

اثر مصرف کودهای آلی و شیمیایی بر روابط بین شاخص‌های رشد، خصوصیات بانه، صفات مرتبط با گل و عملکرد در اکوتیپ‌های زعفران (*Crocus sativus* L.)
Effect of organic and chemical fertilizers application on relationships among growth indices, corm characteristics, flower related attributes and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) ecotypes

جلال قنبری^۱ و غلامرضا خواجهویی نژاد^۲

چکیده

قنبری، ج. و غ. ر. خواجهویی نژاد. ۱۳۹۶. اثر مصرف کودهای آلی و شیمیایی بر روابط بین شاخص‌های رشد، خصوصیات بانه، صفات مرتبط با گل و عملکرد در اکوتیپ‌های زعفران (*Crocus sativus* L.). مجله علوم زراعی ایران. ۱۹(۴): ۳۱۸-۲۹۷.

این آزمایش به منظور ارزیابی اثر تغذیه‌ای کودهای آلی و شیمیایی بر صفات مرتبط با گل و عملکرد زعفران در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان اجرا شد. بانه‌های نه اکوتیپ زعفران (بجستان، استهبان، فردوس، گناباد، نطنز، قائن، سرایان، تربت حیدیه و زرنده) در تیمارهای؛ بدون مصرف کود (شاهد)، کمپوست (۲۰ تن در هکتار) و کودهای شیمیایی (۶۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۱۳ کیلوگرم در هکتار فسفر) در مهرماه ۱۳۹۴ کاشته شدند. در سال اول، صفات ظهور جوانه، شاخص‌های رشد و خصوصیات بانه و در سال دوم صفات مرتبط با گل در اکوتیپ‌های زعفران مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در کلیه تیمارهای آزمایشی، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفات تعداد گل، وزن تر و خشک گل، وزن تر کلاله و دوام زیست توده با عملکرد کلاله وجود داشت. در تیمارهای کمپوست و کود شیمیایی، تعداد بانه‌های درشت (بیش از هشت گرم) همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد کلاله داشتند. نتایج تجزیه مسیر نشان داد که در تیمار شاهد تعداد گل‌ها، میانگین وزن بانه و تعداد بانه‌های متوسط (۸-۴ گرم) بیشترین اثر مستقیم (به ترتیب ۰/۸۰۴، ۰/۹۰۷ و ۰/۵۰۲) را بر عملکرد کلاله داشتند و اثر غیرمستقیم بر عملکرد کلاله عمدتاً از طریق تعداد گل‌ها بود. در تیمار کمپوست، وزن تر و خشک گل، وزن تر کلاله، ظهور جوانه اصلی و تعداد جوانه فرعی در بانه، بیشترین اثر مستقیم (به ترتیب ۰/۷۸۶، ۰/۴۰۶ و ۰/۸۵۳) و خصوصیات بانه و شاخص‌های رشد رویشی، بیشترین اثر غیر مستقیم را از طریق این صفات بر عملکرد کلاله داشتند. در تیمار کود شیمیایی، تعداد گل (۰/۸۰۱)، وزن تر کلاله (۰/۵۶۱)، شاخص سطح برگ پس از مرحله بحرانی (۰/۶۸)، وزن خشک برگ (۰/۶۴۹) و وزن خشک بانه (۰/۶۹۹) بر عملکرد کلاله اثر مستقیم مثبت داشتند و اثر شاخص‌های رشد و خصوصیات بانه بر عملکرد کلاله از طریق تعداد گل بود. نتایج این آزمایش نشان داد که با تغذیه مناسب گیاه می‌توان از طریق افزایش تعداد گل در واحد سطح و بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد بانه در سال اول و با انتخاب بر اساس این صفات، ضمن کاهش اثر عوامل ناشناخته، عملکرد کلاله زعفران را بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: تجزیه همبستگی، تجزیه مسیر، حاصلخیزی خاک، زعفران و عملکرد کلاله.

