Archive of SID

نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد ششم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۷
شماره صفحه: ۲۴۹-۲۳۳
http://dx.doi.org/ 10.22077/jsr.2018.1392.1054

بهینه‌سازی سطوح کود دامی و وزن پیاز در زراعت زعفران (*Crocus sativus* L.) با استفاده از طرح مرکب مرکزی

سرور خرم دل[1*]، پرویز رضوانی مقدم[2]، فاطمه معلم بنهنگی[3] و جواد شباهنگ[4]
۱- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دکتری بوم‌شناسی زراعی گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
* نویسنده مسئول: Email: khorramdel@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۲/۱۷

چکیده

بهینه‌سازی مصرف کود و وزن پیاز از جمله رهیافت‌های حفاظت از منابع و کاهش اثرات زیست محیطی هستند. روش سطح- پاسخ یکی از روش‌های آماری برای بهینه‌سازی چند عامل می‌باشد که شرایط بهینه را با طرح‌های آزمایشی مشخص می‌نماید. در این مطالعه، بهینه-سازی اثر سطوح کود دامی و وزن پیاز بر عملکرد گل، عملکرد کلاله، وزن خامه و خصوصیات کیفی زعفران با استفاده از طرح مرکب مرکزی انجام شد. این آزمایش با ۱۳ تیمار و دو تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. تیمارها بر اساس سطوح بالا و پایین کود دامی (صفر و ۴۰ تن در هکتار) و وزن پیاز (۷ و ۲۰ تن در هکتار) تعیین شدند. تعداد گل، وزن تر گل، وزن خشک خامه، عملکرد کلاله و محتوی کروسین (عامل رنگ)، پیکروکروسین (عامل طعم) و سافرانال (عامل عطر) به عنوان متغیرهای وابسته انتخاب و تغییرات آنها با استفاده از مدل رگرسیونی ارزیابی شد. صحت مدل برازش‌شده بر اساس ضریب تبیین (R^2) بیان شد. نتایج نشان داد که اثر جزء خطی بر تمام صفات مورد مطالعه معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود. اثر جزء درجه دو بر تمام صفات بجز محتوی کروسین معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود. اثر متقابل بر هیچ یک از صفات مورد مطالعه معنی‌دار نبود. دامنه R^2 بین ۹۴/۳۰-۲۸-۷۹ درصد محاسبه شد. بالاترین و پایین‌ترین مقادیر پیش‌بینی‌شده و مشاهده شده تعداد گل (به ترتیب با ۳۹ و ۸۱/۳۶ گل در متر مربع) و عملکرد کلاله (به ترتیب با ۰/۵۲۳ و ۰/۴۶ گرم در متر مربع) برای مصرف ۴۰ تن در هکتار کود دامی و ۱۳/۵ تن پیاز در هکتار مشاهده شد. بیشترین و کمترین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده سافرانال (به ترتیب با ۳۸/۹۴ و ۳۸/۰۷ $E_{330}^{1\%}$) و کروسین (به ترتیب با ۱۷۰/۴۱ و ۱۷۰/۳۶ $E_{440}^{1\%}$) برای مصرف ۴۰ تن در هکتار کود دامی و ۲۰ تن پیاز در هکتار بدست آمد. شیب افزایش تعداد گل، وزن تر گل، وزن خشک خامه، وزن خشک کلاله و خصوصیات کیفی زعفران با افزایش مصرف کود دامی تا ۴۰ تن در هکتار بیشتر از سطوح پایین بود. به طور کلی، بنظر می‌رسد که بهینه‌سازی مصرف منابع بر اساس طرح سطح- پاسخ راهکار مطلوبی برای دستیابی به تولید پایدار در زعفران محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تولید پایدار، روش سطح- پاسخ، سافرانال، کروسین

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) به عنوان گران‌ترین محصول کشاورزی و دارویی (Kafi et al., 2002) جایگاه ویژه‌ای در مقایسه بین محصولات صادراتی ایران دارد (Koocheki, 2013). زعفران اقتصادی‌ترین گیاه در سیستم‌های کشاورزی کم‌نهاده در جنوب خراسان به شمار می‌رود و به دلیل دارا بودن آشیانه اکولوژیکی ویژه نسبت به سایر گیاهان و ویژگی-های اقتصادی منحصر به فرد، از اهمیت خاصی برخوردار است (Ghorbani & Koocheki, 2006). با توجه به داشتن سه سری کروموزوم در سلول‌های سوماتیکی زعفران، روش‌های معمول اصلاح نباتات در این گیاه پیشرفت چندانی نداشته است (Kafi et al., 2002)، لذا جهت دستیابی به پیازهای مرغوب و عملکرد کمی و کیفی مطلوب، مدیریت تغذیه می‌تواند تأثیر بسیار مطلوبی بر رشد پیازها، گلدهی و خصوصیات کیفی این گیاه ارزشمند به همراه داشته باشد.

فراهمی متعادل عناصر غذایی نقش بسیار مهمی در گل-انگیزی و بهبود رشد پیازهای مادری زعفران ایفا می‌کند (Behdani et al., 2005; Koocheki et al., 2011; Rezvani Moghaddam et al., 2013a; Rezvani Moghaddam et al., 2013b). با توجه به اثرات منفی مصرف نهاده‌های شیمیایی بر شاخص‌های کیفی خاک و نیز جایگاه ویژه زعفران در نظام‌های کشاورزی کم‌نهاده و پایدار (Koocheki et al., 2011)، کاربرد منابع کود آلی در تولید این گیاه حائز اهمیت می‌باشد. در این راستا، کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013b) به نقش مؤثر کود دامی در افزایش عملکرد گل و تحریک تولید پیازهای دختری زعفران اشاره نمودند. در مطالعه‌ای دیگر، کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012b) با بررسی تأثیر بسترهای مختلف کاشت آلی شامل خاک‌برگ، کمپوست قارچ، کمپوست زباله شهری، کود دامی و کاه لوبیا بر رشد و عملکرد زعفران گزارش نمودند که بیشترین عملکرد کلاله در سال-های اول و دوم برای کود دامی (به ترتیب با ۰/۷ و ۰/۸ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. نتایج مطالعه رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2013a) نشان داد که افزودن ۶۰ تن کمپوست بستر قارچ در هکتار، موجب بهبود خصوصیات رویشی و به تبع آن عملکرد اقتصادی زعفران شد؛ به طوری‌که بالاترین وزن تر گل و عملکرد کلاله برای مصرف ۶۰ تن کمپوست بستر قارچ در هکتار به ترتیب برابر با ۵۵/۰۵ و ۰/۵۱ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان برای شاهد به ترتیب برابر با ۴۶/۲۲ و ۰/۴۳ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. از طرف دیگر، با توجه به کمبود ماده آلی خاک به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور (Shirani et al., 2011) نظیر مزارع زعفران (Rezvani Moghaddam et al., 2015) در استان خراسان، کاربرد کودهای آلی همچون کودهای دامی در بوم‌نظام‌های تولید این گیاه می‌بایست به طور ویژه‌ای مورد توجه قرار گیرد.

