نشریه زراعت و فناوری زعفران
جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴ ص. ۱۷۷-۱۶۱

Saffron Agronomy & Technology
Vol. 3, No. 3, Fall 2015, P. 161-177

بهینه‌سازی تراکم و وزن بنه زعفران (*Crocus Sativus* L.) با استفاده از طرح مرکب مرکزی

مهدی نصیری محلاتی[۱]، علیرضا کوچکی[۲*]،افسانه امین غفوری[۳] ومنصوره محلوجی راد[۴]

تاریخ دریافت: ۲۶ آذر ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: ۳۰ خرداد ۱۳۹۴

چکیده

بررسی مسائل زراعی جهت بهبود کیفیت و افزایش عملکرد محصول زعفران بسیار مهم است. یکی از مباحث مطرح در این زمینه، اندازه و تراکم بنه زعفران می‌باشد که می‌تواند بر نحوه تخصیص مواد در گیاه مؤثر بوده و از طریق تحت تأثیر قراردادن رشد رویشی بر تولید تأثیرگذار باشد. بنابراین به‌منظور تعیین اثر متقابل تراکم و اندازه بنه جهت به دست آوردن مناسب‌ترین وزن بنه به تفکیک تراکم به‌عنوان اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر رشد زعفران آزمایشی در قالب طرح مرکب مرکزی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در دو سال زراعی ۹۱-۹۰ و ۹۱-۹۲ به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایشی با توجه به سطوح بالا و پائین اندازه بنه شامل سطوح وزن بنه‌های کوچک (۴> گرم) تا متوسط (۴-۸ گرم) و تراکم کم (۵۰ بنه در مترمربع) تا پرتراکم (۲۵۰ بنه در مترمربع) طراحی شد. نقطه مرکزی در هر تیمار پنج بار تکرار شد و درمجموع ۱۳ ترکیب تیماری به دست آمد. عملکرد اقتصادی (وزن خشک کلاله)، قطر بنه، تعداد بنه دختری، تعداد بنه اصلی، تعداد گل و وزن‌تر گل به‌عنوان متغیرهای وابسته موردانداز‌ه‌گیری قرار گرفتند و با استفاده از مدل رگرسیونی چندجمله‌ای، سطوح پاسخ این متغیرها تحت تأثیر فاکتورهای آزمایش محاسبه شد. درمجموع نتایج نشان داد که افزایش اندازه بنه و تراکم اثر مثبتی برافزایش عملکرد اقتصادی، قطر بنه، تعداد بنه دختری، تعداد بنه اصلی، تعداد گل و وزن‌تر گل داشت. بر اساس یافته‌های این پژوهش کاشت بنه‌هایی با وزن متوسط در تراکم بالا مناسب‌تر بود و بر این اساس مقدار بهینه اندازه بنه و تراکم زعفران به ترتیب با ۷ گرم و ۲۵۰ بنه در مترمربع برآورد شد.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی، عملکرد اقتصادی، قطر بنه و وزن‌تر گل

مقدمه

زعفران (*Crocus Sativus* L.) به‌عنوان مهم‌ترین محصول کشاورزی و دارویی در جهان (Koocheki et al., 2011) دارای خواص درمانی ازجمله آرام‌بخش، تحریک‌کننده معده، ضد سرطان، ضد التهاب و برطرف‌کننده اسپاسم است (Gioccio, 2004; Abdullaer & Espinosa-Agirre, 2004; Xi et al., 2007). زعفران گیاه نقدینه‌ای که پژوهشگران آن را بومی ایران می‌دانند (Koocheki et al., 2006)، علفی، چندساله، نیمه‌گرمسیری و سرمادوست بوده (Koocheki et al., 2006; Mashayekhi et al., 2006) و به‌عنوان گران‌ترین محصول کشاورزی و دارویی جهان از جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات صنعتی و صادراتی ایران برخوردار است، به‌طوری‌که بیش از ۹۰ درصد از تولید زعفران دنیا به ایران تعلق دارد

۱- استاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دکتری اگرو اکولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دانشجوی دکتری اگرو اکولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: akooch@um.ac.ir

(MohammadAbadi et al., 2006; Arslan et al., 2006). قربانی و کوچکی (Ghorbani & Koocheki, 2006) گزارش کردند که زعفران اقتصادی‌ترین گیاه زراعی در نظام‌های کشاورزی کم‌نهاده در جنوب خراسان به شمار می‌رود. بدیهی است که با افزایش تولید و توسعه صادرات زعفران به روش صحیح می‌توان درآمد ارزی قابل‌اطمینانی را برای کشور تأمین کرد.

زعفران همچون گیاهان زراعی دیگر برای استفاده حداکثر از پتانسیل محیط، علاوه بر شرایط آب و هوایی و خاک مناسب نیاز به مدیریت‌های زراعی بهینه جهت حصول حداکثر عملکرد و افزایش طول دوره بهره‌برداری دارد که نتایج برخی از تحقیقات (De-maastro & Ruta, 1993; Molina et al., 2005; Munshi et al., 1989) نشان داده است که در این رابطه اندازه بنه و تراکم مطلوب کاشت نقش بسزایی دارند. ازجمله دلایل پایین بودن عملکرد در نواحی زعفران کاری سنتی ایران استفاده از بنه‌های کوچک و با وزن کم(بنه‌هایی با وزن کمتر از ۵ گرم) می‌باشد (Hemmati- Kakhki & Hosseini, 2003) درحالی‌که در اسپانیا از بنه‌های درشت و سالم با وزن بالا (بنه-هایی با وزن بالاتر از ۸ گرم) استفاده می‌شود (Rashed- Mohassel et al., 1991).