این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۶

۱- دانشجوی دکتری دانشگاه شهید باهنر کرمان و عضو انجمن پژوهشگران جوان

۲- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان و پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان (مکاتبه کننده)

(پست الکترونیک: khajoei@uk.ac.ir)

مقدمه

زعفران یکی از با ارزش ترین محصولات گیاهی و گران ترین ادویه در سطح جهان است که به دلیل عطر، رنگ و طعم منحصر به فرد آن، بدون تردید یکی از گزینه های مهم در مصارف غذایی و پزشکی در قرن ۲۱ محسوب می شود (Melnik et al., 2010). گیاه زعفران به دلیل دارا بودن خواص منحصر به فرد زیست شناسی و زراعی؛ نظیر گل دهی در فصل پاییز، نیاز آبی و غذایی اندک و سازگاری با خاک های فقیر، جایگزین مناسبی جهت کشت در شرایط کم آبی محسوب شده و بعلاوه از قابلیت بالایی از نظر تولید اقتصادی در سیستم های کشاورزی پایدار برخوردار است (Gresta et al., 2008a).

میانگین عملکرد زعفران (وزن خشک کلاله در واحد سطح) در ایران حدود چهار کیلوگرم در هکتار است که در مقایسه با میانگین تولید در کشورهای نظیر اسپانیا (۱۵ کیلوگرم در هکتار)، بسیار کمتر است. روند افزایش سطح زیر کشت و میزان تولید این گیاه در کشور نشان می دهد که با وجود افزایش ۱۶ برابری سطح زیر کشت، میانگین تولید آن در واحد سطح کاهش داشته است (Behdani and Fallahi, 2015)، بنابراین افزایش تولید در واحد سطح از طریق روش های به زراعی و به نژادی ضرورت دارد. عملکرد زعفران در سال دوم به رشد بنه های دختری در سال اول بستگی دارد (Gresta et al., 2008b; Renau-Morata et al., 2012). قدرت جوانه زنی و ظهور گیاهچه از مهم ترین عوامل مؤثر بر استقرار گیاهچه هستند. قدرت رشد و فعالیت فتوسنتزی مناسب گیاهچه باعث افزایش تعداد و وزن بنه های دختری زعفران در سال اول و عملکرد گل در سال های بعد خواهد شد (Renau-Morata et al., 2012; Behdani and Fallahi, 2015). نتایج تحقیقات نشان داده است که تعداد برگ ها، شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه، ماده خشک برگ، تعداد، وزن و اندازه بنه با

عملکرد کلاله ارتباط مثبت و معنی داری دارند (Ehsanzadeh et al., 2004; Baghalian et al., 2010). ارتباط بین اندازه و وزن بنه با تعداد گل و عملکرد زعفران نیز معنی دار گزارش شده است (De Mastro and Ruta, 1993; Gresta et al., 2008b; Renau-Morata et al., 2012)، بنابراین به نظر می رسد که اندازه گیری شاخص هایی مانند قدرت ظهور گیاهچه، میزان رشد گیاه، زیست توده و خصوصیات بنه زعفران در سال اول و ارزیابی ارتباط این شاخص ها با عملکرد کلاله در سال های بعد، می تواند برای تعیین میزان تأثیر این صفات در بهبود عملکرد زعفران مورد استفاده قرار گیرد.

