نشریه زراعت و فناوری زعفران
جلد ۸، شماره ۲،تابستان ۱۳۹۹ ص. ۱۸۴-۱۶۵

Saffron Agronomy & Technology
Vol. 8, No. 2, Summer 2020, P.165-184

مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی تأثیرمقدار بنه مادری و کمپوست زباله شهری بر عملکرد گل و بنه زعفران با استفاده از مدلسازی سطح–پاسخ در سال اول

فاطمه پارساپور[۱]، پرویز رضوانی مقدم[۲*] و سرور خرم دل[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴ اردیبهشت ۱۳۹۸ **تاریخ پذیرش:** ۲۴ شهریور ۱۳۹۸

پارساپور، ف.، رضوانی مقدم، پ.، و خرم دل، س. ۱۳۹۹. بهینه‌سازی تأثیرمقدار بنه مادری و کمپوست زباله شهری بر عملکرد گل و بنه زعفران با استفاده از مدلسازی سطح–پاسخ در سال اول. زراعت و فناوری زعفران، ۸(۲): ۱۸۴–۱۶۵.

چکیده

مدل سطح–پاسخ (RSM) مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری مورد استفاده برای بهینه‌سازی نهاده‌های تولید می‌باشد. این آزمایش با هدف بررسی تأثیر سطوح کمپوست زباله شهری و بنه بر شاخص‌های عملکرد گل زعفران با استفاده ازمدلسازی سطح–پاسخ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۷–۱۳۹۶ اجرا شد. تیمارها شامل کمپوست زباله شهری با سه سطح (۰، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) و وزن بنه مادری با سه سطح (۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) بودند، که با توجه به سطوح بالا و پایین هریک از فاکتورها توسط نرم افزار Minitab. V.17 تعیین شدند. وزن خشک کلاله، وزن خشک خامه، وزن تر گل، تعداد گل،تعداد بنه، وزن خشک بنه و تعداد جوانه در هر بنه به عنوان متغیرهای وابسته مورد اندازه-گیری قرار گرفتند و تغییرات این متغیرها با استفاده از مدل رگرسیونی ارزیابی شد. به منظور ارزیابی کیفیت و بسندگی مدل از آزمون عدم برازش و آنالیز واریانس استفاده شد. معادله چند جمله ای درجه دوم کامل برای تعیین معنی‌داری مدل و اجزای مدل و ضریب تبیین (R^2) برای ارزیابی کیفیت مدل برازش شده مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر جزء خطی بین کمپوست زباله شهری و مقدار بنه بر تمام صفات مورد مطالعه به جز وزن تر گل، وزن خشک بنه ۴–۰ گرم و تعداد جوانه در بنه‌های موجود در گروه‌های وزنیِ ۴–۰ و ۸–۴ گرم معنی‌دار بود. اثر درجه دو متغیر مستقل کمپوست زباله شهری و مقدار بنه در صفات تعداد گل، وزن ترگل، وزن خشک کلاله، وزن خشک خامه، تعداد بنه در گروه‌های وزنیِ ۴–۰، ۸–۴ و >۸ گرم، وزن خشک بنه ۸–۴ و >۸ گرم و تعداد جوانه در گروه وزنیِ>۸ گرم معنی‌دار بود. هم‌چنین برهمکنش معنی‌داری بین کمپوست زباله شهری و مقدار بنه در متغیرهای تعداد گل، وزن تر گل، وزن خشک کلاله، وزن خشک خامه، تعداد بنه در گروه‌های وزنیِ ۸–۴ و >۸ گرم، وزن خشک بنه در گروه‌های ۸–۴ و >۸ گرم و تعداد جوانه در گروه وزنیِ>۸ گرم مشاهده شد. آزمون عدم برازش در مورد هیچ‌کدام از صفات معنی‌دار نشدکه این امر نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل رگرسیون درجه دوکامل بود. بیش‌ترین تعداد گل، وزن تر گل، عملکرد کلاله خشک و هم‌چنین وزن خشک خامه مربوط به تیمار ۵ تن بنه در هکتار+۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری بدست آمد. مقدار بهینه وزن بنه، مقدار کمپوست زباله شهری و درجه مطلوبیت برای صفات مرتبط با گل به ترتیب ۵ تن در هکتار، ۲۰ تن در هکتار و d=۰/۹۲ و برای صفات مرتبط با بنه، ۱۲ تن در هکتار و ۲۰ تن در هکتار وd=۰/۹۵ محاسبه گردید. براساس نتایج حاصله، کمپوست زباله شهری و وزن بنه مادری بر اکثر صفات مربوط به بنه اثر مثبت گذاشتند.

کلمات کلیدی: آزمون عدم برازش، بنه دختری، بهینه‌سازی تولید، تولید پایدار، عملکرد بنه، عملکرد کلاله.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی اکولوژیک، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۳- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
(*- نویسنده مسئول: rezvani@um.ac.ir)

DOI: 10.22048/jsat.2019.184094.1350

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) گیاهی علفی، از نظر زراعی چندساله، بدون ساقه هوایی و دارای بنه از خانواده زنبقیان (Iridaceae)، است. بنه زعفران از نوع توپر و تقریباً کروی شکل با قطر ۳ تا ۵ سانتی‌متر و پوششی قهوه‌ای رنگ است که در زیر خاک قرار می‌گیرد. هر بنه ۶ تا ۹ برگ باریک، نظیر برگ علف چمنی تولید می‌نماید. گل زعفران معمولاً اولین اندامی است که در اوایل پاییز ظاهر می‌شود (Khademi et al., 2013). زعفران به عنوان گران‌ترین محصول کشاورزی و ادویه‌ای جهان و یکی از مهم‌ترین محصولات صادرات غیرنفتی کشور ایران به شمار می‌رود.

ایران سالانه بیش از ۳۰۰ تن کلاله ٔ خشک زعفران تولید می‌کند، به‌طوری که ۸۹ درصد سطح زیر کشت دنیا و ۹۴ درصد تولید جهانی این گیاه را در اختیار دارد (Behdani et al., 2010; Agricultural statistics, 2017).

مدیریت تغذیه گیاه از مؤثرترین راهکارهای به‌زراعی در افزایش عملکرد زعفران است (Rezvani Moghaddam et al., 2013; Koocheki et al., 2014 c). از این‌رو، بررسی مدیریت مصرف عناصر غذایی از منابع آلی و یا شیمیایی، می‌تواند الگوی مناسبی از چگونگی مصرف بهینه کودها و عناصر غذایی مورد نیاز زعفران را فراهم نماید (White &Veneklaas, 2012). فراهمی متعادل عناصر غذایی نقش بسیار مهمی در گل‌انگیزی و بهبود رشد بنه‌های زعفران ایفاء می‌کند (Behdani et al., 2005; Behdani et al., 2006; Koocheki et al., 2011; Rezvani Moghaddam et al., 2013).

با توجه به اثرات منفی مصرف نهاده‌های شیمیایی بر شاخص‌های کیفی خاک (Kizikaya, 2008) و نیز جایگاه ویژه زعفران در نظام‌های کشاورزی کم‌نهاده و پایدار(Moayedishahraki et al., 2010; Koochekiet al., 2011)، کاربرد منابع کود آلی در تولید گیاه زعفران حائز اهمیت است، بنابراین می‌توان استنباط کرد که کودهای آلی به عنوان جایگزین کودهای شیمیایی نقش مثبت و غیرقابل انکاری در مدیریت پایدار خاک و در نهایت، پایداری سیستم دارند. کاربرد کودهای آلی نقش معنی‌داری در افزایش تعداد گل و وزن خشک کلاله زعفران در واحد سطح دارند (Jahan & Jahani, 2007). هم‌چنین استفاده از کودهای آلی در گیاه زعفران، موجب افزایش وزن تر و خشک و درصد ماده خشک بنه‌ها شده و توسعه سیستم ریشه‌ای را افزایش می‌دهد که به علت افزایش محتوای رطوبت خاک و بهبود دسترسی به عناصرغذایی است (Behdani et al., 2005).

تیموری و همکاران (Teimori et al., 2013) با ارزیابی اثر کودهای آلی و شیمیایی بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و زراعی بنه زعفران بیان کردند که افزایش تعداد بنه‌های بالای هشت گرم و نیز بنه‌های کل زعفران را در نتیجه کاربرد کودهای دامی و کمپوست زباله شهری مشاهده نمودند.

درکنار مدیریت عناصر غذایی، یکی دیگر از فاکتورهای مؤثر بر عملکرد زعفران، کشت تعداد بنه مناسب در واحد سطح است. گزارش شده است که در تراکم‌های بالاتر، تعداد گل و عملکرد کلاله در واحد سطح بیشتر و متوسط وزن هر کلاله کمتر شده است (Gresta et al., 2008). همچنین انتخاب بنه‌های مادری درشت‌تر و با وزن مناسب از عوامل اصلی ظرفیت گلدهی در زعفران است (NasiriMahallati et al., 2007).

میزان عملکرد زعفران در سال اول تحت تأثیر اندازه و ذخایر بنه‌هایی است که به عنوان بذر کشت می‌شوند و این بنه‌ها با رشد و نمو خود در سال اول، سبب تولید بنه‌های دختری می‌شوند که به عنوان بذر گیاه در سال دوم محسوب خواهند شد و بنه‌های تولید شده جدید نیز به صورت پی در پی عملکرد سال‌های بعدی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Amirshekari et al.,

2007). نتایج حاصل از بررسی تأثیر وزن بنه بر زعفران مشخص شد که با افزایش اندازه بنـه، میـزان سـطح بـرگ و تولیـد مـاده خشک در طی دوره رشد زعفـران افـزایش یافتـه کـه در نهایـت منجر به تولید بیشتر بنه‌های دختری در پایان دوره رشد می‌شود (Renau-Morata et al., 2012).

