نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد دهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۱
شماره صفحه: ۶۳-۴۵
http://dx.doi.org/ 10.22077/JSR.2021.4086.1152

مقاله پژوهشی:

بهینه‌سازی سطوح کود دامی و آبیاری بر عملکرد گل و بنه زعفران با استفاده از طرح مرکب مرکزی

پرویز رضوانی مقدم[1*]، سرور خرم‌دل[2]، فاطمه معلم بنهنگی[3]
۱- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳- دانشجوی دکتری، بوم شناسی زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
*نویسنده مسئول: *Email: rezvani@um.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۷

چکیده
این آزمایش با هدف بررسی اثر سطوح کود دامی و آبیاری بر عملکرد گل و بنه زعفران با استفاده از طرح مرکب مرکزی با ۱۳ تیمار و دو تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارها شامل سطوح بالا و پائین کود دامی (به ترتیب صفر و ۸۰ تن در هکتار) و سطوح بالا و پایین آبیاری (به ترتیب ۱۲۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی زعفران) بود. نتایج نشان داد که اثر جزء خطی بر قطر بنه دختری و تعداد بنه دختری در گروه وزنی ۸-۴ گرم معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) شد. اثر جزء درجه دو بر تعداد گل، وزن تر گل، وزن خشک کلاله و قطر بنه دختری معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود. اثر متقابل دو عامل کود دامی و آبیاری تنها بر وزن خشک بنه‌های دختری معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود و عدم برازش در مورد هیچ کدام از صفات معنی‌دار نشد که این امر نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل رگرسیون درجه دو کامل می‌باشد. بیشترین وزن خشک کلاله، وزن تر گل و تعداد گل مشاهده شده در تیمار ۱۶ تن کود دامی و ۵۴۴۰ مترمکعب آبیاری در هکتار (به ترتیب با ۰/۶۵ و ۲۷/۷۵ گرم در مترمربع و ۶۰ گل در مترمربع) به دست آمد. بالاترین وزن خشک بنه‌های دختری مشاهده شده در تیمار ۳۲ تن کود دامی و ۳۲۰۰ مترمکعب آبیاری در هکتار (با ۴۴۶۳/۳۱ گرم در مترمربع) به دست آمد. میزان بهینه مصرف کود دامی و آبیاری براساس سناریوی اقتصادی کاربرد ۴۶۹۳/۳۳ مترمکعب آب در هکتار و ۳۰/۱۲ تن کود دامی در هکتار (با شاخص مطلوبیت ۰/۷۲) محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: آزمون عدم برازش، سناریوی اقتصادی، شاخص مطلوبیت، مدل سطح- پاسخ.

مقدمه

زعفران با نام علمی *Crocus sativus* L. گیاهی تک-لپه‌ای از خانواده زنبقیان است که از نظر گیاهشناسی چرخه زندگی خود را در یک سال تکمیل می‌کند، اما از نظر زراعی به عنوان یک محصول چند ساله زراعت می-شود (Gresta et al., 2016). این گیاه به عنوان گران-ترین محصول دارویی جهان (Koocheki, 2013) جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات صنعتی و صادراتی ایران دارد. بر طبق آخرین آمارنامه جهاد کشاورزی (Ministry of Agriculture-Jihad, 2019) سطح زیرکشت و میزان تولید زعفران در کشور در سال ۱۳۹۷ به ترتیب ۱۱۴ هکتار و ۴۰۴/۴۸ تن و عملکرد زعفران ۳/۶۲ کیلوگرم در هکتار گزارش شد. عوامل زیادی در تعیین میزان عملکرد زعفران نقش دارند که از جمله آنها می‌توان به شرایط اقلیمی، مدیریت تغذیه، آبیاری، مدیریت علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها، انبارداری و تاریخ، تراکم و عمق کاشت اشاره کرد.

با توجه به چند ساله بودن مزارع زعفران، تغذیه و تامین نیازهای غذایی این گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Rezvani Moghaddam et al., 2014). به طوری‌که فراهمی عناصر غذایی، در سال‌های ابتدایی از دوره بهره‌برداری از مزارع این گیاه، منجر به افزایش تعداد بنه‌های دختری شده و در سال‌های بعد افزایش وزن آن‌ها را سبب می‌شود (Fallahi & Mahmoodi, 2018). تغییرات عملکرد گل زعفران به میزان ۱۶ تا ۸۰ درصد به متغیرهای مربوط به خاک از جمله میزان ماده آلی، محتوی فسفر قابل استفاده، نیتروژن معدنی و پتاسیم تبادلی وابسته است، لذا استفاده از یک الگوی مناسب از مصرف بهینه کودها ضروری به نظر می‌رسد (Shahriary et al., 2018). در این راستا کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013) به نقش موثر کود دامی در افزایش عملکرد گل و تحریک تولید بنه‌های دختری زعفران اشاره نمودند. منعمی زاده و همکاران (Monemizadeh et al., 2016) نیز بیان نمودند که با توجه به روند تشکیل بنه های دختری زعفران، مصرف کود دامی با فراهمی متعادل عناصر غذایی و ماده آلی و همچنین بهبود شرایط برای رشد بنه های دختری منجر به افزایش عملکرد زعفران می‌گردد.

علاوه بر تامین عناصر غذایی، کاربرد کود دامی از طریق بهبود ساختمان خاک و افزایش نفوذپذیری و تخلخل (Rasoulzadeh Yaghoubi,2010) شرایط ریزوسفر را برای بنه ها بهبود می‌بخشد (Mollafilabi & Khorramdel.,2016). در این راستا بهدانی و همکاران (Behdani et al., 2006) بهبود ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک تحت تاثیر مصرف کود دامی را عامل اصلی افزایش رشد اندام های هوایی و زیرزمینی زعفران معرفی نمودند.

علاوه بر مدیریت تغذیه، آبیاری نیز تاثیر قابل توجهی بر عملکرد گل و بنه زعفران دارد. زعفران به دلیل برخورداری از ویژگی های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی، به کم آبی سازگار است (Koochki et al.,2014; 2016) با این وجود محدودیت در آبیاری، به ویژه در طی دور فعال رشد بنه های دختری، می‌تواند بر عملکرد زعفران تاثیر منفی داشته باشد (Koocheki et al., 2014) بهره گیری از الگوهای آبیاری مناسب می‌تواند با بهبود شرایط لازم جهت رشد بنه های دختری زعفران، افزایش عملکرد این گیاه را در پی داشته باشد (Alizadeh et al., 2009; Yarami et al.,2011; Koocheki et al.,2017).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک بهینه سازی مصرف آب و اتخاذ راهکارهایی که بتواند اثرات تنش خشکی را تعدیل نماید، می‌تواند بر وزن بنه، عملکرد و تولید در سال بعد تاثیر مثبت داشته باشد (Safari et al., 2018).

یکی از معمول‌ترین روش‌های مورد استفاده جهت بهینه سازی عوامل مختلف، استفاده از طرح مرکب مرکزی است (Wu et al., 2000) که نسبت به طرح فاکتوریل، امکان استخراج اطلاعات بیشتر از تحلیل این طرح و تعداد کمتر تیمار و تکرارهای مورد نیاز جهت انجام آزمایش را فراهم می‌کند و موجب فراهم شدن تعیین ترکیب‌های مختلف متغیر مستقل در آزمایش می‌گردد (Aslan, 2007).

با عنایت به مطالب فوق، به نظر می‌رسد تعیین بهترین ترکیب و سطح مصرف کود دامی و آبیاری می‌تواند ضمن بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و جلوگیری از هدررفت منابع به ویژه آب، در افزایش عملکرد گل و بنه زعفران تاثیر مطلوب داشته باشد. بر این اساس، هدف از اجرای این تحقیق بهینه‌سازی اثر سطوح آبیاری و کود دامی بر عملکرد گل و بنه‌های دختری زعفران با استفاده از طرح مرکب مرکزی در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا در قالب طرح مرکب مرکزی در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. در شهریور ماه ۱۳۹۶ عملیات آماده-سازی زمین شامل دیسک و تسطیح با لولر انجام گرفت و اقدام به کرت‌بندی با ابعاد ۱×۲ متر شد. قبل از انجام آزمایش ازعمق ۲۵ سانتی‌متری خاک مزرعه به صورت تصادفی نمونه‌گیری خاک انجام و برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میزان عناصر غذایی و توصیه کودی به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از شروع آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. Physical and chemical properties of the soil

بافت Texture	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) K (mg.kg^{-1})	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) P (mg.kg^{-1})	نیتروژن (درصد) N (%)	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dS. m^{-1})	اسیدیته pH
لوم رسی شنی Sandy clay loam	0.57	14.09	0.50	0.64	0.57	7.58

جدول ۲. گروه‌بندی بنه‌های کاشته شده بر اساس وزن بنه

Table 2. Grouping of planted corms based on corm weight

گروه‌های وزنی (گرم) Groups weight (g)	12<	10.1-12	8.1-10	6.1-8	4.1-6	< 4
درصد گروه‌های وزنی Percent of Groups weight	10.60	11.42	12.85	15.18	23.4	26.55

قبل از کاشت یک نمونه ۳۰ کیلوگرمی از بنه‌های مادری جدا و بر اساس وزن تفکیک شدند. مشخصات وزنی بنه-های مادری مورد استفاده برای کاشت در جدول ۲ نشان داده شده است.

