دوماهنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران
جلد ۳۱، شماره ۲، صفحه ۲۱۹-۲۰۴ (۱۳۹۴)

ارزیابی اثر سیستم‌های مختلف کودی بر عملکرد زعفران (*Crocus sativus* L.)

زهرا رسولی[۱]، سعیده ملکی فراهانی[۲*] و حسین بشارتی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه شاهد

۲*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه شاهد، پست الکترونیک: maleki@shahed.ac.ir

۳- دانشیار، مؤسسه تحقیقات خاک و آب

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۱ تاریخ اصلاح نهایی: شهریور ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۲

چکیده

عملکرد کمّی و کیفی زعفران (*Crocus sativus* L.) طی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. عوامل مورد بررسی شامل کود شیمیایی NPK در سه سطح (۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد مقدار توصیه کودی) و کودهای غیرشیمیایی در چهار سطح (شاهد بدون کود، ورمی‌کمپوست، کود زیستی حاوی باکتری‌های سودوموناس و باسیلوس و در نهایت تلفیق ورمی‌کمپوست و کود زیستی) بودند. نتایج نشان دادند که اثر متقابل کودهای شیمیایی و غیرشیمیایی بر تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار و کوددهی سبب افزایش عملکرد کمّی و کیفی زعفران نسبت به تیمار شاهد شد. کاربرد همزمان نیمی از مقادیر کودهای شیمیایی، ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد توانست وزن خشک کلاله، عملکرد کلاله، درصد کروسین، درصد پیکروکروسین و درصد سافرانال را به‌ترتیب ۲/۰۳، ۴/۶۵، ۰/۸۳، ۱/۱۰ و ۱/۴۶ برابر نسبت به شاهد افزایش دهد. گرچه اثرگذاری تیمارهای ترکیب باکتری‌ها با ۰٪ و ۱۰۰٪ کود شیمیایی بر کروسین، ورمی‌کمپوست خالص و ترکیب باکتری‌ها با ۵۰٪ و ۱۰۰٪ کود شیمیایی بر پیکروکروسین و باکتری‌های خالص بر سافرانال بیشتر از تیمار ترکیب کود شیمیایی، ورمی‌کمپوست و باکتری بود؛ اما تأثیر بسزای تیمار اخیر بر عملکرد گل، عملکرد کلاله و نیز اثر مثبت بر ترکیب‌های کلاله منجر به معرفی آن به‌عنوان تیمار برتر شد. میزان اثرگذاری این تیمار نسبت به کاربرد ۰٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ کود شیمیایی در رابطه با وزن خشک کلاله به‌ترتیب ۵۰/۹۵٪، ۲۰/۴۸٪ و ۱۲/۸۶٪ بود.

واژه‌های کلیدی: زعفران (*Crocus sativus* L.)، عملکرد زعفران، کود زیستی، کود شیمیایی، مواد مؤثره کلاله، ورمی‌کمپوست.

مقدمه

گیاه دارویی زعفران با نام علمی *Crocus sativus* L. ازجمله گیاهان بومی ایران بوده و زراعت آن در این کشور از قدمت ۳۰۰۰ ساله برخوردار است (Beiki *et al*., 2010). اغلب در مراحل تولید و فراوری زعفران از روشهای سنتی استفاده می‌شود (Molina *et al*., 2005). به‌دلیل طبیعت اکولوژیک و فنولوژیک زعفران، کشاورزان در طول کاشت تا برداشت، کمتر با مشکل آبیاری مواجه می‌شوند (Srivastava, 1964)؛ از این‌رو عملکرد کمّی و کیفی آن تحت تأثیر عوامل ژنی (Ahmad *et al*., 2011)، نوع کود و میزان کوددهی (بهدانی و همکاران، ۱۳۸۴) و شرایط خشک کردن (عاطفی و همکاران، ۱۳۸۳) متغیر می‌باشد. در این

شرایط، مدیریت صحیح کوددهی یکی از ابزارهای لازم برای برخورداری از یک نظام اگرواکولوژیکی پایدار و پرسود است. در راستای نیل به این هدف، مطالعه و بررسی تأثیر انواع و مقادیر متفاوت منابع کودی موجود بر تغییر عملکرد کمّی و کیفی زعفران در طولانی مدت ضروری می‌باشد.

کودهای شیمیایی پرمصرف‌ترین کودهای موجود در مزارع زعفران می‌باشند و مصرف بی‌رویه آنها می‌تواند خطرات جدی را برای آب و خاک مناطق کشت ایجاد کند. بنابراین مناسب است که سایر منابع کودی دارای هزینه و اثرات تخریبی کمتر بر اکوسیستم، جایگزین این کودها شوند. از منابع کودی سالم، کم هزینه و در دسترس موجود می‌توان به کودهای غیرشیمیایی (آلی و بیولوژیک) اشاره کرد؛ که در سیستم‌های پایدار مورد توجه قرار گرفته‌اند (صفاری و همکاران، ۱۳۸۸؛ Nehvi *et al*., 2009). ورمی‌کمپوست ازجمله مناسب‌ترین منابع غیرشیمیایی تغذیه گیاهی محسوب می‌شود که در افزایش عملکرد مزارع زعفران ایران مثبت ارزیابی شده است (محمدزاده و پاسبان، ۱۳۸۶). یکی دیگر از انواع کودهای غیرشیمیایی، کودهای زیستی حاصل از فعالیت میکروارگانیسم‌هاست (Seneviratne *et al*., 2009). کاربرد برخی از انواع این کودها در مزارع زعفران ایران بررسی شده و نتایج رضایت‌بخشی از عملکرد کمّی و کیفی این گیاه بدست آمده‌است. به‌عنوان مثال، در مطالعه امیدی و همکاران (۱۳۸۸)، اگرچه تیمار $۱۵۰ kg.ha^{-1}$ نیتروژن و پس از آن تلفیق $۷۵ kg.ha^{-1}$ نیتروژن و $۲/۵ L.ha^{-1}$ نیتروکسین بر افزایش عملکرد زعفران مؤثرترین بودند؛ اما کاربرد خالص نیتروکسین ($۵ L.ha^{-1}$)، ۸۳٪ عملکرد زعفران را نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین، بنابر مطالعات زارع مایوان و نخعی (۱۳۷۹ الف)، کاربرد قارچ‌های میکوریزایی منجر به کاهش استفاده از کودهای شیمیایی شد و تحمل تنش‌های غیرزنده محیطی را بالا برد. اما میزان این اثرگذاری در روشهای سنتی و مکانیزه تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (زارع مایوان و نخعی، ۱۳۷۹ب). مطالعه Nehvi و همکاران (۲۰۱۰)، تنها پژوهشی است که بر تلفیق باکتری و ورمی‌کمپوست در زعفران تمرکز دارد. در این مطالعه تلفیق باکتری ازتوباکتر و کود ورمی‌کمپوست، بعد از تیمار تلفیق قارچ‌های آزوسپریلیوم و میکوریزا مؤثرترین تیمار بر افزایش عملکرد کلاله زعفران گزارش شد؛ که توانست تعداد گل، تعداد برگ و ارتفاع گیاه را به بالاترین مقدار خود برساند.

اما اثر استفاده از باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس به‌طور همزمان و در تقابل با کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست بر عملکرد زعفران برای اولین بار در پژوهش پیش‌رو مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روشها

این پژوهش در مزرعه مطالعاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۰۶۲ متر از سطح دریا، به اجرا درآمد. میانگین دمای ماهانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد، بارش ماهانه ۱۴/۲ میلی‌متر و رطوبت نسبی ۳۹/۴٪ در سال زراعی بود. پرباران‌ترین اوقات، ماه‌های دی و اسفند بوده و اوج یخبندان در ماه‌های دی و بهمن مشاهده شد؛ همچنین مجموع ساعات آفتابی ۲۷۸۲/۹ ساعت بود. پیش از آماده‌سازی زمین، از ۵ نقطه به‌طور تصادفی و از عمق ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری از خاک بعمل آمد؛ که نتایج خصوصیات شیمیایی آن در جدول ۱ آورده شده‌است.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار و در کل ۳۶ تیمار به اجرا درآمد. عامل اول مشتمل بر مقادیر مختلف کود شیمیایی NPK در سه سطح ۰ (C_0)، ۵۰٪ ($C_{۵۰}$) و ۱۰۰٪ ($C_{۱۰۰}$) مقدار توصیه کودی براساس آزمون خاک که به‌ترتیب ۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره بود و عامل دوم شامل انواع مختلف کود غیرشیمیایی در چهار سطح شاهد (بدون کود: C)، ورمی‌کمپوست (V)، کود زیستی حاوی باکتری‌های *Pseudomonas putida* و *Bacillus* sp. و

تلفیق باکتری‌های سودوموناس، باسیلوس و ورمی‌کمپوست (VB) بود. اندازه بنه‌ها در دامنه بزرگ (۱۰-۸ گرم) انتخاب و پس از آمادسازی بستر و اعمال تیمارهای مورد نظر در کرت‌هایی با مساحت ۱۰ مترمربع (۵×۲ متر) کشت شدند. بنه‌ها در تراکم ۱۰۰ عدد در مترمربع، با فاصله بین و روی ردیف به‌ترتیب ۲۰ و ۵ سانتی‌متر و عمق ۱۰ سانتی‌متر (بهنیا، ۱۳۸۷) با دست کاشته شدند.