یکی از روش‌های مورد استفاده جهـت بهینـه‌سـازی عوامـل مختلف، استفاده از طرح مرکب مرکزی (CCD)[1] است که نسبت به آزمایش‌های فاکتوریـل، امکـان اسـتخراج اطلاعـات و تعـداد کمتر تیمار و تکرار را فراهم می‌کند و موجب فراهم شدن امکـان تعیین ترکیب‌هـای مختلـف متغیـر مسـتقل مـی‌گـردد (Aslan, 2007).

نصـیری محلاتـی و همکـاران (NassiriMahallati et al., 2015) با بررسی اثر متقابل تراکم (۵۰ و ۲۵۰ بنه در مترمربـع) و وزن بنه (کمتـر از ۴ و ۸-۴ گـرم) زعفـران بـا اسـتفاده از طـرح مرکب مرکزی بیان داشتند که افزایش انـدازه بنـه و تـراکم اثـر مثبتی بر افزایش عملکرد اقتصادی، قطر بنه، تعداد بنـه دختـری، تعداد بنه اصلی، تعداد گل و وزن تر گل داشت. آن‌هـا هـم‌چنـین اظهار داشتند که کاشت بنه‌هایی بـا وزن متوسـط در تـراکم بـالا مناسب‌تر بوده و بر این اساس مقدار بهینه اندازه بنـه و تـراکم را به ترتیب با ۷ گرم و ۲۵۰ بنه در متر مربع برآورد نمودند.

افزایش عملکرد زعفران منوط به استفاده از بنه‌های مرغوب و درشت در سال اول است. قبادی و همکاران (Ghobadi et al., 2015) نیز برای دستیابی به حداکثر عملکرد زعفران، کاشت بنه درشت (با وزن ۱۰ گرم و بیشتر) را توصیه کردند. کمپوست زباله‌های‌شهری به‌عنوان یک کودآلی مقرون به‌صرفه باتوان مناسب و با ارزش می‌تواند به‌عنوان جایگزینی مناسب در کشاورزی پایدار و کشت آلی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار باشد (Sumner, 2000).

در این راستا، نتایج مطالعه جهان و جهانی (Jahan & Jahani, 2007) حاکی از نقش مؤثر کاربرد کودهای آلی در افزایش تعدادگل و نیز وزن کلاله خشک زعفران در واحد سطح بود. رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2013) نیز بیشترین طول و وزن خشک‌برگ زعفران را در نتیجه مصرف کمپوست بستر قارچ اعلام کردند.

بـا توجـه بـه مطالـب فـوق، بررسـی مـدیریت مصـرف عناصرغذایی می‌تواند الگوی مناسبی از چگونگی مصـرف بهینـه کودها و عناصرغذایی مورد نیاز زعفران را فراهم نمایـد، بنـابراین هدف از این تحقیق تعیـین میـزان بهینـه کـود کمپوسـت زبالـه شهری و اندازه بنه در عملکرد گل و بنـه زعفـران و بـرهمکنش این عوامل جهت تولید بالاترین عملکرد گل و بنه در شـرایط آب و هوایی مشهد با استفاده از طرح مرکب مرکزی در مزرعه یـک-ساله بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی۹۷-۱۳۹۶ در مزرعـه آموزشـی و پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشـگاه فردوسـی مشـهد واقـع در ۱۰کیلومتری شرق مشهد با عـرض جغرافیـایی ۳۶ درجـه و ۱۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجـه و ۳۶ دقیقـه شـرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا، در قالـب طـرح مرکـب مرکـزی اجرا شد.

اطلاعات هواشناسـی منطقـه مـورد مطالعـه در طـول دوره آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

1- Central Composite Design

جدول ۱- مقدار بارش ماهیانه (میلی‌متر) در دوره رشد

Table1- Monthly precipitation (mm) during the growing period

سال Year	ژانویه January	فوریه February	مارس March	آوریل April	مه May	ژوئن June	ژولای July	آگوست August	سپتامبر September	اکتبر October	نوامبر November	دسامبر December
2017	17.3	99.2	43.6	43.6	19.3	1.8	0.9	4	0.1	0	8.4	0.5
2018	1.5	36.6	44.7	33.9	57.8	2.1	0	0	0.1	41	20	0.3

ترکیب تیماری در طرح مرکب مرکزی با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

$$t = 2^K + 2K + r \quad (۱)$$

در این معادله، k: نشان دهنده تعداد فاکتور و r: تعداد تکرار تیمار درسطح میانگین می باشد (Box & Hunter, 1957; Aslan, 2007).

براین اساس، ترکیب تیماری با توجه به سطوح بالا و پایین کمپوست زباله شهری (۰ و ۲۰ تن در هکتار) و سطوح بالا و پایین وزن بنه (۵ و ۱۵ تن در هکتار) برای گیاه زعفران با استفاده از نرم‌افزار Minitab 17 تعیین شد. در مجموع ۱۳ ترکیب تیماری مشخص گردید (جدول ۲).

در مرحله آماده‌سازی زمین و پیش از کاشت، نمونه‌ای مرکب از ۴ نقطه مختلف از قطعه زمین مورد آزمایش از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری به صورت تصادفی تهیه و جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به آزمایشگاه ارسال شد که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲ - ضرایب و مقادیر تیمارها با توجه به طرح مرکب مرکزی

Table 2- Rates and coefficients for treatments based on central composite design

تیمار Treatment	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
مقدار بنه Corm weight ($t.ha^{-1}$)	5	10	10	15	10	5	10	15	10	15	10	5	10
کمپوست زباله شهری Urban compost ($t.ha^{-1}$)	0	10	10	20	0	20	10	10	10	0	10	10	20

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 3- Physical and chemical properties of the soil

بافت Texture	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن N (%)	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.cm^{-1}$)	شاخص واکنش pH
لوم رسی شنی Sandy clay loam	0.57	14.09	0.50	0.64	0.57	7.85

۲۶ کرت آزمایشی، شامل ده ردیف با فواصل روی ردیف ۲۰ سانتی‌متری بود. فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت بنه‌ها به صورت دستی در ۱۵ شهریور درعمق ۱۵ سانتی‌متری انجام شد. پیش از کاشت، کمپوست زباله شهری به زمین اضافه و با لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری مخلوط شد. نتایج آنالیز کود کمپوست زباله شهری در جدول ۴ ارائه شده است. آبیاری زعفران طی چهار مرتبه و با حجم ۱۲ مترمکعب انجام شد. عملیات سله‌شکنی زمین نیز با شن‌کش با هدف تسهیل در

خروج گل‌ها انجام پذیرفت. عملیات مبارزه با علف‌های هرز به صورت وجین دستی در دو نوبت بهمن ماه و فروردین ماه انجام شد.برداشت دستی گل‌ها در ششم آبان ماه سال ۱۳۹۶ به صورت روزانه و عملیات برداشت بنه‌ها از سطحی معادل ۱۸۰۰ سانتی‌متر مربع در ۲۸ اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ انجام شد. صفات اندازه‌گیری شده شامل تعداد گل، وزن تر گل، وزن خشک کلاله، وزن خشک خامه از سطحی معادل ۴ مترمربع و هم‌چنین تعداد ووزن بنه‌های دختری در سه گروه‌وزنی (۴-۰، ۸-۴ و >۸ گرم) و تعداد جوانه‌ها در بنه از سطحی معادل ۱۸۰۰ متر مربع بودند.

جدول ٤- خصوصیات شیمیایی کود کمپوست زباله شهری

Table 4- Chemical properties of the urban compost

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.cm^{-1}$)	ماده آلی Organic matter (٪)	کربن آلی Organic carbon (٪)	نیتروژن کل Total Nitrogen (٪)	پتاسیم قابل دسترس Available Potassium ($mg.kg^{-1}$)
6-8	7.1	45	25	1.5	0.5

به منظور انتخاب مدل مناسب، مدل درجه دو کامل با اثرات متقابل بین فاکتورها برازش داده شده (معادله ۲) و سپس بر اساس معیارهای آماری تجزیه رگرسیون (مقادیر F، P value و R) و آزمون عدم برازش بهترین مدل انتخاب شد.

$$Y=a_0+a_1X_1+a_2X_2+a_3X_1^2+a_4X_2^2+a_5X_1X_2 \quad (۲)$$

که در این معادله، Y: متغیر وابسته بوده و با توجه به عملکرد زعفران به صورت جداگانه محاسبه شد.

X_1: متغیر مستقل کودکمپوست زباله شهری؛ X_2: متغیر مستقل اندازه بنه و a_0 تا a_5 ضرایب معادله می‌باشند. در نهایت، نتایج برازش‌شده با داده‌های مشاهده‌شده مورد مقایسه قرار گرفت و اعتبار مدل‌های رگرسیون با استفاده از آزمون‌های آماری میانگین جذر مربعات خطا (معادله۳) و مقایسه رگرسیون خطی با خط یک به یک ارزیابی شد.

$$RMSE\ (\%)=\frac{100}{\bar{o}}*\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Pi-Oi)^2}}{n} \quad (۳)$$

که در این معادله، $\bar{o}$: میانگین مشاهدات،Pi: مقادیر برازش شده و O_i: مقادیر مشاهده شده می‌باشد.

هم‌چنین برای ارزیابی مدل از نمودار مقادیر مشاهده شده در برابر مقادیر برازش شده استفاده شد (معادله ۴).

$$Pi = a + bOi \quad (۴)$$

که در این معادله a و b، به ترتیب عرض از مبدأ و شیب خط رگرسیون وPi : مقادیر پیش‌بینی شده و O_i: مقادیر مشاهده شده می‌باشند.

مدل بهینه‌سازی سطوح فاکتورها به صورت گرافیکی و براساس روش مورد استفاده در نرم‌افزار MinitabV.17 برروی کلیه صفات تحت بررسی انجام شد، سطوح بهینه فاکتورها براساس میزان مطلوبیت[1](d) انتخاب گردید. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارMinitabV.17 تجزیه و تحلیل و نمودارهای مربوطه با کمک نرم‌افزارExcel۲۰۱۶ ترسیم شد.