به منظور بهبود عملکرد و کاهش مصرف هزینه‌های تولید، میزان مصرف نهاده‌ها بایستی بر مبنای عملکرد مورد انتظار به صورت بهینه مورد استفاده قرار گیرند. یکی از روش‌های آماری برای حصول مقادیر بهینه نهاده‌ها، استفاده از روش سطح- پاسخ[1] می‌باشد (Arsalan, 2007; Kwak, 2005). طرح مرکب مرکزی که توسط باکس و ویلسون (Box & Wilson, 1951) مطرح و باکس و هانتر (Box & Hunter, 1957) تکمیل گردید، یکی از طرح‌های آماری برای مدل‌سازی سطح- پاسخ است که جایگزینی مناسب برای آزمایشات فاکتوریل می‌باشد. با استفاده از طرح مرکب مرکزی می‌توان با کمترین تعداد تیمار بر مبنای توزیع آنها در محدوده دامنه سطوح انتخابی، بیشترین اطلاعات را اخذ نمود (Mansouri et al., 2015). در همین راستا نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2015) با بررسی اثر متقابل تراکم (۵۰ و ۲۵۰ پیاز در مترمربع) و وزن پیاز (کمتر از ۴ و ۸-۴ گرم) زعفران با استفاده از طرح مرکب مرکزی بیان داشتند که افزایش اندازه پیاز و تراکم اثر مثبتی بر افزایش عملکرد کلاله، قطر پیاز، تعداد پیاز دختری، تعداد پیاز اصلی، تعداد گل و وزن تر گل داشت. منصوری و همکاران (Mansouri et al., 2015) طی مطالعه‌ای روی اثر بررسی کود نیتروژن (۱۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار)، آبیاری (۱۵۰۰ و ۳۵۰۰ مترمکعب) و تراکم (۱۰ و ۱۸ بوته در متر مربع) در موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium* L.) دریافتند که افزایش سطح کود و اعمال آبیاری باعث افزایش عملکرد غده و تلفات نیتروژن گردید، در صورتی‌که افزایش تراکم باعث افزایش عملکرد و کاهش تلفات نیتروژن شد. نتایج آزمایشی دیگر روی تعیین میزان بهینه نیتروژن (صفر و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و تراکم (۷ و ۱۰ بوته در

1- Response-Surface Methodology

www.SID.ir

Archive of SID

متر مربع) بر عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن در ذرت (*Zea mays* L.) نشان داد که بیشترین عملکرد دانه مشاهده شده برای تراکم ۷ بوته در متر مربع و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۱۱/۷۱ تن در هکتار) و بالاترین عملکرد پیش‌بینی شده برای تراکم ۱۰ بوته در متر مربع و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۱۲/۲۲ تن در هکتار) به دست آمد (Koocheki et al., 2017).

بر این اساس، هدف از اجرای این تحقیق بررسی اثر کود دامی و وزن پیاز بر عملکرد کمی و کیفی 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 تیمارهای طراحی شده در طرح مرکب مرکزی با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد (Arsalan, 2007; Box & Hunter, 1957).

$$t = 2^k + 2k + r \qquad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله، k: نشان‌دهنده تعداد فاکتور و r: تعداد تکرار تیمار در سطح میانگین می‌باشد. بر این اساس، ترکیب تیمارهای آزمایشی با توجه به سطوح بالا و پائین کود دامی از نوع گاوی پوسیده (۰ و ۴۰ تن در هکتار) و سطوح بالا و پائین وزن پیاز (۷ و ۲۰ تن در هکتار) تعیین شد (جدول ۱).

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

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

شماره No.	ضرایب* Coefficients*		تیمارها Treatments	
	X_1	X_2	کود دامی Cow manure ($t.ha^{-1}$)	وزن پیاز Corm weight ($t.ha^{-1}$)
1	-1	-1	0	7
2	+1	-1	40	20
3	-1	+1	0	20
4	+1	+1	40	13.5
5	-1	0	0	13.5
6	+1	0	40	7
7	0	-1	20	20
8	0	+1	20	13.5
9	0	0	20	13.5
10	0	0	20	13.5
11	0	0	20	13.5
12	0	0	20	13.5
13	0	0	20	7

X_1 و X_2: به‌ترتیب نشان‌دهنده متغیرهای مستقل کود دامی و وزن پیاز هستند.

X_1 and X_2: indicate independent variables of cow manure and corm weight, respectively.

در مرحله آماده‌سازی زمین و پیش از کاشت، نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری 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. زعفران روی شش ردیف دو متری با فاصله بین ردیف ۲۵ سانتی‌متر در اواخر خرداد ماه سال ۱۳۹۵ در کرت‌هایی به ابعاد ۳×۱ 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. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و دومین آبیاری بصورت سبک یک هفته بعد از آبیاری اول با هدف تسهیل در خروج جوانه‌های گل از خاک انجام شد. در فاصله دو نوبت آبیاری یک مرتبه سله‌شکنی انجام شد. 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 شد. وزن خشک کلاله و خامه نیز به صورت جداگانه اندازه‌گیری و ثبت شد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 2. Physical and chemical properties of soil in field

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)
لوم سیلتی Silty loam	7.92	0.58	0.62	0.058	29.2	186

جهت تعیین خصوصیات کیفی کلاله، محتوی 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 شده و در ارلن با حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر ریخته شد. جهت جلوگیری از رسیدن نور، ارلن‌ها با فویل آلومینیومی پوشانده شدند. پس از افزودن 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 رسانده 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, S_{2000} UV/Vis) در طول موج‌های ۲۵۷، ۳۳۰ و ۴۴۰ نانومتر به‌ترتیب برای پیکروکروسین، سافرانال و کروسین انجام شد. نتایج بر اساس حداکثر جذب یک درصد محلول آبی در طول موج‌های ذکر شده ($E^{1\%}_{\lambda max}$) بر مبنای ماده خشک حداقل طبق معادله (۲) بیان گردید (Molina et al., 2010).

$$E^{1\%}_{\lambda max} = \frac{A_{\lambda max} * 5000}{m\,(100-H)} \quad \text{معادله (۲)}$$

در این معادله، $A_{\lambda max}$: عدد قرائت شده از دستگاه اسپکتروفتومتر، m: وزن نمونه کلاله زعفران بر حسب گرم و H: درصد رطوبت نمونه‌ها (برابر با ۶/۴۲) می‌باشد.

به منظور انتخاب مدل مناسب، مدل درجه دو کامل[1] با اثرات متقابل بین فاکتورها برازش داده شد (معادله ۳). سپس بر اساس معیارهای آماری تجزیه رگرسیون (مقادیر F، P و R^2) و آزمون عدم برازش[2] بهترین مدل انتخاب گردید (Koocheki et al., 2013a; Koocheki et al., 2016).

معادله

$$Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2 \quad (۳)$$

در این معادله، Y: متغیر وابسته (صفات کمی و کیفی زعفران)، x_1 و x_2: متغیرهای مستقل کود دامی و وزن پیاز و a_1 تا a_5: ضرایب معادله می‌باشند. در نهایت، نتایج پیش‌بینی با داده‌های مشاهده شده به منظور برآورد دقت مدل مورد مقایسه قرار گرفتند و اعتبار مدل‌های رگرسیون با استفاده از جذر میانگین مربعات خطا[3] انجام شد (معادله ۴). رگرسیون خطی با خط یک به یک ارزیابی شد.

$$MSE\ (\%) = \frac{100}{\bar{O}} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{n}} \quad \text{معادله (۴)}$$

که در این معادله، $\bar{O}$: میانگین مشاهدات، P_i: مقادیر پیش‌بینی شده و O_i: مقادیر مشاهده شده می‌باشد.

RMSE به صورت درصد اختلاف نسبی مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی بیان می‌شود و بر اساس تعریف، قدرت پیش‌بینی مدل در صورتی‌که RMSE کمتر از ۱۰ درصد باشد، عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد، خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد، متوسط و بالاتر از ۳۰ درصد، ضعیف برآورد می‌شود (Koocheki et al., 2016). جهت تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزار Minitab ver.17 استفاده شد.