زعفران روی چهار ردیف دو متری با فاصله بین ردیف ۲۵ سانتی‌متر در اواخر شهریور ماه سال اول اجرای آزمایش بر اساس تراکم پیاز ۱۰ تن بنه در هکتار در کرت‌ها کاشته شد. بین هر کرت دو پشته نیم متری به صورت نکاشت و بین بلوک‌ها یک متر به عنوان راهرو جهت جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها در نظر گرفته شد. بنه‌های زعفران به صورت درهم تقسیم بندی و عملیات کاشت دستی توسط کارگر انجام شد.

تیمارهای آزمایشی با توجه به سطوح بالا و پائین کود دامی از نوع گاوی پوسیده (به ترتیب صفر و ۸۰ تن در هکتار) و سطوح بالا و پایین آبیاری (به ترتیب ۱۲۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی) تعیین شد. نیاز آبی زعفران برای سال-های اول و دوم به ترتیب ۵۲۳۰ و ۶۴۰۰ مترمکعب در نظر گرفته شد (Yarami et al., 2011) بنابراین مقادیر بالا و پایین آبیاری در سال دوم به ترتیب ۷۶۸۰ و ۳۲۰۰ مترمکعب در هکتار بود. اولین آبیاری بعد از کشت به طور کامل و اعمال تیمار آبیاری از آبیاری دوم به بعد با کمک کنتور انجام گرفت، به طوری‌که حجم آبیاری در نظر گرفته شده برای هر تیمار در هر نوبت آبیاری، از طریق تقسیم حجم کل آبیاری در آن تیمار بر تعداد دفعات آبیاری محاسبه شده و در هر نوبت با کنتور اعمال شد. تعداد تیمارهای مورد آزمایش در طرح مرکب مرکزی با کمک نرم افزار Mini tab ، با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد.

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

در این فرمول، k نشان‌دهنده تعداد فاکتورها و r تعداد تکرار تیمار در سطح میانگین برای نقطه مرکزی می‌باشد

جدول ۳. ضرایب و مقادیر تیمارها بر اساس طرح مرکب مرکزی
Table 3. Rates and coefficients for treatments based on central composite design

ترکیب تیماری	مقادیر		ضرایب* Coefficients*	
	آبیاری Water ($m^3.ha^{-1}$)	کود دامی Manure ($t.ha^{-1}$)	X_2	X_1
1	3200	0	-1	-1
2	3200	32	-1	+1
3	7680	0	+1	-1
4	7680	32	+1	+1
5	5440	0	0	-1
6	5440	32	0	+1
7	3200	16	-1	0
8	7680	16	+1	0
9	5440	16	0	0
10	5440	16	0	0
11	5440	16	0	0
12	5440	16	0	0
13	5440	16	0	0

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

X_1 and X_2: indicate independent variables such as manure and irrigation, respectively.

که پنج در نظر گرفته شد. در نهایت، ۱۳ ترکیب تیماری مختلف مشخص گردید(جدول ۳).

به منظور اطمینان از اثر تیمار کود دامی بر رشد و عملکرد گل و بنه زعفران تنها نتایج مربوط به سال دوم گلدهی و رشد رویشی مبنای مطالعه قرار گرفت.گلدهی و نمونه-گیری از گل‌های زعفران سال دوم، در بازه اوایل آبان ماه تا اوایل آذر ماه انجام شد. برای این منظور از طریق بازدید روزانه پس از گلدهی، گل‌ها برداشت و در پایان، تعداد گل‌ها در واحد سطح، عملکرد تر گل در واحد سطح و عملکرد خشک کلاله اندازه‌گیری و تعیین شد. نمونه-برداری مربوط به بنه‌های دختری، در انتهای فصل رشد رویشی در اریبهشت ماه سال دوم انجام شد، به طوری‌که از سطحی به ابعاد ۲۵×۵۰ بنه‌ها برداشت و صفات وزن کل بنه‌های دختری، قطر بنه‌های دختری و تعداد بنه‌های دختری در سه گروه وزنی (۴-۰ گرم، ۸-۴/۱ گرم و بیش از ۸/۱ گرم)، به ثبت رسید.

به منظور انتخاب بهترین مدل برای بهینه سازی ، مدل درجه دو کامل با اثرات متقابل بین عوامل برازش داده شد (معادله ۲). سپس بر اساس معیارهای آماری تجزیه رگرسیون (مقادیر F، P و R^2) و آزمون عدم برازش بهترین مدل انتخاب و از این مدل برای بهینه‌سازی استفاده گردید (Koocheki et al., 2017).

معادله

$$Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2 \quad (۲)$$

که در آن، Y متغیر وابسته (که پاسخ به عملکرد گل و کلاله و سایر صفات تحت بررسی بودند)، x_1 متغیر مستقل کود دامی، x_2 متغیر مستقل آبیاری و a_1 تا a_5 ضرایب معادله می‌باشند. در نهایت، نتایج پیش‌بینی با

داده‌های مشاهده شده مورد مقایسه قرار گرفتند و اعتبار مدل‌های رگرسیون با استفاده از جذر میانگین مربعات خطا انجام شد (معادله ۳).

$$RMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}} \qquad \text{معادله (۳)}$$

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

RMSE به صورت درصد اختلاف نسبی مقادیر پیش-بینی شده در برابر مقادیر واقعی بیان می‌شود و براساس تعریف، قدرت پیش‌بینی مدل درصورتی‌که 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 (Aslan, 2008). مقدار بهینه میزان مصرف آب و کود دامی بر اساس سناریوی اقتصادی محاسبه شد. بدین منظور وزن خشک کلاله و قطر بنه به عنوان عوامل تعیین کننده مقدار بهینه آبیاری و کود دامی مورد استفاده قرار گرفتند.

جهت تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Minitab ver. 17 و Excel 2013 استفاده شد. لازم به ذکر است به علت اطمینان از اثر تیمار کود دامی بر رشد و عملکرد گل و بنه زعفران تنها نتایج مربوط به سال دوم گلدهی و رشد رویشی مبنای مطالعه قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دو کامل با اثر متقابل برای هرکدام از متغیرهای وابسته مورد مطالعه در جدول ۴ و ضرایب رگرسیون و تبیین و nRMSE برای مدل درجه دو کامل در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مدل درجه دو کامل برای اثر آب و کود دامی بر شاخص‌های عملکرد گل و بنه زعفران

Table 4. Analysis of variance (mean squares) of full quadratic model for effects of water and cow manure on flower yield and daughter corm yield of saffron

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد گل number of Flowers	وزن تر گل Fresh weight of flower	وزن خشک کلاله Dried weight of stigma	وزن خشک بنه‌های دختری Dried weight of daughter corm	قطر بنه دختری Daughter corm diameter	تعداد بنه‌های دختری Number of daughter corms		
							0-4 g	4.1-8 g	>8.1 g
مدل: Model:	6	708.48ns	153.29ns	0.090128ns	1528243ns	0.4953**	16951ns	12361.3ns	1592.52ns
تکرار Blocks	1	503.89ns	110.64ns	0.045144ns	129915ns	0.7879*	1737ns	19.8ns	895.6ns
خطی: Linear	2	90.42ns	18.49ns	0.001349ns	1627507ns	0.4431*	16908ns	33328.1*	1211.63ns
آب (W) Water (W)	1	126.49ns	28.01ns	0.002652ns	1671880ns	0.8530*	31263ns	45547.0*	2200.52ns
کود دامی (C) Cow manure (C)	1	54.36ns	8.96ns	0.000046ns	1583134ns	0.0332ns	252ns	21109.2ns	222.74ns
درجه دو Square	2	1633.26**	354.53**	0.210514**	94485ns	0.5402*	29171ns	3286.9ns	3108.36ns
W × W	1	3232.84**	702.84**	0.400919**	181969ns	0.6264*	38327ns	600.9ns	1651.74ns
C × C	1	265.50ns	60.75ns	0.012121ns	57539ns	0.1033ns	3161ns	3858.7ns	2207.81ns
اثر متقابل 2-way interaction	1	299.64ns	63.06ns	0.071896ns	5595558**	0.2176ns	7813ns	918.1ns	19.53ns
W× C	1	299.64ns	63.06ns	0.071896ns	5595558**	0.2176ns	7813ns	918.1ns	19,53ns
خطا Error	19	274.38	58.59	0.027852	806131	0.1206	28439	7911.3	1040.23
عدم برازش Lack-of- fit	11	275.91ns	59.40ns	0.026006ns	712971ns	0.0977ns	22145ns	6671.4ns	534.92ns
خطای خالص Pure error	8	272.26	57.48	0.030391	934226	0.1521	37094	9616.0	1735.02

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 ۵. ضرایب رگرسیون و تبیین و nRMSE برای مدل درجه دو کامل: $y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1^2+a_4x_2^2+a_5x_1x_2$ تحت تأثیر آب و کود دامی بر شاخص‌های عملکرد گل و بنه زعفران

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

		a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	R^2 (%)	RMSE (%)
تعداد گل Number of Flowers		-116.1	0.0566	0.20	- 0.000005	0.0271	-0.000171	44.92	9.38
وزن تر گل Fresh weight of flower		-54.0	0.02639	0.000078	0.000002	0.0130	0.000078	45.24	14.82
وزن خشک کلاله Dried weight of stigma		-1.341	0.000633	0.0084	0.00000	0.000183	0.000003	50.54	14.07
وزن خشک بنه‌های دختری Dried weight of daughter corm		-756	0.600	136.9	-0.000036	0.40	- 0.02334	37.45	10.32
میانگین قطر بنه‌های دختری Daughter corm diameter		-0.745	0.000923	0.0388	0.000000	0.000534	0.000005	56.46	29.02
تعداد بنه‌های دختری Number of daughter corm		-61	0.172	8.6	-0.000017	-0.093	-0.00087	15.84	8.35
تعداد بنه‌های دختری Number of daughter corm	0.1-4 g	267	-0.0097	4.30	-0.000002	-0.103	0.000299	33.04	11.23
	4-8 g	21	0.0219	3.91	-0.000002	-0.1210	- 0.000145	22.38	11.83
	>8.1 g	-97.7	0.0442	2.47	- 0.000003	- 0.0781	- 0.000044	32.59	13.76