عملیات تلقیح بنه‌ها با سوسپانسیون آماده باکتری‌های سودوموناس و باسیلوس (تهیه شده از مؤسسه تحقیقات خاک و آب) در تراکم 10^8 گرم بر لیتر آب مقطر انجام شد و بعد در سایه خشک شدند. ورمی‌کمپوست به مقدار ۱۰ تن در هکتار (جدول ۲) در زمان کاشت با خاک مخلوط شد. کود اوره در مقادیر ۳۵، ۳۵ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار در برداشت گل) و آب اسفند (رویش کامل برگ) به کرت‌های مربوطه افزوده شد. لازم به توضیح است که با توجه به وجود مقادیر کافی عناصر فسفر و پتاس در خاک، از مصرف کود آنها صرف‌نظر شد. پس از کاشت، تمامی اعمال زراعی نظیر آبیاری، مبارزه با علف هرز و سله‌شکنی در تمام تیمارها به‌صورت یکسان اعمال شد.

نمونه‌برداری از کرت‌ها، در زمان گلدهی (آبان ماه)، با حذف اثر حاشیه از ۴ ردیف میانی انجام شد. شاخص‌هایی همانند وزن تازه گل، تعداد گل در واحد سطح و وزن تر و خشک کلاله به‌عنوان عملکرد کمّی و میزان سافرانال، پیکروکروسین و کروسین کلاله طبق استاندارد ملی ایران (بی‌نام، ۱۳۸۵) به‌عنوان عملکرد کیفی زعفران اندازه‌گیری شدند. براساس این روش، ۵۰۰ میلی‌گرم از نمونه خشک کلاله با استفاده از آب مقطر به حجم ۱ لیتر رسید؛ این ترکیب به مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی با دور متوسط همزن مغناطیسی حل شد. در ادامه ۱ میلی‌لیتر از محلول را مجدداً به حجم ۱ لیتر رسانده و در کووت کوارتزی ریخته شد. سپس میزان جذب در طیف‌های ۲۵۷ (پیکروکروسین)، ۳۳۰ (سافرانال) و ۴۴۰ (کروسین) نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (PG Instruments Ltd،$T80^+$UV/VIS، انگلیس) قرائت شد. لازم به ذکر است که در این روش نیازی به استفاده از استاندارد نمی‌باشد. در پایان، عدد بدست آمده در فرمول ۱ قرار گرفته و به‌ترتیب مقادیر پیکروکروسین، سافرانال و کروسین محاسبه شدند. در این رابطه، X مقدار ترکیب کیفی مشخص با واحد درصد، A میزان جذب خوانده شده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج مربوطه و M وزن خشک کلاله با واحد میلی‌گرم می‌باشد. در نهایت داده‌های حاصل از آزمایش با نرم‌افزار SPSS v.16.0 تجزیه واریانس شدند و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. سپس جدول‌ها و شکل‌ها با نرم‌افزار Excel رسم شدند.

$$X = \frac{A}{M} \times ۱۰۰$$

نتایج

اثر کود شیمیایی بر عملکرد گل، عملکرد تر و خشک کلاله و درصد پیکروکروسین و اثر کود غیرشیمیایی و آثار متقابل کودها بر تمامی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده معنی‌دار بودند (جدول ۳).

عملکرد گل و کلاله

عملکرد گل و کلاله زعفران تحت تأثیر تمامی عوامل بررسی شده اعم از کود شیمیایی، غیرشیمیایی و اثرات متقابل کودها قرار گرفت ($p<۰/۰۱$؛ جدول ۳). البته اثر کود شیمیایی بر وزن خشک کلاله، در سطح ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). اما اعمال کود شیمیایی نتوانست اثر معنی‌داری بر تعداد گل بگذارد، همچنین کود غیرشیمیایی تأثیر معنی‌داری بر نسبت عملکرد تر به خشک کلاله نگذاشت.

کاربرد همزمان ۵۰٪ کود شیمیایی، ورمی‌کمپوست و باکتری‌ها (C_5.VB) بیشترین و تیمار شاهد بدون کود (C.C) کمترین تعداد گل (به‌ترتیب ۹ و ۴ عدد در

مترمربع) و عملکرد خشک کلاله (به‌ترتیب ۱/۹۷ و ۰/۴۲ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرد (جدول ۴). تیمارهای کاربرد همزمان ۱۰۰٪ کود شیمیایی، ورمی‌کمپوست و باکتری‌ها ($C_{۱۰۰}$VB)، کاربرد همزمان ورمی‌کمپوست و باکتری‌ها (VB)، باکتری‌های خالص (B) و کاربرد همزمان ۱۰۰٪ کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست ($C_{۱۰۰}$V) تأثیر مطلوبی را از خود نشان دادند. تیمارهای C.C، $C_{۵۰}$ و $C_{۱۰۰}$B کمترین اثرگذاری را بر تولید گل داشتند. وزن گل به‌ترتیب در تیمارهای $C_{۵۰}$VB، $C_{۱۰۰}$ و $C_{۱۰۰}$VB بیشتر از سایرین بود. همچنین در این صفت میزان تأثیر C.C و $C_{۱۰۰}$B یکسان و بی‌اثر برآورد شد. البته نتایج بیان می‌دارند که آثار کود شیمیایی بر عملکرد خشک کلاله وابستگی بیشتری را به تعداد کلاله نسبت به وزن خشک کلاله دارد؛ چنان‌که عملکرد خشک کلاله با تعداد کلاله و وزن خشک دارای به‌ترتیب وابستگی غیرمعنی‌دار و معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$، جدول ۳). در میان سایر تیمارها، به‌ترتیب کاربرد $C_{۵۰}$، V و $C_{۵۰}$VB کمترین آثار مثبت را بر وزن تر گل داشتند. وزن تر کلاله تحت تأثیر تیمارهای کاربرد $C_{۵۰}$VB، $C_{۱۰۰}$VB و $C_{۱۰۰}$ به‌ترتیب دارای بیشترین مقادیر و در اثر تیمارهای به‌ترتیب C.C، $C_{۱۰۰}$B و $C_{۵۰}$B به‌ترتیب کمترین مقادیر را داشتند. وزن خشک کلاله تغییرات متفاوتی را نشان داد، به این صورت که کاربرد $C_{۱۰۰}$V و بعد VB و $C_{۵۰}$VB بیشترین و استفاده از $C_{۱۰۰}$B و C.C کمترین اثر را در پی داشتند. نسبت وزن تر به خشک کلاله در تیمار $C_{۵۰}$ و بعد از آن در تیمارهای V و $C_{۵۰}$V بیشترین مقدار را داشت. کاربرد کودهای مختلف باعث افزایش عملکرد کلاله شد. کاربرد همزمان کودهای غیرشیمیایی ورمی‌کمپوست و زیستی عملکرد کلاله را نسبت به کاربرد مجزای هر یک بیشتر افزایش (به‌ترتیب ۳۰/۱۹٪ و ۲۰/۱۳٪ افزایش نسبت به کود زیستی و ورمی‌کمپوست) داد. کاربرد کود شیمیایی نیز عملکرد را نسبت به شاهد افزایش داد، که این افزایش با کاربرد ۱۰۰٪ کود شیمیایی، ۲۷/۳۶٪ بیشتر از ۵۰٪ مؤثر بود. اثر تیمارهای تلفیقی کود شیمیایی با کودهای ورمی‌کمپوست (۷۰/۳۵٪) بیشتر از تلفیق کودهای شیمیایی و زیستی (۴۵/۹۶٪) بود؛ ولی در زمان کاربرد هر سه نوع کود اثر مثبت بیشتری (۷۶/۷۴٪) بر عملکرد کلاله بدست آمد (جدول ۳ و ۴).