نتایج و بحث

ارزیابی مدل

نتایج نشان داد که اثر جزء خطی متغیرهای مستقل شامل کود دامی و وزن پیاز بر تمام صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۱) بود. اثر جزء درجه ۲ متغیرهای مستقل شامل کود دامی و وزن پیاز بر تمامی صفات بجز محتوی کروسین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۱) بود. اثر متقابل دو عامل مصرف کود دامی و وزن پیاز بر هیچ کدام از صفات کمی و کیفی زعفران معنی‌دار نبود (جدول ۳).

1- Full quadratic regression
2- Lack of-fit
3- RMSE: Root mean square error

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مدل درجه دو کامل برای عملکرد گل و خصوصیات کیفی زعفران

Table 3. Analysis of variance (mean of squares) of full quadratic model for flower yield and qualitative criteria of saffron

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد گل Flower number	وزن تر گل Fresh weight of flower	وزن خشک کلاله Dry weight of stigma
مدل Model	6	1381.49**	327.908**	0.0444**
تکرار Blocks	1	147.85ns	37.105ns	0.0078ns
خطی Linear	2	2901.42**	687.228**	0.0926**
کود دامی Cow manure	1	1950.75**	470.001**	0.0634**
وزن پیاز Corm weight	1	3852.08**	904.456**	0.1218**
درجه دو Square	2	1126.87**	266.537**	0.0353**
کود دامی× کود دامی Cow manure× cow manure	1	636.30*	150.396*	0.0198*
وزن پیاز× وزن پیاز Corm weight× corm weight	1	760.39*	179.968*	0.0239*
اثر متقابل Interaction	1	84.50ns	22.815ns	0.0025ns
کود دامی×وزن پیاز Cow manure× corm weight	1	84.50ns	22.815ns	0.0025ns
خطا Error	19	112.51	26.583	0.0036
عدم برازش Lack-of- fit	11	191.65	45.328	0.0062
خطای خالص Pure error	8	3.70	0.808	0.00017

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.

جدول ۳. ادامه

Table 3. Continued

منابع تغییر S.O.V.	وزن خشک خامه Dry weight of style	پیکروکروسین Picrocrocin	سافرانال Safranal	کروسین Crocin
مدل Model	0.0025**	21.524**	13.1416**	47.318**
تکرار Blocks	0.0005ns	0.059ns	0.1246ns	1.228ns
خطی Linear	0.0054**	61.600**	37.6093**	136.146**
کود دامی Cow manure	0.0038**	123.200**	75.2001**	272.272**
وزن پیاز Corm weight	0.0069**	0.001ns	0.0184ns	0.020ns

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. ادامه

Table 3. Continued

درجه دو Square	0.0020**	2.935**	1.7418**	5.184ns
کود دامی× کود دامی Cow manure× cow manure	0.0011*	3.601**	3.0319**	0.034ns
وزن پیاز× وزن پیاز Corm weight× corm weight	0.0013*	4.475**	1.6506*	9.255*
اثر متقابل Interaction	0.00012ns	0.016ns	0.0231ns	0.019ns
کود دامی×وزن پیاز Cow manure× corm weight	0.00012ns	0.016ns	0.0231ns	0.019ns
خطا Error	0.00020	0.411	0.2731	1.679
عدم برازش Lack-of- fit	0.00035	0.594	0.4559	2.660
خطای خالص Pure error	0.00001	0.159	0.0217	0.330

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.

براساس نتایج آنالیز رگرسیون، مدل درجه دو کامل بین ۷۹/۲۸ تا ۹۴/۳۰ درصد از تغییرات عملکرد گل، کلاله و مقادیر کمی زعفران را توصیف می‌کند (جدول ۴).

جدول ۴. ضرایب رگرسیون و تبیین برای مدل درجه دو کامل:

$$y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2$$

Table 4. Regression and R^2 coefficients for full quadratic model:

$$y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2$$

	a_0	a_1	a_2
تعداد گل Flower number	43.0	-0.773	-5.24
وزن تر گل Fresh weight of flower	21.04	-0.384	-2.57
وزن خشک کلاله Dry weight of stigma	0.246	-0.00421	-0.0294
وزن خشک خامه Dry weight of style	0.0599	-0.000957	-0.00692
پیکروکروسین Picrocrocin	77.88	0.2363	-0.581
سافرانال Safranal	34.669	0.2048	-0.335
کروسین Crocin	165.06	0.2409	-0.828

X_1 و X_2: به ترتیب نشان‌دهنده متغیرهای مستقل کود دامی و وزن پیاز هستند.

X_1 and X_2: indicate independent variables for cow manure and corm weight, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. ادامه

Table 4. Continued

	a_3	a_4	a_5	R^2
تعداد گل Flower number	0.0268	0.278	0.025	79.50
وزن تر گل Fresh weight of flower	0.01304	0.1351	0.013	79.57
وزن خشک کلاله Dry weight of stigma	0.00015	0.00156	0.000137	79.28
وزن خشک خامه Dry weight of style	0.000036	0.000371	0.000031	79.66
پیکروکروسین Picrocrocin	-0.002918	0.0213	0.00035	94.30
سافرانال Safranal	-0.001852	0.01294	-0.00041	93.83
کروسین Crocin	-0.0002	0.0306	0.00038	89.90

X_1 و X_2: به ترتیب نشان‌دهنده متغیرهای مستقل کود دامی و وزن پیاز هستند.

X_1 and X_2: indicate independent variables for cow manure and corm weight, respectively.

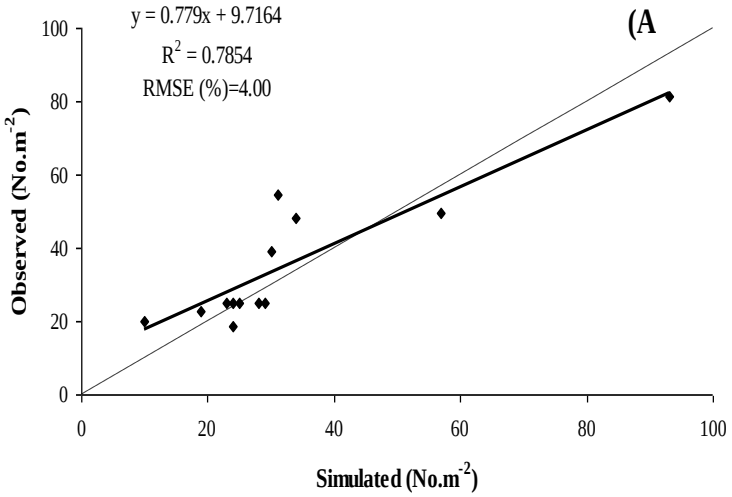
بر این اساس، اگر چه بنظر می‌رسد بخش زیادی از تغییرات خصوصیات کیفی زعفران تحت تاثیر مدیریت تغذیه‌ای همچون مصرف کود دامی می‌باشد (Akbarian et al., 2013)، ولی بنظر می‌رسد عملکرد گل و کلاله علاوه بر وزن پیاز و مصرف کود دامی تحت تأثیر عوامل دیگری همچون دانش بومی (Koocheki, 2003)، خصوصیات خاک (Kafi et al., 2002; Shahandeh, 1990; Rezaian and Paseban, 2006)، بافت خاک (Turhan et al., 2007; Khorramdel et al., 2014; Rezvani Moghaddam et al., 2016)، سن مزرعه (Sampatha et al., 1984; Behdani et al., 2005; Abrishami, 2003; Sadeghi, 1993)، اندازه پیاز مادری و تراکم کاشت (Behdani et al., 2005; Koocheki et al., 2011; Koocheki et al., 2014; Koocheki et al., 2012a)، سایر روش‌های مدیریت تغذیه‌ای (Koocheki & Seyyedi, 2015) و غیره می‌باشد.