تجزیه همبستگی و تجزیه ضرایب مسیر از مهم ترین روش های بررسی روابط بین صفات در گیاهان به شمار می رود که توسط محققان برای شناسایی اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته در گیاهان دارویی و ادویه ای نظیر زیره سبز (Ghanbari et al., 2014)، جین سینگ هندی [*Withania somnifera* (L.) Dunal] (Srivastava et al., 2017) و زعفران (Bayat et al., 2016a,b) مورد استفاده قرار گرفته است. تجزیه ضرایب مسیر سهم نسبی هر صفت به صورت اثر مستقیم و غیر مستقیم را بر صفت هدف ارزیابی کرده و نسبت به ضریب همبستگی از کارایی بیشتری در تعیین سهم هر عامل بر عملکرد نهایی برخوردار است (Ghanbari et al., 2014). بیات و همکاران (Bayat et al., 2016a) در بررسی صفات اثر گذار بر عملکرد زعفران در بین صفات مربوط به گل، صفات رویشی و صفات مربوط به بنه گزارش کردند که صفات تعداد گل، تعداد برگ، وزن و تعداد بنه های دختری بیشترین اثر مثبت را بر عملکرد زعفران داشتند. در آزمایشی دیگر، صفات تعداد بنه های دختری، وزن تر گل، تعداد گل و در گام دوم وزن تر بنه، وزن خشک گل، وزن خشک برگ دارایی بیشترین اثر مستقیم و غیرمستقیم بر عملکرد زعفران گزارش

شدند (Bayat *et al.*, 2016b). علوی سینی و همکاران (Alavi Siney *et al.*, 2015) نشان دادند که تعداد گل، وزن خشک کلالة و گل مؤثرترین صفات در افزایش عملکرد کلالة خشک زعفران در واحد سطح بودند. یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریت زراعی در زراعت زعفران، تأمین عناصر آلی و معدنی است (Gresta *et al.*, 2008a). استفاده از کودهای آلی علاوه بر تأمین نیازهای غذایی گیاه، با بهبود عوامل فیزیکی و بیولوژیکی خاک باعث سهولت ظهور گیاهچه، بهبود رشد اولیه گیاهچه و تقویت بنه‌های دختری می‌شوند (Gresta *et al.*, 2008a; Koocheki and Seyyedi, 2015;) (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2017). با توجه به اثر مثبت کودهای آلی و شیمیایی بر ظهور گیاهچه، رشد و عملکرد گیاه، با مدیریت تغذیه گیاه و بهبود صفات مؤثر بر عملکرد، می‌توان عملکرد زعفران را بهبود داد. عوامل به‌زراعی از طریق تأثیر بر صفات مختلف گیاه، نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد گیاه دارند، اما عموماً در مطالعات ژنتیکی نقش این عوامل نادیده گرفته می‌شود، بنابراین آزمایش حاضر جهت تعیین سهم عوامل زراعی (مدیریت تغذیه گیاهی) بر تأثیر پذیری عملکرد کلالة از سایر صفات - با توجه به عدم وجود گزارشی در این زمینه - انجام شد. بعلاوه با توجه به امکان بهره‌برداری حدود هفت سال از مزارع زعفران با تنها یک نوبت کاشت (Behdani and Fallahi, 2015)، شناخت صفات مؤثر بر عملکرد کلالة در سال اول کاشت و بهبود آن‌ها، جهت حداکثر بهره‌وری در سال‌های بعد، مهم و ضروری به‌نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۹۵-۱۳۹۴ با میانگین درجه حرارت ۱۲/۹ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی ۱۱۱/۶ میلی‌متر و ۹۶-۱۳۹۵ با میانگین درجه حرارت ۱۳/۵ درجه سانتیگراد و میزان بارندگی ۹۲/۴ میلی‌متر، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان

انجام شد. به منظور تعیین سهم عوامل مدیریت تغذیه گیاهی در اثر پذیری عملکرد کلالة در سال دوم از صفات ظهور و رشد گیاهچه، سرعت رشد گیاه و زیست توده و خصوصیات بنه در سال اول، نه اکوتیپ زعفران جمع‌آوری شده از نقاط مختلف کشور در تیمارهای تغذیه آلی و شیمیایی (۱- شاهد: بدون کود؛ ۲- کمپوست: ۲۰ تن در هکتار؛ ۳- کودهای شیمیایی؛ ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۱۳ کیلوگرم در هکتار فسفر) مورد ارزیابی قرار گرفتند. اطلاعات مربوط به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش و همچنین کمپوست مورد استفاده، در جدول ۱ ارائه شده است. میزان کمپوست به کار رفته براساس مقدار مطلوب گزارش شده در آزمایش‌های قبلی (Behnia *et al.*, 1999; Koocheki and Seyyedi, 2015) انتخاب شد. کوددهی شیمیایی در سال اول به‌صورت ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (از منبع اوره)؛ براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و نیاز غذایی گیاه زعفران (حدود ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در سال اول) (Behnia *et al.*, 1999; Behzad *et al.*, 1992) در دو مرحله، قبل از کاشت و به‌صورت سرک، ۹۰ روز پس از کاشت و ۱۳ کیلوگرم در هکتار فسفر (از منبع سوپر فسفات تریپل) قبل از کاشت، اجرا شد. اکوتیپ‌های زعفران مورد بررسی از مناطق استهبان، بجستان، تربت حیدریه، زرنند، سرایان، فردوس، قائن، گناباد و نظنز جمع‌آوری شدند (جدول ۲). هر تیمار کودی به‌صورت یک سیستم کشت جداگانه در نظر گرفته شده و اکوتیپ‌های مورد بررسی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در هر تیمار کودی کشت شدند. زمین محل اجرای آزمایش در نیمه تابستان سال ۱۳۹۴ شخم و دیسک زده شد. مقادیر مربوط به تیمارهای کود شیمیایی و کمپوست در سطح خاک پخش و با استفاده از دیسک با خاک مخلوط و سپس مرزبندی انجام شد. ابعاد کرت‌های آزمایشی ۸×۲/۸ متر و شامل

شده و سپس (۲۶ مهر) آبیاری انجام شد. جهت ظهور بهتر جوانه‌ها، آبیاری دوم دو هفته پس از آبیاری اول (Khorramdel *et al.*, 2015)، آبیاری سوم پس از گل‌دهی (۲۰ آذر ۱۳۹۴) و پس از آن، بسته به میزان بارندگی، به صورت غرقابی انجام شد. وجین علف‌های هرز به صورت دستی و در طول فصل رشد انجام شد. آبیاری اول در سال دوم آزمایش در تاریخ ۱۷ مهر ۱۳۹۵ انجام شد.

چهار ردیف کاشت به طول دو متر، فاصله بین ردیف‌ها ۰/۲ متر، فاصله بین کرت‌های فرعی مجاور ۰/۵ متر و فاصله بین هر تیمار تغذیه‌ای و بلوک‌های مجاور سه متر در نظر گرفته شد. بنه‌های اکوتیپ‌های زعفران از بنه‌های سالم و عاری از بیماری با میانگین وزن هفت گرم انتخاب و در عمق ۱۰ سانتی‌متر به فاصله ده سانتی‌متر روی ردیف، با تراکم ۵۰ بوته در مترمربع (Koocheki and Seyyedi, 2015; Khorramdel *et al.*, 2015) در مهر سال ۱۳۹۴ کاشته

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش و کمپوست مورد استفاده

Table 1. Physicochemical properties of the soil at the experimental site and the applied compost

Characteristics	خصوصیات	واحد Unit	خاک Soil	کمپوست Compost
pH (H ₂ O)	اسیدیته (آب)	-	7.34 (1:5)	8.83 (1:5)
pH (CaCl ₂)	اسیدیته (کلرید کلسیم)	-	7.27 (1:5)	8.2 (1:5)
EC (dS.m ⁻¹)	هدایت الکتریکی	(dS m ⁻¹)	1.18 (1:5)	5.38 (1:5)
Organic carbon	کربن آلی	(%)	0.4	8.8
Organic matter	ماده آلی	(%)	-	15.1
CaCO ₃	آهک	(%)	22.5	-
CEC	ظرفیت تبادل کاتیونی	(Cmol(+) kg ⁻¹)	20	-
N	نیتروژن	(%)	0.053	0.8
Available P	فسفر قابل دسترس	(mg.kg ⁻¹)	6.2	0.19