بررسی میزان همبستگی بین این ویژگی‌ها، مشخص کرد که تعداد گل‌ها در واحد سطح با وزن گل و کلاله رابطه مثبت معنی‌دار دارد (جدول ۵)، اما این وابستگی در رابطه میان تعداد گل با وزن گل بیش از وزن کلاله بود (شکل ۱- الف، ب و ج). همچنین وزن گل با وزن کلاله رابطه مثبت و معنی‌دار را به نمایش گذاشت و بررسی رگرسیون بین این صفات، وابستگی بیشتر وزن تر گل با وزن تر کلاله را در مقایسه با وزن خشک آن نشان داد (شکل ۱- د و ه). وزن خشک کلاله بیش از وزن گل تحت تأثیر وزن تر کلاله قرار گرفت (شکل ۱). همان‌طور که در شکل ۱ (و، ز، ح و ط) نشان داده شده‌است، نسبت وزن تر به خشک کلاله در درجه اول به وزن تر کلاله و در درجات بعد به وزن تر و تعداد گل و بعد به وزن خشک کلاله مربوط شد.

پیکروکروسین

درصد پیکروکروسین تحت تأثیر تمامی عوامل قرار گرفت ($p<۰/۰۱$؛ جدول ۳). کاربرد $C_{۵۰}$VB، $C_{۱۰۰}$VB و بعد V و در پی آن تیمارهای B، $C_{۵۰}$ و $C_{۵۰}$V بیشترین اثر را بر درصد پیکروکروسین گذاشتند (جدول ۴). گرچه میزان همبستگی بین درصد پیکروکروسین و صفات کمّی اندازه‌گیری شده معنی‌دار نبود؛ اما وابستگی منفی بین آنها به خوبی اثبات شد (جدول ۵). به این معنی که در مقیاس هر عدد گل، صرف مواد غذایی به‌منظور افزایش وزن و تعداد گل و کلاله، منجر به کاهش میزان ماده مؤثره پیکروکروسین در کلاله خواهد شد؛ اما میزان ماده مؤثره بدست آمده از سطح هکتار، با افزایش تعداد گل و یا وزن کلاله بهبود یافت (شکل ۲). به این ترتیب، در شکل ۱

(م، ع، ف و ص) دیده می‌شود که رگرسیون این ماده با سایر مواد مؤثره، دارای ضریبی تقریباً دو برابر در مقایسه با درصد خالص مواد مذکور است.

سافرانال

درصد سافرانال در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ تحت تأثیر کودهای غیرشیمیایی و اثر متقابل کودهای شیمیایی و غیرشیمیایی قرار گرفت (جدول ۳). تیمار خالص باکتری‌ها به‌صورت آشکاری بهترین و عدم کاربرد کودها کمترین اثر را بر درصد این ترکیب (به‌ترتیب ۱۲/۴۹٪ و ۷/۰۶٪) گذاشتند. C.C و در پی آن $C_{۱۰}$.B و $C_{۵۰}$ کمترین نتایج را سبب شدند (جدول ۴). درصد سافرانال تحت تأثیر مثبت تمامی صفات کمّی اندازه‌گیری شده بود، اما در این میان تنها تعداد گل در واحد سطح تأثیر معنی‌دار بر آن گذاشت (جدول ۵). درصد این ماده با درصد پیکروکروسین و کروسین به‌ترتیب همبستگی منفی و مثبت غیرمعنی‌داری را نشان دادند (جدول ۵ و شکل ۲). همچنین مطالعه خط برازش میان سافرانال و سایر ترکیب ها، وابستگی بیشتر این ماده را با کروسین در مقایسه با پیکروکروسین نشان داد (شکل ۱- ع، ف و ص).

کروسین

درصد کروسین تحت تأثیر تیمارها قرار گرفت و در کود غیرشیمیایی و برهم‌کنش کودها معنی‌دار نشان داد (p<۰/۰۱، جدول ۳). درصد کروسین در اثر تیمار $C_{۱۰}$.B به‌طور معنی‌داری افزایش (۲۳/۷۶٪) یافت. پس از آن، کاربرد B مؤثر (۱۱/۲۰٪) بود و سایر تیمارها تأثیری برابر و یا کمتر از نتایج حاصل از تیمار عدم استفاده از کود را داشتند (جدول ۴). درصد کروسین تحت تأثیر منفی و معنی‌دار وزن گل و کلاله واقع شد (جدول ۵). اما وابستگی مثبتی را با درصد سایر مواد مؤثره نشان داد، این وابستگی با درصد پیکروکروسین در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود (جدول ۵). کروسین بیش از هر صفت کمّی دیگری تحت تأثیر وزن تر کلاله قرار گرفت و در کنار سافرانال دارای ضریب رگرسیون بیشتر در مقایسه با پیکروکروسین بود (شکل ۱- ک، ن، س، ع، ف و ص).

بحث

همان‌طور که اشاره شد، بیشترین تعداد و بالاترین وزن گل‌ها در تیمار مخلوط ۵۰٪ کود شیمیایی، ورمی‌کمپوست و زیستی؛ سپس در تیمار مخلوط ۱۰۰٪ کود شیمیایی و کودهای آلی بدست آمدند. جالب توجه است که کاربرد ۱۰۰٪ کود شیمیایی خالص بر وزن گل بسیار مؤثر و حتی بهتر از مخلوط ۱۰۰٪ کود شیمیایی و کودهای غیرشیمیایی بود، ولی در این تیمار تحت تأثیر اثرات کود شیمیایی و تعداد گل در واحد سطح اُفت کرد. همچنین اعمال ۵۰٪ کود شیمیایی خالص نتایجی تقریباً برابر با تیمار شاهد را در پی داشت. در بررسی وزن کلاله نیز چنین روندی مشاهده شد، اما تنها استثناء در این مورد استفاده از مخلوط ۱۰۰٪ کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست بود که نسبت مابین وزن تر و خشک بشدت پایین آمد و وزن خشک بیشتری از وزن تر یکسان حاصل شد. از طرفی، بیشترین ضریب تبدیل کلاله را کاربرد ۵۰٪ کود شیمیایی و بعد باکتری‌های خالص به خود اختصاص دادند. اما مؤثرترین نوع کود بر این صفات، مخلوط ۵۰٪ کود شیمیایی و کودهای غیرشیمیایی؛ مخلوط ۱۰۰٪ کود شیمیایی و کودهای غیرشیمیایی و تلفیق کودهای غیرشیمیایی با تفاوت‌های جزئی ثبت شدند. بنابراین، در مجموع کاربرد مخلوط ۵۰٪ کود شیمیایی، ورمی‌کمپوست و باکتری‌ها در بهبود عملکرد کمّی و کیفی زعفران مؤثرترین تیمار بود.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک قبل از کشت

واکنش گل اشباع	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	درصد اشباع (٪)	مواد خنثی شونده (٪)	ظرفیت زراعی (٪)	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	مس (mg/kg)	روی (mg/kg)	منگنز (mg/kg)	آهن (mg/kg)
۷/۵	۶/۸۵	۴۰	۱۹/۳	۲۵/۴	۰/۷۳	۰/۰۷	۲۵	۵۰۷	۱/۳۸	۰/۹۸	۱۵/۹۲	۴/۵۲

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی کود ورمی‌کمپوست

واکنش گل اشباع	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی (٪)	نیتروژن (٪)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	مس (mg/kg)	روی (mg/kg)	منگنز (mg/kg)	آهن (mg/kg)	کلسیم (meq/l)	منیزیم (meq/l)
۸/۵	۶/۲۱	۱۷/۵	۲/۲۴	۱۰۲۰	۹۳۴۰	۶/۱۲۴	۳۷/۸۵	۳۰/۵	۷۵	۵/۲	۱۱/۸

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد زعفران تحت تأثیر کودهای شیمیایی، زیستی و ورمی‌کمپوست