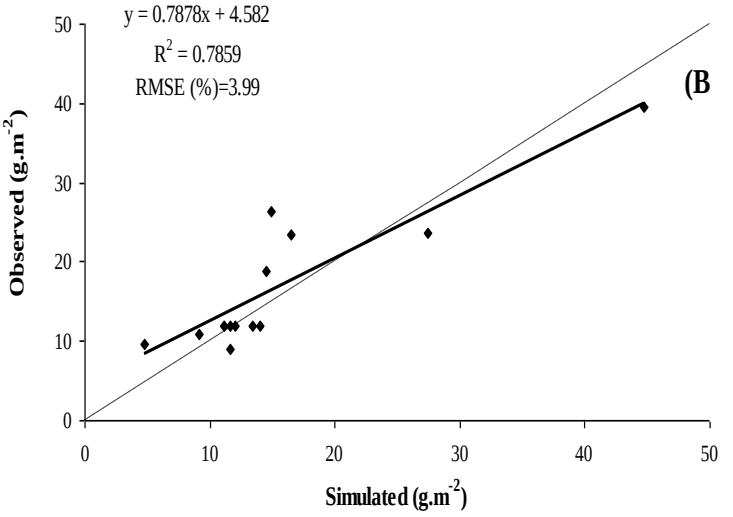
همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده تعداد گل برای مصرف ۴۰ تن در هکتار کود دامی و وزن پیاز ۱۳/۵ تن در هکتار به ترتیب با ۹۳ و ۸۱/۳۶ گل در متر مربع مشاهده شد. بالاترین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده وزن خشک گل برای مصرف ۴۰ تن در هکتار کود دامی و وزن پیاز ۱۳/۵ تن در هکتار به ترتیب با ۴۴/۷۸ و ۳۹/۵۸ گرم در متر مربع بدست آمد. بیش‌ترین میزان مشاهده شده و پیش‌بینی شده وزن خشک کلاله برای مصرف ۴۰ تن در هکتار کود دامی و وزن پیاز ۱۳/۵ تن در هکتار به ترتیب با ۰/۵۲۳ و ۰/۴۶ گرم در متر مربع حاصل شد. بالاترین مقدار مشاهده شده و پیش‌بینی شده وزن خشک خامه مربوط به مصرف ۴۰ تن در هکتار کود دامی و وزن پیاز ۱۳/۵ تن در هکتار به ترتیب با ۰/۱۲۷ و ۰/۱۱ گرم در متر مربع بود (شکل ۱).

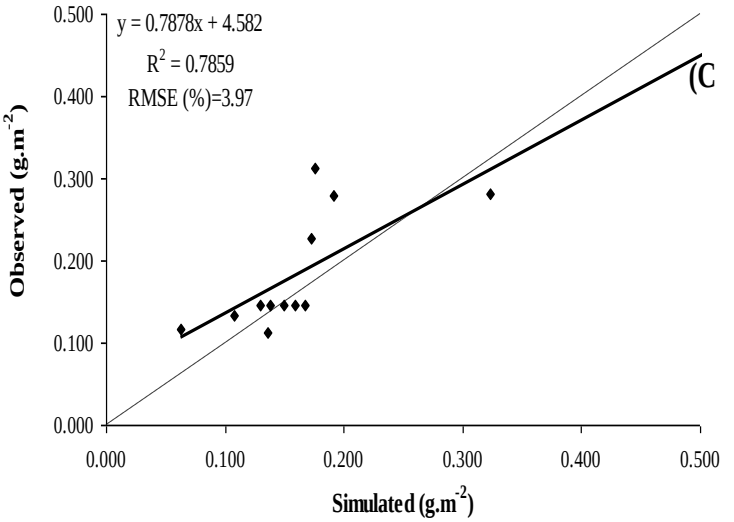
همانگونه که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، بیشترین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده پیکروکروسین برای برای مصرف ۴۰ تن در هکتار کود دامی و وزن پیاز ۱۳/۵ تن در هکتار به ترتیب با ۸۱/۴۵ و ۷۹/۸۴ $E_{257}^{1\%}$ بدست آمد. بالاترین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده سافرانال (۳۸/۹۴ و ۳۸/۰۷ $E_{330}^{1\%}$) و کروسین (۱۷۰/۴۱ و ۱۷۰/۳۶ $E_{440}^{1\%}$) نیز مربوط به مصرف ۴۰ تن در هکتار کود دامی و وزن پیاز ۲۰ تن در هکتار بود. مقدار RMSE برای خصوصیات کمی و کیفی زعفران شامل تعداد گل، وزن تر گل، وزن خشک کلاله و وزن خشک خامه و محتوی پیکروکروسین، سافرانال و کروسین به ترتیب برابر با ۴/۰۰، ۳/۹۹، ۳/۹۷، ۳/۸۶، ۰/۲، ۰/۱۲ و ۰/۰۷ درصد محاسبه شد که این مقادیر پایین نشان‌دهنده قدرت پیش‌بینی خوب مدل می‌باشد (شکل‌های ۱ و ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