ازآنجاکه در زعفران مرحله رشد زایشی قبل از رشد رویشی رخ می‌دهد (Kafi et al., 2002)، مشخص است که ذخیره اندام‌های زیرزمینی و به‌ویژه بنه می‌تواند نقش مؤثری بر گلدهی و در نتیجه عملکرد داشته باشد. رمضانی (Ramezani, 2000) با بررسی اثر وزن بنه بر عملکرد گل زعفران در نیشابور گزارش کرد که اثر وزن بنه بر عملکرد گل معنی‌دار بود، به‌طوری‌که استفاده از بنه‌های درشت نه‌تنها باعث بهبود تولید گل در سال اول شد، بلکه از طریق تولید تعداد بنه‌های دختری بیشتر نیز منجر به بهبود گلدهی و افزایش کارایی مزرعه در سال‌های بعدی گردید. تحقیقات نشان داده است که برای کاشت باید بنه‌های با وزن بیشتر از ۸ گرم انتخاب شوند، زیرا بنه‌های درشت نه‌تنها در سال اول از تولید و عملکرد مناسبی برخوردارند، بلکه از طریق تولید بنه‌های دختری بیشتر و درشت‌تر ظرفیت گل‌آوری و عملکرد مزرعه را در سال‌های بعد افزایش می‌دهند (Ghasemi Rooshnava et al., 2009). همچنین گزارش شده است که وزن بنه، اثر چشم‌گیری بر تولید بنه‌های دختری و متعاقب آن عملکرد گل در زعفران داشت (Kumar et al., 2009). گرستا و همکاران (Gresta et al., 2008) نیز بر تأثیر معنی‌دار اندازه بنه بر خصوصیات رشدی و عملکرد زعفران تأکید کردند. نتایج مطالعه ارسلان و همکاران (Arslan et al., 2006) نشان داد که اندازه بنه اثر مثبت و معنی‌داری بر تولید تعداد بنه دختری، میزان گلدهی، عملکرد گل و کلاله زعفران داشت. نتایج حاصل از بررسی اثر وزن بنه بر گل‌آوری زعفران نشان داده است که پتانسیل گلدهی بنه‌های دارای وزن کمتر از ۸ گرم محدود است، درحالی‌که درصد گل آوری و مقدار گل بنه‌های بیش از ۱۰ گرم افزایش چشمگیری داشته و بنه‌های درشت از طریق تولید بنه‌های دختری بیشتر، ظرفیت گل‌آوری و عملکرد را در سال‌های بعد افزایش می‌دهند (Kafi & Showket, 2007). نتایج برخی دیگر از مطالعات نیز مؤید بهبود گل‌آوری زعفران تحت تأثیر کاشت بنه‌های مادری درشت تر می‌باشد (Singh et al., 1994; Nassiri Mahallati et al., 2008). ملافیلابی و همکاران (Mollafilabi et al., 2014) اظهار داشتند که با افزایش وزن بنه کلیه خصوصیات رشدی و عملکرد کلاله زعفران افزایش یافت به‌طوری‌که بالاترین خصوصیات برای بنه‌های با وزن بیشتر از ۱۰ گرم مشاهده شد. نتایج مطالعه کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2006) نشان داد که با افزایش وزن بنه خصوصیات رشدی نظیر فاصله زمانی تا ظهور اندام‌های هوایی، سطح برگ، زیست

توده اندام‌های هوایی، وزن خشک ریشه و تعداد جوانه‌های فعال در هر بنه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کوچکی و ثابت تیموری (Koocheki & Sabet Teimouri, 2014) بامطالعه تأثیر وزن بنه بر عملکرد بنه و کلاله زعفران بیان داشتند که تأثیر وزن بنه بر خصوصیات رشدی و عملکرد زعفران معنی‌دار بود. بطوریکه بیشترین وزن تک بنه (۱۵ گرم)، عملکرد کلاله (۰/۶۲۳ گرم در متر مربع) و وزن خشک برگ (۵/۱ گرم درمترمربع) حاصل کاشت بنه‌های با وزن ۸ تا ۱۲ گرم بود. همچنین بالاترین عملکرد بنه (۷۲۵ گرم) از کاشت بنه‌های با وزن بیشتر از ۱۲ گرم و در سال سوم کاشت زعفران به‌دست آمد. این موضوع در تحقیقات توسط دیگر محققان نیز مشخص‌شده است که با بیشتر شدن وزن بنه زعفران، پتانسیل گلدهی و عملکرد اقتصادی در سال اول بهبود می‌یابد (Mollafilabi, 2009; Benabaji et al., 2012; Gowhar et al., 2012). ملافیلابی (Mollafilabi, 2012) گزارش نمود که بنه‌های تا ۶ گرم در سال اول از توان گل‌آوری برخوردار نبوده و بیشترین گل و تعداد جوانه از بنه‌های با وزن ۳۰ گرم به بالا به ترتیب، به تعداد ۳/۶ و ۷/۳ جوانه از هر بنه به دست آمد. نتایج مطالعه رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2012) نیز نشان داد که افزایش وزن بنه‌های کمتر از ۵ گرم به بیشتر از ۸ گرم باعث بهبود وزن کلاله در هر دو سال بیش از ۱۰۰ درصد شد.

تعیین تراکم بهینه یکی از راهکارهای مؤثر در بهبود کارایی استفاده از منابع موجود و افزایش عملکرد در واحد سطحمی‌باشد (Kafi et al., 2002). تراکم بنه در واحد سطح بسته به نوع و روش کشت و اندازه بنه زعفران متغیر بوده و در منابع مختلف بین ۱/۵ تا ۱۰ تن در هکتار گزارش گردیده است (Amir Ghasemi, 2001). در همین راستا نتایج تحقیق کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) نشان داد که در طی سه سال بهره‌برداری از زمین، افزایش تراکم بنه از ۴ به ۱۲ تن در هکتار، ضمن افزایش تعداد گل در واحد سطح، منجر به بهبود معنی‌دار عملکرد گل‌تر و خشک و نیز وزن کلاله زعفران در واحد سطح شد. همچنین کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) با بررسی اثر تراکم بنه گزارش نمودند که بالاترین عملکرد کلاله زعفران برای تراکم ۱۱ تن بنه در هکتار حاصل شد. در همین ارتباط رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2013) اظهار داشتند تعداد گل و وزن کلاله به‌طور معنی‌داری تحت تأثیرتراکم بنه قرار گرفتند، بطوریکه با افزایش تراکم بنه از ۵۰ به ۱۵۰ بنه در مترمربع وزن‌تر گل و عملکرد کلاله زعفران ۱۲ درصد افزایش یافت. نتایج مطالعه دی‌خوان و همکاران (De Juan et al., 2009) روی اثر تراکم بنه (۵۱ و ۶۹ بنه در متر مربع) بر عملکرد زعفران نشان داد که با افزایش تراکم بنه عملکرد کمّی زعفران به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.نتایج مطالعه علوی شهری و همکاران (Alavi Shahri et al., 1994) روی اثر تراکم بوته بر عملکرد زعفران نشان داد که با افزایش تراکم کاشت، عملکرد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بر اساس نتایج این پژوهش، آن‌ها تراکم ۵۰ بوته در مترمربع را بهترین تراکم برای دستیابی به عملکرد بالا توصیه نمودند. بر اساس نتایج بیشتر مطالعات انجام شده در ایران، مناسب‌ترین تراکم برای دستیابی به بالاترین عملکرد زعفران، ۵۰ بنه در مترمربع در کاشت ردیفی می‌باشد (Kafi et al., 2002; Alavi Shahri et al., 1994). از سوی دیگر کشت زعفران در تراکم پایین ممکن است از لحاظ اقتصادی به‌ویژه در سال اول قابل توجیه نباشد، ازاین‌رو اجرای الگوهای کشت پرتراکم زعفران تا حدود ۴۰۰ بنه در متر مربع ممکن است به‌عنوان یک راهکار جهت جبران کاهش عملکرد در نظر گرفته شود (Koocheki et al., 2011). نتایج برخی دیگر از بررسی‌های انجام شده (Koocheki et al., 2012; Mohammad Abadi et al., 2006; Koocheki et al., 2009) بر روی اثر تراکم بنه زعفران بر عملکرد نیز نشان‌داده

است که با افزایش تراکم بنه از ۱۰۰ به ۱۵۰ بنه در مترمربع خصوصیات رویشی و زایشی زعفران افزایش یافت.