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

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

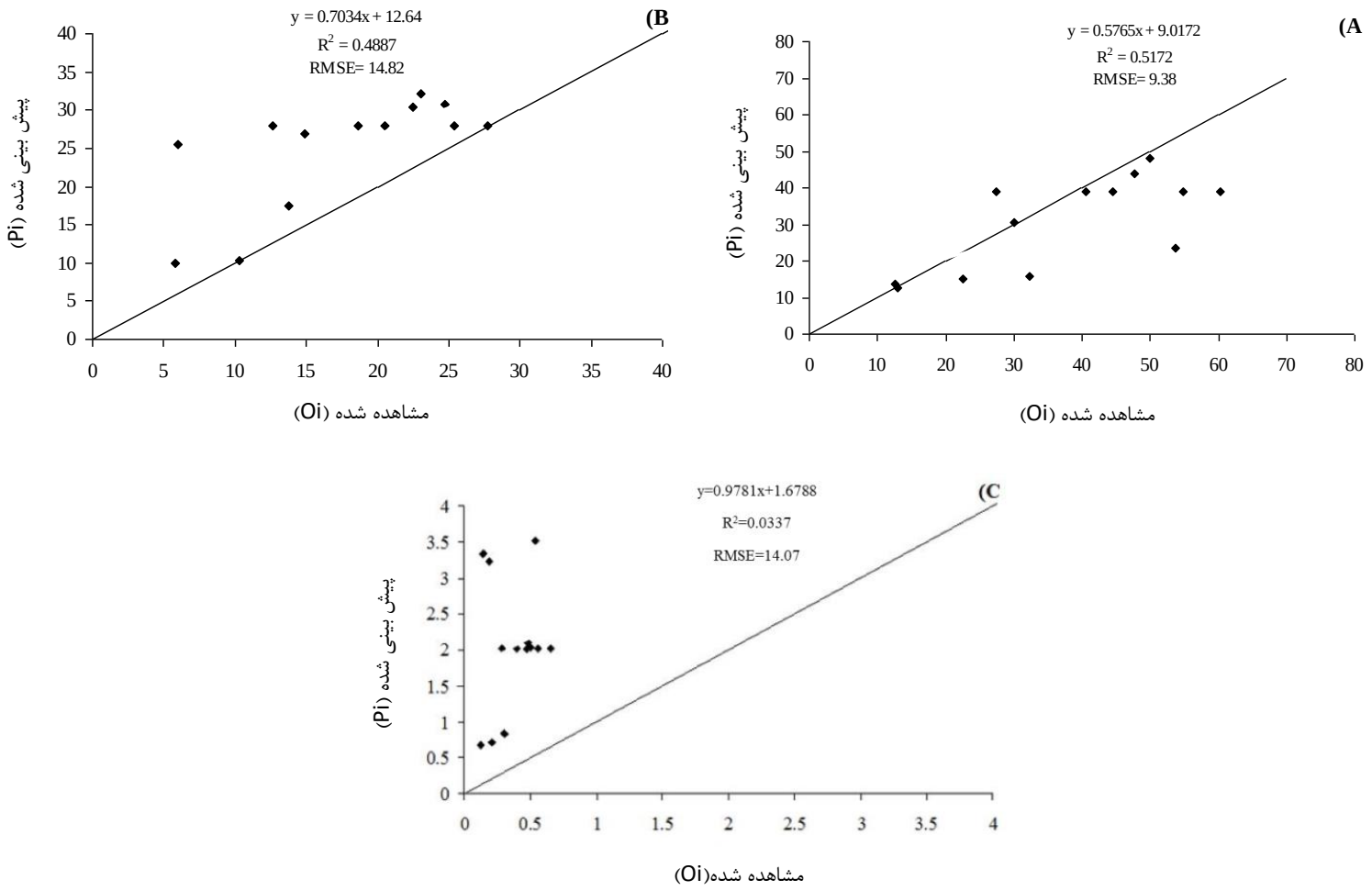
اثر جزء خطی تنها بر قطر بنه دختری و تعداد بنه دختری در گروه ۸-۴ گرم معنی‌دار ($p\leq۰/۰۵$) شد (جدول ۴). اثر جزء درجه دو بر تعداد گل، وزن تر گل و وزن خشک کلاله در سطح احتمال یک درصد و بر قطر بنه‌های دختری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل دو عامل کود دامی و آبیاری تنها بر وزن خشک بنه‌های دختری معنی‌دار ($p\leq۰/۰۱$) بود و عدم برازش در مورد هیچ کدام از صفات معنی‌دار نشد که این امر نشان‌دهنده برازش مطلوب مدل رگرسیون درجه دو کامل می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۶. مقادیر مشاهده شده و برازش شده برای شاخص‌های عملکرد گل زعفران تحت تأثیر مصرف آب و کود دامی

Table 6. Observed and predicted values for flower yield criteria of saffron affected as water and cow manure

حجم آب Water volume ($m^3.ha^{-1}$)	میزان کود دامی Cow manure level ($t.ha^{-1}$)	تعداد گل number of Flower ($No.m^{-2}$)		وزن تر گل Fresh weight of flower ($g.m^{-2}$)		وزن خشک کلاله Dried weight of stigma ($g.m^{-2}$)	
		مشاهده شده Observed	پیش‌بینی شده Predicted	مشاهده شده Observed	پیش‌بینی شده Predicted	مشاهده شده Observed	پیش‌بینی شده Predicted
3200	0	12.50	13.82	5.79	9.97	0.13	0.68
7680	0	53.75	23.68	24.75	30.71	0.54	3.52
3200	32	30.00	30.46	13.75	17.40	0.30	0.83
7680	32	32.25	15.80	14.90	26.97	0.19	3.24
3200	16	22.50	15.20	10.35	10.36	0.21	0.71
7680	16	13.00	12.80	5.99	25.51	0.14	3.33
5440	0	47.75	43.84	22.52	30.37	0.48	2.10
5440	32	50.00	48.22	23.01	32.22	0.50	2.04
5440	16	40.50	39.09	18.67	27.97	0.40	2.02
5440	16	27.50	39.09	12.66	27.97	0.29	2.02
5440	16	44.50	39.09	20.53	27.97	0.47	2.02
5440	16	54.75	39.09	25.43	27.97	0.56	2.02
5440	16	60.25	39.09	27.75	27.97	0.65	2.02