نتایج و بحث

انتخاب مدل رگرسیون

نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دو کامل با اثر متقابل برای هرکدام از متغیرهای وابسته مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که تمام جمله‌های مدل رگرسیونی برای تمام صفات بجز وزن خشک بنه در گروه وزنیِ ۴-۰ گرم و تعداد جوانه در گروه‌های وزنیِ ۴-۰ و ۸-۴ گرم براساس آزمون F در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود

1- Desirability

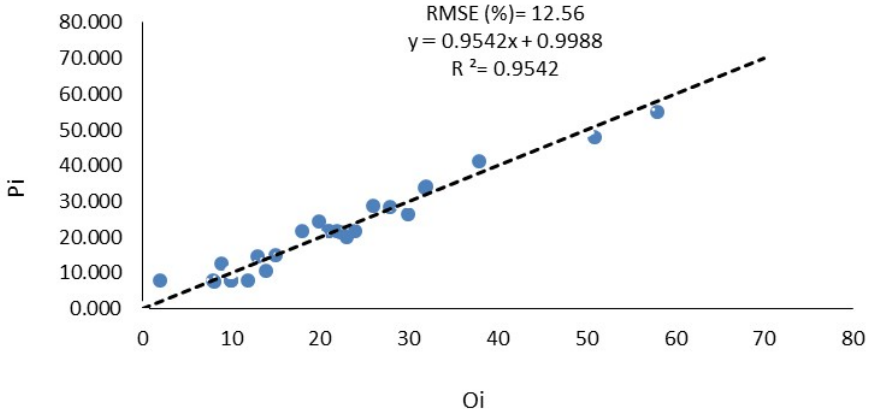
(جدول ۵).

اثر جزء خطی بین کمپوست زباله شهری و مقدار بنه بر تمام صفات مورد مطالعه به جز وزن تر گل، وزن خشک بنه در گروه وزنیِ ۴-۰ گرم و تعداد جوانه در گروه‌های وزنیِ ۴-۰ و ۸-۴ گرم معنی‌دار بود. اثر درجه دو متغیر مستقل کمپوست زباله شهری و مقدار بنه در صفات تعداد گل، وزن ترگل، وزن خشک کلاله، وزن خشک خامه، تعداد بنه در گروه‌های وزنیِ ۴-۰، ۸-۴ و >۸ گرم، وزن خشک بنه در گروه‌های وزنیِ ۸-۴ و >۸ گرم و تعداد جوانه در گروه وزنیِ >۸ گرم معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر متقابل معنی‌داری بین کمپوست زباله شهری و مقدار بنه در متغیرهای تعداد گل، وزن تر گل، وزن خشک کلاله، وزن خشک خامه، تعداد بنه در گروه‌های وزنیِ ۸-۴ و >۸ گرم، وزن خشک بنه در گروه‌های وزنیِ ۸-۴ و >۸ گرم و تعداد جوانه در گروه وزنیِ>۸ گرم مشاهده شد. آزمون عدم برازش در مورد هیچ‌کدام از صفات معنی‌دار نشدکه این امر نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل رگرسیون درجه دوکامل بود (جدول ۵).

تعیین اعتبار مدل رگرسیون

تعداد گل

بیش‌ترین مقدارمشاهده شده تعداد گل (۵۸ گل در متر مربع) برای تیمار ۵ تن بنه در هکتار+۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و بیش‌ترین مقدار برازش شده تعداد گل (۵۴ گل در متر مربع) برای تیمار ۵ تن بنه در هکتار+۲۰تن در هکتار کمپوست زباله شهری بدست آمد. هم‌چنین کم‌ترین مقدار مشاهده شده تعداد گل (۲ گل در متر مربع) برای ۱۰ تن بنه در هکتار+ ۱۰ تن در در هکتار کمپوست زباله شهری و کمترین مقدار پیش‌بینی شده تعداد گل (۷/۴۷ گل در متر مربع) برای تیمار ۱۵ تن بنه در هکتار+ ۲۰تن در هکتار کمپوست زباله شهری بدست آمد. مقدار پایین RMSE نشان‌دهنده پیش‌بینی خوب مدل می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- معادله خط رگرسیون مقادیر پیش‌بینی شده (Pi) و مشاهده شده (Oi) در مورد تعداد گل زعفران (تعداد در متر مربع) و درصد RMSE براساس مدل رگرسیون درجه دو کامل

Figure 1- Equation of the regression line for predicted (Pi) and observed (Oi) of flower number of saffron (m^{-2}) and RMSE percent based on full degree regression model.

بیش‌ترین تعداد گل (۵۸ گل در متر مربع) برای تیمار ۵ تن بنه در هکتار+۲۰تن در هکتارکمپوست زباله شهری بدست آمد (شکل ۲). رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2013) با مطالعه ارزیابی رشد و عملکرد زعفران تحت تأثیر کمپوست بستر قارچ و تراکم بنه بیان کردند که با افزایش تراکم از ۵۰ به ۱۵۰ بنه در مترمربع، تعداد گل ۵۳ درصد کاهش

یافت، با توجه به کاهش رشد اندام‌های هوایی و زیرزمینی زعفران در شرایط افزایش تراکم بنه، کاهش تولید گل منطقی بنظر می‌رسد. نتایج مطالعه دکورا و همکاران (Dokora et al., 2002) در بررسی اثر تراکم کاشت بر تعداد گل پیازهای لاله (*Tulip pulchella*) نشان داد که با افزایش تراکم کاشت، تعداد گل پیازهای تولیدی کاهش می‌یابد.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مدل رگرسیونی درجه دو کامل برای شاخص‌های عملکرد گل زعفران

Table 5- Analysis of variance (mean of squares) for the full quadratic regression model of flower yield indices of saffron

منابع تغییر Source	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares			
		تعداد گل Number of flowers	وزن تر گل Fresh weight of flower	وزن خشک کلاله Dry weight of stigma	وزن خشک خامه Dry weight of style
مدل Model	6	679.35**	6.5173**	0.007279**	0.000095**
تکرار Replication	1	1234.41**	8.8418**	0.011279**	0.000127**
خطی Linear	2	43.76*	0.7450ns	0.01121**	0.000014**
مقدار بنه Corm weight	1	76.36*	0.0621ns	0.000052ns	0.000027**
کمپوست زباله شهری Urban compost	1	11.16ns	1.4278*	0.002190**	0.000002ns
درجه ۲ Square	2	558.69**	7.1157**	0.010001**	0.000085**
مقدار بنه × مقدار بنه Corm weight×Corm weight	1	528.45**	4.5030**	0.015102**	0.000099**
کمپوست زباله شهری × کمپوست زباله شهری Urban compost× Urban compost	1	187.17**	4.3075**	0.000320ns	0.000016**
اثر متقابل Interaction	1	1636.78**	14.5409**	0.010148**	0.000247**
مقدار بنه × کمپوست زباله شهری Corm weight× Urban compost	1	1636.78**	14.5409**	0.010148**	0.000247**
خطا Error	19	10.29	0.2642	0.000076	0.000001
عدم برازش Lack-of-Fit	11	10.68ns	0.3668ns	0.000063ns	0.000001ns
خطای خالص Pure error	8	9.75	0.1232	0.000095	0.000001
RMSE (%)		12.56	19.92	9.53	12.59
کل Total	25	-	-	-	-
ضریب تغییرات C.V. (%)		0.57	9.05	41.98	14.13

ns، * و **: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

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

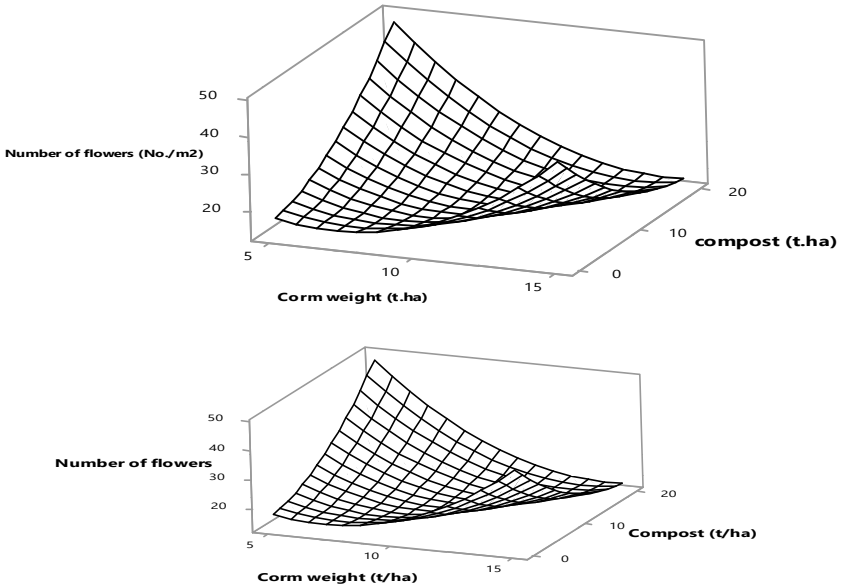
ادامه جدول۵- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مدل رگرسیونی درجه دو کامل برای شاخص‌های عملکرد بنه زعفران

Continue Table 5- Analysis of variance (mean of squares) for the full quadratic regression model of corm yield indices of saffron