جهت تعیین حد بهینه شرایط رشدی، استفاده از مدل‌ها و روابط تجربی‌ریاضی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. یکی از معمول ترین روش‌های مورد استفاده جهت بهینه‌سازی عوامل مختلف، استفاده از طرح مرکب مرکزی است (Wu & Hamada, 2000). این طرح روشی جایگزین و مناسب برای طرح فاکتوریل می‌باشدکه توسط باکس و هانتر (Box & Hunter, 1957) اصلاح گردید. مزیت استفاده از طرح مرکب مرکزی نسبت به طرح فاکتوریل، امکان استخراج اطلاعات بیشتر از تحلیل این طرح و تعداد کمتر تیمار و تکرارهای موردنیاز جهت انجام آزمایش می‌باشد که اجرای این طرح را آسان‌تر می‌کند، همچنین امکان تعیین ترکیب‌های مختلف متغیر مستقل را در آزمایش فراهم می‌آورد (Aslan, 2007).

علیرغم تحقیقات گسترده‌ای که به‌صورت جداگانه در مورد وزن بنه مادری و تراکم بهینه بر روی عملکرد زعفران صورت گرفته است، اطلاعات موجود درزمینه بهینه‌سازی همزمان این دو عامل اندک است، لذا تحقیق حاضر باهدف بهینه‌سازی اثر متقابل تراکم و اندازه بنه در کشت زعفران با استفاده از تکنیک طرح مرکب مرکزی در شرایط آب و هوایی مشهد انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ و ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا در قالب طرح مرکب مرکزی اجرا شد. تعداد تیمارهای طراحی شده در طرح مرکب مرکزی با استفاده از معادله (۱) $k2 + 2k + r$ محاسبه می‌شود (Box & Hunter, 1957). با استفاده از طرح مرکب مرکزی می‌توان حداکثر اطلاعات با استفاده از کمترین تعداد اجرا از طریق توزیع نقاط آزمایشی در محدوده موردنظر استخراج کرد. بر این اساس ترکیب تیمارهای آزمایشی با توجه به سطوح بالا و پایین تراکم (۵۰ و ۲۵۰ بنه در مترمربع) و سطوح بالا و پایین وزن بنه (۳ و ۷ گرم) تعیین شدند و نقطه مرکزی (میانگین سطوح فاکتورها) ۵ بار تکرار شد که درمجموع ۱۳ ترکیب تیماری مشخص گردید (معادله ۲ و جدول۱). قابل‌ذکر است که انتخاب بنه‌های کوچک در این تحقیق با این هدف است که امکان استفاده از آن‌ها در تراکم‌های بالای کاشت موردبررسی قرار گیرد.

$$k2 + 2k + r \quad (۱)$$

در این فرمول k نشان‌دهنده تعداد فاکتورهای تحت بررسی و r تعداد تکرار برای نقطه مرکزی می‌باشد.

$$2^2+ (2*2)+ 5 = 13 \quad (۲)$$

در مرحله آماده‌سازی زمین و پیش از کاشت، نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه از عمق ۳۰ سانتیمتری به‌صورت تصادفی تهیه شد و به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج حاصل از آن در جدول ۲ نشان داده شده‌است.

ابعاد کرت‌های آزمایشی ۲×۲ متر و فاصله بین کرت‌ها در هر تکرار ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در اواخر شهریور ماه سال ۱۳۸۸ انجام شد. آبیاری اول بلافاصله بعد از کاشت و آبیاری دوم یک هفته بعد از کاشت باهدف تسهیل در خروج جوانه‌های گل و برگ زعفران از خاک انجام شد .در فاصله دو آبیاری نیز یک‌مرتبه سله‌شکنی صورت گرفت. عملیات مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی بنابر ضرورت در طول فصل رشد انجام شد.

برداشت دستی گل‌ها در اواسط آبان ماه به‌صورت روزانه و عملیات برداشت بنه در نیمه اول خردادماه انجام شد. صفات

اندازه‌گیری شده شامل تعداد بنه‌های فاقد گل، تعداد بنه‌های تک‌گل، دو گل، سه گل، چهار گل و بیشتر، تعداد کل بنه‌های دختری و تعداد بنه‌های دختری در گروه‌های وزنی ۳ الی ۷ گرم بود. در طی دوره گلدهی زعفران، تعداد و وزن گل و وزن‌تر کلاله به‌صورت روزانه اندازه‌گیری و در پایان دوره گلدهی نیز وزن خشک کلاله براساس روش هوا خشک در سایه با ترازوی ۰/۰۰۰۱ گرم حساسیت توزین و مشخص شد.

تعداد کل بنه‌ها و عملکرد بنه‌های دختری گروه‌بندی‌شده به‌صورت تخریبی از مساحتی معادل ۰/۲۵ مترمربع تعیین شد. برای تعیین وضعیت چند گلی بنه‌ها، به‌جای قطع کردن گل‌ها از انتهای پایینی غلاف جام در هر برداشت، گل‌ها به‌وسیله ناخن از زیر جام گل قطع شدند. بدین ترتیب، میله غلاف گل به‌عنوان علامتی باقی گذاشته شد تا امکان ردیابی ظهور گل‌های جدید در برداشت‌های بعدی وجود داشته باشد.

به‌منظور تعیین سطوح بهینه از روش سطح پاسخ استفاده شد. جهت آنالیز آماری داده‌ها و ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Minitab ver. 16استفاده گردید.

برای برازش معادلات و انجام محاسبات آماری، از نرم-افزارهای Minitab ver. 16 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه‌دو کامل[1] با اثر متقابل برای هرکدام از متغیرهای وابسته شامل عملکرد اقتصادی، قطر بنه،تعداد بنه دختری، تعداد گل و وزن‌تر گل در جدول ۳ ارائه‌شده است.

جدول ۱- مقادیر و ضرایب تیمارها با توجه به طرح مرکب مرکزی

Table 1- Values and coefficients of treatments based on Central Composite Design

	مقادیر تیمارها* Treatment values		ضرایب Coefficients	
Runs	تراکم Density (X_2) (Corm.m^{-2})	اندازه بنه Corm weight (X_1)	تراکم Density (Corm.m^{-2})	اندازه بنه Corm weight (g)
	50	7	-1	+1
1	150	5	0	+1
2	50	3	-1	-1
3	150	5	+1	+1
4	50	5	0	-1
5	150	5	0	+1
6	150	3	-1	0
7	250	3	+1	0
8	250	5	0	0
9	250	7	0	0
10	150	7	0	0
11	150	5	0	0
12	150	5	0	0

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 2- Physical and chemical properties of soil

هدایت الکتریکی EC (dS.m-1)	کربن آلی Organic carbon (%)	اسیدیته pH	پتاسیم K (mg.kg-1)	فسفر P (mg.kg-1)	نیتروژن N (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	درصد اشباع SP (%)	درصد آهک T.N.V (%)
1.64	0.6	8.15	270	33	0.054	23	49	28	36.8	17.7

تمام اجزای مدل رگرسیونی در مورد عملکرد اقتصادی، قطر بنه و تعداد بنه اصلی بر اساس آزمون F در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول۳). همچنین اثر متقابل معنی‌داری بین اندازه بنه و تراکم درمتغییر های عملکرد اقتصادی، قطر بنه و وزن‌تر گل مشاهده شد. به‌علاوه اثر درجه‌دو متغیر مستقل اندازه بنه (اندازه بنه× اندازه بنه) و تراکم (تراکم× تراکم) در صفات عملکرد اقتصادی و قطر بنه معنی‌دار بود. منفی بودن آزمون عدم برازش نیز نشان‌دهنده قابلیت بالای مدل رگرسیونی درجه ۲ کامل برای برازش منحنی در تمام متغییرهای تحت بررسی بود.