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		تعداد گل	وزن گل	وزن تر کلاله	وزن خشک کلاله	نسبت وزن تر به خشک	عملکرد کلاله	پیکروکروسین	سافرانال	کروسین
تکرار **R**	۲	۰/۷۵۰ ns	۰/۱۳۲ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۳۸۵ ns	۰/۱۳۱ ns	۲/۱۳۸ ns	۱/۸۴۰ ns	۸/۲۰۴ ns
کود شیمیایی **C**	۲	۱/۵۸۳ ns	۰/۴۱۵ **	۰/۰۰۱ **	۰/۰۰۰ *	۰/۹۸۹ **	۰/۱۹۵ ns	۱۷/۳۲۰ **	۲/۰۲۴ ns	۴/۹۶۲ ns
کود غیرشیمیایی **O**	۳	۱۸/۲۹۶ **	۰/۵۸۹ **	۰/۰۰۲ **	۰/۰۰۰ **	۰/۳۱۳ ns	۱/۷۲۹ **	۲۸/۹۳۸ **	۱۱/۴۳۷ **	۹۵/۵۸۷ **
O × C	۶	۶/۲۱۳ **	۰/۴۸۷ **	۰/۰۰۱ **	۰/۰۰۰ **	۲/۲۵۱ **	۰/۳۳۷ **	۸/۰۴۷ **	۶/۰۶۲ **	۲۹/۰۰۶ **
اشتباه آزمایش (**Error**)	۲۲	۱/۱۴۴	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۱۸	۰/۰۷۳	۱/۸۷۵	۱/۲۰۵	۳/۷۹۵
کل (**Total**)	۳۵	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ضریب تغییرات (**C.V.**) (٪)	–	۱۵/۲۸	۹/۵۳	۸/۹۰	۸/۶۸	۷/۲۸	۲۱/۹۴	۱۰/۲۵	۱۲/۰۳	۱۱/۴۸

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل کودهای شیمیایی و غیرشیمیایی بر صفات اندازه‌گیری شده در زعفران

تیمار		صفات							
کود شیمیایی	کود غیرشیمیایی	تعداد گل ($no.m^{-2}$)	وزن گل ($kg.ha^{-1}$)	وزن تر کلاله (g.plt)	وزن خشک کلاله (mg.plt)	نسبت وزن تر به خشک	عملکرد کلاله ($kg.ha^{-1}$)	پیکروکروسین (٪)	سافرانال (٪)	کروسین (٪)
C.	C	۴ E	۸۱/۷۳ F	۰/۰۳۵ K	۱۰/۳۳ G	۳/۳۸۷ E	۰/۴۲۳۳ H	۱۱/۸۶ DE	۷/۰۵۷ F	۱۹/۲۴ BC
	V	۷ BCD	۱۳۹/۲ DE	۰/۰۸۲ F	۱۸ /۰۰ CD	۴/۵۷۴ CD	۱/۲۷۰ BCDE	۱۵/۴۶ AB	۹/۵۳۷ BCD	۱۵/۲۰ DE
	B	۸ ABC	۱۶۷/۵ CD	۰/۰۷۳ H	۱۳/۳۳ F	۵/۵۱۲ AB	۱/۱۱۳ DEF	۱۳/۸۹ABCDE	۱۲/۴۹۰ A	۲۱/۶۶ B
	VB	۷ ABC	۱۶۲/۸ CD	۰/۰۹۰ DE	۲۰/۶۷ AB	۴/۲۱ D	۱/۵۹۰ ABCD	۱۲/۴۶ CDE	۹/۲۲۵ BCDE	۱۳/۸۴ DE
$C_{۵۰}$	C	۴ E	۱۳۱/۴ E	۰/۰۹۱ D	۱۶/۶۷ DE	۵/۵۴۵ A	۰/۷۳۳ FGH	۱۴/۷۲ ABC	۸/۱۲۷ CDEF	۱۹/۲۰ BC
	V	۷ BCD	۱۸۲/۴BC	۰/۰۸۹E	۱۷/۰۰ D	۵/۲۶۲ AB	۱/۲۲۰ CDEF	۱۴/۰۷ ABCD	۷/۲۴۷EF	۱۶/۲۰CDE
	B	۶ CD	۱۵۴/۲ CDE	۰/۰۶۵ I	۱۵/۰۰ EF	۴/۲۹ D	۱/۰۰۲ EFG	۱۶/۳۴ A	۹/۴۵۴ BCD	۱۷/۳۵ CD
	VB	۹ A	۲۱۹/۶ A	۰/۱۰۵ A	۲۱/۰۰ AB	۵/۰۱۴ ABC	۱/۹۶۷ A	۱۲/۹۹ BCDE	۱۰/۳۰۰ B	۱۵/۹۳ CDE
$C_{۱۰۰}$	C	۷ ABCD	۲۰۳/۴ AB	۰/۰۹۴ C	۱۸/۳۳ CD	۵/۱۵۱ ABC	۱/۳۵۰ BCDE	۱۱/۳۹ E	۷/۸۳۴ DEF	۱۳/۶۴ E
	V	۸ ABC	۱۶۶/۵ CD	۰/۰۷۶ G	۲۱/۳۳ A	۳/۵۷۱ E	۱/۷۱۳ ABC	۱۲/۲۴ CDE	۹/۶۲۹ BCD	۱۳/۲۷ E
	B	۵ DE	۱۰۱/۷ F	۰/۰۵۵ J	۱۱/۳۳ G	۴/۸۷۲ ABC	۰/۶۱۰ GH	۱۶ /۳۶ A	۸/۵۳۳ BCDEF	۲۵/۲۳ A
	VB	۹ AB	۱۹۹/۴ AB	۰/۰۹۹ B	۱۹/۳۳BC	۵/۱۰۴ ABC	۱/۷۴۳ AB	۸/۵۳ F	۱۰/۰۳۰ BC	۱۲/۸۵ E

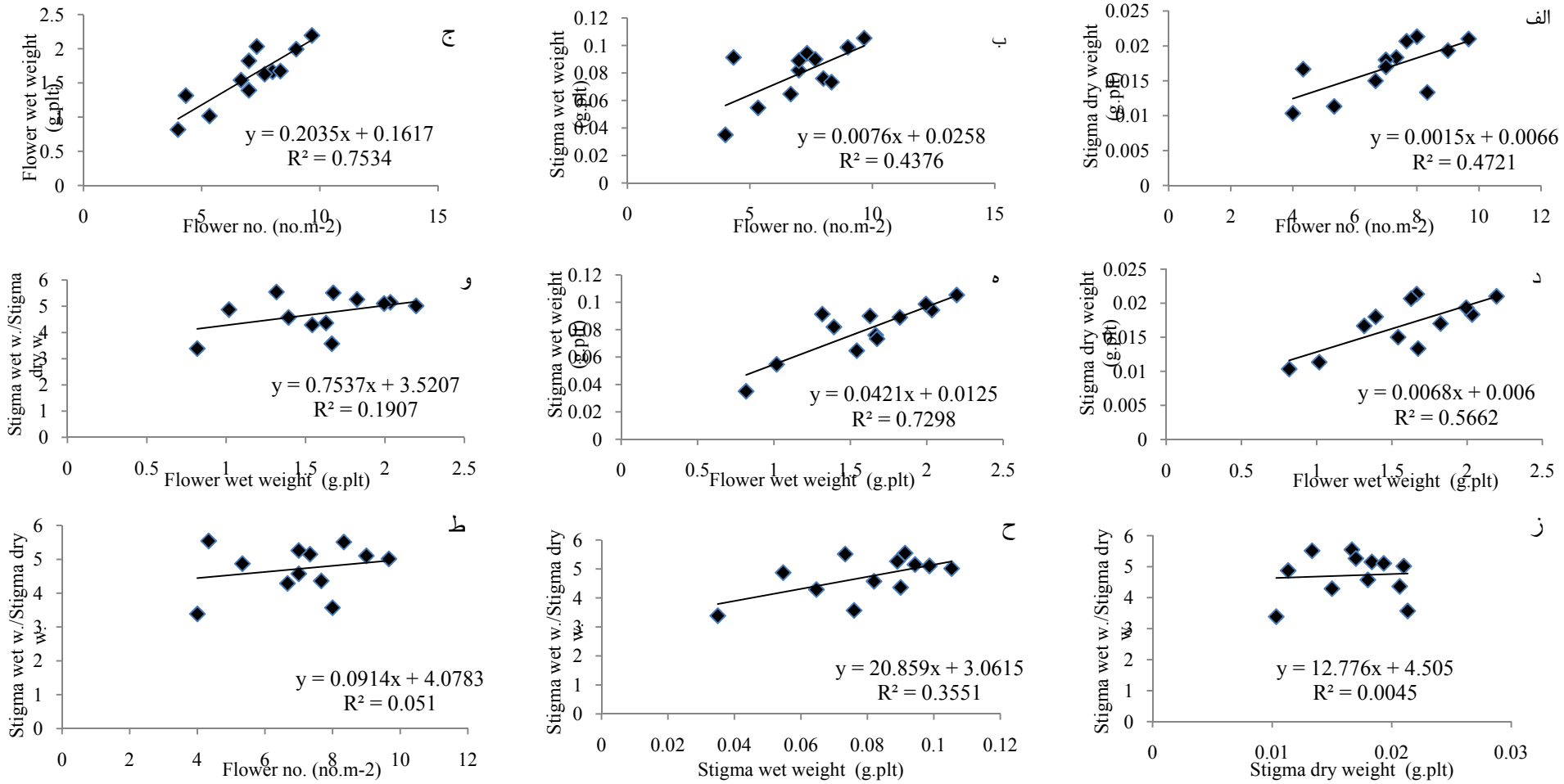
میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