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares								
		تعداد بنه دختری Number of daughter corms			وزن خشک بنه Dry weight of corm			تعداد جوانه در بنه Number of buds per corm		
		0-4g	4-8g	8<g	0-4g	4-8g	8<g	0-4g	4-8g	8<g
مدل Model	6	2032042146**	1232065**	6.2330**	0.000013ns	117.933**	41617494**	0.118044ns	64.755ns	12.1290**
تکرار Replication	1	110465748ns	230.29ns	0.0423ns	0.000000ns	45.177**	2261124ns	0.000053ns	7.289ns	1.1104ns
خطی Linear	2	2452358904**	927.96*	3.8897**	0.000013ns	208.806**	54689885**	0.112708ns	128.465ns	24.5079**
مقدار بنه Corm weight	1	3182197761**	1831.75**	7.2985**	0.000026ns	414.494**	109375349**	0.002217ns	228.994*	48.0360**
کمپوست زباله Urban compost	1	1722520047*	24.17ns	0.4808ns	0.000000ns	3.118ns	4421ns	0.223199ns	27.936ns	0.9798ns
درجه ۲ Square	2	3569510419**	2034.09**	11.8995**	0.000019ns	100.152**	48566442**	0.230044ns	43.570ns	10.1785**
مقدار بنه × مقدار بنه Corm weight×Corm weight	1	91766325ns	3227.09**	23.6316**	0.000001ns	136.976**	97099329**	0.435402*	86.144ns	19.3103**
کمپوست زباله × کمپوست زباله Urban ×Urban compost compost	1	6604346221**	2347.95**	4.9739**	0.000028ns	8.406ns	12848623*	0.157325ns	6.830ns	0.5301ns
اثر متقابل 2-Way interaction	1	38048486ns	1241.51*	5.7771**	0.000013ns	44.506**	40931188**	0.022706ns	37.172ns	2.2909*
مقدار بنه × کمپوست زباله Corm weight× Urban compost	1	38048486ns	1241.51*	5.7771**	0.000013ns	44.506**	40931188**	0.022706ns	37.172ns	2.2909*
خطا Error	19	269702695	201.87	0.5892	0.000015	1.980	1614919	0.072052	41.215	0.3608
عدم برازش Lack-of-fit	11	217696625ns	208.39ns	0.5360ns	0.000011ns	1.982ns	1489762ns	0.057602ns	48.265ns	0.3990ns
خطای خالص Pure error	8	341211042	192.89	0.6625	0.000019	1.977	1787008	0.091914	31.520	0.3082
(RMSE) (%)		18.13	20.37	23.07	6.66	2.49	7.36	14.15	16.23	8.85
کل Total	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات C.V. (%)		0.08	0.34	0.77	0.33	0.042	0.082	7.99	3.78	1.52

ns، *و**: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and **: represent non-significant and significant at 1% probability levels, respectively.



شکل ۲- مدل سطح پاسخ تعداد گل زعفران (تعداد در متر مربع) تحت تأثیر مقادیر مختلف بنه و کمپوست زباله شهری

Figure 2- Response surface model for flower number of saffron (number per m^2) affected as corm weight and compost rate.

عملکرد گل

بیش‌ترین مقدار مشاهده شده عملکرد گل با ۵/۸۰۵ گرم در متر مربع برای ۵ تن بنه در هکتار+ ۲۰ تن در هکتارکمپوست زباله شهری و بیش‌ترین مقدار برازش شده وزن ترگل با ۵/۵۱۶ گرم در متر مربع برای تیمار ۵ تن بنه در هکتار+ ۲۰تن در هکتار کمپوست زباله شهری بدست آمد. هم‌چنین کم‌ترین مقدار مشاهده شده وزن ترگل با ۰/۱۶۵ گرم در متر مربع برای ۱۰تن بنه در هکتار+ ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و کم‌ترین مقدار پیش‌بینی شده وزن تر گل با ۰/۷۹۸ گرم در متر مربع برای تیمار ۱۰تن بنه در هکتار+ ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری بدست آمد. مقدار پایینRMSE نشان‌دهنده پیش‌بینی خوب مدل می‌باشد (شکل ۳).

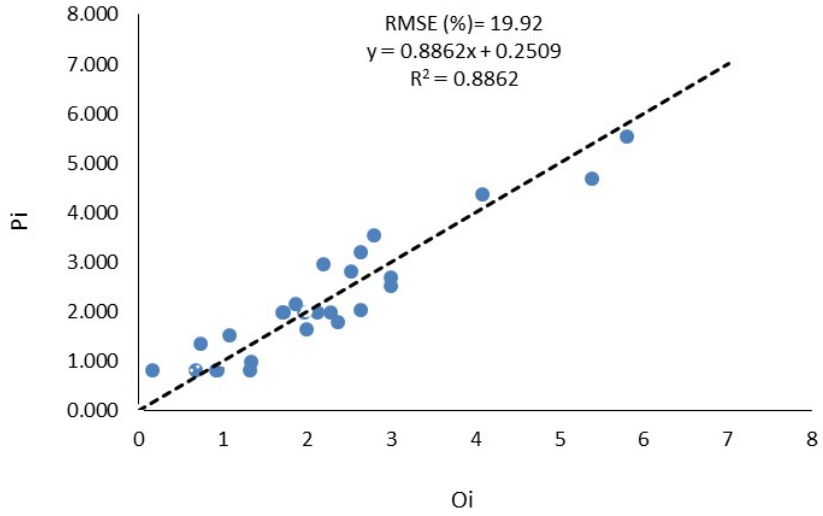
حداکثرعملکرد گل بدست آمده با ۵/۸۰۵ گرم در مترمربع برای تیمار ۵ تن بنه در هکتار+ ۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری مشاهده شد (شکل ۴). افزایش تراکم بنه از ۵ تن به ۱۰ تن منجر به کاهش ۹۷ درصدی وزن تر گل شد، به نظر می‌رسد که با افزایش تراکم به دلیل افزایش رقابت، وزن تر گل گیاه کاهش یافت. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2013) نیز در این راستا بیان داشتند که هدف از کاشت گیاه ارزشمند زعفران، تولید گل به عنوان اندام اقتصادی می‌باشد و افزایش تراکم باعث می‌شود تا بنه‌ها فضای کمتری در اختیار داشته باشد که این امر به دلیل کاهش رشد، کاهش تولید گل و در نتیجه کاهش عملکرد آن را تحت تأثیر افزایش رقابت موجب می‌شود، لذا استفاده از تراکم‌های مناسب می‌تواند نقش مؤثری بر بهبود رشد و به تبع آن پتانسیل گل-دهی زعفران داشته باشد.

عملکرد کلاله

بیشترین مقدار مشاهده شده عملکرد کلاله خشک با ۰/۰۵۵گرم در متر مربع برای تیمار ۵ تن بنه در هکتار+ ۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و بیشترین مقدار برازش شده وزن خشک کلاله با ۰/۰۵۷ گرم در متر مربع برای تیمار ۵ تن بنه در هکتار+۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری بدست آمد. هم‌چنین کمترین مقدار مشاهده شده وزن خشک کلاله با

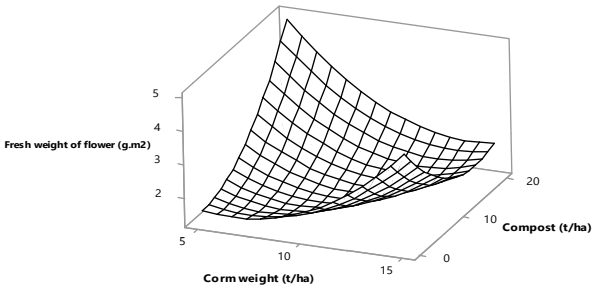
۰/۰۰۶ گرم در متر مربع برای ۱۰ تن بنه در هکتار + ۱۰ تـن در هکتار کمپوست زباله شهری و کمترین مقـدار پـیش‌بینـی شـده وزن خشک کلاله با ۰/۰۰۷ گرم در متر مربع برای تیمار ۱۰ تـن بنه در هکتار+ عدم مصرف کمپوست زباله شـهری بدسـت آمـد. مقدار پایین RMSE نشان‌دهنده پیش‌بینی خوب مدل مـی‌باشـد (شکل ۵).

بیشترین وزن خشک کلاله با ۰/۰۵۵ گرم در متر مربع بـرای ۵ تن بنه در هکتـار+ ۲۰ تـن در هکتارکمپوسـت زبالـه شـهری بدست آمد (شکل۶). بر خلاف نتـایج بدسـت آمـده، خـرم دل و همکاران (Khorramdel et al., 2018) بیان کردند که بیشـترین میزان مشاهده شده و پیش‌بینی شـده وزن خشـک کلالـه بـرای مصرف ۴۰ تن در هکتار کود دامی و وزن بنه ۱۳/۵ تن در هکتار به ترتیب با ۰/۵۲۳ و ۰/۴۶ گرم در متر مربع حاصل شد.



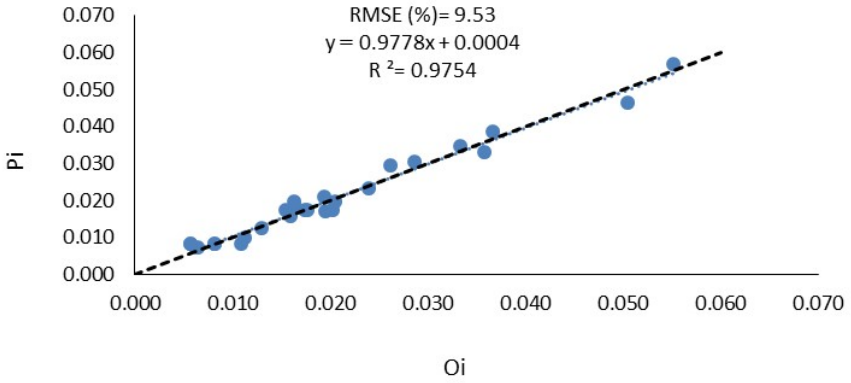
شکل ۳- معادله خط رگرسیون مقادیر پیش‌بینی شده (Pi) و مشاهده شده (Oi) در مورد وزن تر گل زعفران (گرم در متر مربع) و درصد RMSE براساس مدل رگرسیون درجه دو کامل

Figure 3- Equation of the regression line for predicted (Pi) and observed (Oi) of flower fresh weight of saffron ($g.m^{-2}$) and RMSE percent based on full degree regression model.



