوسنتزکننده، افزایش رشد بنه‌ها را موجب شده که این امر نیز بهبود تعداد و وزن خشک بنه‌های دختری را به همراه داشته است (Rezvani Moghaddam et al., 2013). کودهای آلی سبب کاهش وزن مخصوص ظاهری و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌گردند (Sulfab, 2013). مواد آلی با کاهش اسیدیته و تشکیل کمپلکس‌های محلول در خاک، نیز می‌توانند سبب افزایش فراهمی عناصر کم‌مصرف شوند (Munshi et al., 1989). نتیجه مطالعه‌ای روی کمی‌سازی روابط بین مصرف کودهای آلی و شیمیایی و عملکرد زعفران در استان خراسان نشان داد که این گیاه به کوددهی واکنش نشان داده و مصرف کودهای آلی با بهبود خصوصیات خاک، افزایش رطوبت خاک و رشد ریشه‌ها، افزایش وزن و تجمع ماده خشک بنه‌های دختری را به دنبال دارد (Behdani et al., 2005). نتیجه تحقیق دیگری نشان داد که کودهای آلی و شیمیایی اثر مثبت و معنی-داری بر تعداد بنه‌های دختری داشت (Feizi et al., 2015). با در نظر گرفتن موقعیت جغرافیایی نظام‌های کشت زعفران در مناطق نیمه‌خشک کشور با محتوی ماده آلی پایین، وقوع تنش‌های خشکی و حرارتی و نیز محتوی پایین رطوبت، کاربرد کودهای آلی در این مناطق می‌تواند ثبات هر چه بیشتر تولید زعفران را فراهم کند.

از آنجا که فراهمی عناصر تغذیه‌ای در بهبود عملکرد زعفران تأثیر بسزایی دارد، لذا بر اساس تجزیه خاک و توجه به محتوی ماده آلی خاک و سایر عوامل محیطی و اقلیمی اقدام به مصرف کودهای مختلف و محلول‌پاشی می‌شود (Kafi et al., 2002). البته از آنجا که ریشه‌های زعفران تا اواخر آذر و نیمه بهمن فعال هستند و بعد از آن به بعد به علت تحلیل بنه‌های مادری نقشی در جذب مواد غذایی ندارند و احتمالاً درشت شدن بنه‌ها وابسته به فتوسنتز برگ‌ها می‌باشد (Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2020)، پیشنهاد می‌شود محلول‌پاشی برگی در زمان فعال بودن برگ‌ها و رشد رویشی انجام گیرد. بزرگی و همکاران (Bozorgi et al., 2012) تأثیر مثبت سه نوبت محلول‌پاشی بر زعفران را گزارش نمودند. البته باید توجه داشت که زعفران به علت توزیع فضایی و نحوه استقرار برگ‌ها از نظر اکوفیزیولوژیکی دارای کارایی فتوسنتزی بالایی نمی‌باشد و شاخص سطح برگ آن نیز پایین است (Kafi & Showket, 2006). با توجه به کم بودن شاخص سطح برگ (۱/۲۴) و عرض کم (Koocheki et al., 2006; Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2020)، مومی و کاردی شکل بودن برگ‌ها، به‌نظر می‌رسد که گیاه زعفران در جذب مواد غذایی به‌صورت محلول‌پاشی در مقایسه با گیاهان دیگر دارای کارایی کمتری می‌باشد (Hassanzadeh Aval et al., 2013). بر این اساس، اگر هدف تولید بنه به‌عنوان بذر باشد، می‌توان گیاه زعفران را از جنبه‌های تغذیه‌ای به‌عنوان یک گیاه یک ساله در نظر گرفت. می‌توان گفت که تغذیه مناسب باعث افزایش تولید بنه‌های دختری (بذور) خواهد شد که این موضوع سبب شده تا در حال حاضر به تولید بنه‌های دختری درشت‌تر توجه شود و حتی بسیاری از کشورها بر تولید بنه به‌صورت یک گیاه یک‌ساله متمرکز شده و با تولید انبوه بنه‌های دختری درشت، عملکرد گل را در سال‌های بعدی افزایش دهند.

نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دو کامل برای متغیر وابسته خصوصیات کیفی زعفران در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مدل درجه دو کامل برای اثر کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد بر خصوصیات کیفی زعفران

Table 8- Analysis of variance (mean of squares) of full quadratic model for effects of cow manure and leaf spraying with Dalfard on qualitative criteria of saffron

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	پیکروکروسین Picrocrocin	سافرانال Safranal	کروسین Crocin
مدل Model	6	86.564ns	176.62**	111.405**
تکرار Blocks	1	95.846ns	24.135*	13.152*
خطی Linear	2	167.122*	502.365**	296.588**
کود دامی (C) Cow manure (C)	1	247.248*	845.880**	523.777**
محلول‌پاشی برگی با دلفارد (D) Leaf spraying with Dalfard (D)	1	86.995ns	158.850**	69.399**
درجه دو Square	2	4.419ns	10.092ns	30.121**
C × C	1	8.478ns	7.713ns	24.274**
D × D	1	0.308ns	4.872ns	13.456*
اثر متقابل 2-way interaction	1	80.455ns	10.672ns	1.862ns
C× D	1	80.455ns	10.672ns	1.862ns
خطا Error	19	39.040	5.242	2.525
عدم برازش Lack-of- fit	11	32.017ns	7.257ns	3.305ns
خطای خالص Pure error	8	48.696	2.471	1.454

ns: غیرمعنی‌دار و * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: non-significant and * and **: are significant at 5 and 1 probability levels, respectively.