ضرایب رگرسیون برای مدل‌های برازش شده در مورد هر یک از صفات موردمطالعه آزمایش در جدول ۴ ذکر شده‌است. ضرایب تبیین (R2) نشان‌دهنده قدرت توصیف تغییرات هرکدام از متغیرهای وابسته به‌وسیله متغیر مستقل است و ضرایب تبیین بالا در این معادلات نشان‌دهنده برازش خوب مدل محاسباتی است (جدول ۴).

آنالیز رگرسیونی و آنالیز ضرایب رگرسیون برای برازش روابط بین متغیرهای اندازه بنه و تراکم با هرکدام از متغیرهای وابسته عملکرد اقتصادی، قطر بنه، تعداد بنه دختری، تعداد بنه اصلی، تعداد گل و وزن‌تر گل نیز در جدول ۴ مشاهده می‌شود که برای ترسیم نمودارها از این مدل رگرسیونی استفاده می‌شود. ضریب تبیین برای عملکرد اقتصادی، قطر بنه، تعداد بنه دختری، تعداد بنه اصلی، تعداد گل و وزن‌تر گل به ترتیب برابر با ۹۵/۷۰، ۹۸/۱۸، ۹۸/۲۰، ۹۲/۹۸، ۹۸/۱۰، ۸۸/۹۲ و ۹۱/۸۳ بود که درصد توصیف تغییرات هرکدام از این متغیرهای وابسته را به‌وسیله متغیرهای مستقل نشان می‌دهد.

مقادیر برازش شده و مشاهده‌شده عملکرد اقتصادی، قطر بنه، تعداد بنه دختری، تعداد بنه اصلی، تعداد گل و وزن‌تر گل در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول۳- نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دو کامل

Table 3- Analysis of variance of the full quadratic regression model

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	عملکرد اقتصادی Economic yield	قطر بنه Corm diameter	تعداد بنه دختری Number of daughter corm	تعداد گل Number of flower	وزن‌تر گل Fresh weight of flower
رگرسیون Regression	5	4908272**	54.90**	179.58**	13.66**	4.62**
خطی Linear	2	796444**	20.90**	12.35 n.s	1.79 n.s	0.582 n.s
درجه ۲ Quadratic	2	705403**	20.28**	2.79 n.s	1.64 n.s	0.493 n.s
اثر متقابل Interaction	1	1.41**	40.13**	0.0082 n.s	10.02 n.s	3.41*
عدم برازش Lack of fit	3	2834 n.s	1.79 n.s	25.31 n.s	2.85*	2.713 n.s
خطا Error	4	58000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

** و * به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱٪ و ۵٪ و n.s عدم وجود تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد.

*، ** and n.s represent significant at 5% level, significant at 1% level and non-significant, respectively

1-Full quadratic regression

جدول ٤- ضرایب رگرسیون معادله $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_1^2 + a_4X_2^2 + a_5X_1X_2$

Table 4- Regression coefficients of the equation of $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_1^2 + a_4X_2^2 + a_5X_1X_2$

	Coefficient values						
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	R^2
عملکرد اقتصادی Economic yield	5920.38	-1660.41	-11.30	166.37	0.000001	5.84	95.70
قطر بنه Corm diameter	32.11	-7.41	-0.080	0.723	0.0000001	0.016	98.18
تعداد بنه دختری Number of daughter corm	13.47	4.20	-0.102	-0.191	0.000001	0.0208	92.98
تعداد گل Number of flower	10.94	-2.806	-0.007	0.273	-0.000001	0.008	88.92
وزن‌تر گل Fresh weight of flower	6.15	-1.45	-0.009	0.145	-0.000001	0.005	91.83

X_1 و X_2 به ترتیب متغیر مستقل اندازه بنه و تراکم هستند.

X_1 and X_2 indicates independent variables of corm size and density, respectively.

جدول٥- مقادیر مشاهده‌شده و برازش شده صفات موردبررسی زعفران تحت تأثیر تیمارهای مختلف اندازه بنه و تراکم

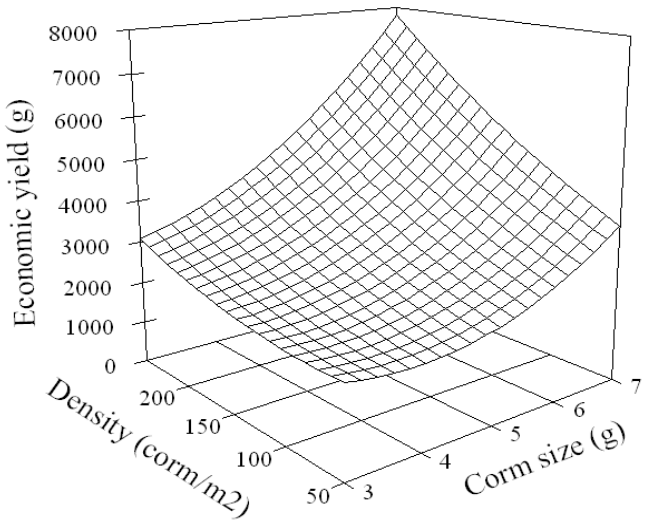
Table 5- Comparison of the regression line for observed and predicted values of the saffron yield based on full uadratic regression model in different corm size and density levels.

تیمار Treatment		عملکرد اقتصادی Economic yield (g)		قطر بنه Corm diameter (cm)		تعداد بنه دختری Number of daughter corm (m^2)		تعداد گل Number of flower (ha)		وزن‌تر گل Fresh weight of flower (kg)	
(x1)	(x2)	مشاهده‌شده observed	برازش شده fitted	مشاهده‌شده observed	برازش شده fitted	مشاهده‌شده observed	برازش شده fitted	مشاهده‌شده observed	برازش شده fitted	مشاهده‌شده observed	برازش شده fitted
-1	-1	3247.490	3482.025	17.33	17.51	39.00	36.08	7.00	7.03	4.047	4.254
+1	-1	3785.630	3537.061	16.00	15.79	34.00	33.21	8.00	7.73	4.58	4.47
-1	+1	3078.970	2563.813	16.00	15.07	26.00	22.74	7.00	5.52	3.87	3.36
+1	+1	3885.630	3537.061	16.00	15.79	34.00	33.21	8.00	7.73	4.58	4.47
-1	0	2078.970	2359.592	12.67	13.40	24.00	30.17	4.00	5.27	2.87	3.21
+1	0	3685.630	3537.061	16.00	15.79	34.00	33.21	8.00	7.70	4.58	4.47
0	-1	1845.630	2816.745	12.67	14.29	19.33	21.61	4.66	6.60	2.64	3.67
0	+1	3512.300	3056.342	16.67	15.96	22.33	23.29	7.33	6.67	4.31	3.82
0	0	4538.970	4701.195	20.33	20.62	41.33	39.06	9.33	9.38	5.33	5.55
0	0	7378.970	7672.703	30.67	31.07	52.00	53.30	13.66	14.28	8.17	8.44
0	0	6112.300	5584.032	23.67	23.07	41.67	43.28	11.66	11.05	6.91	6.43
0	0	3285.630	3537.061	16.00	15.79	34.00	33.21	8.00	7.73	4.58	4.47
0	0	3485.630	3537.061	16.00	15.79	34.00	33.21	8.00	7.73	4.58	4.47

عملکرد اقتصادی

کمترین مقدار عملکرد اقتصادی مشاهده‌شده و برازش داده‌شده زعفران در پایین‌ترین سطوح تیمارهای موردبررسی برای اندازه بنه ۵ گرم و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع به ترتیب با ۲۰۷۸/۹۷ و ۲۳۵۹/۹۰ گرم در مترمربع به دست آمد و با افزایش سطح تیمارها، عملکرد اقتصادی افزایش یافت بطوریکه بالاترین عملکرد اقتصادی مشاهده‌شده و برازش داده‌شده به ترتیب با ۷۳۷۸/۹۸ و ۷۶۷۲/۷۰ گرم در مترمربع برای اندازه بنه ۷ گرم و تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع مشاهده شد (جدول ۵).