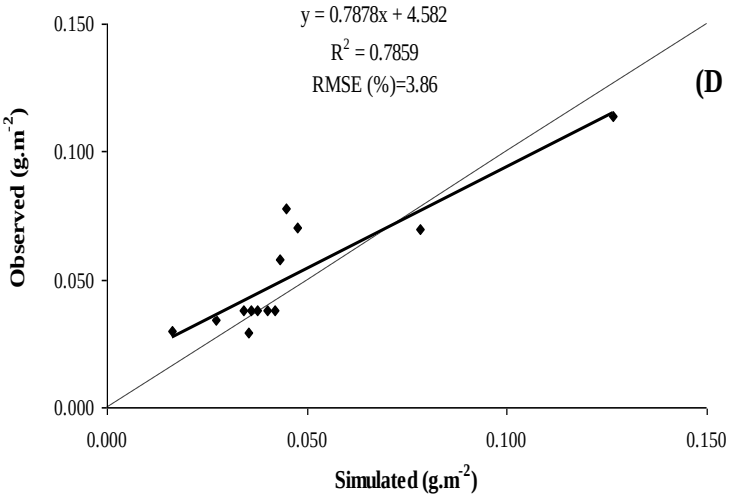






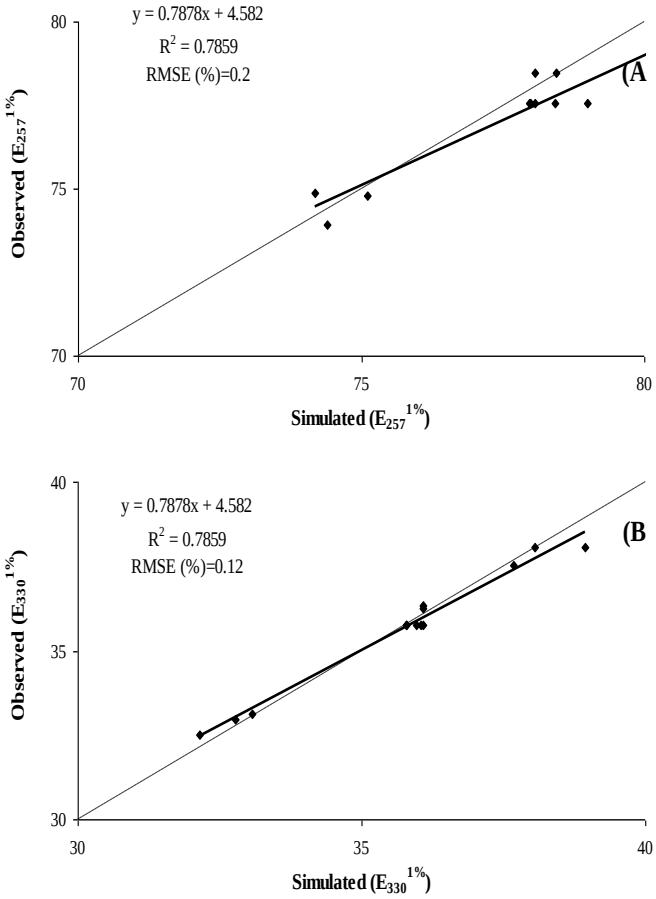
www.SID.ir

Archive of SID



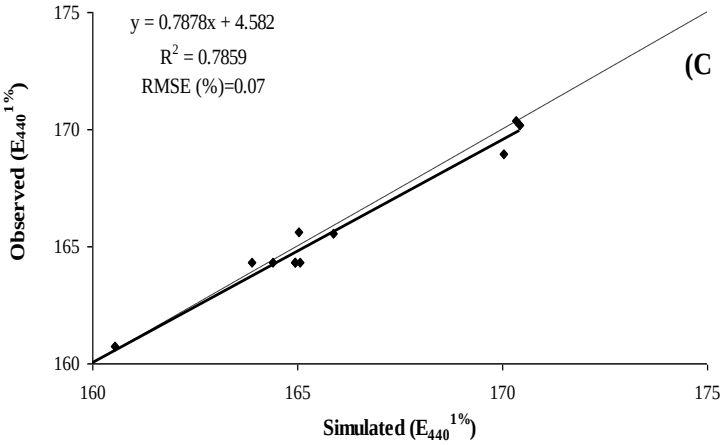
شکل ۱. مقایسه خط رگرسیون با خط ۱:۱ و RMSE برای مقادیر برازش شده و مشاهده شده در مورد (الف) تعداد گل، (ب) وزن تر گل، (ج) وزن خشک کلاله و (د) وزن خشک خامه زعفران با توجه به مدل درجه دو کامل

Fig. 1. Comparisons of the regression line with 1:1 line and RMSE (%) for observed and predicted values of (A) flower number, (B) fresh weight of flower, (C) dry weight of stigma and (D) dry weight of style of saffron based on full quadratic model



www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. مقایسه خط رگرسیون با خط ۱:۱ و RMSE برای مقادیر برازش شده و مشاهده شده در مورد محتوی (الف) پیکروکروسین، (ب) سافرانال و (ج) کروسین زعفران با توجه به مدل درجه دو کامل

Fig. 2. Comparisons of the regression line with 1:1 line and RMSE (%) for observed and predicted values of (A) picrocrocin, (B) safranal and (C) crocin contents of saffron based on full quadratic model

بر اساس نتایج سطح- پاسخ، با افزایش میزان مصرف کود دامی تا ۴۰ تن در هکتار و افزایش وزن پیاز تا ۲۰ تن در هکتار خصوصیات کمی گل شامل تعداد گل، وزن تر گل، وزن خشک کلاله و وزن خشک خامه افزایش یافت که البته شیب واکنش‌پذیری این خصوصیات از وزن پیاز به مراتب بیشتر از واکنش‌پذیری نسبت به مصرف کود دامی بود (شکل ۳) که در نتیجه افزایش وزن پیاز را می‌توان به منظور بهبود دستیابی به عملکرد بالاتر گل و کلاله به ویژه در سال‌های اولیه تولید این گیاه ارزشمند به طور ویژه‌ای مدنظر قرار داد.

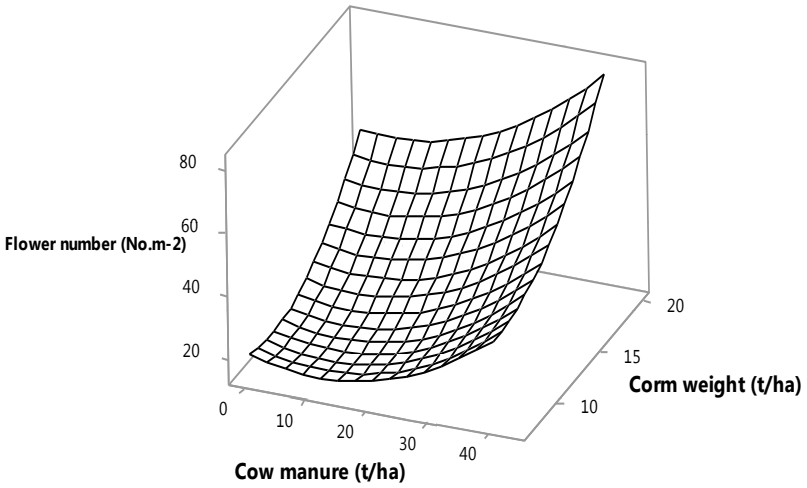
کود دامی یکی از مهمترین منابع کود آلی بوده که مصرف آن به طور ویژه‌ای در مدیریت پایدار خاک توصیه شده است. پتانسیل برگشت عناصر غذایی از طریق مصرف این کودها به خاک به ویژه در درازمدت بالا می‌باشد (Parr et al., 1996).

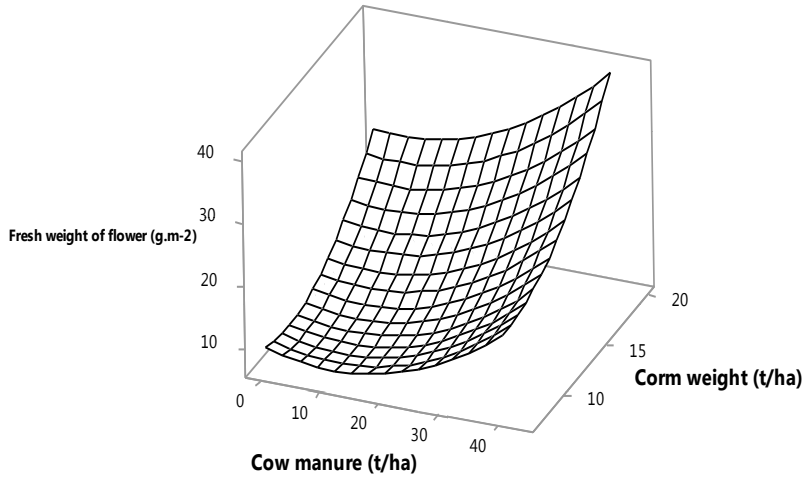
نتایج مطالعه بهدانی و همکاران (Behdani et al., 2005) نشان داد که افزودن کود دامی بدلیل بهبود طول دوره گلدهی زعفران موجب افزایش عملکرد شد. همچنین بین محتوی ماده آلی خاک و عملکرد زعفران همبستگی مثبت و بالایی وجود دارد. علاوه بر این، مواد آلی با کاهش اسیدیته و تشکیل کمپلکس‌های محلول می‌توانند سبب افزایش فراهمی عناصر کم مصرف شوند (Munshi, 1994).