جدول ۲- اطلاعات جغرافیایی منشأ بنه‌های زعفران

Table 2. Geographical information of saffron corm provenances

Corm provenance	منشأ بنه	Province	استان	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع Altitude (m)
Estahban	استهبان	Fars	فارس	N'29° 07	E'54° 02	1773
Bajestan	بجستان	Khorasan Razavi	خراسان رضوی	N'34° 31	E'58° 10	1235
Torbat-e Heidarieh	تربت حیدریه	Khorasan Razavi	خراسان رضوی	N'35° 16	E'59° 12	1363
Zarand	زرند	Kerman	کرمان	N'30° 49	E'56° 34	1666
Sarayan	سرایان	South Khorasan	خراسان جنوبی	N'33° 51	E'58° 30	1438
Ferdows	فردوس	Khorasan Razavi	خراسان رضوی	N'34° 01	E'58° 10	1284
Qaen	قائن	South Khorasan	خراسان جنوبی	N'33° 43	E'59° 10	1457
Gonabad	گناباد	Khorasan Razavi	خراسان رضوی	N'34° 20	E'58° 42	1096
Natanz	نطنز	Isfahan	اصفهان	N'33° 33	E'51° 51	1700

(گرم در متر مربع در روز) و شاخص سطح برگ در مراحل قبل و بعد از دوره بحرانی انتقال و اختصاص مواد فتوسنتزی (Behdani *et al.*, 2016)، تعداد برگ در بنه و طول برگ (سانتی متر)، زیست توده (گرم) و دوام

صفات گیاهی مورد اندازه‌گیری در سال اول شامل صفات مرتبط با ظهور گیاهچه (درصد و سرعت ظهور جوانه اصلی و تعداد جوانه فرعی در بنه)، صفات مرتبط با رشد و زیست توده شامل سرعت رشد گیاه (CGR)

مستقیم و غیرمستقیم هر صفت بر عملکرد کلالة، تجزیه ضرایب مسیر با استفاده از نرم افزارهای MATLAB و Excel بر اساس روابط زیر انجام شد (Rezaei and Soltani, 2008):

$$\begin{bmatrix} P_{ly} \\ \vdots \\ P_{ny} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{ln} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} r_{ly} \\ \vdots \\ r_{ny} \end{bmatrix} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$Q_{ln} = r_{ln} P_{ny} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$R = \sqrt{1 - (P_{1y}r_{1y} + P_{2y}r_{2y} + \dots + P_{ny}r_{ny})} \quad (\text{رابطه ۵})$$

P_y : اثر مستقیم هر متغیر مستقل روی متغیر وابسته، T_n : ضریب همبستگی بین متغیرهای مستقل، T_y : ضریب همبستگی بین متغیرهای مستقل با متغیر وابسته، Q_{ln} : اثر غیر مستقیم X_n از طریق X_1 بر متغیر وابسته و R : اثر باقیمانده هستند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه همبستگی بین صفات در تیمار شاهد نشان داد که از بین شاخص های مورد ارزیابی، صفات مرتبط با گل مانند تعداد گل، وزن تر و خشک گل و وزن تر کلالة در واحد سطح، بیشترین همبستگی (به ترتیب $0/992^{**}$ ، $0/995^{**}$ ، $0/996^{**}$ و $0/989^{**}$) را با عملکرد کلالة خشک در واحد سطح داشتند (جدول ۳). درصد و سرعت ظهور جوانه همبستگی مثبت و غیرمعنی دار ($0/56$ و $0/404$)، شاخص سطح برگ در هر دو مرحله ($0/847^{**}$ و $0/938^{**}$)، طول برگ ($0/819^{**}$) و دوام زیست توده ($0/906^{**}$) همبستگی مثبت و معنی دار و وزن خشک بنة همبستگی مثبت و معنی دار ($0/706^{**}$) با عملکرد کلالة داشته و همبستگی سایر خصوصیات در این تیمار غیرمعنی دار بود (جدول ۳).