سطح پاسخ تغییرات عملکرد اقتصادی با توجه به متغیرهای مستقل (اندازه بنه و تراکم) در شکل ۱ نشان داده‌شده است. بر این اساس، بیشترین مقدار عملکرد اقتصادی برای اندازه بنه ۷ گرم و تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع مشاهده شد.



شکل ۱- سطح پاسخ عملکرد اقتصادی زعفران نسبت به سطوح مختلف اندازه و تراکم بنه
Figure 1- Response surface for economic yield in different corm size and density levels.

با توجه به نتایج آزمایش، برهمکنش اثرات اندازه بنه و تراکم بر عملکرد اقتصادی معنی‌دار بود. به نظر می‌رسد که بنه‌های مادری بزرگ‌تر ازنظر تأمین مقدار مناسب عناصر غذایی برای رشد توانسته‌اند نقش مفیدتری را بر بهبود رشد و به‌تبع آن پتانسیل گلدهی و در نتیجه عملکرد این گیاه نقدینه داشته باشند. نتایج مطالعه رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2012) نیز نشان داد که افزایش وزن بنه‌های با کمتر از ۵ گرم به بیشتر از ۸ گرم باعث بهبود وزن کلاله در هر دو سال بیش از ۱۰۰ درصد شد.گرستا و همکاران (Gresta et al., 2008) نیز بر تأثیر معنی‌دار اندازه بنه بر خصوصیات رشدی و عملکرد زعفران تأکید کردند. مطالعه ارسلان و همکاران (Arslan et al., 2006) نیز تأیید کرد که اثر اندازه بنه بر میزان گلدهی عملکرد گل و کلاله زعفران مثبت و معنی‌دار بود. در همین راستا، مولینا و همکاران (Molina et al., 2005) گزارش کردند که در بنه‌های بزرگ‌تر تقسیم سلولی و به دنبال آن رشد برگ‌ها نسبت به بنه‌های کوچک‌تر زودتر اتفاق می‌افتد. رشد زودتر برگ‌ها امکان استفاده بیشتر از شرایط محیطی و افزایش میزان مواد فتوسنتزی ساخته‌شده را به دنبال دارد که درنهایت موجب افزایش عملکرد نهایی می‌شود. نتایج برخی دیگر از تحقیقات نیز با بررسی ارتباط بین وزن بنه مادری و عملکرد زعفران، تأثیر مثبت بنه‌های درشت‌تر در تولید بنه‌های دختری بزرگ‌تر و بهبود عملکرد را مورد تأیید قرار داده است (Nassirri Mahallati et al., 2008).

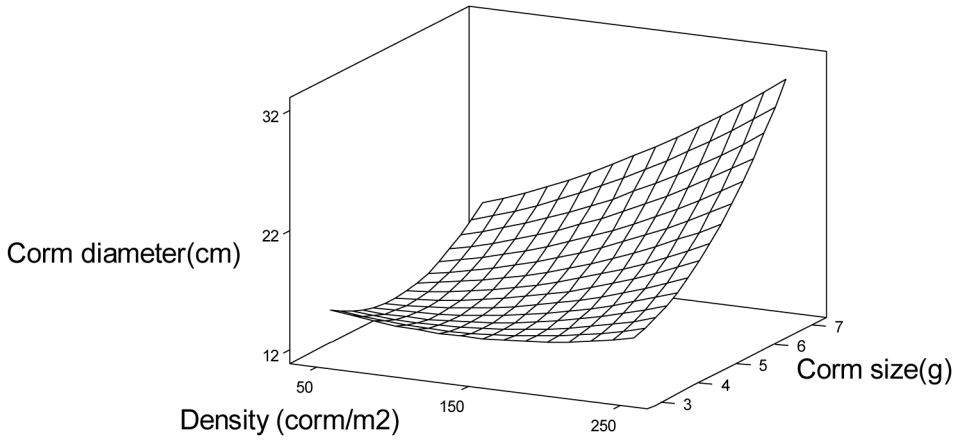
در سطوح بالای تراکم، شیب افزایش عملکرد اقتصادی در زعفران درنتیجه افزایش تراکم، افزایش یافت. به نظر می‌رسد که اثرات مثبت تراکم کاشت در بهبود عملکرد گل و کلاله زعفران را می‌توان در ارتباط با جذب منابع محیطی توسط این گیاه دانست که این موضوع ازنظر اقتصادی نیز می‌تواند در بهبود وضعیت اقتصادی کشاورزان زعفران کار و بازگشت سرمایه بسیار مفید باشد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2011) نیز با مشاهده افزایش معنی‌دار وزن خشک گلبرگ و نیز کلاله زعفران درنتیجه افزایش تراکم کاشت بنه، گزارش کردند که تراکم بالای کاشت زعفران می‌تواند با تسریع گلدهی و بهره-برداری زودتر از منابع، باعث افزایش کار آیی اقتصادی شود. در

این ارتباط کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) با بررسی ویژگی‌های زراعی و رفتار بنه‌های زعفران در واکنش به سطوح کشت پرتراکم گزارش کردند که سطوح تراکم کاشت بنه نقش مؤثری در افزایش معنی‌دار تعداد و عملکرد گل در واحد سطح داشت، بطوریکه بیشترین عملکرد گل در تراکم کاشت ۴۰۰ بنه در مترمربع مشاهده گردید. همچنین کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2011) در مطالعه‌ای که به‌منظور بررسی تراکم بنه بر عملکرد زعفران انجام دادند، اظهار داشتند که افزایش سطح تراکم از ۴ به ۱۲ تن بنه در هکتار منجر به حصول بالاترین عملکرد شد. نتایج مطالعه پنج‌ساله علوی‌شهری و همکاران (Alavi Shahri et al., 1994) نشان داد که کاشت زعفران با تراکم بالا برکاشت با تراکم پائین این گیاه نقدینه ازنظر بهبود خصوصیات رویشی و درنتیجه عملکرد مزیت دارد. نتایج دیگر مطالعات انجام‌شده بر روی اثر تراکم بنه زعفران بر عملکرد (Koocheki et al., 2009; Mohammad Abadi et al., 2006; Naderi Darbaghshahi, 2009) مؤید بهبود خصوصیات رویشی و زایشی زعفران تحت تأثیر افزایش عملکرد بوده است. دی‌خوان و همکاران (De Juan, 2009) بیان داشتند که با افزایش تراکم بنه عملکرد زعفران افزایش یافت. بدین ترتیب، چنین به نظر می‌رسدکه علاوه بر استفاده مطلوب‌تر از عوامل محیطی تحت تأثیر افزایش تراکم بنه که می‌تواند بهبود خصوصیات رویشی و عملکرد گل و کلاله را موجب گردد، افزایش تراکم کاشت بنه همچنین می‌تواند باعث تسریع در شروع دوره بهره‌برداری از زعفران‌زار شود.