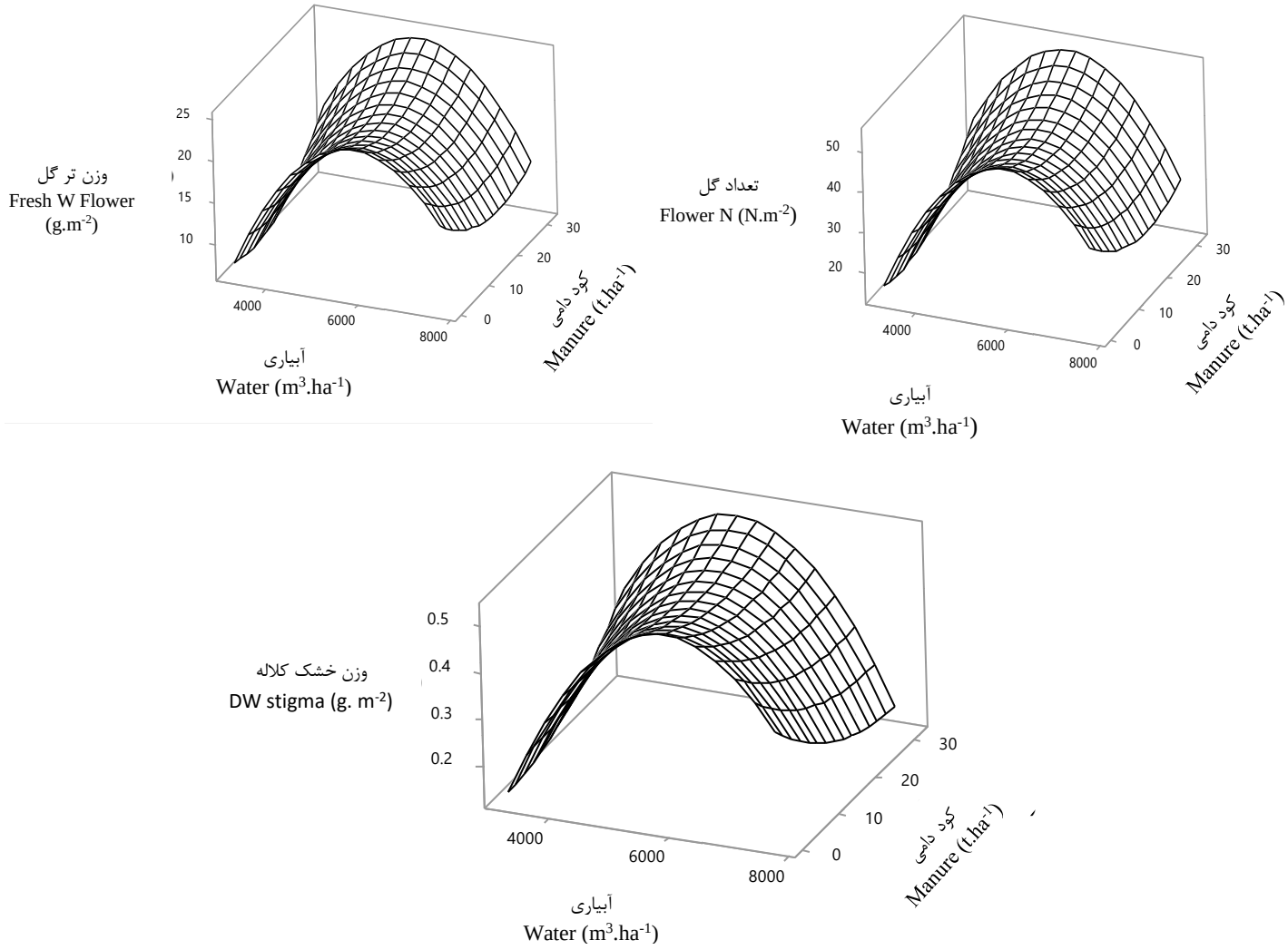
تعداد گل: بررسی نتایج نشان داد که بیشترین تعداد گل پیش‌بینی شده در تیمار ۳۲ تن کود دامی و ۵۴۴۰ مترمکعب آب در هکتار (۴۸/۲۲ گل در مترمربع) و کمترین تعداد گل پیش‌بینی شده در تیمار ۱۵ تن کود دامی و ۷۶۸۰ مترمکعب آب در هکتار (۱۳ گل در مترمربع) به دست آمد (جدول ۶ و شکل‌های ۱ و ۲). همچنین بیشترین و کمترین تعداد گل مشاهده شده به ترتیب در تیمار ۱۶ تن کود دامی در هکتار و ۵۴۴۰ مترمکعب آب در هکتار (معادل ۶۰ گل در مترمربع) و تیمار بدون مصرف کود دامی در هکتار و ۳۲۰۰ مترمکعب آب در هکتار (معادل ۱۲/۵ گل در مترمربع) مشاهده شد (جدول ۶ و شکل‌های ۱ و ۲). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) افزایش تعداد گل تحت تاثیر مصرف بهینه کود دامی را به تاثیر شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک تحت تاثیر مصرف کود دامی بر گلدهی نسبت دادند. ال-نگار و ال-نشارتی (EL-Naggar & El-Nasharty, 2009) بیان نمودند که محیط کاشت با بهبود شرایط برای رشد رویشی، به طور معنی‌داری خصوصیات گلدهی گیاهان دارای اندام زیرزمینی نظیر تعداد گل را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین نتایج نشان داد که مصرف ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در سال دوم (۳۲۰۰ مترمکعب آب در هکتار) منجر به تولید کمترین تعداد گل شد (جدول ۶ و شکل‌های ۱ و ۲). مقدار پایین RMSE (۴/۶۹ درصد) نشان‌دهنده قدرت پیش‌بینی عالی مدل برای صفت تعداد گل می‌باشد (شکل ۲B و جدول ۵).



شکل ۱. مقایسه خط رگرسیون با خط ۱:۱ و R^2 برای خصوصیات عملکرد گل زعفران شامل: a) تعداد گل (تعداد بر متر مربع)، b) وزن تر گل (گرم بر متر مربع) و c) وزن خشک کلاله (گرم بر متر مربع)) با توجه به مدل درجه دو کامل

Fig 1. Comparisons for the regression line with 1:1 line and R^2 for flower yield criteria of saffron (such as A) flower number (No.m^{-2}), B) fresh weight of flower (g.m^{-2}) and C) dried weight of stigma (g.m^{-2})) based on full quadratic model

عملکرد گل و کلاله: نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک کلاله و وزن تر گل پیش‌بینی شده در تیمار بدون مصرف کود دامی و ۷۶۸۰ مترمکعب آب در هکتار به ترتیب با ۳/۵۲ و ۳۰/۷۱ گرم در متر مربع مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان مشاهده شده این دو صفت (وزن خشک کلاله و وزن تر گل) در تیمار ۱۶ تن کود دامی در هکتار و ۵۴۴۰ مترمکعب آب در هکتار به ترتیب معادل ۰/۶۵ و ۲۷/۷۵ گرم در مترمربع به دست آمد (جدول ۶ و شکل‌های ۱ و ۲). افزایش میزان مصرف کود دامی در ابتدا منجر به کاهش عملکرد گل و کلاله زعفران شد، اما با افزایش مصرف آن حدوداً بین ۱۵ تا ۳۰ تن در هکتار افزایش عملکرد گل و کلاله زعفران مشاهده گردید (شکل‌های ۱ و ۲). در همین راستا رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2014) نیز در بین سطوح مختلف کود دامی ۲۰، ۴۰ و ۶۰ تن در هکتار، بیان داشتند که افزایش مصرف کود دامی تا حدود ۲۰ تن در هکتار منجر به افزایش عملکرد گل و کلاله زعفران شد. مصرف کود دامی با افزایش ماده آلی، محتوی ذخیره رطوبتی و بهبود فراهمی و جذب عناصر غذایی ضروری و ریز مغذی در خاک، منجر به افزایش عملکرد گل و کلاله زعفران گردید (Akhtar et al., 2013). همچنین ملافیلابی و خرمدل (Mollafilabi & Khorramdel, 2016) بیان داشتند که کاربرد بهینه کود دامی در زراعت زعفران منجر به سبک‌تر شدن بافت خاک می‌گردد که این امر تسریع در شروع دوره بهره-برداری از مزرعه و در نهایت، افزایش عملکرد را به دنبال دارد.



شکل ۲. سطح- پاسخ خصوصیات عملکرد گل زعفران (شامل تعداد گل، وزن تر گل و وزن خشک کلاله)) نسبت به سطوح آب و کود دامی

Fig 2. Response- surface for flower yield criteria of saffron (such as flower number, fresh weight of flower and dried weight of stigma) affected as water and cow manure rates

نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که در بین تیمارهای آبیاری بیشترین عمکرد گل و کلاله مشاهده شده در حد واسط بین دو تیمار آبیاری (۵۴۴۰ مترمکعب در هکتار) به دست آمد (جدول ۶ و شکل‌های ۱ و ۲). به نظر می‌رسد که با افزایش سطح آبیاری تا حدود ۶۰۰۰ مترمکعب هر دو صفت وزن تر گل و وزن خشک کلاله افزایش یافت و با افزایش بیشتر از آن روند کاهشی برای هر دو صفت مشاهده شد (شکل‌های ۱ و ۲). در همین راستا کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) با بررسی مقادیر مختلف آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی زعفران بیان داشتند که آبیاری زعفران بر اساس ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه می‌تواند منجر به افزایش عملکرد زعفران گردد.

مقدار RMSE (۱۴/۰۷) نشان‌دهنده پیش‌بینی خوب مدل برای دو صفت وزن تر گل و وزن خشک کلاله می‌باشد (شکل ۱ و جدول ۵).

وزن خشک بنه‌های دختری: بررسی نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک بنه‌های دختری پیش‌بینی شده (۳۱۹۵/۷۴ گرم در مترمربع) و مشاهده شده (۴۴۶۳/۳۱ گرم در مترمربع) در تیمار ۳۲ تن کود دامی در هکتار و ۳۲۰۰ مترمکعب آب در هکتار به دست آمد (جدول ۷ و شکل‌های ۳ و ۴). طبق نتایج به دست آمده با افزایش میزان کود دامی، وزن خشک بنه‌های دختری تشکیل شده افزایش یافت (شکل‌های ۳ و ۴). به نظر می‌رسد که کاربردکود دامی از طریق بهبود ساختمان خاک و افزایش