اثر جزء خطی بر تمام خصوصیات کیفی زعفران تأثیر معنی-داری داشت. اثر جزء درجه دو محتوی کروسین را به طور معنی-داری ($p\leq$۰/۰۱) تحت تأثیر قرار داد. اثر متقابل بـر هـیچ‌یـک از صفات کیفی معنی‌دار نبود. آزمون عدم برازش در مورد هیچ یک از صفات کیفی معنی‌دار نشد که این امـر نشـان‌دهنـده بـرازش مطلوب مدل درجه دو کامل برای صفات کیفی زعفران می‌باشـد (جدول ۸). بر اساس نتایج آنـالیز رگرسـیون و ضـرایب تبیـین و nRMSE برای برازش روابط بین متغیرهـای مسـتقل و وابسـته مـدل درجـه دو کامـل بـین ۹۳/۳۰–۴۱/۱۸ درصـد از تغییـرات مربوط به خصوصیات کیفی را توصیف کرد که مقدار پایین ایـن ضریب نشاندهنده پیش‌بینی عالی مدل برای محتوی کروسین و سافرانال بوده و بیان‌کننده پیش‌بینی خوب مـدل بـرای محتـوی کروسین است (جدول ۹).

بیشترین مقدار مشاهده شده خصوصیات کیفی کالاـه شـامل پیکروکروسین، کروسین و سافرانال برای تیمار مصرف ۱۰۰ تـن در هکتار کود دامی+ ۱۰ پی‌پی‌ام محلـول‌پاشـی (بـه ترتیـب بـا ۸۹/۹۱ E1%257، ۱۸۰/۹۸ E1%440 و ۴۰/۱۵ E1%330) بدست آمد. بالاترین مقدار برازش شده این صفات به ترتیب برای تیمار ۱۰۰ تن در هکتار کود دامی+ ۱۰ پی‌پی‌ام محلول‌پاشی (به ترتیـــب بـــا ۸۶/۵۹ E1%257، ۱۸۴/۰۱ E1%440 و ۴۰/۹۴ E1%330) حاصل شد. کمترین مقدار مشـاهده شـده و بـرازش شده پیکروکروسین به ترتیب مربوط به شاهد (تیمار عدم مصرف

کود دامی+بدون محلول‌پاشی برگی) (۶۴/۰۳ E1%257) و عدم مصرف کود دامی+۱۰ پی‌پی‌ام محلول‌پاشی برگی با دلفارد (۷۱/۲۱ E1%257) بود. کمترین مقدار مشاهده شده و برازش شده کروسین (به ترتیب با ۱۵۸/۸۲ و ۱۵۹/۹۳ E1%440) و سافرانال (به ترتیب با ۲۳/۱۸ و ۲۲/۹۲ E1%330) برای شاهد (تیمار عدم مصرف کود دامی+بدون محلول‌پاشی) اختصاص داشت (جدول ۱۰ و شکل‌های ۵ و ۶). با افزایش مصرف کود دامی تا ۱۰۰ تن در هکتار شاخص‌های کیفی کلاله شامل محتوی پیکروکروسین، کروسین و سافرانال به ترتیب ۱۵، ۹ و ۵۰ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت. میزان این افزایش برای محلول‌پاشی برگی با دلفارد تا ۱۰ پی‌پی‌ام به ترتیب برابر با ۱۶، ۶ و ۱۷ درصد در مقایسه با شاهد محاسبه گردید (جدول ۱۰).

جدول ۹- ضرایب رگرسیون و تبیین و RMSE برای مدل درجه دو کامل: $y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2$ تحت تأثیر کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد بر خصوصیات کیفی زعفران

Table 9- Regression and R^2 coefficients and RMSE for full quadratic model: $y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2$ affected as cow manure and leaf spraying with Dalfard on qualitative criteria of saffron

	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	ضریب تبیین R^2 (%)	nRMSE (%)
پیکروکروسین Picrocrocin	72.21	0.077	-0.19	-0.00050	0.009	0.01268	41.18	1.45
سافرانال Safranal	159.93	0.0976	0.121	0.000473	0.0376	0.00462	91.41	0.25
کروسین Crocin	22.921	0.2063	1.009	-0.000839	-0.0624	0.00193	93.30	0.90

X_1 و X_2: به ترتیب نشان‌دهنده متغیرهای مستقل کود دامی و محلول‌پاشی برگی هستند.

X_1 and X_2: indicate independent variables such as cow manure and leaf spraying, respectively.