قطر بنه

بیشترین مقدار مشاهده‌شده و برازش شده قطر بنه زعفران برای اندازه بنه ۷ گرم و تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع به ترتیب با ۳۰/۶۷ و ۳۱/۰۷ سانتی‌متر و کمترین مقدار آن در تیمار اندازه بنه ۵ گرم و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع به‌ترتیب با ۱۲/۶۷ سانتی‌متر و ۱۳/۴۰ سانتی‌متر مشاهده شد(جدول۵).

شکل ۲ نیز سطح پاسخ تأثیر اندازه و تراکم بنه را بر قطر بنه نشان می‌دهد. همان‌گونه که بیان شد بیشترین قطر بنه برای اندازه بنه ۷ گرم و تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع به دست آمد. همچنین با توجه به نتایج آزمایش، برهمکنش اثرات اندازه بنه و تراکم بر قطر بنه معنی‌دار بود (جدول ۳). چنین به نظر می‌رسد که بنه‌های بزرگ‌تر به دلیل استفاده بیشتر از آب و عناصر غذایی منجر به بهبود رشد و به‌تبع آن بهبود سطح فتوسنتزکننده برای زعفران شده که این امر درنهایت باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی و به تبع آن بهبود قطر بنه زعفران گردیده است.



شکل۲- سطح پاسخ قطر بنه زعفران نسبت به سطوح مختلف اندازه بنه و تراکم

Figure 2- Response surface for corm diameter in different corm size and density levels.

تعداد بنه دختری

تیمار اندازه بنه ۳ گرم و تراکم ۱۵۰ بوته در مترمربع دارای کمترین مقدار مشاهده‌شده (۱۹/۳۳) و برازش شده (۲۱/۶۱) تعداد بنه دختری بود. از طرفی بیشترین مقدار این صفت در تیمار اندازه بنه ۷ گرم و تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع زعفران مشاهده شد (جدول ۵).

شکل ۳، سطح پاسخ اندازه بنه و تراکم بنه را بر تعداد بنه دختری با توجه به طرح مرکب مرکزی نشان می‌دهد. بیشترین تعداد بنه دختری زعفران (۴۱/۳۳ بنه دختری در مترمربع) در اندازه بنه ۷ گرم و تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع حاصل شد.

دیماستر و روتا (De-Maastro & Ruta, 1993) اظهار داشتند که بنه‌های مادری درشت‌تر و با وزن بالاتر(بنه‌های ۸ گرم به بالا) از طریق تکثیر بیشتر و تولید بنه‌های دختری بزرگ‌تر منجر به بهبود عملکرد زعفران در مهروموم‌های بعد خواهند شد. نتایج مطالعه ارسلان و همکاران (Arsalan et al., 2007) نیز نشان داد که اندازه بنه اثر مثبت و معنی‌داری بر تولید تعداد بنه دختری زعفران داشت.

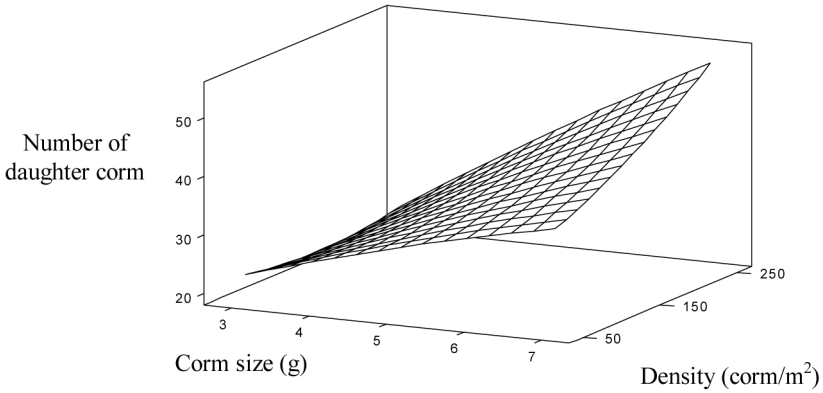
کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) با بررسی اثر تراکم بر روی شاخص‌های بنه زعفران بیان کردند، که کمترین و بیشترین تعداد بنه‌های دختری زعفران در تراکم ۱۰۰ و ۴۰۰ بنه در مترمربع به دست آمد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2011) در مطالعه‌ی دیگری نیز بیان داشتند که با افزایش تراکم بنه، تعداد بنه‌های دختری تولیدشده در واحد سطح به میزان ۳۰/۱۸٪ افزایش یافت. دراین‌ارتباط نادری درباغشاهی و همکاران (Naderi Darbaghshahi et al., 2009) نیز با افزایش تعداد بنه‌های تولید شده در مترمربع را تحت تأثیر افزایش چهار برابری تراکم کاشت از ۲ به ۸ بنه در کپه گزارش کردند.

تعداد گل و وزن‌تر گل

بیشترین مقدار برازش شده و مشاهده‌شده تعداد گل و وزن‌تر گل در تیمار اندازه بنه ۷ گرم و تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع و کمترین مقدار آن در تیمار اندازه بنه ۳ گرم و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع حاصل شد (جدول ۵).

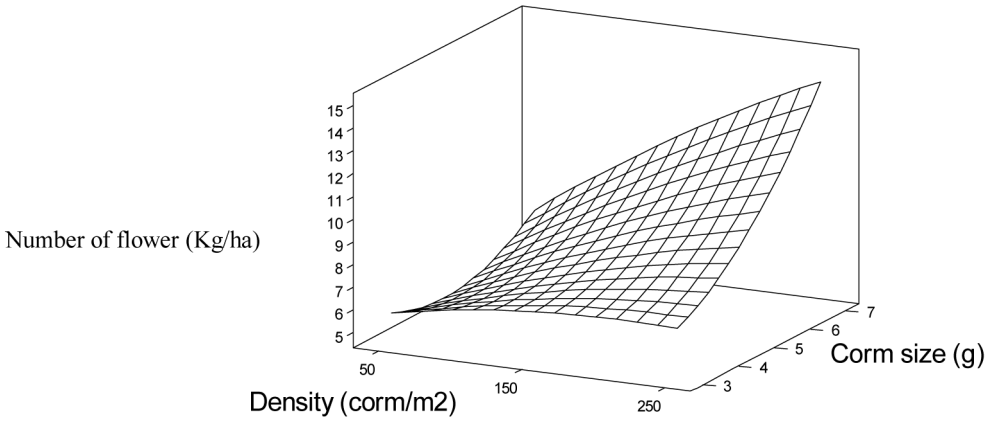
سطح پاسخ اندازه بنه (۴ تا ۸ گرم) و تراکم (۵۰ تا ۲۵۰ بنه در مترمربع) بر تعداد و وزن‌تر گل گیاه زعفران در شکل ۴ و ۵ نشان داده‌شده است. افزایش هر دو عامل اندازه بنه و تراکم بوته باعث افزایش این صفات شد (شکل ۴). به‌طوری‌که بیشترین تعداد گل و وزن‌تر گل به ترتیب با ۱۳/۶۶ و ۸/۱۷ گرم در ترکیب تیماری بنه‌های ۷ گرم با تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع بنه مشاهده شد.