از بین صفات مرتبط با گل، بیشترین اثر مستقیم مربوط به تعداد گل در واحد سطح بود ($0/804$). طول کلالة نیز اثر مستقیم $0/391$ بر عملکرد کلالة در واحد سطح داشت. وزن تر و خشک گل و وزن تر کلالة بر

زیست توده (BMD) (گرم در روز) و خصوصیات بنة شامل تعداد، وزن تر، وزن خشک و میانگین وزن هر بنة (گرم)، تعداد بنة های دختری کمتر از چهار گرم (بنة ریز)، بین ۴-۸ گرم (بنة متوسط) و بیشتر از هشت گرم (بنة درشت) بودند. زمان اندازه گیری سرعت رشد و شاخص سطح برگ براساس مراحل رشد ذکر شده، نیمه دی تا نیمه اسفند (قبل از دوره بحرانی) و نیمه اسفند تا انتهای دوره رشد (بعد از دوره بحرانی) بود. جهت بررسی ظهور جوانه ها پس از مرحله گل دهی، جوانه های ظهور یافته شمارش شدند. بدین منظور در فواصل زمانی ۲۴، ۲۸، ۳۲، ۳۹، ۴۶، ۶۰ و ۹۵ روز پس از کاشت در سال اول، تعداد جوانه های اصلی و فرعی ظهور یافته ثبت و درصد و سرعت ظهور جوانه اصلی محاسبه شد (Maguire, 1962; Orchard, 1977). جهت تعیین میزان رشد، سطح برگ و شاخص های رشد، در طول دوره های ذکر شده (قبل و بعد از دوره بحرانی)، از هر کرت پنج بوته نمونه برداری شده و طول، سطح و وزن خشک برگ اندازه گیری شدند. سطح برگ با دستگاه اندازه گیری سطح برگ (WinArea-UT-11, Fanavarzan Alborz Andisheh Co, Iran) اندازه گیری شد. شاخص های سرعت رشد گیاه و دوام زیست توده با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند (Hunt, 1978):

$$CGR (g.m^{-2}.d^{-1}) = (W_2 - W_1) / P(T_2 - T_1) \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$BMD (g.d^{-1}) = \sum (W_2 + W_1)(T_2 - T_1) / 2 \quad (\text{رابطه ۲})$$

W_1 و W_2 : وزن خشک گیاه به ترتیب در یک مرحله (T_2) و نمونه برداری قبل از آن (T_1) و P : مساحت زمین هستند.

برای اندازه گیری خصوصیات بنة در پایان فصل رشد (۱۵ اردیبهشت ۱۳۹۵) نمونه برداری از ۰/۲ متر مربع انجام شد. تجزیه واریانس مرکب داده ها با استفاده از نرم افزار SAS ver. 9.1 و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. جهت محاسبه ضرایب همبستگی ساده از نرم افزار SPSS ver. 17.0 استفاده و جهت مشخص کردن اثرات