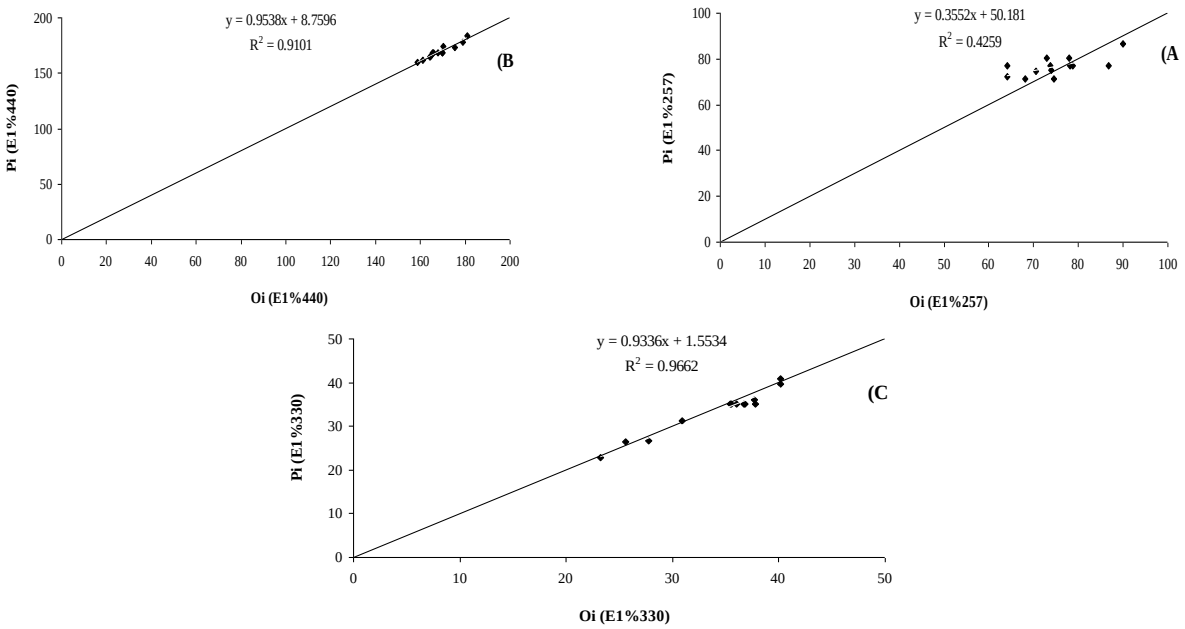
جدول ۱۰- مقادیر مشاهده شده و برازش شده برای خصوصیات کیفی زعفران تحت تأثیر کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد

Table 10- Observed and predicted values for qualitative criteria of saffron affected as cow manure and leaf spraying levels with Dalfard

میزان کود دامی Cow manure level ($t.ha^{-1}$)	غلظت محلول‌پاشی برگی با دلفارد Leaf spraying with Dalfard (ppm)	پیکروکروسین Picrocrocin (E1%257)		کروسین Crocin (E1%440)		سافرانال Safranal (E1%330)	
		مشاهده شده Observed	برازش شده Predicted	مشاهده شده Observed	برازش شده Predicted	مشاهده شده Observed	برازش شده Predicted
0	0	64.03	72.21	158.82	159.93	23.18	22.92
100	0	73.95	74.91	170.14	174.42	36.02	35.16
0	10	74.56	71.21	164.45	164.90	27.78	26.77
100	10	89.91	86.59	180.98	184.01	40.15	40.94
0	5	68.04	71.49	160.93	161.48	25.56	26.41
100	5	73.04	80.53	178.81	178.28	40.12	39.61
50	0	70.61	74.81	164.54	165.99	30.93	31.14
50	10	77.91	80.15	175.57	173.27	37.67	35.95
50	5	73.67	77.26	165.71	168.69	36.71	35.11
50	5	78.80	77.26	165.56	168.69	35.56	35.11
50	5	86.78	77.26	170.01	168.69	37.78	35.11
50	5	64.04	77.26	167.76	168.69	36.78	35.11
50	5	78.18	77.26	169.93	168.69	35.45	35.11

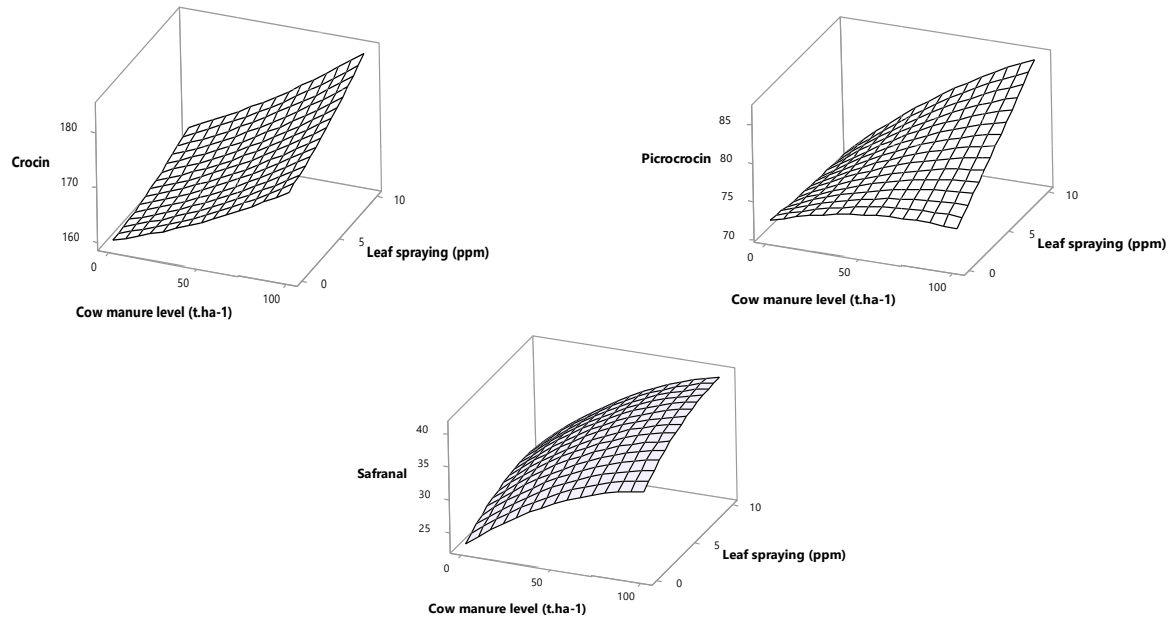
X_1 و X_2: به ترتیب نشان‌دهنده متغیرهای مستقل کود دامی و محلول‌پاشی برگی هستند.