ازآنجاکه وزن بنه یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده ظرفیت گلدهی زعفران می‌باشد (Kafi et al., 2002; Molina et al., 2005)، لذا با افزایش وزن بنه مادری، تعداد گل نیز بهبود یافت. بدیهی است هرچه بنه‌های مادری از ذخیره غذایی بیشتری برخوردار بوده و درشت‌تر باشند، احتمال وجود جوانه‌های فعال نیز افزایش‌یافته که درنتیجه افزایش گلدهی را به دنبال خواهد داشت، به‌عبارت‌دیگر، مواد غذایی اندوخته شده در بنه‌های مادری به‌عنوان منشأ اصلی مواد ذخیره‌ای برای تشکیل و تکوین گل‌ها به‌عنوان سازنده مواد فتوسنتزی مطرح می‌باشند. نتایج برخی مطالعات نیز نشان داده است که همبستگی زیادی بین اندازه بنه و میزان گلدهی زعفران وجود دارد (Molina et al., 2005).



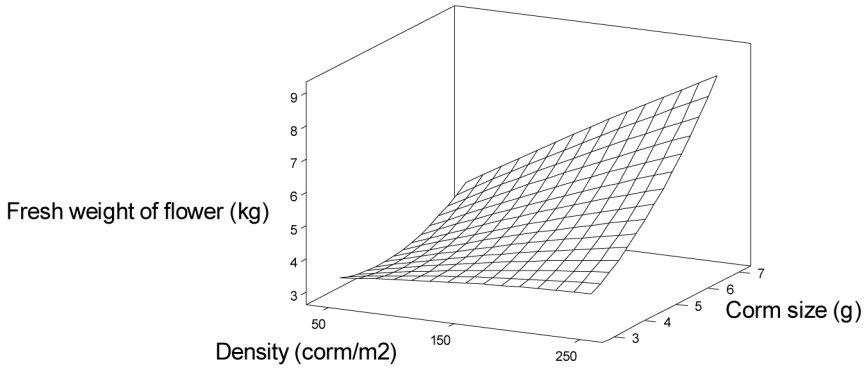
شکل ۳- سطح پاسخ تعداد بنه دختری نسبت به سطوح مختلف اندازه بنه و تراکم

Figure 3- Response surface for number of daughter corm in different corm size and density levels.



شکل ٤- سطح پاسخ تعداد گل نسبت به سطوح مختلف اندازه بنه و تراکم

Figure 4- Response surface for number of flower in different corm size and density levels.



شکل ٥- سطح پاسخ وزن‌تر گل نسبت به سطوح مختلف اندازه بنه و تراکم

Figure 5- Response surface for fresh weight of the flower in different corm size and density levels.

در همین راستا نتایج تحقیق کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) که بر روی زعفران در طی سه سال انجام دادند، نشان داد که افزایش تراکم از سطح ۴ به ۱۲ تن بنه در هکتار، منجر به افزایش تعداد گل به میزان ۹۵/۶۴٪، ۱۲۷/۸۴ و ۱۴۰/۸۳٪ به ترتیب طی سال‌های اول، دوم و سوم آزمایش شد. همچنین آن‌ها بیان کردند که تراکم بالا نسبت به دو سطح تراکم متوسط و کم بنه، بیشترین وزن‌تر گل را به خود اختصاص داد. نتایج تحقیق ارزیابی دو سطح تراکم کم (۵۵ بنه

در مترمربع) و تراکم بالا (۷۵ بنه در مترمربع) در زعفران نشان داد که افزایش تراکم تأثیر مثبتی بر تعداد گل بر واحد سطح می‌گذارد (Gresta et al., 2009). این محققان همچنین اظهار داشتند که بالاترین تراکم بنه (۵۵ بنه در مترمربع در مقایسه با ۳۳ بنه در مترمربع) منجر به تولید بیشترین تعداد گل (۴۵ گل در مترمربع) در زعفران شد (Gresta et al., 2010).

نتیجه‌گیری

به‌منظور دستیابی به تولید پایدار محصولات زراعی، ازجمله اصول اولیه بهبود کارایی مصرف منابع و جلوگیری از هدررفت نهاده‌های کشاورزی است. بیشترین عملکرد اقتصادی، قطر بنه، تعداد بنه دختری، تعداد بنه اصلی، تعداد گل و وزن‌تر گل در اندازه بنه ۷ گرم با تراکم ۲۵۰ بنه در مترمربع به دست آمد. درواقع بنه‌های کوچک (۸> گرم) را می‌توان با تراکم بالا کشت کرد. لذا به نظر می‌رسد استفاده از بنه با اندازه و تراکم بهینه-سازی شده بر اساس این مقاله می‌تواند به‌عنوان مناسب‌ترین سطوح با توجه به شرایط مطالعه انجام شده (منطقه مشهد) در نظر گرفته شوند.

سپاسگزاری

بودجه این طرح از محل پژوهه شماره ۲/۱۶۹۹۴ مورخ ۸۹/۱۱/۲۰ معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Abdullaer, F., and Espinosa-Agirre, J.J. 2004. Biomedical properties of saffron and its potential use in cancer therapy and chemoprevention trials cancer detection and prevention. Cancer Detection and Prevention 23: 426-432.

Amir Ghasemi, T. 2001. Saffron: Red Gold of Iran. Nashr Ayandegan Publication, Iran. (In Persian)

Alavi Shari, J., Mohajeri, H., and Falaki, M. A. 1994. Effect of plant density on saffron yield. In:Proceedings of the Second Conference of Saffron and Medicinal Plants Cultivation, 8-9 Nov., Gonabad, Iran. (In Persian)

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.

Arslan, N., Gubruz, B., Đpek, A., Özcan, S., Sarthan, E., Daeshian, A., and Moghadassi, M. 2006. The effect of corm size and different harvesting time on saffron (*Crocus sativus* L.) regeneration. II International Symposium on Saffron: Proceedings of the 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran, 28-30 October 2006, p. 113-117.

Benabaji, M.H., Mokhtarian, A., and Tavakoli- Kakhki, H. 2012. The effects of Plant density and corms size on saffron (*Crocus sativus* L.) corm production in nursery. In: 4th International Saffron Symposium, Kashmir, India, 22-25 October 2012, p.70-78.

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

De-maastro, G., and Ruta, C. 1993. Relation between corm size and saffron (*Crocus sativus* L.)flowering. Acta Horticulturae 344: 512-517.

De Juan, J.A., Córcoles, H.L., Muñoz, R.M., and Picornell, M.R. 2009. Yield and yield components of

saffron under different cropping systems. Industrial Crops and Products 30(2): 212-219.

Gioccio, M. 2004. Crocetin from saffron: an active component of an ancient spice. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 44: 155-172.