عملکرد کلالة اثر مستقیم منفی داشت که همبستگی مثبت این صفات با عملکرد عمدتاً به دلیل اثر غیرمستقیم آن‌ها از طریق تعداد گل (به ترتیب ۰/۸۰۲، ۰/۷۷۹ و ۰/۸۰۲) بود (جدول ۳). ظهور جوانه اثر مستقیم قابل توجهی بر عملکرد نداشته و اثر مستقیم سرعت ظهور جوانه در تیمار شاهد بر عملکرد کلالة منفی (۰/۶۴۹-) بود. درصد و سرعت ظهور جوانه اصلی اثر غیرمستقیم متوسطی (به ترتیب ۰/۴۵۶ و ۰/۳۵۷) از طریق تعداد گل بر عملکرد داشتند. این صفات از طریق اثر بر شاخص سطح برگ، وزن بنه و تعداد بنه‌های متوسط بر عملکرد تاثیر داشتند (جدول ۳). بررسی اثرات مستقیم و غیرمستقیم شاخص‌های مرتبط با رشد رویشی نشان داد که سرعت رشد گیاه در هر دو مرحله رشد، تعداد، طول و وزن خشک برگ در تیمار شاهد اثر مستقیم منفی (به ترتیب ۰/۳۶-، ۰/۱۱۹-، ۰/۳۲۸-، ۰/۴۱۲- و ۰/۵۱۷-) بر عملکرد داشته و همبستگی مثبت و معنی‌دار این صفات با عملکرد عمدتاً به دلیل اثر غیرمستقیم از طریق تعداد گل بوده است. شاخص سطح برگ و دوام زیست توده مؤثرترین شاخص‌های رشد بودند که دارای همبستگی بالایی با عملکرد بوده و اثرات مستقیم و غیرمستقیم قابل توجهی بر عملکرد داشتند (جدول ۳). شاخص سطح برگ در هر دو مرحله رشد به ترتیب با اثرات مستقیم ۰/۵۶۲ و ۰/۲۶۸ و اثرات غیرمستقیم ۰/۶۸۳ و ۰/۷۵۴ از طریق تعداد گل و دوام زیست توده با اثر مستقیم ۰/۳۶۳ و اثر غیرمستقیم ۰/۷۵۴ از طریق تعداد گل، بیشترین اثر را بر عملکرد کلالة اکوتیپ‌های زعفران داشتند. اکثر شاخص‌های رشد رویشی از طریق وزن بنه و تعداد بنه‌های متوسط، دارای اثر غیرمستقیم مثبت بر عملکرد بودند. خصوصیات بنه همبستگی قابل توجهی با عملکرد نداشت، اما اثر مستقیم تعداد بنه (۰/۴۰۶) و وزن بنه (۰/۹۰۷) و تعداد بنه‌های ریز (۰/۵۰۲) بر عملکرد قابل توجه بود. اکثر خصوصیات بنه از طریق تعداد گل دارای اثر غیرمستقیم بر عملکرد بودند. عدم وجود

همبستگی معنی‌دار خصوصیات بنه با عملکرد به دلیل اثرات غیرمستقیم منفی وزن تر و خشک گل و کلالة بود (جدول ۳).

نتایج تجزیه همبستگی صفات در تیمار تغذیه آلی نشان داد که صفات تعداد گل، وزن تر و وزن خشک گل و وزن تر کلالة، دوام زیست توده و تعداد بنه‌های با وزن بیشتر از هشت گرم، همبستگی مثبت و معنی‌داری (به ترتیب ۰/۹۹۱**، ۰/۹۸۸**، ۰/۹۷۳**، ۰/۸۸۴** و ۰/۶۹۵*) با عملکرد زعفران داشتند (جدول ۴).