X_1 and X_2: indicate independent variables such as cow manure and leaf spraying, respectively.



شکل ۵- مقایسه خط رگرسیون با خط ۱:۱ و R^2 برای خصوصیات کیفی (شامل الف) پیکروکروسین، ب) کروسین و ج) سافرانال) زعفران با توجه به مدل درجه دو کامل

Figure 5- Comparisons for the regression line with 1:1 line and R^2 for qualitative criteria (such as A) Picrocrocin, B) Crocin and C) Safranal) of saffron based on full quadratic model.



شکل ۶- سطح- پاسخ خصوصیات کیفی (شامل الف) پیکروکروسین، ب) کروسین و ج) سافرانال) زعفران نسبت به سطوح کود دامی و محلول-پاشی برگی با دلفارد

Figure 6- Response- surface for qualitative criteria (such as A) Picrocrocin, B) Crocin and C) Safranal) of saffron affected as cow manure and leaf spraying levels with Dalfard.

مقادیر $E^{\%1}_{\lambda max}$ کروسین، پیکروکروسین و سافرانال بر اساس وزن خشک حداقل و روش ISO- 3632 می‌باشد.

$E^{\%1}_{\lambda max}$ values of crocin, picrocrocin and safranal are according to minimum dried weight and ISO-3632 method.

بر اساس نتایج سطح- پاسخ روندهای نسبتاً متفاوتی برای خصوصیات کیفی کلاله تحت تأثیر مصرف کود دامی و محلول-پاشی برگی با دلفارد مشاهده شد. به بیان دیگر، اگرچه با افزایش مصرف کود دامی و غلظت محلول‌پاشی برگی با دلفارد محتوی این ترکیبات افزایش یافت، ولی واکنش تغییرات این ترکیبات در پاسخ به مقادیر مختلف کود دامی و محلول‌پاشی متفاوت بود (شکل ۶). از این‌رو، به نظر می‌رسد که مصرف مقادیر مناسب کود دامی و مصرف کودهای میکرو به صورت محلول‌پاشی علاوه بر بهبود رشد گیاه و افزایش تعداد گل، عملکرد کلاله (شکل ۲ و جدول ۶) و شاخص‌های عملکرد بنه‌های دختری (شکل ۴ و جدول ۷) موجب بهبود خصوصیات کیفی (شکل ۶) نیز شده است. کود دامی به دلیل فراهمی ترکیبات، مواد هورمونی و ویتامین‌های محلول در آب در محیط خاک ریزوسفر، بر تولید و افزایش ترکیبات اولیه مؤثر در بیوسنتز گلوکوزیدها و تجزیه آنها به ترکیبات ثانویه زعفران نقش دارد. بر این اساس، به نظر می‌رسد مصرف کود دامی از طریق افزایش فعالیت بیولوژیکی خاک، بهبود حلالیت فسفر در ناحیه ریزوسفر ریشه و جذب بیشتر فسفر توسط گیاه، سبب افزایش مواد مؤثره می‌شود (Sundara et al., 2002). سایر بررسی‌ها نیز تایید نموده است که محتوی کروسین، پیکروکروسین و سافرانال تحت تأثیر مصرف کودهای آلی قرار گرفت (Rezai & Paseban, 2006). حیدری و همکاران (Heydari et al., 2014) نتیجه گرفتند که مصرف کودهای آلی از طریق فراهمی عناصر غذایی، و تحریک رشد میکروارگانیسم‌های خاکزی موجب تولید هورمون‌ها و ویتامین-های محلول در آب می‌شود که در نتیجه تولید و تجزیه ترکیبات مؤثر در بیوسنتز گلوسیدها، تولید متابولیت‌های ثانویه را به دنبال دارد. قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2019) نیز تایید نمودند که مصرف نهاده‌های آلی بهبود مقدار کروسین را در مقایسه با شاهد موجب گردید.

بهینه‌سازی منابع

مقادیر بهینه مصرف کود دامی و محلول‌پاشی با دلفارد در زراعت زعفران برای حصول پاسخ عملکرد کلاله خشک، تعداد بنه‌های دختری در واحد سطح و محتوی کروسین در سناریوی اقتصادی در جدول ۱۱ آورده شده است.