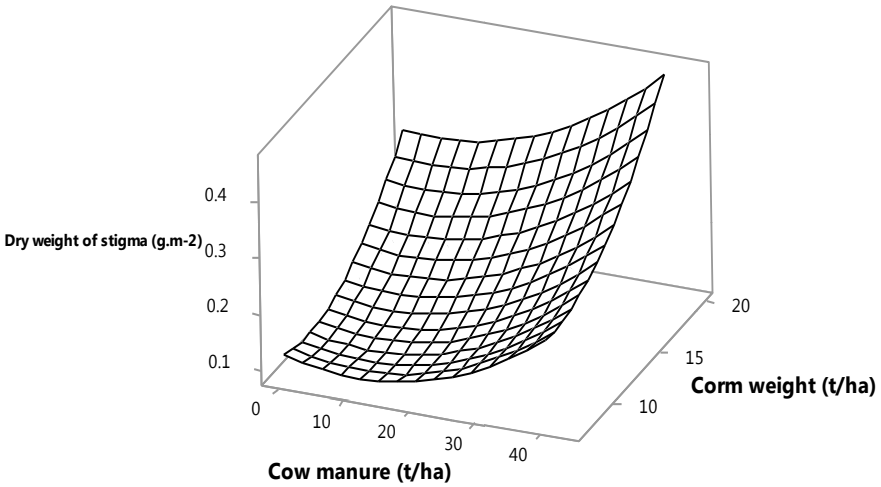
کوچکی و ثابت تیموری (Koocheki & Sabet Teimouri, 2012) در بررسی اثر سن مزرعه، اندازه پیاز و کود دامی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی زعفران، بیشترین کلاله خشک (۰/۶۲۳ گرم در متر مربع) از تیمار ۲۰ تن کود دامی در هکتار با وزن پیاز هشت تا ۱۲ گرم در مزرعه سه ساله مشاهده کردند. امیری (Amiri, 2008) طی بررسی روی اثر کود حیوانی و شیمیایی بر اجزاء عملکرد گل زعفران نشان داد که بیشترین کلاله خشک (۰/۴۵ گرم در متر مربع) از ترکیب ۲۰ تن کود گاوی در هکتار به همراه مصرف ۴۰ کیلوگرم کود اوره و ۵۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل به‌دست آمد. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که کاربرد کود دامی منجر به بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند میزان مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش عناصری مانند نیتروژن، پتاسیم و کلسیم در خاک شد. همچنین با در نظر گرفتن مواد آلی به عنوان مهم‌ترین منبع تغذیه‌ای برای فعالیت میکروارگانیسم‌های خاکزی، اعمال کود دامی می‌تواند نقش مؤثری در افزایش رشد و فعالیت این ریزموجودات مفید به ویژه در ناحیه ریزوسفر داشته باشد. نتایج دیگر مطالعه‌ای نشان داد که کاربرد ۶۰ تن کود دامی در هکتار و ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار موجب تولید ۳/۶ کیلوگرم کلاله زعفران در هکتار گردید که ۵۷٪ نسبت به شاهد برتری داشت (Kirmani, 2010).

www.SID.ir

Archive of SID

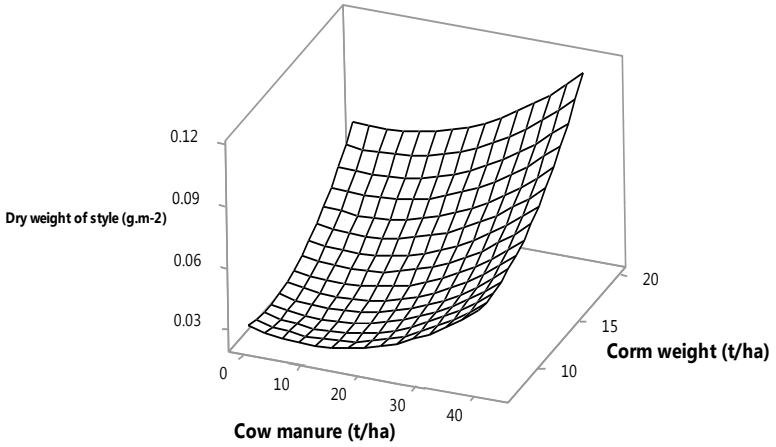






www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. سطح- پاسخ عملکرد گل زعفران نسبت به سطوح کود دامی و وزن پیاز

Fig. 3. Response- surface for flower yield of saffron affected as cow manure and corm weight levels

بر اساس نتایج سطح- پاسخ، با افزایش میزان مصرف کود دامی خصوصیات کیفی شامل محتوی کروسین، پیکروکروسین و سافرانال افزایش یافت که البته واکنش‌پذیری این صفات متفاوت بود؛ به طوری‌که برای پیکروکروسین و سافرانال این تغییرات افزایشی بصورت تابع درجه دو و برای محتوی کروسین به صورت تابع خطی بدست آمد. بر اساس نتایج سطح- پاسخ، همچنین با افزایش وزن پیاز تغییر زیادی در محتوی این صفات کیفی حاصل نشد (شکل ۴).

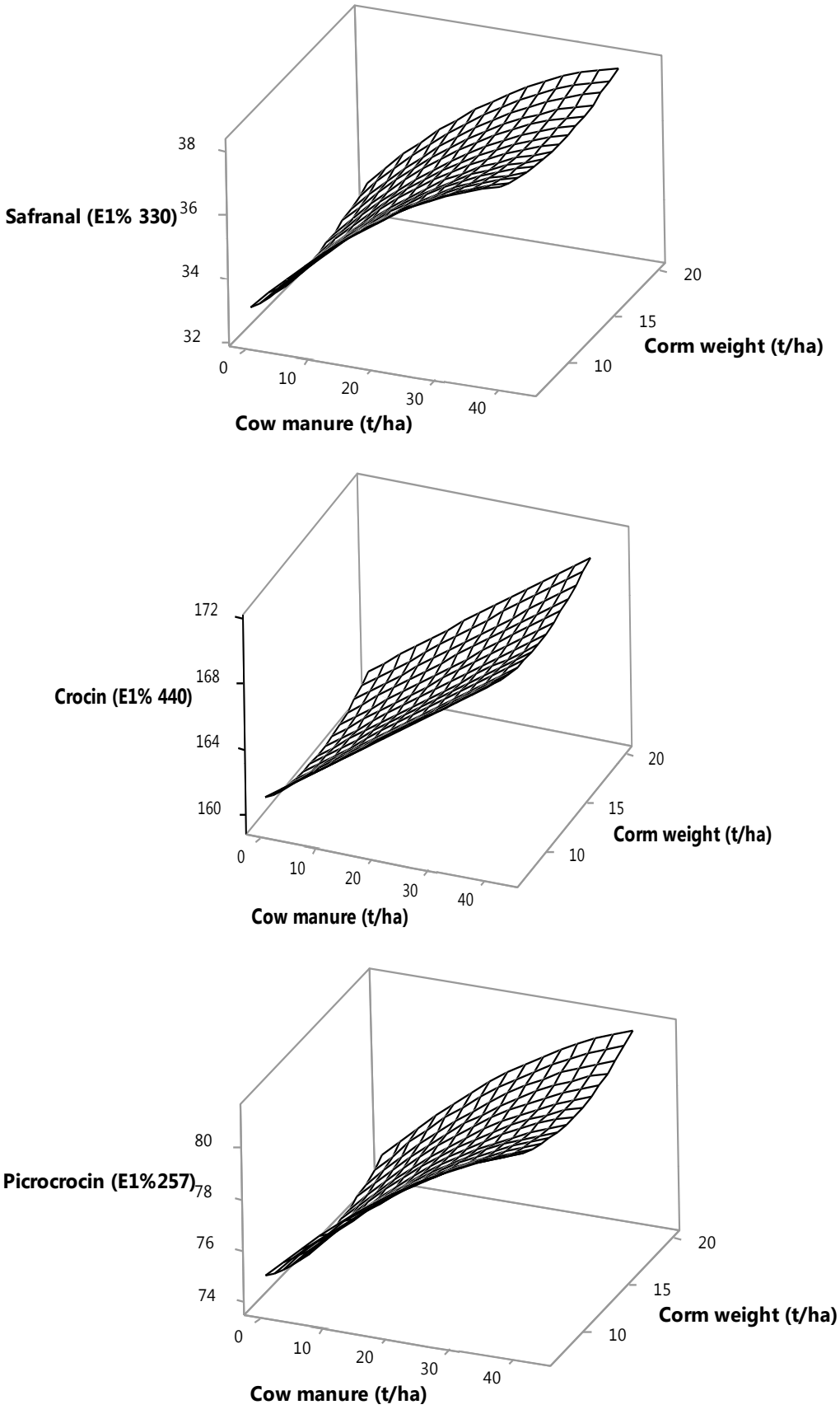
حیدری و همکاران (Heydari et al., 2004) نتیجه گرفتند مصرف کود زیستی سبب کاهش میزان پیکروکروسین و کروسین و افزایش میزان سافرانال گردید. نقدی بادی و همکاران (Naghdi Badi et al., 2011) با بررسی تغییرات میزان کروسین، پیکروسین و سافرانال و ویژگی‌های زراعی زعفران تحت تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی فسفره نتیجه گرفتند که مصرف ۱۰۰ گرم کود زیستی در هکتار بهترین تیمار از نظر میزان پیکروکروسین بود. همچنین بیشترین میزان سافرانال و کروسین در تیمار تلفیقی فسفر و ۵۰ گرم کود زیستی در هکتار حاصل شد. در آزمایش اکبریان و همکاران (Akbarian et al., 2013)، بیشترین میزان پیکروکروسین، سافرانال و کروسین کلاله (به‌ترتیب با ۶۸/۹، ۴۰/۸ و ۸۲/۸) از مصرف همزمان کود گاوی، نیتروژن و فسفر به‌دست آمد و بعد از آن در تیمار مصرف کود گاوی به تنهایی مشاهده گردید که با مصرف همزمان کود گاوی، نیتروژن و فسفر تفاوت معنی‌داری نداشت.