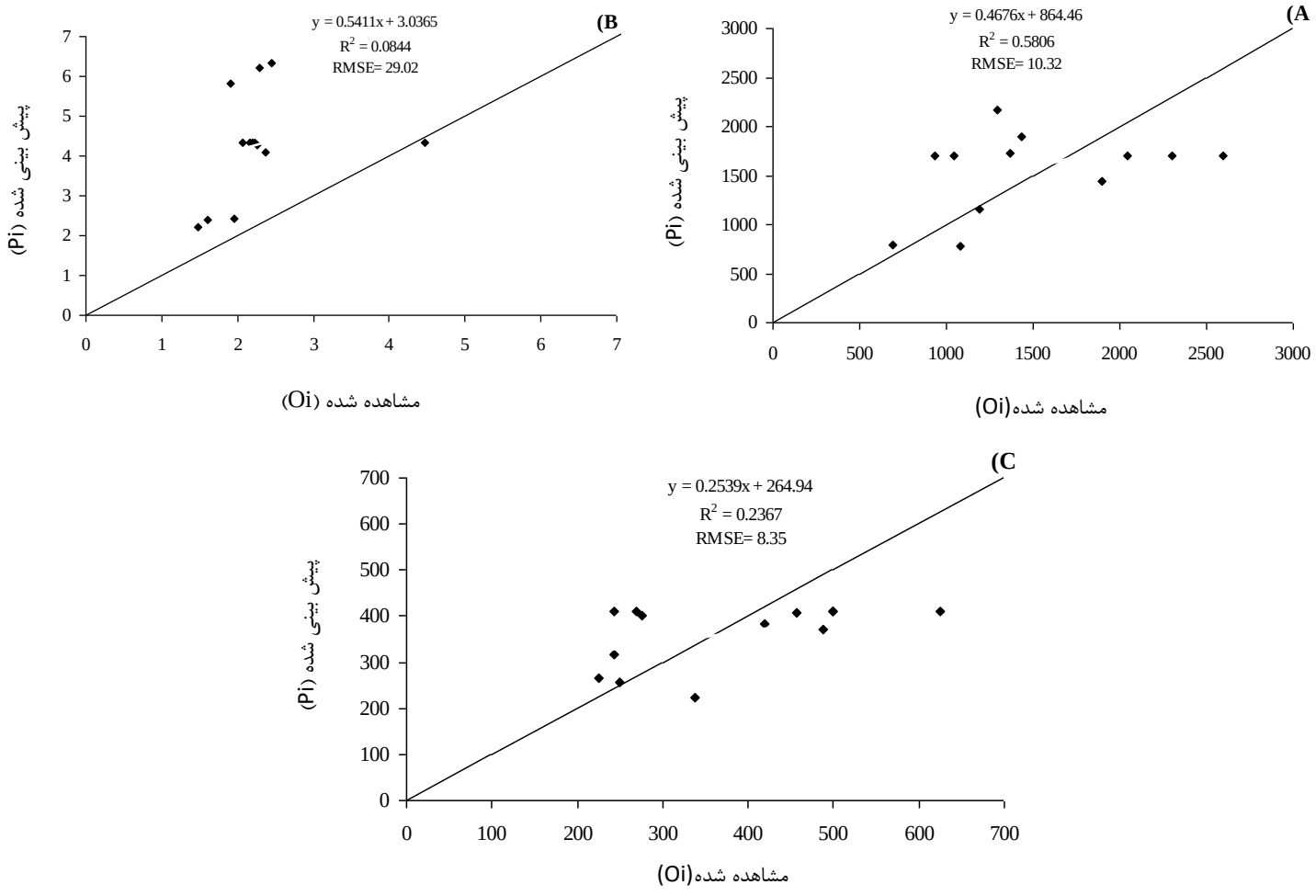
نفوذپذیری و تخلخل، شرایط ریزوسفر را برای بنه‌ها بهبود بخشیده که این امر منجر به بهبود رشد اندام‌های رویشی و بنه‌ها می‌گردد (Rasoulzadeh & Yaghoubi, 2010). پژوهش‌های مختلفی در این خصوص نشان می-دهند که افزایش مصرف کود دامی، افزایش عملکرد بنه-های دختری زعفران را در پی داشته است (Khorramdel et al.,2019; Ebrahimi et al., 2019;). مقدار پایین RMSE (۱۰/۳۲) نشان‌دهنده پیش‌بینی خوب مدل برای صفت وزن خشک بنه‌های دختری می‌باشد (شکل ۳ -A و جدول ۵).

جدول ۷. مقادیر مشاهده شده و برازش شده برای شاخص‌های عملکرد بنه زعفران تحت تأثیر مصرف آب و کود دامی

Table 7. Observed and predicted values for flower yield criteria of saffron affected as water and cow manure

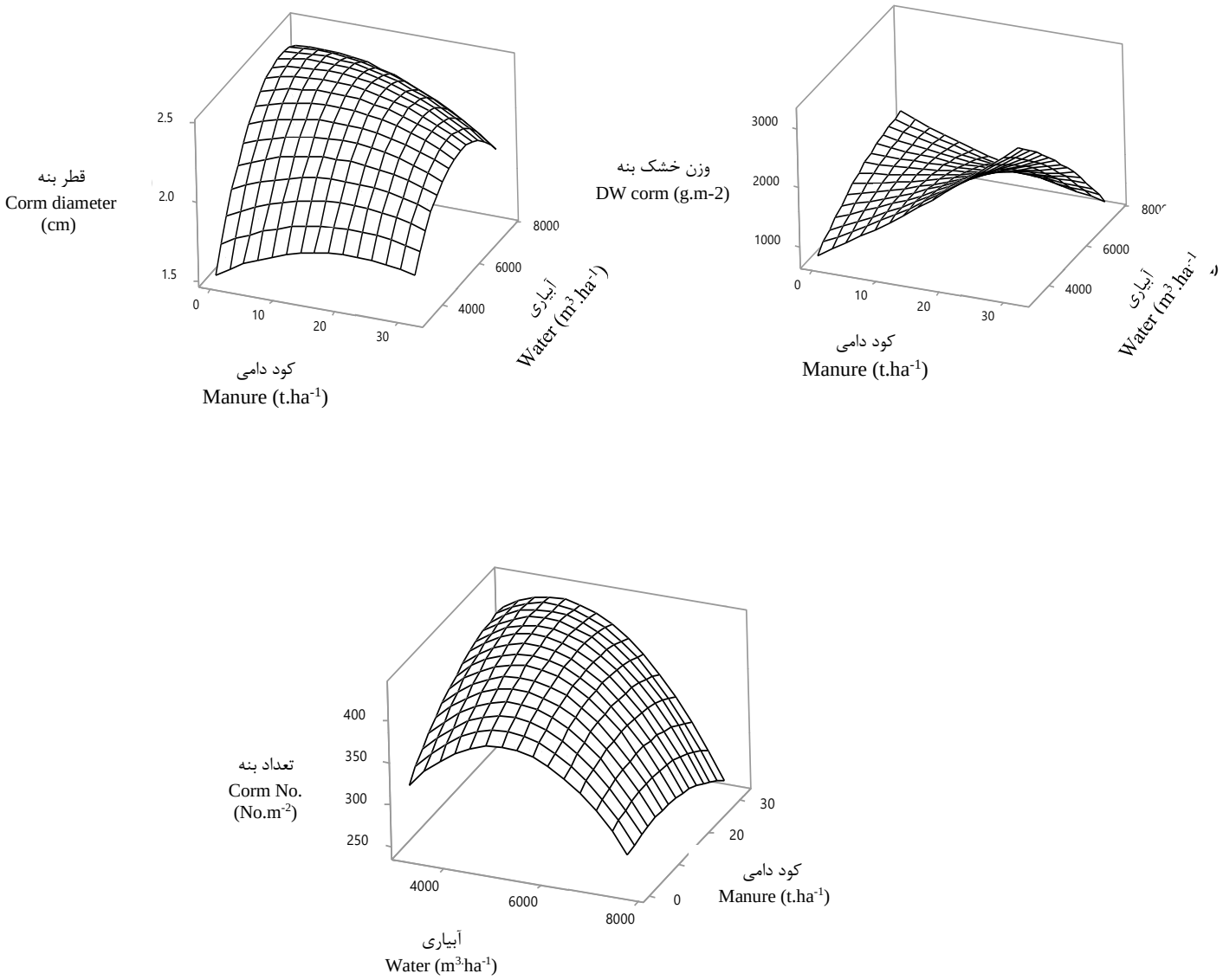
میزان آب Water rate ($m^3.ha^{-1}$)	میزان کود دامی Cow manure level ($t.ha^{-1}$)	وزن خشک بنه‌های دختری Dried weight of daughter corm ($g.m^{-2}$)		قطر بنه دختری Daughter corm diameter (cm)		تعداد بنه دختری Daughter corm number ($No.m^{-2}$)		تعداد بنه‌های دختری Number of daughter corm ($No.m^{-2}$)							
								0-4 g		4-8 g		>8 g			
		مشاهده شده Observed	برازش شده Predicted	مشاهده شده Observed	برازش شده Predicted	مشاهده شده Observed	برازش شده Predicted	مشاهده شده Observed	برازش شده Predicted	مشاهده شده Observed	برازش شده Predicted	مشاهده شده Observed	برازش شده Predicted
3200	0	693.13	795.36	1.48	2.21	243.75	315.32	175.00	215.48	56.25	70.60	12.50	13.02
7680	0	1366.88	1728.63	2.45	6.34	250.00	257.26	56.25	74.54	156.25	71.23	37.50	64.81
3200	32	4463.31	3195.74	1.61	2.39	456.25	406.20	400.00	278.23	50.00	56.97	6.25	7.58
7680	32	1082.44	783.00	1.91	5.81	337.50	223.42	237.50	180.15	75.00	36.81	25.00	53.06
3200	16	1433.19	1893.15	1.95	2.44	418.75	384.57	275.00	273.22	125.00	94.76	18.75	30.29
7680	16	1191.44	1153.41	2.28	6.21	225.00	264.15	100.00	153.71	68.75	84.99	56.25	78.93
5440	0	1894.44	1442.63	2.27	4.28	487.50	371.59	325.00	155.04	93.75	80.95	68.75	53.97
5440	32	1297.31	2170.00	2.37	4.10	275.00	400.11	137.50	239.22	106.25	56.92	31.25	45.37
5440	16	933.38	1703.92	2.23	4.33	243.75	409.66	156.25	223.50	50.00	99.91	37.50	69.66
5440	16	1040.56	1703.92	2.20	4.33	268.75	409.66	162.50	223.50	68.75	99.91	37.50	69.66
5440	16	2042.88	1703.92	2.07	4.33	500.00	409.66	306.25	223.50	118.75	99.91	75.00	69.66
5440	16	2303.69	1703.92	2.16	4.33	625.00	409.66	406.25	223.50	150.00	99.91	68.75	69.66
5440	16	2594.00	1703.92	4.47	4.33	500.00	409.66	225.00	223.50	162.50	99.91	112.50	69.66