جدول ۱۱- بهینه‌سازی کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد برای حصول متغیرهای وابسته در زعفران در سناریوی اقتصادی

Table 11- Optimized values for cow manure and leaf spraying for reaching the dependent variables in saffron based on economic scenario

سناریوی اقتصادی Economic scenario	متغیر Variable	
203.98	وزن خشک کلاله Dried weight of stigma ($mg.m^{-2}$)	وابسته Dependent
20.13	تعداد بنه‌های دختری Number of replacement corms ($No.m^{-2}$)	
174.42	محتوی کروسین Crocin content (E1%440)	
92.67	کود دامی Cow manure ($t.ha^{-1}$)	مستقل Independent
1.2	محلول‌پاشی برگی با دلفارد Leaf spraying with Dalfard (ppm)	
0.91	شاخص مطلوبیت Desirability	

مقدار $E_{1max}^{\%1}$ کروسین بر اساس وزن خشک حداقل روش ISO- 3632 می‌باشد.

$E_{1max}^{\%1}$ value of crocin is according to minimum dried weight and ISO-3632 method.

شاخص مطلوبیت بهینه‌سازی (۱≤DI≤۰) برابر با ۰/۹۱ محاسبه گردید (جدول ۱۱) که نشاندهنده نتایج قابل قبول برای سطوح پاسخ تحت تأثیر متغیرهای مستقل می‌باشد. در تعیین سطوح بهینه منابع در سناریوی اقتصادی هر سه متغیر به عنوان متغیرهای اصلی در نظر گرفته شدند که بر همین اساس برای متغیر اصلی ضریب تأثیر بالاتری در هر سناریو انتخاب شد. نتایج نشان داد که کاربرد ۹۲/۶۷ تن در هکتار کود دامی و غلظت ۱/۲ پی‌پی‌ام محلول‌پاشی با دلفارد باعث تولید ۲۰۳/۹۸ میلی‌گرم در متر مربع وزن خشک کلاله، ۲۰/۱۳ بنه دختری در متر مربع و ۱۷۴/۴۲ E1%440 کروسین می‌شود (جدول ۱۱). تغذیه و مصرف عناصر غذایی بر عملکرد کلاله و همچنین خصوصیات کیفی گیاه از جمله مقدار کروسین و پیکروکروسین و سافرانال نیز تأثیر دارد، به‌طوری‌که با مصرف کود دامی و عناصر غذایی آهن و روی به مقدار مناسب، وزن کلاله و میزان کروسین و پیکروکروسین که به‌ترتیب عامل رنگ و طعم زعفران می‌باشند افزایش، اما درصد نیتروژن و سافرانال (عامل عطر) کاهش می‌یابد (Rezai & Paseban, 2006). تغذیه مناسب گیاه تحت تأثیر مصرف کودهای دامی و محلول‌پاشی سبب تقویت مسیرهای درگیر در تولید متابولیت‌های ثانویه می‌شود (Hassanpour-Aghdam et al., 2008; Khorramdel et al., 2015). از آنجا که پتاسیم در ساختمان آنزیم‌های مؤثر در مسیرهای بیوشیمیایی درگیر در سنتز مواد مؤثره گیاهی دخیل بوده و همچنین با توجه به این‌که ساخت ترپنوئیدهایی نظیر سافرانال نیاز به ترکیب‌های فسفر دارد و برای تأمین انرژی لازم NADPH و ATP برای چرخه‌های آن به نیتروژن وابسته است، افزایش میزان مواد مؤثره زعفران به واسطه مصرف کود دامی و محلول‌پاشی را می‌توان به قابلیت کودهای آلی در کلات کردن عناصر از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آهن و افزایش جذب آنها و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در سنتز ترکیبات آلی در گیاهان نسبت داد (Santiago et al., 2008). کودهای آلی و محلول‌پاشی بر فراهمی ترکیبات، مواد هورمونی و ویتامین‌های محلول در آب، تحریک رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌ها و تولید ترکیبات ثانویه نقش دارد (Santiago et al., 2008). بررسی‌ها نشان داده که استفاده تلفیقی از کودهای زیستی با شیمیایی نیتروژن‌دار باعث افزایش معنی‌دار وزن کلاله و میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال می‌شود (Omidi et al., 2009). بر این اساس، به نظر می‌رسد بهینه‌سازی کاربرد مقدار مصرف کودهای دامی و محلول‌پاشی برگی راهکار مناسبی برای افزایش عملکرد کمی و کیفی در زراعت زعفران می‌باشد. در نهایت، با توجه به اینکه در سناریوی اقتصادی، وزن خشک کلاله و محتوی خصوصیات کیفی مدنظر بوده است، مصرف بهینه این نهاده‌ها در بوم‌نظام‌های زعفران بر اساس این سناریو می‌تواند به عنوان مناسب‌ترین راهکار برای دستیابی همزمان به عملکرد کمی و کیفی قابل قبول همراه با کاهش هزینه‌ها مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، با توجه به نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد کاربرد کود دلفارد به صورت محلول‌پاشی و مصرف مناسب کود دامی به دلیل ایجاد شرایط تغذیه‌ای بهینه از طریق فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه زعفران تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های بنه و عملکرد گل و کلاله و خصوصیات کیفی زعفران داشته است. افزایش سطوح مصرف کود دامی از ۰ تا ۵۰ تن در هکتار بدون محلول‌پاشی باعث افزایش تعداد بنه‌های دختری در واحد سطح و بهبود شاخص‌های عملکرد گل زعفران شد. محلول‌پاشی برگی با عناصر غذایی کامل نقش چندانی بر بهبود رشد بنه‌های دختری و افزایش عملکرد گل زعفران نداشت. در حالی‌که افزایش نسبی محتوی ترکیبات کیفی زعفران را به دنبال داشت.