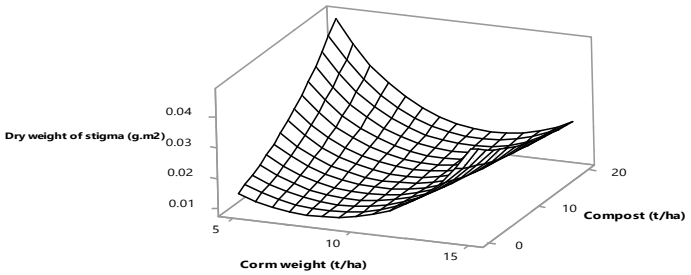
شکل ٤- مدل سطح پاسخ وزن تر گل زعفران تحت تأثیر مقادیر مختلف بنه و کمپوست زباله شهری

Figure 4- Response surface model for flower fresh weight of saffron affected as corm weight and compost rate.



شکل ۵- معادله خط رگرسیون مقادیر پیش‌بینی شده (Pi) و مشاهده شده (Oi) در مورد وزن خشک کلاله زعفران (گرم در متر مربع) و درصد RMSE براساس مدل رگرسیون درجه دو کامل

Figure 5- Equation of the regression line for predicted (Pi) and observed (Oi) of stigma dry weight of saffron ($g.m^{-2}$) and RMSE percent based on full degree regression model.



شکل ٦- مدل سطح پاسخ وزن خشک کلاله زعفران تحت تأثیر مقادیر بنه و کمپوست زباله شهری

Figure 6- Response surface model forstigma dry weight of saffron affected as corm weight and urban compost rates.

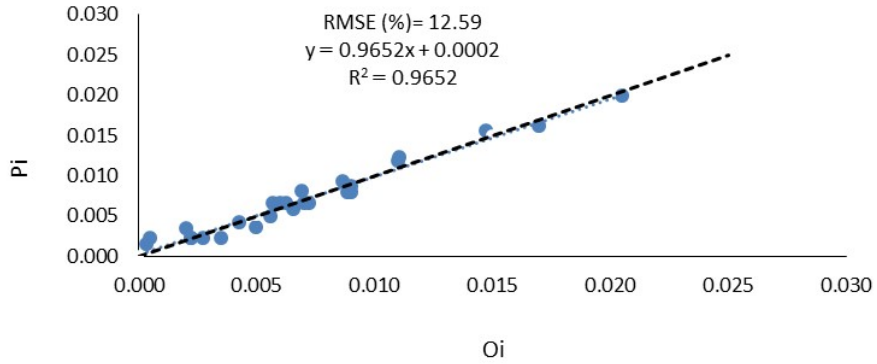
به نظر می‌رسد که با توجه به وجود ضریب همبستگی ۹۹درصد بین وزن تر گل و وزن خشک کلاله، افزایش تراکم با کاهش وزن تر گل سبب کاهش وزن خشک کلاله شده است، که این نتایج با یافته‌های رضوانی مقدم و همکاران (RezvaniMoghaddam et al., 2015) تطابق دارد. افزایش تراکم از ۵ به ۱۰ تن بنه در هکتار منجر به کاهش ۸۹ درصدی در وزن خشک کلاله شد. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2013) نیز با افزایش بنه از ۵۰ به ۱۵۰ بنه در متر مربع کاهش ۱۲ درصدی در وزن خشک کلاله را گزارش کردند.

کمپوست زباله شهری تأثیر مستقیمی بر عملکرد کلاله در سال اول نداشت. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که عملکرد گل زعفران در سال اول(سال کاشت) در ارتباط مستقیم با اندوخته غذایی است، لذا فراهمی عناصر غذایی در خاک به ویژه در اثر مصرف کودهای زیستی از اهمیت چندانی برخوردار نمی‌باشد (NassiriMahallati et al., 2007; Rezvani Moghaddam et al., 2013).

وزن خشک خامه

بیش‌ترین مقدار مشاهده شده وزن خشک خامه با ۰/۰۲۱ گرم در متر مربع برای تیمار ۵ تن بنه در هکتار+ ۲۰تن در هکتار کمپوست زباله شهری و بیش‌ترین مقدار برازش شده وزن ترخامه با ۰/۰۲۰ گرم در متر مربع برای ۵ تن بنه در هکتار+ ۲۰تن در هکتار کمپوست زباله شهری بدست آمد. هم‌چنین کم-

ترین مقدار مشاهده شده وزن خشک خامه با ۰/۰۰۰۴ گرم در متر مربع برای ۱۵تن بنه در هکتار+ ۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و کم‌ترین مقدار پیش‌بینی شده وزن خشک خامه با ۰/۰۰۱ گرم در متر مربع برای تیمار ۱۵ تن بنه در هکتار+ ۲۰تن در هکتار کمپوست زباله شهری بدست آمد. مقدار پایین RMSE نشان‌دهنده پیش‌بینی خوب مدل می‌باشد (شکل ۷).

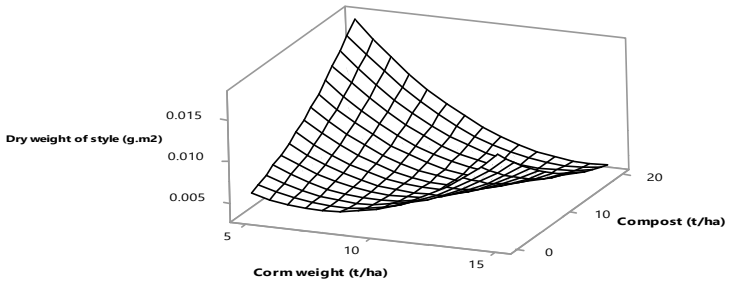


شکل ۷- معادله خط رگرسیون مقادیر پیش‌بینی شده (Pi) و مشاهده شده (Oi) در مورد وزن خشک خامه زعفران (گرم در متر مربع) و درصد RMSE براساس مدل رگرسیون درجه دو کامل

Figure 7- Equation of the regression line for predicted (Pi) and observed (Oi) of style dry weight of saffron ($g.m^{-2}$) and RMSE percent based on full degree regression model.

صفت وزن خشک خامه با مقدار ۰/۰۲۱گرم در متر مربع برای تیمار ۵ تن بنه در هکتار+ ۲۰تن در هکتار کمپوست زباله شهری بیشترین مقدار بدست آمد (شکل ۸).

افزایش تراکم از ۵ به ۱۵ تن بنه در هکتار منجر به کاهش ۹۸ درصدی در وزن خشک خامه شد. به نظر می‌رسد که افزایش تراکم از طریق تشدید رقابت درون گونه‌ای برای جذب منابع و فضا بین بوته‌های زعفران باعث کاهش وزن خامه شده است که با نتایج معلم و همکاران مطابقت داشت (Moallem et al., 2019).



شکل ۸- مدل سطح پاسخ وزن خشک خامه زعفران تحت تأثیر مقادیر مختلف بنه و کمپوست زباله شهری

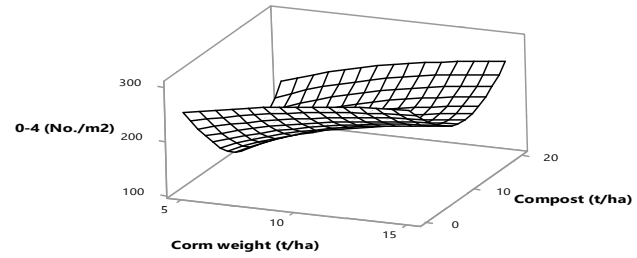
Figure 8- Response surface model for style dry weight of saffron affected as corm weight and urban compost rates.

تعداد بنه دختری

بیشترین تعداد بنه‌های دختری مشاهده شده از گروه وزنی

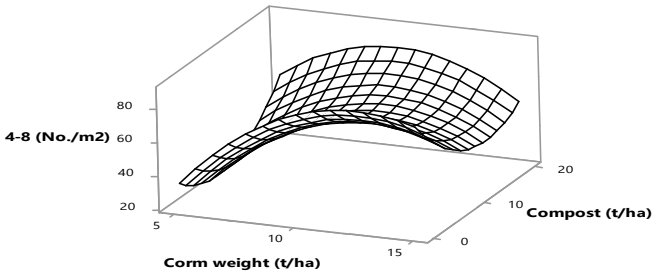
۴-۰گرم با ۳۰۰/۰۱ بنه در مترمربع برای تیمار ۱۰تن بنه درهکتار+ عدم مصرف کمپوست زباله شهری بدست آمد. هم-چنین کمترین تعداد بنه‌های دختری مشاهده شده از گروه‌های-وزنیِ ۸ -۴ و >۸ گرم با ۴/۱۷ بنه درمترمربع برای تیمار ۵ تن بنه در هکتار+۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری بدست آمد. بیشترین مقدار پیش‌بینی شده تعداد بنه‌های دختری از گروه وزنیِ ۴-۰گرم با ۳۰۲/۹۱۹ بنه در مترمربع برای تیمار ۱۵ تن بنه در هکتار+ عدم مصرف کمپوست زباله شهری بدست آمد. هم‌چنین کمترین مقدار پیش‌بینی شده تعداد بنه‌های دختری از گروه وزنیِ > ۸ گرم با ۷/۷۹۴ بنه در مترمربع برای تیمار ۵ تن بنه در هکتار+ عدم مصرف کمپوست زباله شهری به‌دست آمد. همان‌گونه که بیان شد، بیشترین تعداد بنه برای تیمار ۱۰ تن بنه در هکتار+ عدم مصرف کمپوست زباله شهری بدست آمد (شکل ۹). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) در پژوهشی روی اثر تراکم بر روی شاخص‌های بنه زعفران نشان دادند که کمترین و بیشترین تعداد بنه‌های دختری در تراکم ۱۰۰ و ۴۰۰ بنه در متر مربع به دست آمد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2011) در مطالعه دیگری بیان کردند با افزایش تراکم بنه، تعداد بنه‌های دختری در واحد سطح ۳۰/۱۸٪ افزایش یافت. با در نظر گرفتن دوره زمانی در حدود یک سال از کاربرد کود کمپوست زباله شهری تا برداشت بنه‌های دختری و در نتیجه فرصت کافی جهت آزاد شدن عناصر غذایی از موادآلی و تبدیل به شکل قابل جذب برای زعفران، می‌توان اظهار داشت که پایین بودن اندازه بنه‌های دختری در سال اول تحت تأثیر کمبود عناصر غذایی در خاک نبوده، بلکه مرتبط با خصوصیات مورفولوژیک و یا فیزیولوژیک زعفران است. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2013a) بیان نمودند که مصرف کودهای آلی و یا زیستی در سال‌های ابتدایی پس از کاشت بنه، به جای افزایش اندازه بنه، منجر به افزایش تعداد بنه‌های دختری در خاک می‌شود. با توجه به ارتباط مستقیم بین اندازه بنه و عملکرد تولیدی زعفران (NassiriMahallati et al., 2007) به نظر می‌رسد که بنه‌های تولید شده در سال اول کشت، ممکن است جهت کاشت چندان مناسب نباشند. از این‌رو می-توان اظهار داشت که در سال‌های ابتدایی رشد بنه، فراهمی بیشتر موادآلی، تعداد بنه دختری در خاک را افزایش داده و اثر کمتری بر افزایش وزن بنه‌های دختری دارد.