قطر بنه‌های دختری: بررسی نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که بیشترین قطر بنه‌های دختری پیش‌بینی شده (۶/۳۴ سانتی‌متر) در تیمار عدم مصرف کود دامی و ۷۶۸۰ مترمکعب آب در هکتار و بیشترین قطر بنه‌های دختری مشاهده شده (۴/۴۷ سانتی‌متر) در تیمار ۱۶ تن کود دامی و ۵۴۴۰ مترمکعب آب در هکتار مشاهده شد (جدول۷ و شکل‌های ۳ و ۴). همچنین کمترین قطر بنه‌های دختری پیش‌بینی شده و مشاهده شده به ترتیب معادل ۲/۲۱ و ۱/۴۸ سانتی‌متر بود که در تیمار بدون کود دامی و ۳۲۰۰ مترمکعب آب در هکتار بدست آمد (جدول۷ و شکل‌های ۳ و ۴). نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که افزایش مصرف کود دامی تا حدود ۱۶ تن به همراه افزایش میزان آبیاری تا حدود ۶۰۰۰ مترمکعب منجر به افزایش قطر بنه‌های دختری شد (شکل ۳ و۴).به عبارتی افزایش میزان مصرف کود دامی و آبیاری تا حد بهینه، منجر به درشت‌تر شدن بنه‌های دختری تولید شده می‌گردد. ملافیلابی و خرم‌دل (Mollafilabi & Khorramdel, 2016) با بررسی اثر کود دامی و محلول-پاشی برگی بر خصوصیات زراعی و عملکرد زعفران بیان داشتند که افزایش فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد بنه‌ها به دلیل تحریک فتوسنتز از طریق مصرف کود دامی موجب نمو بیشتر اندام‌های رویشی و تولید بنه‌های درشت‌تر می‌گردد.مقدار پایین RMSE (۲۹/۰۲) نشان‌دهنده پیش‌بینی نتوسط مدل برای صفت قطر بنه-های دختری می‌باشد (شکل۳ و جدول ۵).



شکل ۳. مقایسه خط رگرسیون با خط ۱:۱ و R^2 برای خصوصیات بنه‌های دختری زعفران (شامل a) وزن خشک (گرم بر متر مربع)، b) قطر (سانتی-متر) و c) تعداد (تعداد بر متر مربع)) با توجه به مدل درجه دو کامل

Fig 3. Comparisons for the regression line with 1:1 line and R^2 for daughter corm criteria of saffron (such as A) dried weight ($g.m^{-2}$), B) diameter (cm) and C) number ($g.m^{-2}$)) based on full quadratic model

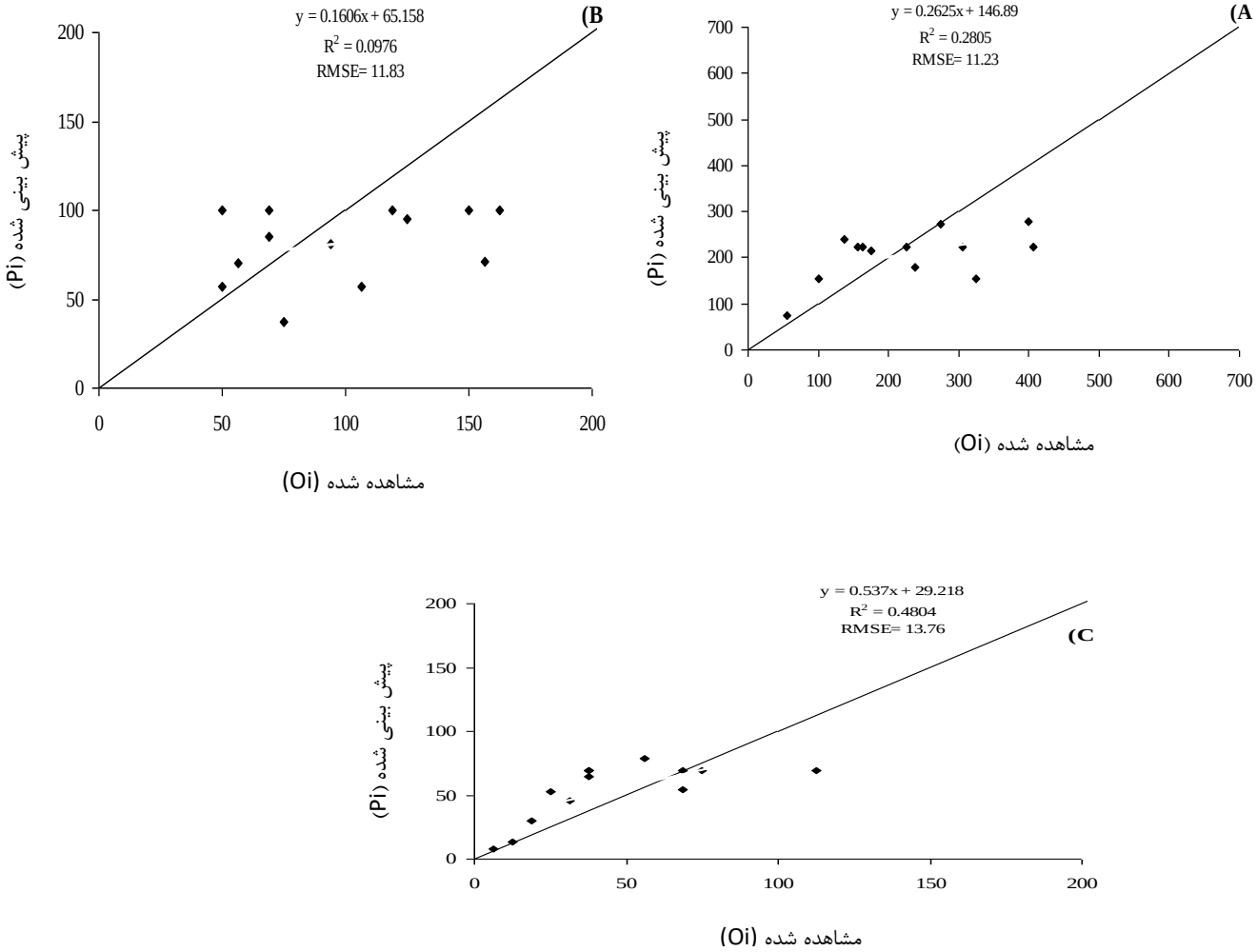


شکل ۴. سطح- پاسخ خصوصیات عملکرد بنه زعفران (شامل وزن خشک (گرم بر متر مربع)، قطر (سانتی‌متر) و تعداد (تعداد بر متر مربع)) نسبت به سطوح آب و کود دامی

Fig. 4. Response- surface for corm yield criteria of saffron (such as flower number, fresh weight of flower and dried weight of stigma) affected as water and cow manure rates

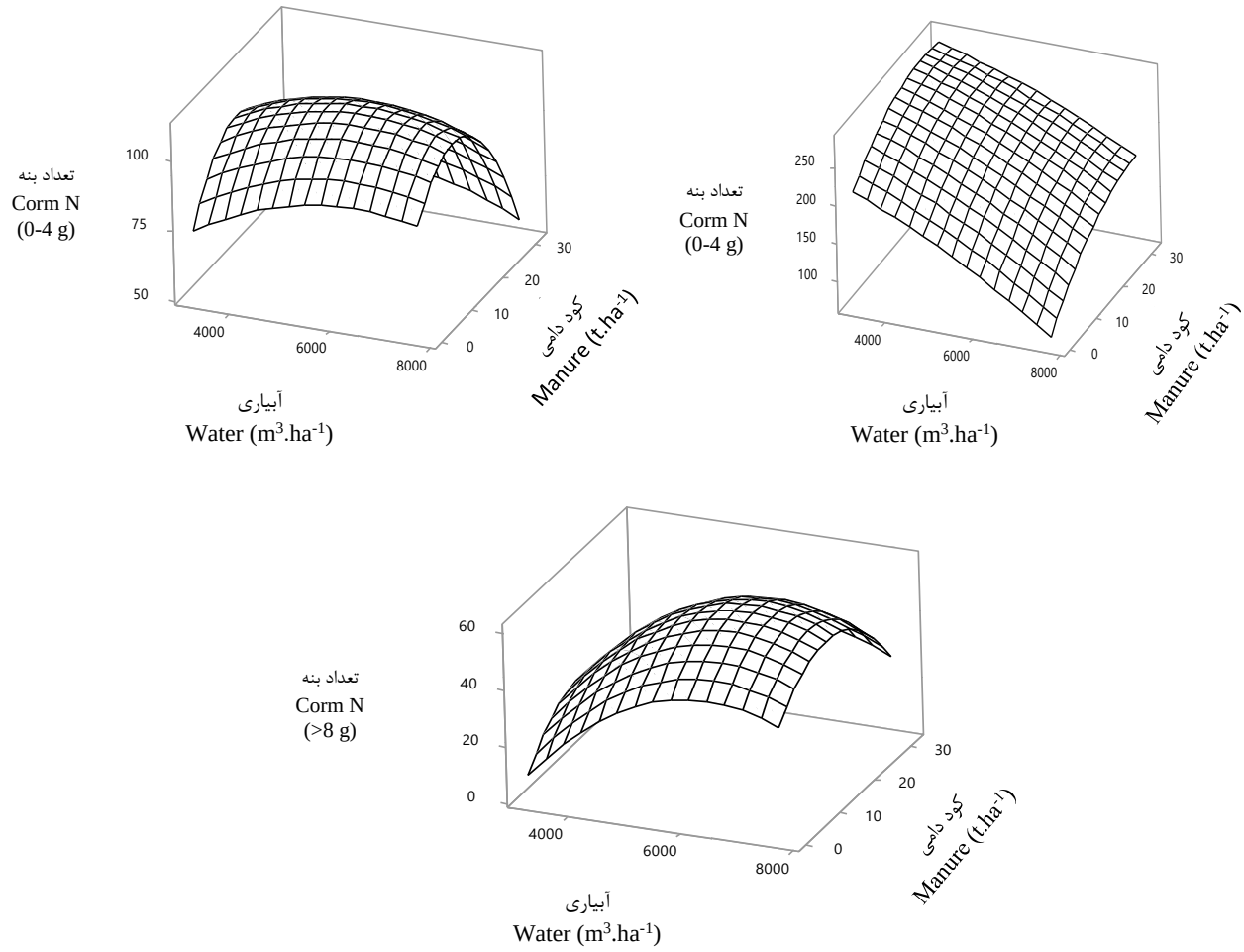
تعداد بنه‌های دختری: بیشترین تعداد بنه‌های دختری مشاهده شده از گروه وزنی ۴-۰ گرم با ۴۰۶ بنه در مترمربع برای تیمار ۱۶ تن کود دامی و ۵۴۴۰ مترمکعب آب در هکتار به دست آمد (جدول ۷ و شکل‌های ۵ و ۶). همچنین کمترین تعداد بنه‌های دختری مشاهده شده از گروه وزنی بیش از ۸ گرم با ۶ بنه در مترمربع در تیمار ۳۲ تن کود دامی و ۳۲۰۰ مترمکعب آب در هکتار مشاهده شد (جدول ۷ و شکل‌های ۵ و ۶). بیشترین و کمترین مقدار پیش‌بینی شده تعداد بنه‌های دختری معادل ۲۷۸ و ۷/۵۸ بنه در مترمربع به دست آمد که به ترتیب در گروه وزنی بیش از ۸ گرم و گروه وزنی ۴-۰ گرم و هر دو در تیمار ۳۲ تن کود دامی و ۳۲۰۰