C.: بدون کود شیمیایی، $C_{۱۰۰}$: کود شیمیایی کامل، $C_{۵۰}$: نصف کود شیمیایی، C: بدون کود غیرشیمیایی، V: کود ورمی‌کمپوست، VB: کود ورمی‌کمپوست + کود زیستی، B: کود زیستی

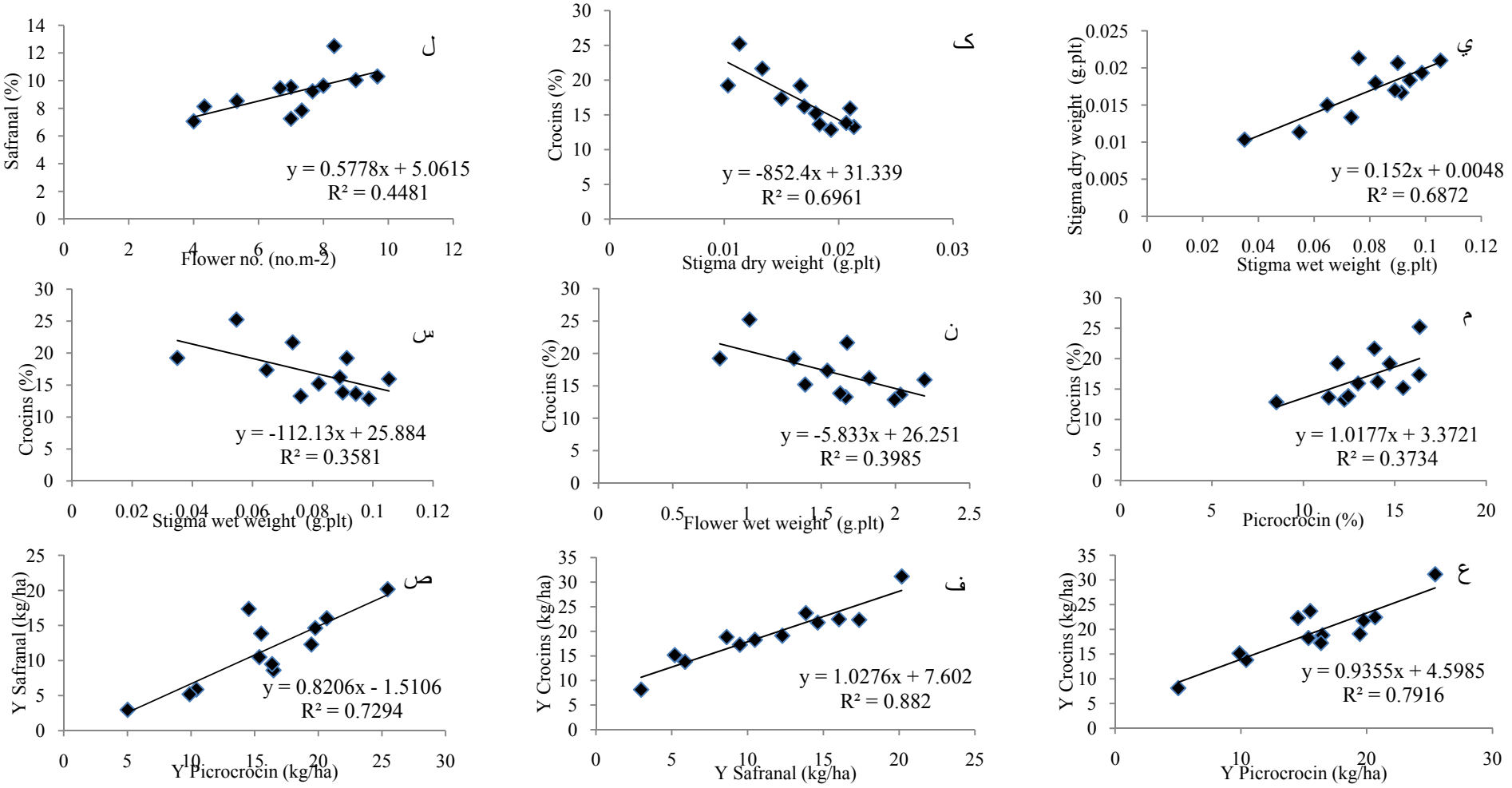
جدول ۵- همبستگی پیرسون بین صفات اندازه‌گیری شده در زعفران

	تعداد گل ($no.m^{-2}$)	وزن تر گل ($kg.ha^{-1}$)	وزن تر کلاله ($g.plt^{-1}$)	وزن خشک کلاله ($mg.plt^{-1}$)	پیکروکروسین (٪)	سافرانال (٪)	کروسین (٪)
تعداد گل ($no.m^{-2}$)	۱	۰/۸۶۸ **	۰/۶۶۲ *	۰/۶۸۷ *	-۰/۴۰۱	۰/۶۶۹ *	-۰/۵۲۹
وزن تر گل ($kg.ha^{-1}$)		۱	۰/۸۵۴ **	۰/۷۵۲ **	-۰/۴۳۶	۰/۳۷۰	-۰/۶۳۱ *
وزن تر کلاله ($g.plt^{-1}$)			۱	۰/۸۲۹ **	-۰/۳۲۶	۰/۲۴۱	-۰/۵۹۸ *
وزن خشک کلاله ($mg.plt^{-1}$)				۱	-۰/۳۹۹	۰/۲۰۴	-۰/۸۳۴ **
پیکروکروسین (٪)					۱	-۰/۰۱۸	۰/۶۱۱ *
سافرانال (٪)						۱	۰/۰۳۲
کروسین (٪)							۱

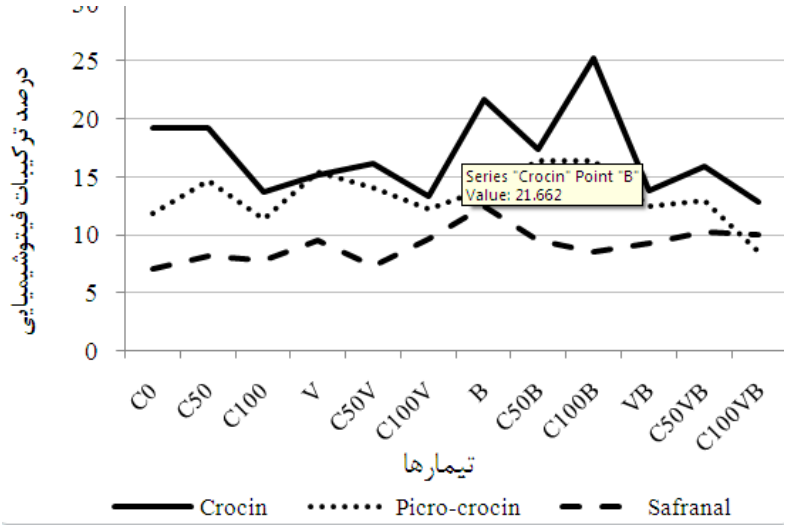
* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.