سطح پاسخ تغییرات گروه‌های وزنیِ مختلف تعداد بنه با توجه به متغیرهای مستقل (مقدار بنه و سطح کمپوست زباله شهری) در شکل های ۹ تا ۱۱ ارائه شده است.



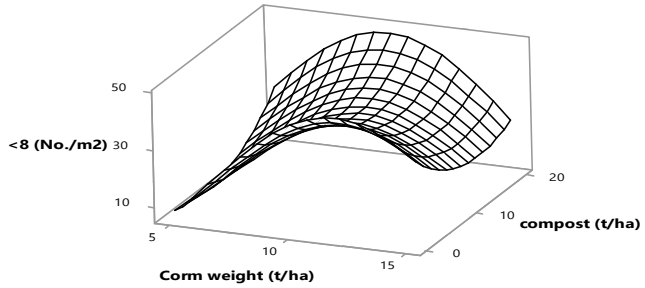
شکل ۹- سطح پاسخ تعداد بنه‌های دختری (٤-۰ گرم) زعفران تحت تأثیر مقادیر مختلف بنه و کمپوست زباله شهری

Figure 9- Response surface model for daughter corm number of saffron (0-4g) affected as corm weight and urban compost rates.



شکل ۱۰- سطح پاسخ تعداد بنه‌هایدختری (۸-٤ گرم) زعفران تحت تأثیر مقادیر مختلف بنه و کمپوست زباله شهری

Figure 10- Response surface model for daughter corm number of saffron (4-8g) affected as corm weight and urban compost rates.



شکل ۱۱- سطح پاسخ تعداد بنه‌های دختری (<۸ گرم) زعفران تحت تأثیر مقادیر مختلف بنه و کمپوست زباله شهری

Figure 11- Response surface model for daughter corm number of saffron (>8g) affected as corm weight and urban compost rates.

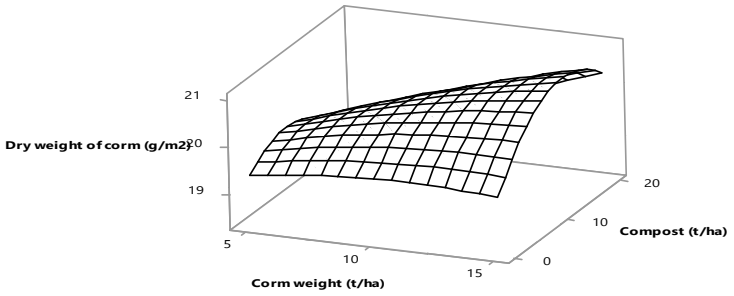
وزن خشک بنه‌های دختری

بیشترین وزن خشک بنه‌های دختری مشاهده شده از گـروه وزنیِ <۸ گرم با ۱۱۰/۴۱ گرم در مترمربع برای تیمار ۱۰تن بنـه درهکتار+ ۱۰ تن در هکتارکمپوست زبالـه شـهری بدسـت آمـد. هم‌چنین کمترین وزن خشک بنه‌های دختـری مشـاهده شـده از گروه وزنیِ ۴-۰گرم با ۱۷/۱۵ گرم در مترمربع برای تیمار ۵ تن بنه در هکتار+۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری بدست آمد. بیشترین مقدار پیش‌بینی شده وزن خشک بنـه‌هـای دختـری از گروه وزنیِ <۸ گرم با ۱۱۱/۷۹۳ گرم در مترمربـع بـرای تیمـار ۱۵ تن بنه در هکتار+ عدم مصرف کمپوست زباله شهری بدسـت آمد. همچنین کمترین مقدار پیش‌بینی شده وزن خشک بنه‌های دختری از گروه وزنیِ ۴-۰گرم با۱۸/۳۷۹ گرم در مترمربع برای تیمار ۵ تن بنه در هکتار+۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری بدست آمد.

سطح پاسخ تغییرات گروه‌های وزنیِ مختلف وزن خشک بنـه با توجه به متغیرهای مستقل (مقـدار بنـه و کمپوسـت زبالـه) در شکل‌های ۱۲تا ۱۴ ارائه شده است. افـزایش هـر دو عامـل وزن بنه و مقدار مصرف کمپوست زبالـه شـهری باعـث افـزایش وزن خشک بنه در گروه وزنیِ <۸ گرم شد (شکل ۱۴).

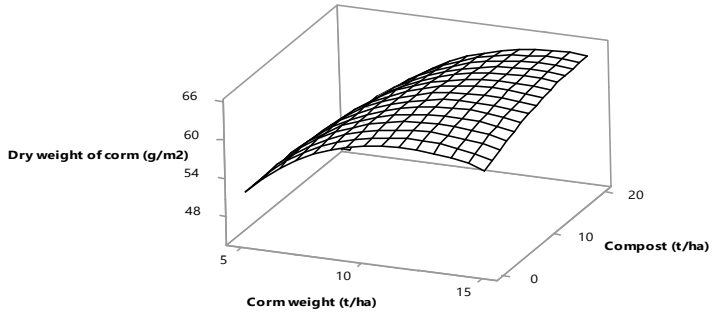
بیشترین مقدار وزن خشک بنه برای تیمار ۱۰ تن بنه در هکتار+ ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری بدست آمد (شکل ۱۴). در پژوهشی کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2011) بیان کردند که اثر تراکم‌های مختلف بنه بر وزن خشک بنه‌ها در دو سال زراعی معنی‌دار شد و بیشترین وزن خشک بنه در تیمارهای ۱۱ و ۱۳ تن در هکتار و کمترین وزن خشک بنه در تیمار ۸ تن در هکتار به دست آمد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2015) با بررسی تأثیر بافت خاک و تراکم بر خصوصیات بنه و عملکرد گل زعفران بیان کردند که با افزایش

تراکم و گذشت زمان، تعداد و وزن خشک بنه افزایش می‌یابد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2011a) در تحقیق سه ساله دیگری نشان داد که با افزایش تعداد بنه در واحد سطح، به دلیل تولید بنه‌های کوچک‌تر، وزن خشک این بنه‌ها در واحد سطح رو به کاهش گذاشت.



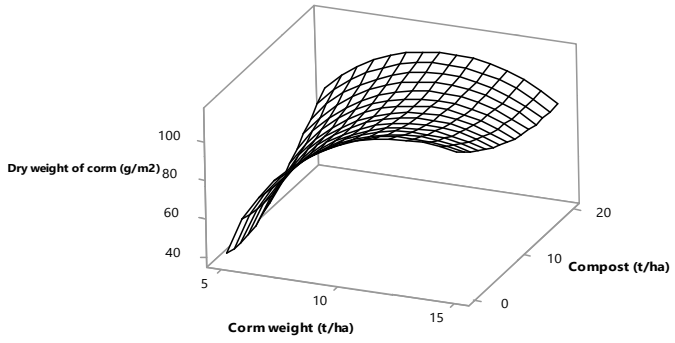
شکل ۱۲- سطح پاسخ وزن خشک بنه (٤-۰ گرم) زعفران تحت تأثیر مقادیر مختلف بنه و کمپوست زباله شهری

Figure 12- Response surface model for dry weight of corm saffron (0-4g) affected as corm weight and urban compost rates.



شکل ۱۳- سطح پاسخ وزن خشک بنه (۸-٤ گرم) زعفران تحت تأثیر مقادیر مختلف بنه و کمپوست زباله شهری

Figure 13- Response surface model for dry weight of corm saffron (4-8 g) affected as corm weight and urban compost rates.



شکل ١٤- سطح پاسخ وزن خشک بنه (>۸ گرم) زعفران تحت تأثیر مقادیر مختلف بنه و کمپوست زباله شهری

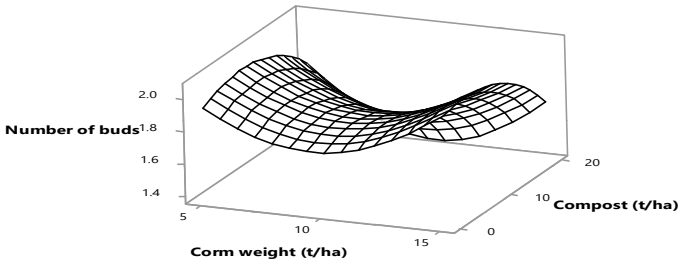
Figure 14- Response surface model for dry weight of corm saffron (>8 g) affected as corm weight and urban compost rates.