نتیجه‌گیری

در زراعت زعفران فراهمی متعادل عناصر غذایی بر پایه مدیریت صحیح کودی یکی از مؤثرترین عوامل در پایداری تولید این گیاه به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد؛ به طوری‌که بخش زیادی از عملکرد کمی و کیفی گل زعفران متأثر از حاصلخیزی خاک است. یکی از اصول اساسی به منظور دستیابی به تولید پایدار محصولات زراعی بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها و جلوگیری از تلفات آنها می‌باشد. با افزایش میزان مصرف کود دامی تا ۴۰ تن در هکتار و وزن پیاز خصوصیات کمی گل بهبود یافت؛ به طوری‌که بالاترین تعداد و وزن گل و کلاله برای مصرف ۴۰ تن در هکتار کود دامی و وزن پیاز ۱۳/۵ تن در هکتار بدست آمد. با افزایش میزان مصرف کود دامی خصوصیات کیفی شامل محتوی کروسین، پیکروکروسین و سافرانال افزایش یافت. بالاترین مقدار سافرانال و کروسین نیز مربوط به مصرف ۴۰ تن در هکتار کود دامی و وزن پیاز ۲۰ تن در هکتار بود. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود مصرف کود دامی به منظور بهبود خصوصیات کمی و کیفی زعفران مدنظر قرار داد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. سطح- پاسخ خصوصیات کیفی زعفران نسبت به سطوح کود دامی و وزن پیاز

Fig. 4. Response- surface for qualitative criteria of saffron affected as cow manure and corm weight levels

www.SID.ir

Archive of SID

سپاسگزاری

بودجه این تحقیق از محل اعتبار طرح پژوهه شماره ۲/۴۰۲۰۵ مورخ ۱۳۹۴/۱۲/۲۵ توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Abrishamchi, P., 2003. Investigation about some biochemical changes related to breaking of dormancy and flower formation in *Crocus sativus* L. 3rd National Symposium on Saffron. 2-3 December, Mashhad, Iran. [in Persian].

Akbarian, M.M., Heidari Sharifabad, H., Modafebehzadi, N., and Bagheripour, M.A., 2013. The effects of chemical fertilizers and cow manure on quantity and quality saffron characteristics in Dehbakri Bam region. Ann. Biol. Res. 4(6), 361-365.

Amiri, M.E., 2008. Impact of animal manures and chemical fertilizers on yield components of saffron (*Crocus sativus* L.). Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 4, 274-279.

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 Technol. 86, 769-776.

Behdani, M.A., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Rezvani Moghaddam, P., 2005. Evaluation of quantitative relationships between saffron yield and nutrition (on farm trial). Iran. J. Field Crop Res. 3(1), 1-14. [in Persian with English Summary].

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

Box, G.E.P., and Wilson, K.B., 1951. On the experiment attainment of optimum conditions. J. R. Stat. Soc. Ser. A Stat. Soc. 13, 1-45.

Ghorbani, R., and Koocheki, A., 2006. Organic saffron in Iran: prospects challenges. Proceedings of the 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran. 28-30 October 2006, p. 369-374. [in Persian].

Heydari, Z., Besharati, H., and Maleki Farahani, S., 2014. Effect of some chemical fertilizer and biofertilizer on quantitative and qualitative characteristics of saffron. J. Saffron Agron. & Technol. 2(3), 177-189. [in Persian with English Summary].

ISO/TS 3632-2., 2003. Technical Specification. *Crocus sativus* L. Saffron. Ed. ISO, Geneva, Switzerland.

Kafi, M., Rashed Mohassel, M.H., Koocheki, A., and Mollafilabi, A., 2002. Saffron, Production and Processing. Zaban va Adab Press, Iran. 276 pp. [in Persian].

Khorramdel, S., Gheshm, R., Amin Ghafori, A., and Esmaielpour, B., 2014. Evaluation of soil texture and superabsorbent polymer impacts on agronomical characteristics and yield of saffron. J. Saffron Res. 1(2), 120-135. [in Persian with English Summary].

Kirmani, S., 2010. Standardization of integrated nutrient management for saffron, Horticulture ministry mission (MM-2.22), Indian Council for agricultural Research, India.

Koocheki, A., 2003. Iranian saffron in worldwide, challenges and opportunities. Proceedings of the Third National Saffron Conference. Mashhad. Iran. [in Persian].

Koocheki, A., 2013. Research on production of saffron in Iran: Past trend and future prospects. J. Saffron Agron. & Technol. 1(1), 3-21. [in Persian with English Summary].

Koocheki, A., and Sabet Teimouri, M., 2012. Effect of age of farm, corm size and manure fertilizer on morphological criteria of saffron (*Crocus sativus* L.) under Mashhad conditions. 4th International Saffron Symposium. Kashmir, India, October 22-25.

Koocheki, A., and Seyyedi, S.M., 2015. Relationship between nitrogen and phosphorus use efficiency in saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by mother

www.SID.ir

Archive of SID

corm size and fertilization. Ind. Crop Prod. 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 Water Soil 25, 196-206. [in Persian with English Summary].

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M.B., and Fallah Poor, F., 2016. Optimization of nitrogen fertilizer and irrigation in wheat cultivation by central composite design. J. Agroecol. In Press. [in Persian with English Summary].