علاوه بر این، با وجود مصرف بی‌رویه نهاده‌های مختلف در نظام‌های کشاورزی، عملکرد زعفران به همان نسبت افزایش نیافته، لذا مدیریت پایدار نظام‌های زراعی برمبنای بهینه‌سازی استفاده از منابع ضروری به نظر می‌رسد. آگاهی از بهینه‌سازی نهاده‌ها در رشد و عملکرد و خصوصیات کیفی زعفران به عنوان یکی از گونه‌های مهم منطقه خراسان ضروری بوده و برنامه-ریزان را قادر می‌سازد تا با ارائه الگوهای نوین ضمن کاهش پیامدهای زیست‌محیطی مصرف بی‌رویه این نهاده عملکرد محصولات زراعی را در سطح بهینه حفظ کنند. بر این اساس، با توجه به لزوم توجه به میزان بهینه مصرف نهاده‌ها در زعفران، استفاده از مدل سطح- پاسخ را می‌توان به عنوان راهکاری مطلوب در تولید پایدار و بهبود خصوصیات گل و بنه و ویژگی-های کیفی زعفران مد نظر قرار داد.

سپاسگزاری

بودجه این تحقیق از محل اعتبار طرح پژوهه شماره ۴۵۰۳۱۲ مورخ ۱۳۹۴/۰۷/۲۴ توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Abrishamkesh, S., Gorji, M., Asadi, H., Bagheri-Marandi, G.H., and Pourbabaee, AA. 2015. Effects of rice husk biochar application on the properties of alkaline soil and lentil growth. Plant, Soil and Environment 61 (11): 475-482.

Anwar, Z., Irshad, M., Mahmood, Q., Hafeez, F., and Bilal, M. 2017. Nutrient uptake and growth of spinach as affected by cow manure co-composted with poplar leaf litter. The International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture 6 (1): 79-88.

Arsalan, N. 2007. Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modeling the influence of some operating variables of a multi-gravity separator for chromite concentration. Powder Technology 86: 769-776.

Asadi, G.A., Rezvani Moghaddam, P., and 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. Saffron Agronomy and Technology 2 (1): 31-44. (In Persian with English Summary).

Asadi, G.A., Rezvani Moghaddam, P., and 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. Saffron Agronomy and Technology 2 (1): 31-44. (In Persian with English Summary).

Behdani, M., Koocheki, A., Nassiri M., and Rezvani Moghaddam, P. 2005. Evaluation of quantity relations between yield and nutrient consumption in saffron: On farm study. Iranian Journal of Field Crops Research 3 (1): 34-39. (In Persian with English Summary).

Bertheloot, J., Martre, P., and Andrieu, B. 2008. Dynamics of light and nitrogen distribution during grain filling within wheat canopy. Plant Physiology 148: 1707-1720.

Bhagyalakshmi, N. 1999. Factors influencing direct shoot regeneration from ovary explants of saffron. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 58: 205-211.

Box, G.E.P., and Hunter, J.S. 1957. Multi-factor experimental designs for exploring response surfaces. The Institute of Mathematical Statistics 195-241.

Box, G.E.P., and Wilson, K.B. 1951. On the

experiment attainment of optimum conditions. Journal of the Royal Statistical Society 13: 1-45.

Bozorgi, H.R., Bidarigh, S., Bakhshi, D., Samak Mohammadi, B., Azarpour, E., and Moraditochaee, M. 2012. Effects of marine brown alga extract (*Ascophyllum nodosum*) under foliar spraying of methanol and iron fertilizers on flower tube length of saffron (*Crocus sativus* L.) in north of Iran. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4 (20): 1512-1518.

Chaji, N., Khorassani, R., Astaraei, A.R., and Lakzian, A. 2013. Effect of phosphorous and nitrogen on vegetative growth and production of daughter corms of saffron. Journal of Saffron Research 1: 1-12. (In Persian with English Summary).

Dai, L., Tan, F., Wu, B., He, M., Wang, W., Tang, X., Hu, Q., and Zhang, M. 2015. Immobilization of phosphorus in cow manure during hydrothermal carbonization. Journal of Environmental Management 157 (Supplement C): 49-53.

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

Feizi, H., Seyyedi, S.M., and Sahabi, H. 2015. Effects of corm planting density, organic and chemical fertilizers on formation and phosphorus uptake of saffron (*Crocus sativus* L.) replacement corms during phonological stages. Saffron Agronomy and Technology 2 (4): 289-301. (In Persian with English Summary).

Gamage, D.N.V., Mapa, R.B., Dharmakeerthi, R.S., and Biswas, A. 2016. Effect of rice-husk biochar on selected soil properties in tropical Alfisols. Soil and Tillage Research 54 (3): 302-310.

Ghanbari, J., Khajoeinegad, G., Van Ruth, S., and Aghighi, S. 2019. The possibility for improvement of flowering, corm properties, bioactive compounds, and nutritional regimes. Industrial Crops and Products 135: 301-310.

Glæsner, N., Donner, E., Magid, J., Rubæk, G.H., Zhang, H., and Lombi, E. 2012. Characterization of leached phosphorus from soil, manure and manure- amended soil by physical and chemical fractionation and diffusive in thin films (DGT). Environmental Science and Technology 46 (19): 10564-10571.