مترمکعب آب در هکتار به دست آمد (جدول ۷). نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که در گروه‌های وزنی بالاتر، تعداد بنه‌های دختری تولید شده کمتر است؛ به طوری‌که کمترین تعداد بنه دختری در بالاترین گروه وزنی بنه‌ها به دست آمد (شکل‌های ۵ و۶). در همین راستا معلم و همکاران (Moallem Banhangi et al., 2019) بیان داشتند که بین تعداد و اندازه بنه‌های دختری ایجاد شده رابطه منفی وجود دارد که این شواهد با نتایج مولینا و همکاران و کوچکی و همکاران (Molina et al., 2005; Koocheki et al., 2015b) نیز مطابقت داشت، به طوری‌که این پژوهش گران نیز بیان داشتند که رابطه منفی بین تعداد و اندازه بنه های دختری وجود داشته است. مقدار RMSE برای گروه‌های مختلف وزنی شامل ۱-۰/۴، ۱-۴/۸ و ۸/۱< گرم به ترتیب برابر با ۱۱/۲۳، ۱۱/۸۳ و ۱۳/۷۸ درصد محاسبه شد که نشان‌دهنده پیش‌بینی خوب مدل برای این صفات است (شکل ۵ و جدول ۵).



شکل ۵- مقایسه خط رگرسیون با خط ۱:۱ و R^2 برای تعداد بنه‌های دختری زعفران در سه گروه وزنی (شامل a) ۴-۰/۱، b) ۸-۴/۱ و c) ۸/۱< گرم)) با توجه به مدل درجه دو کامل

Fig. 5- Comparisons for the regression line with 1:1 line and R^2 for daughter corm numbers of saffron in three weight groups (such as A) <4, B) 4-8 and C) >8 g) based on full quadratic model



شکل ۶- سطح- پاسخ خصوصیات عملکرد گل زعفران در سه گروه وزنی) شامل <۴، ۸-۴/۱ و >۸ گرم)) نسبت به سطوح آب و کود دامی

Fig. 6- Response- surface for flower yield criteria of saffron in three weight groups (such as <4, 4-8 and >8 g) affected as water and cow manure rates

بهینه‌سازی منابع: بهینه‌سازی میزان مصرف آب و کود دامی برای حصول متغیرهای وابسته شامل وزن خشک کلاله و قطر بنه زعفران تحت سناریوی مورد بررسی در جدول ۸ نشان داده است.

وزن خشک کلاله و قطر بنه به عنوان متغیر اصلی در تعیین سطوح بهینه منابع در سناریوی اقتصادی در نظر گرفته شد. شاخص مطلوبیت برای سناریوی اقتصادی معادل ۰/۷۲ محاسبه شد که نشان‌دهنده نتایج قابل قبولی برای سطح- پاسخ متغیرهای وابسته تحت تاثیر متغیرهای مستقل در این سناریو می‌باشد. لازم به ذکر است که هرچه این شاخص به یک نزدیک‌تر باشد نشان-دهنده دقت بالای مدل در شبیه سازی مقدار متغیرهای وابسته تحت تاثیر متغیرهای مستقل می‌باشد (Kalavathy et al.,2009).

نتایج نشان داد که کاربرد ۴۶۹۳/۳۳ مترمکعب آبیاری در هکتار و ۳۰ تن کود دامی در هکتار باعث تولید ۰/۵۰ میلی‌گرم کلاله در مترمربع و بنه‌هایی با قطر ۴/۰۱ سانتی‌متر می‌شود (جدول ۸) که به عنوان مناسب‌ترین سطوح مصرف کود دامی و آبیاری لحاظ گردید. با توجه به اینکه تمرکز سناریوی اقتصادی بر افزایش عملکرد کلاله زعفران و درشت‌تر بودن بنه‌های تولیدی زعفران می‌باشد، می‌توان بیان داشت که با کاربرد ۱۲مقادیر بهینه کود دامی و آبیاری در هکتار می‌توان به عملکرد کمی قابل قبولی در زمینه تولید بنه‌های دختری و کلاله زعفران به صورت همزمان دست یافت.

جدول ۸- بهینه‌سازی میزان آب و کود دامی برای حصول متغیرهای وابسته در زعفران در سناریوی اقتصادی

Table 8- Optimized values for water and cow manure rates for reaching the dependent variables in saffron based on economic scenario

سناریوی اقتصادی Economic scenario	متغیر Variable	
0.50	وزن خشک کلاله Dried weight of stigma ($mg.m^{-2}$)	وابسته Dependent
4.01	قطر بنه Corm diameter (cm)	
4693.33	آب Water ($m^3.ha^{-1}$)	مستقل Independent
30.12	کود دامی Cow manure ($t.ha^{-1}$)	
0.72	**شاخص مطلوبیت** Desirability	

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه روی اثر سطوح کود دامی و آبیاری با استفاده از مدلسازی سطح-پاسخ حاکی از تاثیر معنی‌دار مقادیر مختلف کود دامی و آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گل و بنه زعفران بود. بر اساس داده‌های مشاهده شده با افزایش میزان کود دامی تا حدود ۱۶ تن در هکتار و آبیاری تا ۵۴۴۰ مترمکعب در هکتار خصوصیات کمی گل بهبود یافت، به طوری‌که بیشترین وزن خشک کلاله و وزن تر گل و بیشترین تعداد گل مشاهده شده در تیمار ۱۶ تن کود دامی و ۵۴۴۰ مترمکعب آبیاری در هکتار به دست آمد. بالاترین وزن خشک بنه‌ها در تیمار ۳۲ تن کود دامی و ۳۲۰۰ مترمکعب آبیاری در هکتار به دست آمد. مناسب‌ترین حد بهینه مصرف کود دامی و آبیاری براساس سناریوی اقتصادی کاربرد ۴۶۹۳/۳۳ مترمکعب آبیاری در هکتار و ۳۰/۱۲ تن کود دامی در هکتار به دست آمد. براساس نتایج حاصل از پژوهش به نظر می‌رسد که مصرف منابع با توجه به مقادیر بهینه‌سازی شده بر اساس سناریوی اقتصادی می‌تواند به عنوان مناسب‌ترین سطوح مصرف کود دامی و آبیاری با توجه به شرایط مطالعه شده به منظور دستیابی به تولید پایدار و همزمان کلاله و بنه‌های دختری این گیاه در نظر گرفته شود.

سپاسگزاری

بودجه این پروژه از محل اعتبار طرح پژوهه شماره ۴۷۲۰۷ مورخ ۱۳۹۷/۰۵/۰۳ توسط معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Akhtar, S., Shakeel, S., Mehmood, A., Hamid, A., & Saif, S. (2013). Comparative analysis of animal manure for soil conditioning. *International Journal of Agronomy and Plant Production* 4 (12), 3360-3365.

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.

Alizadeh, A., Sayari, N., Ahmadian, J., & Mohamadian, A. (2009). Study for zoning the most appropriate time of irrigation of saffron (*Crocus Sativus* L.) in Khorasan Razavi, north and southern provinces. *Journal of Water and Soil*. 23, 109–118. [In Persian].

Behdani, M.A., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Rezvani Moghaddam, P. (2006). Evaluation of quantitative relationships between

saffron yield and nutrition (on farm trial). *Iranian Journal of Field Crops Research* 3, 1–14. [In Persian].