شکل ۱- رگرسیون و معادله خط برازش بین صفات اندازه‌گیری شده در زعفران


ل
Safranal (%)
y = 0.5778x + 5.0615
R² = 0.4481
Flower no. (no.m-2)
ک
Crocins (%)
y = -852.4x + 31.339
R² = 0.6961
Stigma dry weight (g.plt)
ي
Stigma dry weight (g.plt)
y = 0.152x + 0.0048
R² = 0.6872
Stigma wet weight (g.plt)
س
Crocins (%)
y = -112.13x + 25.884
R² = 0.3581
Stigma wet weight (g.plt)
ن
Crocins (%)
y = -5.833x + 26.251
R² = 0.3985
Flower wet weight (g.plt)
م
Crocins (%)
y = 1.0177x + 3.3721
R² = 0.3734
Picrocrocin (%)
ص
Y Safranal (kg/ha)
y = 0.8206x - 1.5106
R² = 0.7294
Y Picrocrocin (kg/ha)
ف
Y Crocins (kg/ha)
y = 1.0276x + 7.602
R² = 0.882
Y Safranal (kg/ha)
ع
Y Crocins (kg/ha)
y = 0.9355x + 4.5985
R² = 0.7916
Y Picrocrocin (kg/ha)

ادامه شکل ۱-



شکل ۲- مقایسه درصد ترکیب‌های فیتوشیمیایی زعفران تحت تأثیر تیمارهای کودی

(C.: بدون کود شیمیایی، $C_{۵۰}$: نصف کود شیمیایی، $C_{۱۰۰}$: کود شیمیایی کامل، V: ورمی‌کمپوست، B: کود زیستی)

درصد سافرانال تحت کاربرد تیمار باکتری‌ها قرار گرفت و به بالاترین میزان خود رسید (۱۲/۴۹٪). در طرف مقابل، کاربرد مخلوط ۱۰۰٪ کود شیمیایی و باکتری‌ها توانست عامل طعم و رنگ یعنی میزان پیکروکروسین و کروسین را افزایش دهد؛ پس از آن تیمار خالص باکتری‌ها مؤثر واقع شد. آنچه مسلم است، در شرایط آزمایشگاهی و کنترل شده کاربرد تیمار مذکور بهترین نتایج را خواهد داشت؛ اما با توجه به استرس‌های محتمل در مزرعه تیمار مخلوط ۵۰٪ کود شیمیایی و غیرشیمیایی که خصوصیات مورفولوژیک را افزایش داده بود، توانست صفات فیزیولوژیک را نیز تحت تأثیر قرار دهد. جالب آن که اعمال ۱۰۰٪ کود شیمیایی و باکتری‌ها، درصد هر سه نوع ترکیب فیتوشیمیایی کلاله را فوق‌العاده کاهش داد. از این‌رو به نظر می‌رسد که در شرایط پر تنش حاکم بر مزارع، دستیابی به کمّیت و کیفیت حداکثری زعفران میسر نبوده و مقدار مطلوب هر دو باید به‌عنوان هدف نهایی قرار گیرد.

در مطالعات Jahan و Jahani (۲۰۰۷) روی زعفران، کودهای شیمیایی کمترین اثر را بر تعداد گل و بیشترین اثر را بر وزن خشک گل داشتند. وابستگی بیشتری بین وزن خشک کلاله و تعداد گل در مقایسه با وزن خشک گل به اثبات رسیده بود، که نتیجه اخیر در این پژوهش نیز تکرار شد. همچنین در بررسی‌های سایر محققان افزایش وزن هر یک از اجزای عملکرد (غلامی و بیاری، ۱۳۸۶)، افزایش عملکرد کلاله (شوقی کلخوران و همکاران، ۱۳۸۸)، پایداری عملکرد (Kapoor *et al.*, 2004) و افزایش اسانس (درزی و همکاران، ۱۳۸۶) تحت تأثیر کودهای زیستی و افزایش تعداد دانه (درزی و همکاران، ۱۳۸۷)، عملکرد دانه (سبطی و همکاران، ۱۳۸۸)، تولید اسانس (سلجوقی و همکاران، ۱۳۸۷)، بهبود میزان اسانس (Azizi *et al.*, 2008) و ترکیب اسانس (Anwar *et al.*, 2005) در اثر ورمی‌کمپوست گزارش شده بودند. تطابق نتایج فوق با نتایج این آزمایش، که با مقادیر دقیق‌تری از منابع کودی رایج در ایران در کنار منبع جدیدی با نام باکتری‌های محرک رشد و آزادکننده فسفر انجام شد، کاملاً مشخص می‌باشد.

از آنجا که ورمی‌کمپوست دارای عمده عناصر پرمصرف، کم‌مصرف و کربن است، می‌توان انتظار رشد بیشتر بیوماس و تسریع چرخه حیات گیاه و میکروارگانیسم را داشت (Biswas & Naryanasamy, 2006). ورمی‌کمپوست دارای هیومیک اسید فراوان نیز می‌باشد، که به افزایش ظرفیت نگهداری آب، عناصر غذایی و هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد

منجر می‌شود (Arancon *et al*., 2005). در مطالعه Anwar و همکاران (۲۰۰۵) علت تأثیرگذاری ورمی‌کمپوست بر ترکیب‌های گیاه، افزایش فراهمی و دسترسی به عناصر غذایی، بهبود شرایط فیزیکی و بیولوژیک خاک و ایجاد بستر مناسب بیان شده است. همچنین کاربرد ورمی‌کمپوست به واسطه بهبود فراهمی و جذب فسفر، نیتروژن و پتاسیم، در افزایش اجزاء تشکیل‌دهنده اسانس مؤثر بوده‌است (Muchovej *et al*., 1989؛ سبطی و همکاران، ۱۳۸۸).

ساخت اسانس‌های ترپنوئیدی نظیر فیتوالکسین‌ها و سافرانال، نیاز مبرم به ترکیب‌های فسفردار دارد و برای تأمین انرژی لازم (NADPH و ATP) برای چرخه‌های آن به نیتروژن وابسته است (Loomis & Corteau, 1972). در مطالعات Freitas و همکاران (۲۰۰۴)، عدم تأثیر کاربرد مطلق فسفر معدنی بر افزایش میزان اسانس و در عین حال تأثیر مثبت همزیستی میکوریزایی بر بهبود تغذیه معدنی، جذب فسفر و افزایش میزان اسانس اثبات شده‌است. در مطالعات Rojas و همکاران (۲۰۰۱) مصرف کود زیستی خالص توانست ۸۳٪ افزایش عملکرد کلاله را نسبت به شاهد سبب شود؛ این میزان رشد معنی‌دار حاصل کاهش pH خاک و انحلال بیشتر ترکیب‌های آن بیان شده‌است. این مطلب حکایت از آن دارد که کودهای زیستی می‌توانند به تنهایی تمامی احتیاجات گیاه را تأمین کنند. از این‌رو باکتری‌های آزادکننده فسفر خاک از طریق افزایش فعالیت بیولوژیکی خاک، بهبود حلالیت فسفر در ناحیه ریزوسفر ریشه و جذب بیشتر فسفر توسط گیاه، سبب افزایش تولید مواد مؤثره می‌شوند (Sundara *et al*., 2002). تحریک تولید کربوهیدرات‌ها، ارتقای سرعت تقسیم و رشد سلول‌ها (El-Abd *et al*., 1999)، تولید هورمون‌های محرک رشد (Chen *et al*., 2007)، ترشح اسیدهای آمینه مختلف، آنزیم‌ها (کوچکی و همکاران، ۱۳۹۰) و انواع آنتی‌بیوتیک (Kilian *et al*., 2002) از دیگر اثرات مصرف این کود می‌باشد. ازجمله این هورمون‌ها که توسط *Bacillus* sp. تولید می‌شود، جیبرلین (Probanza *et al*., 2002)، سیتوکینین (Nieto & Frankenberger, 1989)، اکسین (Muscolo *et al*., 1999) و ایندول ۳-استیک اسید (Loper & Schroth, 1986) می‌باشند.