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Khorramdel, S., and Morid Ahmadi, S., 2017. Optimization of plant density and nitrogen use in corn (*Zea mays* L.) by central composite design. Iran. J. Field Crop Res. 15(4), 798- 810. [in Persian with English Summary].

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., and Mansouri, H., 2013a. Optimization of water, nitrogen and density in canola cultivation by central composite design. J. Agroecol. 3(1), 1-16. [in Persian with English Summary].

Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., Mollafilabi, A., and Seyyedi, S.M., 2012a. Effects of high corm planting density and applying manure on flower and corm yields of saffron (*Crocus sativus* L.). 4th International Saffron Symposium: Advanced in Saffron Biology Technology and Trade. October 22-25, Kashmir, India.

Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., Mollafilabi, A., and Seyyedi, S.M., 2013b. The effects of high corm density and manure on agronomic characteristics and corms behavior of saffron (*Crocus sativus* L.) in the second year. J. Saffron Res. 1(2), 144-155. [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. Sci. Hortic. 180, 147-155.

Koocheki, A., Tabrizi, L., Aminghafori, A., and Khorramdel, S., 2012b. Evaluation of growth characteristics and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) by application of organic planting beds and different sowing methods. Agroecol. 2(2), 16-30. [in Persian with English Summary].

Kwak, J.S., 2005. Application of Taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process. Int. J. Mach. Tool Manu. 45, 327-341.

Mansouri, H., Banayan Aval, M., Rezvani Moghaddam, P., and Lakzian A., 2015. Management of nitrogen, irrigation and planting density in Persian shallot (*Allium hirtifolium*) by using central composite optimizing method. J. Agric. Sci. Sustain. Prod. 24(1), 41-60. [in Persian with English Summary].

Molina, R.V., Renav Morata, B., Nebauer, S.G., Garcia Luis, A., and Guardiola, J.L., 2010. Greenhouse saffron culture temperature effects on flower emergence and vegetative growth the plants. Acta Hort. 850, 91-94.

Munshi, A.M., 1994. Effect of N and K on the floral yield and corm production in saffron under rainfed condition. Indian J. Arcanut Spices. 18, 24-44.

Naghdi Badi, H., Omidi, H., Golzad, A., Torabi, H., and Fotookian, M.H., 2011. Change in crocin, safranal and picrocrocin content and agronomical characters of saffron (*Crocus sativus* L.) under biological and chemical of phosphorous fertilizers. JMP. 4(40), 58-68. [in Persian with English Summary].

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. J. Saffron Agron. & Technol. 3(3), 161-177. [in Persian with English Summary].

Parr, J.F., Papendick, R.I., and Colacicco, D., 1986. Recycling of organic wastes for a sustainable agriculture. Biol. Agric. Hortic. 3, 115-130.

Rezaian, S., and Paseban, M., 2006. The effect of micronutrients and manure fertilizers on the quantity and quality of Khorasan saffron. Proceedings of the 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran, 28-30 October.

Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., Amin Ghafori, A., and Shabahang, J., 2013a. Evaluation of growth and yield of saffron

www.SID.ir

Archive of SID

(*Crocus sativus* L.) affected by spent mushroom compost and corm density. J. Saffron Res. 1(1), 13-26. [in Persian with English Summary].

Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., and Mollafilabi, A., 2016. Evaluation of soil physical and chemical characteristics impacts on morphological criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). J. Saffron Res. 32, 188-203. [in Persian with English Summary].

Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Mollafilabi, A., and Seyyedi, S.M., 2013b. Effect of biological and chemical fertilizers on replacement corm and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Iran. J. Crop Sci. 15, 234-246. [in Persian with English Summary].

Sadeghi, B., 1993. Effect of corm weight on flowering of saffron. Research and Industrial Institutes of Khorasan Publication, Iran 73 pp. [in Persian].

Sampatha, S.R., Shivashankar, S., and Lewis, Y.S., 1984. Saffron (*Crocus Sativus* L.) cultivation, processing chemistry and standardization. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 20 (2), 123-157.

Shahandeh, H., 1990. Evaluation of chemo-physical characteristics of soil due to saffron yield at Gonabad, Khorasan Park of Science and Industrial Research, Mashhad, Iran. [in Persian].

Shirani, H., Abolhasani Zeraatkar, M., Lakzian, A., and Akhgar, A., 2011. Decomposition rate of municipal wastes compost, vermi compost, manure and pistachio compost in different soil texture and salinity in laboratory condition. Water Soil 25, 84-93. [in Persian with English Summary].

Turhan, H., Kahriman, F., Egesel, C.O., and Kemal Gul, M., 2007. The effects of different growing media on flowering and corm formation of saffron (*Crocus sativus* L.). Afr. J. Biotechnol. 6, 2328-2332.

www.SID.ir

Journal of Saffron Research (semi-annual)
Vol.6, No.2, Fall & Winter, 2018-2019
p. 233-249
http://dx.doi.org/10.22077/jsr.2018.1392.1054
Archive of SID
University of Birjand

Optimization of Cow Manure Levels and Corm Weight in Saffron (*Crocus sativus* L.) by Central Composite Design

Soroor Khorramdel[1*], Parviz Rezvani Moghaddam[2], Fatemeh Moallem Banhangi[3] and Javad Shabahng[4]
1- Associate Professor, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2- Professor, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
3- PhD Student in Agroecology, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
4- PhD in Agroecology, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
*Corresponding author E-mail: khorramdel@um.ac.ir

Received 27 February 2018; Accepted 7 May 2018

Abstract

Optimization of inputs such as fertilizer consumption and corm weight are sustainable management approaches to conserve resources and mitigate environmental pollutions. Response surface methodology (RSM) is a statistical technique for optimization of multiple factors which determine optimum process conditions by combining experimental designs. In this work, optimization of cow manure and corm weight rates on flower yield, stigma yield, style weight and qualitative criteria of saffron using central composite design was done. This experiment was conducted with 13 treatments and two replications at the Research Field of Ferdowsi University of Mashhad during the growing season of 2015-2016 and 2016-2017. The treatments were allocated based on low and high levels of cow manure (0 and 40 t.ha^{-1}, respectively) and corm weight (7 and 20 t.ha^{-1}, respectively). Flower number, fresh weight of flower, dry weight of stigma, dry weight of style, stigma yield and crocin (coloring agent), picrocrocin (a specific bitter taste) and safranal (the main cause of odor) contents were calculated as dependent variables and changes of these variables were evaluated by a regression model. The quality of the fitted model was judged using the determination coefficient (R^2). The results showed that the effect of linear component was significant ($p\leq0.01$) on all studied characteristics. Effect of square component was significant ($p\leq0.01$) on all studied criteria except for crocin content. Interaction effect of full quadratic was not significant on none of these traits. The range of R^2 was calculated from 79.28 to 94.30. The highest simulated and observed values of flower number (93 and 81.36 flowers.m^{-2}, respectively) and stigma yield (0.523 and 0.46 g.m^{-2}, respectively) observed in 40 tons cow manure per ha and 13.5 tons corms per ha. The highest simulated and observed values of safranal (38.94 and 38.07 $E_{330}^{1\%}$, respectively) and crocin (170.41 and 170.36 $E_{440}^{1\%}$, respectively) contents were recorded for 40 tons cow manure per ha^{-1} and 20 tons corms per ha. The slope of flower number, fresh weight of flower, dry weight of style, dry weight of stigma and qualitative criteria enhance by an increase in cow manure up to 40 t.ha^{-1} was higher under high levels than low levels. In general, it seems that resource use optimization based on the RSM may be suitable cropping approach for sustainable production of saffron.

Keywords: Crocin, Response surface methodology, Safranal, Sustainable production

www.SID.ir