تعداد جوانه بنه‌های دختری

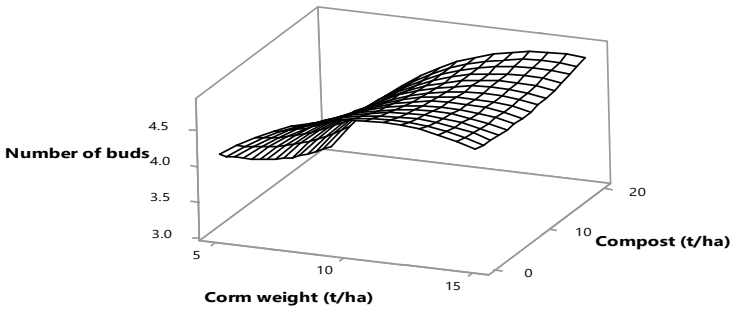
بیشترین تعداد جوانه بنه‌های دختری مشاهده شده ازگروه وزنیِ >۸ گرم با۷/۸ جوانه در هر بنه برای تیمار ۱۵ تن بنه درهکتار+ ۱۰ تن در هکتارکمپوست زباله شهری بدست آمد.

هم‌چنین کمترین تعداد جوانه بنـه‌هـای دختـری مشـاهده شـده ازگروه وزنیِ ۴-۰گرم با ۱/۱ جوانه در هربنه برای تیمـار۱۰ تـن بنه در هکتار+۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری بدست آمد. بیشترین مقدار پیش‌بینی شـده تعـداد جوانـه بنـه‌هـای دختـری مشاهده شده ازگروه وزنیِ >۸ گرم با ۷/۴ جوانه در هر بنه برای تیمار ۱۵ تن بنه در هکتار+ عدم مصرف کمپوست زبالـه شـهری بدست آمد. همچنین کمترین مقدار پیش‌بینی شده تعـداد جوانـه بنه‌های دختری مشاهده شده ازگروه وزنیِ ۴-۰گرم با۱/۳ جوانه در هر بنه برای تیمار۱۰ تن بنـه در هکتـار+ ۲۰ تـن در هکتـار کمپوست زباله شهری بدست آمد.

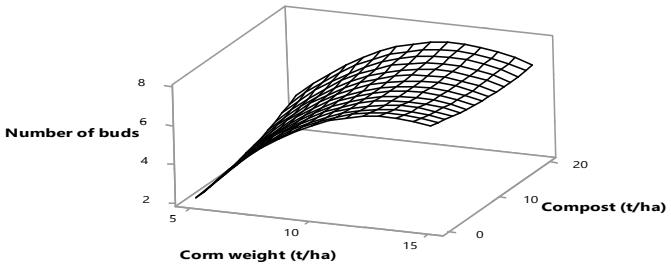
سطح پاسخ تغییرات گروه‌های وزنیِ مختلف تعـداد جوانـه در بنه‌های دختری با توجه به متغیرهای مستقل (مقدار بنه و سـطح کمپوست زباله شهری) در شکل های ۱۵ تا ۱۷ ارائه شده است.



شکل ۱۵- سطح پاسخ تعداد جوانه بنه‌های دختری (٤-۰ گرم) زعفران تحت تأثیر مقادیر مختلف بنه و کمپوست زباله شهری
Figure 15- Response surface model for bud number of corm saffron (0-4 g) affected as corm weight and urban compost rates.



شکل ١٦- سطح پاسخ تعداد جوانه بنه‌های دختری (٨-٤ گرم) زعفران تحت تأثیر مقادیر مختلف بنه و کمپوست زباله شهری
Figure 16- Response surface model for bud number of corm saffron (4-8 g) affected as corm weight and urban compost rates.



شکل ١٧- سطح پاسخ تعداد جوانه بنه‌های دختری (>٨ گرم) زعفران تحت تأثیر مقادیر مختلف بنه و کمپوست زباله شهری
Figure 17- Response surface model for bud number of corm saffron (>8g) affected as corm weight and urban compost rates.

افزایش هر دو عامل وزن بنه و مقدار مصرف کمپوست زباله شهری باعث افزایش تعداد جوانه بنه‌های دختری شد (شکل ۱۷). بیشترین مقدار تعداد جوانه بنه‌های دختری با ۷/۸ جوانه در هر بنه برای تیمار ۱۵ تن بنه در هکتار+ ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری بدست آمد (شکل۱۷). در زعفران ظهور جوانه فرآیندی است که به خصوصیات فیزیکی بستر کاشت حساس بوده (Behdani & Fallahi, 2015) و در شرایط نامطلوب ظهور جوانه کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد مصرف کمپوست زباله شهری به دلیل نقش مثبت دو جانبه (اثر بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و نقش تغذیه‌ای و باروری خاک) منجر به افزایش جوانه‌زنی، ظهور و رشد گیاه زعفران شده است (Ghanbari & Khajoei-Nejad, 2017).

بهینه‌سازی سطوح فاکتورها

بهینه‌سازی مقدار بنه مادری و کمپوست زباله شهری برای صفات مرتبط با گل و بنه زعفران در جدول۶ ارائه شده است.

جدول ٦- بهینه سازی مقدار بنه مادری و مقدار مصرف کمپوست زباله شهری برای صفات مرتبط با گل و بنه

Table 6- Optimization of corm weight and urban compost consumption for related characteristics to flower andcorm of saffron

صفات Characteristics	مقدار بنه Corm weight ($t.ha^{-1}$)	کمپوست زباله شهری Urban compost ($t.ha^{-1}$)	d*
مرتبط با گل Related to flower	5	20	0.92
مرتبط با بنه Related to corm	12	20	0.95
مجموع Total	7	18	0.94

d: نشان دهنده درجه مطلوبیت بهینه‌سازی بوده و مقدار آن بین ۱-۰ می‌باشد.

d: indicates desirability of optimization and its value is between zero to 1.

بهینه‌سازی صفات مرتبط با گل

بهینه‌سازی صفات مرتبط با گل شامل تعداد گل، وزن تر گل، وزن خشک کلاله و وزن خشک خامه انجام شد و از طریق بهینه‌سازی گرافیکی حد بهینه دو فاکتور معادل ۵ تن در هکتار وزن بنه مادری ، ۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و درجه مطلوبیت سطوح بهینه‌سازی شده (d) معادل ۰/۹۲ بدست آمد.

بهینه‌سازی صفات مرتبط با بنه

بهینه‌سازی صفات مرتبط با بنه شامل تعداد بنه دختری، وزن خشک بنه دختری و تعداد جوانه بنه‌های دختری انجام شد و از طریق بهینه‌سازی گرافیکی حد بهینه دو فاکتور معادل ۱۲ تن در هکتار وزن بنه مادری ، ۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و درجه مطلوبیت سطوح بهینه‌سازی شده (d) معادل ۰/۹۵مشاهده شد.

مجموع صفات

از آنجا که در نتایج ارائه شده سطوح بهینه فاکتورهای گل و بنه دختری متفاوت می‌باشد ، پس نیاز به انجام مطالعات بیشتر در این زمینه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

برای دستیابی به تولید پایدار، توجه به میزان مصرف و کارایی مصرف نهاده‌ها به منظور جلوگیری از هدر رفت نهاده‌ها

بر مبنای استفاده از مدل‌های سطح-پاسخ امری اجتناب‌ناپذیر بنظر می‌رسد. نتایج این مطالعه روی بهینه‌سازی سطوح وزن بنه و کمپوست زباله شهری روی زعفران در سال اول با استفاده از مدلسازی سطح-پاسخ حاکی از تأثیر معنی‌دار مقادیر مختلف بنه و کمپوست زباله شهری بر عملکرد گل بود، بر این اساس بیشترین تعداد گل، وزن تر گل، عملکرد کلاله خشک و هم-چنین وزن خشک خامه مربوط به تیمار۵ تن بنه در هکتار+ ۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری به‌دست آمد. بیشترین تعداد بنه از تیمار ۱۰ تن بنه در هکتار+ عدم مصرف کمپوست زباله شهری، بیشترین وزن خشک بنه از تیمار ۱۰ تن بنه در هکتار+ ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و بیشترین تعداد جوانه از تیمار ۱۵ تن بنه در هکتار+ ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری بدست آمد. مقدار بهینه وزن بنه، مقدار کمپوست زباله شهری و درجه مطلوبیت برای صفات مرتبط با گل و بنه به ترتیب ۵ تن در هکتار، ۲۰ تن در هکتار و d= ۰/۹۲ ، ۱۲ تن در هکتار و ۲۰ تن در هکتار وd= ۰/۹۵ محاسبه گردید و از آنجا که در نتایج ارائه شده سطوح بهینه فاکتورهای گل و بنه دختری متفاوت می‌باشد، پس نیاز به انجام مطالعات بیشتر در این زمینه می‌باشد. به طور کلی، به نظر می‌رسد میزان مصرف نهاده‌های آلی و کمپوست زباله شهری براساس طرح مرکب مرکزی می-تواند به عنوان راه‌کاری مطلوب در راستای تولید پایدار گیاه دارویی زعفران مدنظر قرار گیرد.

منابع

Agricultural Statistics, 2017. Iran's Minister of Agriculture, Department of Planning and Economy. http://www.maj.ir/.

Amirshekari, H., Sorooshzadeh, A., ModaressSanavy, A., and JalaliJavaran, M. 2007. Study of effects of root temperature, corm size, and gibberellin on underground organs of saffron (*Crocus sativus* L.). Iranian Journal of Biology 19 (1): 5-18. (In Persian with English Summary).

Aslan, 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.

Behdani, M.A., and Fallahi, H.R. 2015. Saffron (*Crocus sativus* L.): Technical Knowledge Based on Research Approaches, University of Birjand Press. (In Persian).

Behdani, M.A., Jami-Alahmadi, M., and Akbarpour, A. 2010. Research Project: Category Ecological Approach to Optimize the Production of Saffron in Southern Khorasan, Birjand University. 107 p. (In Persian).