بررسی دقیق‌تر همبستگی پیرسون، نشان می‌دهد که وزن تر کلاله مؤثرترین ویژگی در بین تمامی صفات کمّی لحاظ شده بوده و بیشترین اثر را بر نسبت تبدیل کلاله تر به خشک و درصد مواد مؤثره آن دارد. در ارزیابی درصد مواد مؤثره، نسبت معکوس میزان سافرانال و پیکروکروسین قابل‌توجه است. با توجه به این امر که پیکروکروسین دارای حلالیت کمتری نسبت به سافرانال بوده (کیان‌بخت، ۱۳۸۷) و در اثر حرارت و خشک شدن کلاله زعفران، به سافرانال و گلوکز تجزیه می‌شود (Liakopoulou & Kyriakidis, 2002)، نسبت سافرانال بیشتر و در نقطه مقابل پیکروکروسین قرار گرفته است. به گونه‌ای که پیکروکروسین تنها ۴٪ و سافرانال بیش از ۷٪ وزن خشک زعفران را به خود اختصاص داده‌اند (عاطفی و همکاران، ۱۳۸۵). بنابراین افزایش درصد سافرانال در ترکیب حکایت از تبدیل بیشتر پیکروکروسین به این ماده دارد، از این‌رو به نظر می‌رسد عوامل عطر و طعم تحت تأثیر شرایط محیط و بستر کشت زعفران همواره متغیر و در نهایت یک عامل مغلوب دیگری خواهد بود. اما آنچه در نتایج این پژوهش دیده می‌شود، این حقیقت است که در گل‌های بزرگتر و یا کلاله‌های سنگین‌تر، باید انتظار درصد کروسین و سافرانال بیشتر و ارتقای رنگ و عطر کلاله را داشته باشیم. از طرف دیگر، عملکرد این مواد وابستگی مثبت و معنی‌داری دارند؛ بنابراین می‌توان گفت در صورتی که عاملی منجر به ارتقای عملکرد یک ترکیب در واحد سطح شود، بر افزایش عملکرد سایر مواد مؤثره نیز مؤثر خواهد بود.

برازش میان عملکرد و مصرف کودها نشان داده است که ۶۷٪ تغییرات عملکرد زعفران مربوط به مصرف کودهای مختلف می‌باشد (بهدانی و همکاران، ۱۳۸۴). بنابراین در این پژوهش تأثیر منابع و مقادیر متغیر کود بر یکی از گیاهان راهبردی کشور تحلیل شد و نتایج به خوبی مشخص کرد که تلفیق نیمی از کودهای شیمیایی توصیه شده براساس آزمون تجزیه شیمیایی خاک مزرعه، به همراه ورمی‌کمپوست و

باکتری‌های محرک رشد از سویه‌های متنوع برای افزایش عملکرد کمّی و کیفی زعفران در هکتار مناسب می‌باشد و استفاده از این دستاورد به کارشناسان جهاد کشاورزی، مؤسسات و کشاورزان پیشنهاد می‌گردد. از این‌رو چنین به نظر می‌رسد که این نظام کودی، ابزاری مناسب برای برخورداری از پایداری تولید و سود در کشت زعفران باشد. زیرا این نظام به لحاظ تنوع زیستی و بهره‌گیری از دانش بومی زارعان نسبت به سایر نظام‌های مطالعه شده در این بررسی از ثبات بیشتری برخوردار بوده و علاوه‌بر در نظر گرفتن جنبه‌های اگرواکولوژیک در تولید محصول، به سودآوری مزارع نیز می‌انجامد.

منابع مورد استفاده

- امیدی، ح.، گلزاد، ع.، نقدی‌بادی، ح.ع.، ترابی، ح. و فتوکیان، م.ح.، ۱۳۸۸. تأثیر کود شیمیایی و زیستی نیتروژن بر عملکرد کمّی و کیفی زعفران (*Crocus sativus* L.). گیاهان دارویی، ۳۰(۱): ۱۰۹-۹۸.
- بهدانی، م.ع.، کوچکی، ع.ر.، نصیری محلاتی، م. و رضوانی‌مقدم، پ.، ۱۳۸۴. ارزیابی روابط کمّی بین عملکرد و مصرف عناصر غذایی در زعفران: مطالعه در مزارع کشاورزان On-farm. پژوهش‌های زراعی ایران، ۳(۱): ۱۴-۱.
- بهنیا، م.ر.، ۱۳۸۷. بررسی اثرات روش کاشت و تراکم پیاز بر میزان عملکرد زعفران در منطقه دماوند. پژوهش و سازندگی (در زراعت و باغبانی)، ۷۹(۲): ۱۰۸-۱۰۱.
- زارع مایوان، ح. و نخعی، ع.، ۱۳۷۹الف. اثرات متقابل میکوریزا و الگوی کشت زعفران. پژوهش و سازندگی، ۱۳(۳): ۲۰-۱۸.
- زارع مایوان، ح. و نخعی، ع.، ۱۳۷۹ب. همزیستی میکوریزایی زعفران خوراکی با دو گونه قارچ *Glomineae*. پژوهش و سازندگی، ۱۳(۳): ۸۳-۸۰.
- درزی، م. ت.، قلاوند، ا. و رجالی، ف.، ۱۳۸۷. بررسی اثر کاربرد میکوریزا، ورمی‌کمپوست و کود فسفات زیستی بر گلدهی، عملکرد بیولوژیک و همزیستی ریشه، در گیاه دارویی رازیانه. علوم زراعی ایران، ۱۰(۱): ۱۰۹-۸۸.
- درزی، م.ت.، قلاوند، ا.، رجالی، ف. و سفیدکن، ف.، ۱۳۸۶. بررسی کاربرد مایکوریزا، ورمی‌کمپوست و کود فسفات زیستی بر همزیستی ریشه، غلظت فسفر و میزان اسانس در گیاه دارویی رازیانه. دهمین کنگره علوم خاک ایران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۶-۴ شهریور: ۱۵۶۴.
- سبطی، م.، موحدی نائینی، س.ع.ر.، قربانی نصرآبادی، ر.، روشنی، ق.ع.، شهریاری، ق. و موحدی، م.، ۱۳۸۸. تعیین عصاره‌گیر مناسب پتاسیم در یک خاک رسی با رس غالب ایلایت و تأثیر ازتوباکتر و ورمی‌کمپوست بر غلظت و میزان پتاسیم قابل جذب و عملکرد گندم دیم. پژوهش‌های تولید گیاهی (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۶(۴): ۷۶-۵۹.
- سلجوقی، خ.، قربانی، ع.ر.، ضیائی، س.م. و صابر، آ.، ۱۳۸۷. تأثیر کود آلی ورمی‌کمپوست در بهره‌وری و تولید گوجه‌فرنگی ارگانیک. اولین کنگره ملی فناوری تولید و فرآوری گوجه‌فرنگی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، ۲۴-۲۳ بهمن: ۱۸۹.
- شوقی کلخوران، س.، قلاوند، ا. و مدرس ثانوی، س.ع.م.، ۱۳۸۸. تأثیر کود زیستی باکتریایی و کشت گندم زمستانه به عنوان کود سبز بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان. اولین همایش ملی دانه‌های روغنی، انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، اصفهان، ۲-۱ مهر: ۱۳۱۶.
- صفاری، ع.ر.، جلینی، م.، آرین‌نژاد، م.ر. و اسماعیل‌زاده، ح.، ۱۳۸۸. بررسی تبدیل ضایعات آلی مختلف (شامل کمپوست زباله، برگ و مقوای خرد شده و کود گاوی) با استفاده از کرم خاکی به ورمی‌کمپوست. اولین همایش ملی اصلاح الگوی مصرف با محوریت منابع طبیعی، کشاورزی و دامپزشکی، دانشگاه زابل، ۲۹-۲۷ بهمن: ۱۴۶۱.
- عاطفی، س.م.، همتی کاخکی، ع. و نوروز، م.، ۱۳۸۵. زعفران (شیمی، کنترل کیفیت و فراوری). انتشارات بین‌النهرین، مشهد، ۱۹۲ صفحه.
- عاطفی، م.، تسلیمی، ا.، حساس، م.ر. و مظلومی، م.ت.، ۱۳۸۳. بررسی اثرات خشک کردن انجمادی بر ویژگی‌های کیفی زعفران. علوم و صنایع غذایی ایران، ۱ (۲): ۴۹-۴۱.
- غلامی، ا. و بیاری، آ.، ۱۳۸۶. بررسی تأثیر پرایمینگ بذر توسط سویه‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر خصوصیات رشد، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. دومین همایش ملی کشاورزی بوم شناختی ایران، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۲۶-۲۵ مهر: ۴۲۹.
- کوچکی، ع.، خلیلی جهانتیغ، م.، تبریزی، ل. و محمدآبادی، ع.ا.، ۱۳۹۰. ارزیابی اثر کودهای بیولوژیکی و شیمیایی و تراکم بر عملکرد گل و ویژگی‌های بنه زعفران (*Crocus*

sativus L.). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۱): ۲۰۶-۱۹۶.

- کیان‌بخت، س.، ۱۳۸۷. مروری سیستماتیک بر فارماکولوژی زعفران و مواد مؤثره آن. گیاهان دارویی، ۷(۲۸): ۲۷-۱.
- محمدزاده، ا.ر. و پاسبان، م.، ۱۳۸۶. تأثیر منابع و مقادیر کودهای آلی بر عملکرد محصول گل زعفران. دهمین کنگره علوم خاک ایران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۶-۴ شهریور: ۱۵۶.