Gresta, F., Lombardo, G.M., Siracusa, L., and Ruberto, G. 2008a. 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. The Journal of the Science of Food and Agriculture 88: 1144-1150.

Gresta, F., Lombardo, G.M., Siracusa, L., and Ruberto, G. 2008b. Saffron, an alternative crop for sustainable agricultural systems: A review. Agronomy for Sustainable Development 28: 95-112.

Hassanpour-Aghdam, M.B., Tabatabaie, S.J., Nazemiyeh, H., and Aflatuni, A. 2008. N and nutrition levels affect growth and essential oil content of costmary (*Tanacetum balsamita* L.). Food Agriculture and Environment 6 (2): 150-154

Hassanzadeh Aval, F., Rezvani Moghaddam, P., Bannayan aval, M., and Khorasani, R. 2013. Effects of maternal corm weight and different levels of cow manure on corm and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Saffron Agronomy and Technology 1(1): 22-39. (In Persian with English Summary).

Heydari, Z., Besharati, H., and Maleki-Farahani, S. 2014. Effect of some chemical and biological fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of crop Saffron.

Saffron Agronomy and Technology 2 (3): 177-189. (In Persian with English Summary).

Hosseini, M., Sadeghiand, B., and Aghamiri, S.A. 2004. Influence of foliar fertilization on yield of saffron (*Crocus sativus* L.): I. International Symposium on Saffron Biology and Biotechnology. Acta Horticulture 650: 207-209.

Huang, J., Yu, Z., Gao, H., Yan, X., Chang, J., Wang, C., Hu, J., and Zhang, L. 2017. Chemical structures and characteristics of animal manures and composts during composting and assessment of maturity indices. PLoSONE 12 (6): e0178110.

Jami, N., Rahimi, A., Naghizadeh, M., and Sedaghati, E. 2020 Investigating the use of different levels of mycorrhiza and vermicompost on quantitative and qualitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Scientia Horticulturae 262 (27): 109027.

Kafi, M., and Showket, T. 2006. A comparative study of saffron agronomy and production systems of Khorasan (Iran) and Kashmir (India). Acta Horticulturae 739: 123-132.

Kafi, M., Rashed Mohassel, M.H., Koocheki, A., and Mollafilabi, A. 2002. Saffron, Production and Processing. Zaban va Adab Press, Iran. 276 p. (In Persian).

ISO/TS 3632-2: 2003 Saffron (*Crocus sativus* L.) — Part 2: Test methods. Available at: https://www.iso.org/standard/39214.html

Khorramdel, S., Eskandari Nasrabadi, S., and 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.

Koocheki, A., and Khajeh-Hosseini, M. 2020. Saffron Science, Technology and Health. 1st Edition Woodhead Publishing. 580 p.

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

Koocheki, A., Jahani, M., Tabrizi, L., and Mohammad Abadi, 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 Soil and Water 25 (1): 196-206. (In Persian with English Summary).

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Behdani, M.A. 2006. Agronomic attributes of saffron yield at agroecosystems scale in Iran. In: Proceedings of the 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran, pp. 33-40.

Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., Mollafilabi, A., and Seyyedi, S.M. 2015. Study the flower and corm yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in response to planting density and manure in first year. Journal of Agroecology 6 (4): 719-729. (In Persian with English Summary).

Koocheki, A., Seyyedi, S.M., and 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 Horticulturae180: 147-155.

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

Kwak, J.S. 2005. Application of Taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process. International Journal of Machine Tools Manufacture 45: 327-341.

Molina, R.V., Renavmorata, B., Nebauer, S.G., GarciaLuis, A., and Guardiola, J.L. 2010. Greenhouse saffron culture temperature effects on flower emergence and vegetative growth the plants. Acta Horticulturae 850: 91-94.

Mollafilabi, A., and 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. Saffron Agronomy and Technology 3 (4): 237-249. (In Persian with English Summary).

Munshi, A.M., Sindha, J.S., and Baha, G.H. 1989. Improved cultivation practices for saffron. Indian Farming 39 (5): 27-30.

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Amin Ghafouri, A., and MahlujiRad, M. 2015. Optimizing corm size and density in saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation by central composite design. Journal of Saffron Agronomy and Technology 3 (3): 161-177. (In Persian with English Summary).

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Boroumand Rezazadeh, Z., and Tabrizi, L. 2007. Effects of corm size and storage period on allocation of assimilates in different parts of saffron plant (*Crocus sativus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 5: 155-166. (In Persian with English Summary).

Omidi, F., Naghdi Badi, H., Golzad, A., Torabi, H., and Footoukian, M.H. 2009. The effect of chemical and bio-fertilizer source of nitrogen on qualitative and quantitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Medicinal Plants 2 (30): 98-109. (In Persian with English Summary).

Rabani Foroutagheh, M., Hamidoghli, Y., and Mohajeri, S.A. 2013. Effect of the split foliar fertilization on quality and quantity of active constituents in saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of the Science of Food and Agriculture 11: 35-41.

Renau-Morata, B., Moyá, L., Nebauer, S.G., Seguí-Simarro, J.M., Parra-Vega, V., Gómez, M.D., and Molina, R.V. 2013. The use of corms produced under storage at low temperatures as a source of explants for the *in vitro* propagation of saffron reduces contamination levels and increases multiplication rates. Industrial Crops and Products 46: 97-104.