Ebrahimi, M., Pouyan, M., & Mahdi Nezhad, M. (2019). Effect of organic fertilizers and mother-corm size on flower and corm yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in the first year. *Journal of Saffron Research*, 7(1), 13-28. [In Persian].

El-Naggar, A.H., & El-Nasharty, A.B. (2009). Effect of growing media and mineral fertilization on growth, flowering, bulbs productivity and chemical constituents of Hippeastrum vittatum, Herb. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences.* 6: 360-371.

Fallahi, H., & Mahmoodi, S. (2018). Influence of organic and chemical fertilization on growth and flowering of saffron under two irrigation regimes. *Saffron Agronomy and Technology*, 6 (2), 147-166. [In Persian].

Gresta, F., Santonoceto, C., & Avola, G. (2016). Crop rotation as an effective strategy for saffron (Crocus sativus L.) cultivation. *Scientia Horticulturae*, 211, 34-39.

Kalavathy, H.M., Regupathib, I., Pillai, M.G., & Miranda, L.R. (2009). Modelling, analysis and optimization of adsorption parameters for H3PO4 activated rubber wood sawdust using response surface methodology (RSM). *Colloids and Surfaces B: Bionterfaces*, 70, 35-45.

Khorramdel, S., Abolhassani, L., & Azam Rahmati, E., (2017). Environmental impacts assessment of saffron agroecosystems using life cycle assessment methodology: (Case study: Torbat-e Heydarieh and Ghaen counties). *Journal of Saffron Research* 4(2), 229-248. [In Persian].

Khorramdel, S., Moallem Banhangi, F., & Shabahng, J. (2020a). Optimization of cow manure and leaf spraying with Dalfard rates on flower and corm yield of saffron (Crocus sativus L.) using a Central Composite Design. *Journal of Saffron Agronomy and Technology 9(1), 3-27*. [In Persian].

Khorramdel, S., Nassiri Mahallati, M., Latifi, H., & Farzaneh Belgerdi, M.R. (2020b). Comparison between energy, environmental and economic indicators of irrigated wheat and saffron agroecosystems in Khorasan-e Razavi Province. *Journal of Saffron Research in Press.* [In Persian].

Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Ghafori, A. (2018b). Economic evaluation of agroecosystem services of saffron in the Khorasan Razavi province. *Saffron Agronomy and Technology* 6(1): 73-89. [In Persian].

Khorramdel, S Rezvani Moghaddam, P., Moallem Banhangi, F., & Shabahang, J. (2019). Optimization of cow manure levels and corm weight in saffron (*Crocus sativus* L) by Central Composite Design. *Journal of Saffron Research*, 6(2), 233-249.
(In Persian with English Summary).

Koocheki, A. (2013). Research on production of Saffron in Iran: Past trend and future prospects. *Saffron Agronomy and Technology*, 1(1):3-21. [In Persian].

Koocheki, A., Jamshid Eyni, M., & Seyyedi, S.M. (2015a). The effects of mother corm size and type of fertilizer on nitrogen use efficiency in saffron. *Saffron Agronomy and Technology*, 2 (4), 243-254. [In Persian].

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Khorramdel, S. & Morid Ahmadi, S. (2017). Optimization of plant density and nitrogen use in corn (*Zea mays* L.) by Central Composite Design. *Iranian Journal of Field Crops Reserch*. 15(4), 798-810. [In Persian].

Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., Mollafilabi, A., & Seyyedi, S.M. (2013). The effects of high corm density and manure on agronomic

characteristics and corms behavior of Saffron (*Crocus sativus* L.) in the second year. *Journal of Saffron Research* 1 (2), 144-155. [In Persian].

Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., Mollafilabi, A., & Seyyedi, S. (2015b). Effects of corm planting density and manure rates on flower and corm yields of saffron (*Crocus sativus* L.) in the first year after planting. *Journal of Agroecology* 6 (4): 719-729. [In Persian].

Koocheki, A., Seyyedi, S. M., & Eyni, M. J. (2014). Effect of irrigation levels and high corm density on growth and phosphorus uptake of daughter corms of saffron (*Crocus sativus* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 16 (3), 222-235. [In Persian].

Koocheki, A., Seyyedi, S.M., & Gharaei, S. (2016). Evaluation of the effects of saffron cumin intercropping on growth, quality and land equivalent ratio under semi-arid conditions. *Scientia Horticulturae* 201, 190–198. [In Persian].

Abolhassani, L., Khorramdel, S., Reed, M., & Saghaian. S. (2020). Environmental-Economic Analysis of Saffron Production. In: M., (Eds.). *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition,* 545 p.

Latifi, H., khorramdel, S., Nassiri Mahallati, M., & Farzaneh Belgerdi, M. (2018). Effects of nitrogen fertilizer and plant density on yield and nitrogen efficiency indices of sesame using a central composite design. *Journal of Plant Production Research*, 25(3), 125-140. [In Persian].

Liu, E., Yan, C., Mei, X., He, W., Bing, S.H., Ding, L., Liu, Q., Liu, S., & Fan, T., (2010). Longterm effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. *Geoderma* 158,173–180.

Ministry of Agriculture-Jahad. (2019). Agricultural statistics, (Vol. 2). Islamic Republic of Iran, Ministry of Agriculture-Jihad Press, Iran. [In Persian].

Moallem Banhangi, F., Rezvani Moghaddam, P., Asadi, G., & 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. [In Persian].

Monemizadeh, Z., ghasemi, M., & sadrabadi, R. (2016). Review of Organic Fertilizers Impacts on Agriculture of Saffron (Crocus sativus L.). *Land Management Journal*, 4.1(1), 55-77. [In Persian].

Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola J.L., & Garcia-Luice, A. (2005). Temperature effects on flower formation in saffron (Crocus sativus L.). *Scientia Horticulture* 103, 361-379.

Mollafilabi, A., & Khorramdel, S. (2016). Effects of cow manure and foliar spraying on agronomic criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in a six year old farm. *Saffron agronomy and technology*, 3 (4), 237-249. [In Persian].

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

Rasoulzadeh, A., & Yaghoub, A. (2010). Effect of cattle manure on soil physical properties on a sandy clay loam soil in North-West Iran. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 8(2), 976-979. [In Persian].

Rezvani Moghaddam P., Mohammad AbadiA., FalahiH. R., & Aghhavani shajariM. (2014). Effects of nutrient

management on flower yield and corm characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Horticulture Science*, 28 (3), 427-434. [In Persian].

Safari, M., Khajoui, G.R., Maghsoudi Moud, A.A., & Mohammadi Nejhad, G. (2018). Effect of different rates and application methods of super-absorbent polymer in saffron cultivation under different irrigation levels. *Journal of Saffron Research*, 5 (2), 231-246. [In Persian].

Shahriary, R., Rezvani Moghaddam, P., Jahan, M., & Khorasani, R. (2018). Effects of nutrition management on saffron (Crocus sativus L.) stigma and flower yield. *Saffron Agronomy and Technology* 6(2), 181-196. [In Persian].

Wu, C.F.J., & Hamada, M. (2000). Experiments: Planning, Analysis, and Parameter Design Optimization. New York.

Yarami, N., Kamgar-Haghighi, A.A., Sepaskhah, A.R., & Zand-Parsa, S., (2011). Determination of the potential evapotranspiration and crop coefficient for saffron using a water-balance lysimeter. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 57(7), 727-740

COPYRIGHTS

© 2022 by the authors. Published by University of Birjand – Saffron Research Group. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Journal of Saffron Research (semi-annual)

Vol.10, No.1, Spring & Summer, 2022

p. 45-63

http://dx.doi.org/ 10.22077/JSR.2021.4086.1152

University of Birjand

Original Article:

Optimization of Manure and Irrigation Levels on Flower and Corm Yields of Saffron by Using a Central Composite Design

Parviz Rezvani Moghaddam[1*], Surur Khorramdel[2], Fatemeh Moallem Benhangi[3]

1- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3- PhD Student in Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

** Corresponding Author Email: rezvani@um.ac.ir*

Received 25 May 2018; Accepted 29 September 2018

Abstract

The purpose of this experiment, evaluation of cow manure and irrigation levels on flower and corms of saffron using Central Composite Design was done with 13 treatments and two replications at the Research Field of the Ferdowsi University of Mashhad during two growing seasons of 2017-2018 and 2018-2019. The treatments were based on low and high cow manure levels (0 and 80 t.ha^{-1}, respectively) and water (120 and 50 percent of water requirement, respectively). The results showed that the linear component's effect was significant on ($p\leq0.05$) daughter corm diameter and numbers of daughter corms for 4-8 g. The square component's effect was significant on ($p\leq0.05$) flower number, fresh weight of flower, the dried weight of stigma, and daughter corm diameter. The interaction effect of full quadratic was significant ($p\leq0.05$) on the dried weight of daughter corms. Lack of fit test had no significant effect on the studied traits. The response variables' full square model gave insignificant lack-of-fit, indicating that the data were satisfactorily explained. The highest values of dried weight of stigma, fresh weight of flower, and flower number were observed for 16 t cow manure per ha+ 5440 m3 water per ha (with, respectively 0.65 and 27.75 g.m^{-2}and 60 No.m-2). The maximum amount for dried weight of daughter corms was observed for 32 t cow manure per ha+ 3200 m3 water per ha (with 4463.31 g.m^{-2}). It is necessary to use 4693.33 m3 water per ha 30.12 t cow manure per ha to obtain optimum conditions under the economic scenario (with desirability index= 0.72).

Keywords: Lack of fit, Economic scenario, Desirability index, Central Composite Design.