Behdani, M.A., Koocheki, A., NassiriMahallati, M., and Rezvani Moghaddam, P. 2005. Evaluation of quantitative relationships between saffron (*Crocus sativus* L.) yield and nutrition (on farm trial). Iranian Journal of Field Crops Research 3 (1): 1-14. (In Persian with English Summary).

Behdani, M.A., Koocheki, A., NassiriMahallati, M., and Rezvani Moghaddam, P. 2006. Evaluation of quantitative relationships between saffron (*Crocus sativus* L.) yield and nutrition (on farm trial). Iranian Journal of Field Crops Research 3: 1–14. (In Persian with English Summary).

Dokora, F.D., Matiru, V., King, M., and Phillips, D.A. 2002. Plant growth promotion in legumes and cereals by lumichrome, a rhizobial signal metabolite. In: Finan, T.M., O'Brain, M.R, layzell, D.B., Vessey, K., Newton, WE, Eds. Nitrogen Fixation: Global Perspectives. Wallingford, UK: CABI publishing. pp. 321-

322.

Ghanbari, J., and Khajoei-Nejad, G.R. 2017. Effect of compost and combination of compost and biochar application on soil bulk density of planting bed and seedling emergence rate and early growth of saffron (*Crocus sativus* L.) ecotypes. Journal Saffron Agronomy and Technology 6 (1): 17-33. (In Persian with English Summary).

Ghobadi, F., GhorbaniJavid, M., and Sorooshzadeh, A. 2015. Effect of planting date and corm size on flower yield and physiology traits of saffron (*Crocus sativus* L.) under varamin plain climatic conditions. Saffron Agronomy and Technology 2 (4): 265-276. (In Persian with English Summary).

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

Jahan, M., and Jahani, M. 2007. The effects of chemical and organic fertilizers on saffron *(Crocus sativus* L.) flowering. Acta Horticulture 739: 81-86.

Khademi, K., Sepahvand, A., Siyah Mansour, R., Mohammedans, A., and President, N. 2013. Evaluation of saffron *(Crocus sativus* L.) in both dry and irrigated conditions in a period of six years in the city of Khorramabad. Journal of Saffron Research 2 (1): 110-119. (In Persian with English Summary).

Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., MoallemBanhangi., F., and Shabahang., J. 2018. Optimization of cow manure levels and corm weight in saffron (*Crocus sativus* L.) by central composite design. Journal of Saffron Research 6: 233-249. (In Persian with English Summary).

Kizilkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with Azotobacterchroococcum strains. Journal of Ecological Engineering 33: 150–156.

Koocheki, A., Jahani, M., Tabrizi, L., and Mohammad Abadi, A.A. 2011a. Investigation on the effect of biofertilizer, chemical fertilizer and plant density on yield and corm criteria of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Water and Soil 25: 196-206. (In Persian with English Summary).

Koocheki, A., JamshidEyni, M., and Seyyedi, S.M. 2015. The effect of mother corm size and type of fertilizer on nitrogen use efficiency in saffron (*Crocus sativus* L.). Journal Saffron Agronomy and Technology 2 (4): 243-254. (In Persian with English Summary).

Koocheki, A., Seyyedi, S.M., Azizi, H., and Shahriyari, R. 2014. The effects of mother corm size, organic fertilizers and micronutrient foliar application on corm yield and phosphorus uptake of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal Saffron Agronomy and Technology 2 (1): 3-16. (In Persian with English Summary).

Koocheki, A., Siahmarguei, A., Azizi., G., and Jahani, M. 2011. Effect of crop sowing and sowing depth on crop characteristics and saffron (*Crocus sativus* L.) behavior corms. Journal of Agroecology 3 (1): 36-49. (In Persian with English Summary).

Koocheki, A., Tabrizi, L., Jahani, M., and Mohammad Abadi, A.A. 2011. Evaluation of high corm density and three methods planting on some agronomic traits of saffron (*Crocus sativus* L.) and corm situation. Journal of Horticultural Science 42 (4): 379-391. (In Persian).

Koocheki, A., Tabrizi, L., Jahani, M., and Mohamad abadi, A.A. 2011. The effect of high density and depth of planting on agronomic characteristic of saffron (*Crocus sativus* L.) and corms behavior. Journal of Agroecology 3: 36-40. (In Persian with English Summary).

Koocheki, A., Tabrizi, L., Jahani, M., Mohammad

Abadi, A.A., and MahdaviDamghani, A.M. 2009. Performance of saffron (*Crocus sativus* L.) under different planting patterns and high corm density. In: 3rd International Symposium on Saffron Forthcoming Challenges in Cultivation Research and Economics. Krokos, Kozani, Greece, 20-23 May 2009, pp. 33-40.

MoallemBanhangi, F., Rezvani Moghaddam, P., Asadi, Gh., and Khorramdel, S. 2019. Effects of different amounts of corms and planting depths of corms on flower and corm yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal Saffron Agronomy and Technology 7 (1): 55-67.

MoayediShahraki, E., Jami Al-Ahmadi, M., and Behdani, M.A. 2010. Study of energy efficiency of saffron (*Crocus sativus* L.) in Southern Khorasan. Journal of Agroecology 2: 55–62. (In Persian with English Summary).

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

NassiriMahallati, M., Koocheki, A., BoroumandRezazadeh, 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).

Renau-Morata, B., Nebauer, S.G., Sánchez, M., and Molina, R.V. 2012. Effect of corm size, waterStress and cultivation conditions on photosynthesis and biomass partitioning during the vegetative growth of saffron (*Crocus sativus* L.). Industry Journal of Crop Production 39: 40–46.

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

Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., Amin Ghafori, A., and Shabahang, J. 2013. Evaluation of growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) affected by spent mushroom compost and corm density. Journal of Saffron Research 1 (1): 13-26.

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., Koocheki, A., Molafilabi, A., and Seyyedi, S.M. 2013. Effect of biological and chemical fertilizers on replacement corm and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Iranian Journal of Crop Science 15: 234–246. (In Persian with English Summary).

Sumner, M.E. 2000. Beneficial use of effluents, wastes, and biosolids. Journal of Soil Science Plant Annual 31 (11-14): 1701-1715.

Teimori, S., Behdani, M.A., Ghaderi, M.G., and Sadeghi, B. 2013. Investigation on the effect of organic and chemical fertilizers on morphological and agronomic of saffron (*Crocus sativus* L.) corm criteria. Journal of Saffron Research 1: 36-47. (In Persian with English Summary).

White, P.J., and Veneklaas, E.J. 2012. Nature and nurture: the importance of seed phosphorus content. Plant Soil. 357: 1–8.

Optimizing the effect of mother corm and urban waste compost levels on flower and corm yield of saffron using surface-response modeling in the first year

Fatemeh Parsapour[1], Parviz Rezvani Moghaddam[2] and Surur Khorramdel[3]*

Submitted: 4 May 2019 **Accepted:** 15 September 2019

Parsapour, F., Rezvani Moghaddam, P., and Khorramdel, S. 2020. Optimizing the effect of mother corm and urban waste compost levels on flower and corm yield of saffron using surface-response modeling in the first year. Saffron Agronomy & Technology, 8(2): 165-184.

Abstract

Response surface methodology (RSM) is defined as a set of mathematical and statistical techniques that are used to optimize yield of a product. In order to study the effects of urban waste compost and corm rates on flower yield of saffron using RSM, an experiment was conducted at the Research Field of the Ferdowsi University of Mashhad, Iran during the growing season of 2017-2018. The treatments were determined based on low and high levels of urban waste compost (0 and 20 $t.ha^{-1}$, respectively) and corm weight (5 and 15 $t.ha^{-1}$, respectively). These were computed by using Minitab V. 17. Dry weight of stigma, dry weight of style, fresh weight of flower, flower number, corm number, dry weight of corm, and number of buds per corm were calculated as dependent variables and changes of these variables were evaluated by using 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. In general, the full quadratic polynomial equation was tested to determine significance of the model and the components (such as linear, squared and first-order interaction terms). The quality of the fitted model was judged using the determination coefficient (R^2). The results show that the effect of linear component on all traits studied except fresh weight of flower, dry weight of corm 0-4g, and number of buds per corm 0-4 and 8-4 grams were significant. The effect of total grade two had a significant effect on the traits of flower number, fresh weight of flower, dry weight of stigma, dry weight of style, number of daughter corms per 0-4, 4-8 and >8 grams, dry weight of corm per 4-8 and >8 grams and number of buds per >8 grams was significant. Also, the interaction effect of two factors of urban waste compost and weight corm on the number of flowers, fresh weight of flower, dry weight of stigma, dry weight of style, number of daughter corms per 4-8 and >8 grams, dry weight of corm 4-8 and >8 grams, and number of buds per corm >8 grams were significant. Lack of fit test had no significant effect on the studied traits. The full square model for the response variables gave insignificant lack-of-fit indicating that the data of experiment were satisfactorily explained. The highest flower number, fresh weight of flower, stigma dry weight and style dry weight were observed for 5 $t.ha^{-1}$ corm+ 20 $t.ha^{-1}$ compost. Optimum of corm weight and urban waste compost and desirability for the traits related to flower and corm with 5 $t.ha^{-1}$, 20 $t.ha^{-1}$and d = 0.92 were urban waste compost with 12 $t.ha^{-1}$, 20 $t.ha^{-1}$and d = 0.95, respectively. Based on the results, municipal waste compost and corm weight had a positive effect on most of the studied traits.

Keywords: Stigma yield, Corm yield, Production optimization, Sustainable production, Daughter corm, Lack-of-fit test.

۱- MSc. student in Agroecology, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

۲- Professor, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

۳- Associated Professor, Department of Agrotechnology,Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding author. Email: rezvani@um.ac.ir)
DOI: 10.22048/jsat.2019.184094.1350