Renau-Morata, B., Nebauer, S.G., Sánchez, M., and 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.). Industrial Crops and Products 39: 40-46.

Rezai, S., and Paseban, M. 2006. The effect of micronutrients and manure fertilizers on the quantity and quality of Khorasan saffron. Acta Horticulturae 739: 25-33.

Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., and 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.

Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., Shabahang, J., and Amin Ghafouri, A. 2013. Evaluation of planting method, corm weight and density effects on growth characteristics and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Agroecology 3 (1): 52-68. (In Persian with English Summary).

Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Molafilabi, A., and Seyyedi, M. 2014. Effect of biological and chemical fertilizers on replacement corm and flower yields of saffron (*Crocus sativus* L.). Iranian Journal of Crop Sciences. In press. (In Persian with English Summary).

Santiago, A., Lose, M., Carmona, E., and Delgado, A. 2008. Humic substances increase the effectiveness of iron sulfate and vivianite preventing iron chlorosis in white lupin. Biology and Fertility of Soils 44 (6): 875-883.

Seyyedi, S.M., Ebrahimian, E., and Rezaei-Chiyaneh, E. 2018. Saffron daughter corms formation, nitrogen and phosphorous uptake in

response to low planting density, sampling rounds, vermicompost and mineral fertilizers. Communications in Soil Science and Plant Analysis 49 (5): 585-603.

Sulfab, H.A. 2013. Effect of bio-organic fertilizers on soil fertility and yield of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) in Malakal area, Republic of South Sudan. Journal of Natural Resources and Environmental Studies 12: 14-19.

Sundara, B., Natarajan, V., and Hari, K. 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugar cane and sugar yield. Field Crops Research 77: 43-49.

Temperini, O., Rea, R., Temperini, A., Colla, G., and Rouphael, Y. 2009. Evaluation of saffron (*Crocus sativus* L.) production in Italy: Effect of the age of saffron field and plant density. Food, Agriculture and Environment 7 (1): 19-23.

Optimization of Spraying Cow Manure and Leaf with Dalfard Rates on Flower and Corm Yield of Saffron (*Crocus sativus* L.) Using a Central Composite Design

Surur Khorramdel[1]*, Fatemeh Moallem Banhangi[2] and Javad Shabahang[3]

Submitted: 16 March 2020 **Accepted:** 12 August 2020

Khorramdel, S., Moallem Banhangi, F., and Shabahang, J. 2021. Optimization of spraying cow manure and leaf with Dalfard rates on flower and corm yield of saffron (*Crocus sativus* L.) using a central composite design. Saffron Agronomy & Technology, 9(1): 3-27.

Abstract

Optimization is a management approach to improve yield and resource efficiency and decrease environmental pollutions in saffron agroecosystems. Response-surface methodology (RSM) is defined as a set of statistical techniques used to optimize a product. In this work, spraying cow manure and leaf with Dalfard on saffron using RSM is optimised. An experiment was conducted using a central composite design with 13 treatments and two replications at the Agricultural Research Field of the Ferdowsi University of Mashhad during two growing seasons of 2015-2016 and 2016-2017. The treatments were allocated based on low and high cow manure levels (0 and 100 $t.ha^{-1}$, respectively) and leaf spraying concentration with Dalfard ® (0 and 10 ppm, respectively). Flower yield, daughter corm yield and quality criteria were calculated as dependent variables and changes of these variables were evaluated by a regression model. Lack-of-fit test was used to evaluate the quality of the fitted model. The adequacy of the model was tested by analysis of variance. The quality of the fitted models was determined using the determination coefficient (R2). Finally, the optimum levels of cow manure and leaf spraying concentration were calculated based on economic scenario. The results showed that the effect of linear component was significant on quality characteristics of stigma. The effect of square component was significant on dried weight of stigma, mean diameter of daughter corms, number of daughter corms per m2, mean weight of daughter corms and crocin content. Interaction effect of full quadratic component was significant on flower yield criteria. Lack of fit test had no significant effect on the studied traits. This indicates that the full square model is satisfactory. The maximum observed value for number of daughter corms was recorded for 50 t cow manure per ha+ no leaf spraying (with 41.38 $corms.m^{-2}$). The highest observed value for dried stigma yield was related to 100 t cow manure per ha+ no leaf spraying (with 156.33 $mg.m^{-2}$). The maximum observed amounts for quality criteria such as picrocrocin, crocin and safranal were calculated for 100 t cow manure per ha+ 10 ppm leaf spraying (with 89.91 E1%257, 180.98 E1%440 and 40.15 E1%330, respectively). Dried weight of stigma, number of daughter corms and crocin content were considered in the economic scenario. Thus, estimated cow manure and Dalfard concentration levels were 92.67 $t.ha^{-1}$ and 1.2 ppm, respectively. In general, it seems that resource use optimization based on Response-surface methodology may be a suitable cropping approach for sustainable production and improvement of yield flower, corm yield and quality characteristics of saffron.

Keywords: Lack-of-fit test, Sustainable production, Crocin content

1 - Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2- PhD student in Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3- PhD, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding author Email: khorramdel@um.ac.ir)
DOI: 10.22048/JSAT.2020.223741.1385