Ghasemi Rooshnavand, R., Hashemiyeh, M., and Afzalian, M. 2009. Planting conservation and harvesting stages of saffron Agriculture organization of Yazd, Yazd, Iran p. 33. (In Persian)

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

Gowhar, A., Nehvi, F.A., Ameetue, A., Naseeri, S., Igbal, A.M., and Sammer, R. 2012. Effect of corm size and weight on daughter corm for motion in saffron (*Crocus sativus* L.) In: 4th International Saffron Symposium. Kashmir, India, 22-25 October, p 148-159.

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(7):1144-1150.

Gresta, F., Avola, G., Lombardo, G. M., and Ruberto, G. 2009. Analysis of flowering, stigmas yield and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus*) as affected by environmental conditions. Scientia Horticulturae 119: 320-324.

Gresta, F., Lombardo, G. M., and Avola, G. 2010. Saffron stigmas production as affected by soil texture. Acta Horticulturae 850: 149-152.

Hemmati- Kakhki, A., and Hosseini, M. 2003. A Review: an saffron Researches in institute of Research for Developing Technology. Khorasan Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian)

Kafi, M., Rashed Mohassel, M.H., Koocheki, A., and Mollafilabi, A. 2002. Saffron: Production and Processing. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad, Iran, p. 276. (In Persian)

Kafi, M., and Showket T. 2007. Acomparative study of saffron agronomy and production systems of Khorasan (Iran) and Kashmir (India). In: Proceeding of the IInd International Symposium on Saffron, Biology and Technology, ISHS Acta Horticulturae, 739: 123-128.

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. Agroecology 3: 36- 40. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Ganjeali, A., and Abbassi, F. 2006. The effect of duration of incubation and photoperiod on corm and shoot characteristics of saffron plant (*Crocus sativus* L.). Proceedings of the 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran, 28-30 October p. 61-70.

Koocheki, A., and Sabet Teimouri, M. 2014. Effects of field age, corm weight and cow manure levels on corm yield and stigma yield of saffron under Mashhad climatic conditions. Pazhouhesh & Sazandegi In Press. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Tabrizi, L., Jahani, M., Mohammad Abadi, A.A., and. Mahdavi Damghani, 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.May. Krokos, Kozani, Greece, 20-23 May p.33-40.

Koocheki, A., Tabrizi, L., Jahani, M., and Mohammad Abadi, A.A. 2012. An evaluation of the effect of saffron (*Crocus sativus* L.) corm planting rate and pattern on the crop's performance. Iran. Journal of Horticultural Science 42: 379–391. (In Persian with English Summary).

Koocheki,A., Rezvani Moghaddam,P., Mollafilabi,A., and Seyyedi,S.M. 2014. The effects of 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

Kumar, R., Virendra, S., Kivan, D., Sharma, M., Singh, M.K, and Ahuya, P.S. 2009. State of art saffron (*Crocus sativus* L.) agronomy, a comprehensive review. Food Reviews International 25: 44.85.

Mashayekhi, K., Soltani, A. and Kamkar, B. 2006. The relationship between corm weight and total flower and leaf numbers in saffron. Proceedings of the 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran, 28-30 October, p. 93-96.

Mohammad Abadi, A.A., RezvaniMoghaddam, P., and Sabori, A. 2006. Effect of plant distance on flower yield and qualitative and quantitative characteristics of forage production of saffron (*Crocus sativus* L.) in Mashhad conditions. Proceedings of the 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran, 28-30 October p. 151-153.

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

Mollafilabi, A., and Shoorideh, H. 2009. The new methods of saffron production. The 4th National Festival of Saffron, Khorasan- Razavi, Iran, 27-28 October p.100-108. (In Persian)

Mollafilabi, A., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Nassiri Mahallati, M. 2014. Effect of plant density and corm weight on yield and yield components of saffron (*Crocussativus* L.) under soil, hydroponic and plastic tunnel cultivation. Saffron Agronomy & Technology 1(2): 14-28. (In Persian with English Summary)

Mollafilabi, A. 2012. Effect of extensive range of corm weight on yield components and Flowering characters of saffron (*Crocussativus* L.) under greenhouse conditions. In: 4th International saffron symposium. October 22-25. Kashmir, India.

Munshi, A.M., Sindha, J.S., and Baba, G.H. 1989. Improved cultivation practices for saffron. Indian Farming 39 (3): 27-30.

Naderi Darbaghshahi, M.R., Khajebashi., S.M., Banitaba, S.A., Dehdashti, S.M. 2009. Effects of planting method, density and depth on yield and production period of saffron (*Crocussativus* L.) in Isfahan region. Seed and Plant 24: 643–657.(in Persian withEnglish Summary).

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Boroumand Rezazade, Z., and Tabrizi, L. 2008. Effect 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(1): 155-166. (In Persian with English Summary)

Rashed- Mohassel, M.H., Hemmati- Kakhi, A., Bagheri, A.R., and Sadehi, B. 1991. The mission report of Iranian Experts to Spain. IROST, Mashhad Center. Mashhad, Iran. (In Persian)

Ramezani, A. 2000. Study the effects of corm weight on saffron yield at Neyshabour condition. Ph.D. Thesis in Agronomy (Crop Ecology), Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian)

Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., Shabahang, J., and Amin Ghafouri, A. 2012. Evaluation of planting method, corm weight and density on growth characteristics and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Agroecology , 3: 14-26. (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.

Singh, C., Ram, G., and Kaul, B.L. 1994. Saffron studies in Kishtwar: effect of corm size at planting on control production and flowers yield in saffron (*Crocus sativus* L.). Indian Perfumer 38: 82-84.

Wu, C.F.J., and Hamada, M. 2000. Experiments: planning, analysis, and parameter design optimization. New York.

Xi, L., Aian, Z., Xu, G., Zheng, S.H., Sun, S., Wen, N., Sheng, L., Shi, Y., and Zhang, X. 2007. Beneficial impact of concern, a Carotenoid from saffron, on insulin sensitivity in fructose-fed rats. Journal of Nutritional Biochemistry 18: 64-72.

Optimizing Corm Size and Density in Saffron (*Crocus sativus* L.) Cultivation by Central Composite Design

Mehdi Nassiri Mahallati[1], Alireza Koocheki[*1], Afsaneh Amin Ghafouri[2] and Mansore Mahluji Rad[3]

1, 2 and 3. Professor, PhD and PhD students, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively.
(-Corresponding Author E-mail:* akooch@um.ac.ir*)*

Received: 17 December, 2014 **Accepted:** 20 June, 2015

Abstract:

In order to determine the optimal use of corm size and density, an experiment was conducted by central composite design at the Research Station, the Ferdowsi University of Mashhad, Iran, during two growing seasons of 2008-2009 and 2009-2010. The treatments were designed based on low and high levels of corm size (3 and 7 g) and density (50 and 150 corm.m^{-2}). Central point in each treatment was repeated 5 times and a total of 13 experimental treatments were designed. Economic yield, corm diameter, number of daughter corms, number of mother corms, number of flowers and fresh weight of flowers were measured as dependent variables, and the response surface of these variables to experimental factors was estimated by the polynomial regression model. The results indicated a positive effect of corm size and density on economic yield, corm diameter, dry weight of tunic, number of daughter corms, number of mother corms, number of flowers and fresh weight of flowers. The optimum level of corm size and density were 7 g and 250 plant.m^{-2}, respectively.

Keywords: *Corm diameter, Economic yield, Fresh weight of flower, Optimization.*