- Ahmad, M., Zaffar, G., Mir, S.D., Razvi, S.M., Rather, M.A. and Mir, M.R. 2011. Saffron (*Crocus sativus* L.) strategies for enhancing productivity. Research Journal of Medicinal Plant, 5(6): 630-649.
- Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A.A. and Khanuja, S.P.S., 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36(13-14): 1737-1746.
- Arancon, N.Q., Galvis, P.A. and Edwards, A., 2005. Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicomposts. Bioresource Technology, 96(10): 1137-1142.
- Azizi, M., Rezwanee, F., Hassanzadeh Khayat, M., Lackzian, A. and Neamati, H., 2008. The effect of different levels of vermicompost and irrigation on morphological properties and essential oil content of German chamomile (*Matricaria recutita*) C.V. Goral. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 24(1): 82-93.
- Beiki, A.H., Keifi F. and Mozafari, J., 2010. Genetic differentiation of *Crocus* species by random amplified polymorphic DNA. Genetic Engineering and Biotechnology, 18: 1-10.
- Biswas, D.S. and Naryanasamy, G., 2006. Rock phosphate enriched compost: An approach to improve low-grade Indian rock phosphate. Bioresource Technology, 97(18): 2243-2251.
- Chen, X.H., Koumoutsi, A., Scholz, R., Eisenreich, A., Schneider, K., Heinemeyer, I., Morgenstern, B., Voss, B., Hess, W.R., Reva, O., Junge, H., Voigt, B., Jungblut, P.R., Vater, J., Süssmuth, R., Liesegang, H., Strittmatter, A., Gottschalk, G. and Borriss, R., 2007. Comparative analysis of the complete genome sequence of the plant growth–promoting bacterium *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. Nature Biotechnology-Advanced Online Publication, 25(9): 1007-1014.
- El-Abd, S.O., Singer, S.M., El-Saied, H.M. and Mahmoud, M.H., 1999. Effect of some levels of plant growth regulators and silver nitrate on the growth and yield of broad bean (*Vicia faba*) plants. Egyptian Journal of Horticulture, 16(2): 143-150.
- Freitas, M.S.M., Martins, M.A. and Vieira, E.I.J.C., 2004. Yield and quality of essential oils of *Mentha arvensis* in response to inoculation with *arbuscular mycorrhizal* fungi. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 39(9): 887-894.
- Jahan, M. and Jahani, M., 2007. The effects of chemical and organic fertilizers on saffron flowering. Acta Horticulturae, 739: 81-86.
- Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K.G., 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *foeniculum vulgare* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology, 93(3): 307-311.
- Kilian, M., Steiner, U., Krebs, B., Junge, H., Schmiedeknecht, G. and Hain, R., 2002. FZB24® *Bacillus subtilis*-mode of action of a microbial agent enhancing plant vitality. Bayer Crop Science (formerly Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer), 72-79.
- Liakopoulou, M. and Kyriakidis, D.A., 2002. *Crocus sativus*-biological active constituents. Studies in Natural Products Chemistry, 26(G): 293-312.
- Loomis, W.D. and Corteau, R., 1972. Essential oil biosynthesis. Recently Advance Phytochemistry, 6: 147-185.
- Loper, J.E. and Schroth, M.N., 1986. Influence of bacterial sources of indole-3-acetic acid on root elongation of sugar beet. Physiology and Biochemistry, 76: 386-389.
- Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J.L. and Garcia-Luice, A., 2005. Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). Scientia Horticulture, 103(3): 361-379.
- Muchovej, R.M.C., Muchovj, J.J. and Alvarez, V.H. 1989. Temporal relations of phosphorus fractions in an oxisol amended with rock phosphate and *Thiobacillus thiooxidans*. Soil Science Society of America Journal, 53(4): 1096-1100.
- Muscolo, A., Bovalo, F., Gionfriddo, F. and Nardi, F., 1999. Earthworm humic matter produces auxin-like effects on *Daucus carota* cell growth and nitrate metabolism. Soil Biology and Biochemistry, 31(9): 1303-1311.
- Nehvi, F.A., Khan, M.A., Lone, A.A. and Maqhdoomi, M.I., 2010. Impact of microbial inoculation on growth and yield of saffron in Kashmir. Acta Horticulturae, 850: 171-174.
- Nehvi, F.A., Khan, M.A., Lone, A.A. and Maqhdoomi, M.I., 2009. Impact of microbial inoculation on growth and yield of saffron in Kashmir. 3rd International Symposium on Saffron: Forthcoming

Challenges in Cultivation, Research and Economics, Krokos, Greece. 20-24 May: 171-174.
- Nieto, K.F. and Frankenberger, W.T., 1989. Biosynthesis of cytokinins in soil. Soil Science Society of America Journal, 53(3): 735-740.
- Probanza, A., Lucas-García, J.A., Ruiz Palomino, M., Ramos, B. and Gutiérrez-Mañero, F.J. 2002. *Pinus pinea* L. seedlings growth and bacterial rhizosphere structure after inoculation with PGPR *Bacillus* (*B. licheniformis* CECT 5106 and *B. pumilus* CECT 5105). Applied Soil Ecology, 20: 75-84.
- Rojas, A, Holguin, G, Glick, B. and Bashan, Y., 2001. Synergism between *Phyllobacterium* sp. (N2-Fixer), and *Bacillus licheniformis* (P-Solubilizer), both from a semiarid mangrove rhizosphere, FEMS Microbiology Ecology, 35(2): 181-187.
- Seneviratne, G., Thilakaratne, R.M.M.S., Jayasekara, A.P.D.A., Seneviratne, K.A.C.N., Padmathilake, K.R.E. and De Silva, M.S.D.L., 2009. Developing beneficial microbial biofilms on roots of non-legumes: a novel biofertilizing technique: 51-62. In: Khan, M.S., Zaidi, A. and Musarrat, J., (Eds.). Microbial Strategies for Crop Improvement. Springer-Verlag, Germany, 358p.
- Srivastava, R.P., 1964. Saffron finds a New Home in U.P. Indian Farming, 13(10): 20-22.
- Sundara, B., Natarajan, V. and Hari, K., 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yields. Field Crops Research, 77: 43-49.

\

Saffron (*Crocus sativus* L.) yield as affected by different fertilizing systems

Z. Rasouli[1], S. Maleki Farahani[2*] and H. Besharati[3]

1- MSc. Sudent, Department Crop Production and Plant breeding, College of Agriculture and Natural Resources, Shahed University, Tehran, Iran
2*- Corresponding author, Department of Crop Production and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, Shahed University, Tehran, Iran, E-mail: maleki@shahed.ac.ir
3- Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran

Received: October 2012 Revised: September 2013 Accepted: December 2013

Abstract

Saffron (*Crocus sativus* L.) quantitative and qualitative yield was assessed in a factorial experiment based on randomized complete block design with three replications. The factors included NPK fertilizers at three levels (0, 50 and 100 percent of the recommended amount of fertilizer) and non-chemical fertilizers in four levels (no fertilizer, vermicompost, bio fertilizers containing Pseudomonas and Bacillus, and integrated application of vermicompost and bio fertilizers). Results showed that the interaction effect of chemical and non-chemical fertilizers was significant on all parameters and fertilization increased the quality and quantity yield of saffron compared to control. Integrated application of 50% of the amounts of chemical fertilizers, vermicompost and bacteria was the superior treatment to increase stigma dry weight, stigma yield, crocin percentage, picrocrocin percentage and safranal percentage by 2.03, 4.65, 0.83, 1.10 and 1.46 fold, respectively in comparison with control. Although the effectiveness of integrated application of bacteria with 0% and 100% chemical fertilizers on crocin content, pure vermicompost and integrated application of bacteria with 50% and 100% chemical fertilizers on picrocrocin content and pure bacteria on safranal content were more than those of integrated application of vermicompost, bio and 50% chemical fertilizer, the greatest impacts of recent treatment on flower yield, stigma yield and stigma ingredients led to introduce it as the superior treatment. The effectiveness of this treatment compared to 0%, 50% and 100% of chemical fertilizer application on dry stigma was 50.95%, 20.48% and 12.86%, respectively.

Keywords: *Crocus sativus* L., saffron yield, bio fertilizer, chemical fertilizer, stigma ingredients, vermicompost.