نتایج نشان داد که از بین صفات مرتبط با گل، تعداد گل در واحد سطح برخلاف تیمار شاهد، دارای اثر مستقیم منفی (۰/۲۰۶-) بر عملکرد زعفران بود (جدول ۴) که ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار آن با عملکرد بیشتر به دلیل اثرات غیرمستقیم مثبت از طریق وزن گل-تر، گل خشک و کلالة-تر (۰/۷۹۴، ۰/۷۷۱ و ۰/۳۶۴) بوده است. در مقابل وزن تر و وزن خشک گل و وزن تر کلالة، اثر مستقیم مثبت بر عملکرد کلالة (به-ترتیب ۰/۷۹۹، ۰/۷۸۶ و ۰/۴۰۶). بعلاوه اثر غیرمستقیم مثبت وزن تر و خشک گل از طریق یکدیگر (۰/۷۷۵ و ۰/۷۸۷) و از طریق کلالة-تر (به ترتیب ۰/۳۷۳ و ۰/۳۶۴) بر عملکرد نیز قابل توجه بود. برخلاف تیمار شاهد، در تیمار مصرف کمپوست، درصد ظهور جوانه اصلی و تعداد جوانه فرعی در بنه اثر مستقیم قابل توجهی بر عملکرد اکوتیپ‌های زعفران داشتند (به ترتیب ۰/۸۵۳ و ۰/۷۳۷). همبستگی مثبت و غیرمعنی‌دار شاخص‌های ظهور جوانه اصلی (درصد و سرعت ظهور) علاوه بر اثرات مستقیم آن‌ها، به دلیل اثرات غیرمستقیم مثبت از طریق وزن تر و خشک گل (۰/۲۶۲ و ۰/۲۷)، سرعت رشد گیاه در مرحله دوم (۰/۱۲ و ۰/۱۱۶) و وزن بنه (۰/۱۳۱ و ۰/۱۲۶) و همچنین اثرات منفی از طریق تعداد جوانه فرعی در بنه (۰/۱۱۳- و ۰/۱۵۴-)، طول برگ (۰/۶۴۸- و ۰/۷۱۱-) و دوام زیست توده (۰/۲۰۳- و ۰/۱۶۵-) بود (جدول ۴). همبستگی منفی تعداد جوانه فرعی در بنه (۰/۲۷-) با وجود اثر مستقیم مثبت، به دلیل

اثرات غیر مستقیم منفی این صفت از طریق وزن تر و خشک گل (۰/۱۷۶ و ۰/۱۰۴)، سرعت رشد در مرحله دوم (۰/۱۳۵-)، تعداد برگ (۰/۳۴۴-)، وزن خشک بنه (۰/۴۴۱-) و تعداد بنه‌های ریز (۰/۱۰۵) بود (جدول ۴). از بین شاخص‌های رشد رویشی، سرعت رشد در مراحل اول و دوم، تعداد و طول برگ و دوام زیست توده اثر مستقیم منفی (۰/۱۲۹-)، (۰/۱۸۵-)، (۰/۴۰۴-)، (۰/۷۲۹-) و (۰/۲۴۷-) و سطح برگ در هر دو مرحله رشد، اثر مثبت ناچیز و وزن خشک برگ اثر مستقیم (۰/۱۷۸) بر عملکرد کلانه داشتند (جدول ۴)، با این وجود همبستگی مثبت سرعت رشد در مرحله اول، شاخص سطح برگ در مرحله اول و دوم، طول برگ، وزن خشک برگ و دوام زیست توده با عملکرد، نتیجه اثرات غیرمستقیم این شاخص‌ها از طریق وزن تر گل (به ترتیب ۰/۴۳۷، ۰/۴۹۳، ۰/۴۶۸، ۰/۳۱، ۰/۴۱۱ و ۰/۵۲۹)، وزن خشک گل (به ترتیب ۰/۴۴۸، ۰/۴۵۲، ۰/۴۶، ۰/۳۲۱، ۰/۴۳۵ و ۰/۴۸۱) و وزن کلانه تر (۰/۱۵۵، ۰/۱۲۵، ۰/۱۰۸، ۰/۰۳، ۰/۲۴۹ و ۰/۱۶۲) بود. همبستگی منفی سرعت رشد در مرحله دوم و تعداد برگ با عملکرد، علاوه بر اثر مستقیم منفی، نتیجه اثرات غیرمستقیم منفی این صفات از طریق وزن تر (به ترتیب ۰/۱۸۸- و ۰/۳۴۹-) و وزن خشک گل (به ترتیب ۰/۱۳۳- و ۰/۲۷۷)، وزن خشک بنه (۰/۲۰۵-) و (۰/۱۸۱-) و تعداد بنه‌های ریز (۰/۱۱۶- و ۰/۱۲۷-) می‌باشد. شاخص سطح برگ در هر دو مرحله رشد از طریق سرعت رشد در مرحله دوم (به ترتیب ۰/۱۳۶ و ۰/۱۰۹) و شاخص سطح برگ در مرحله دوم از طریق وزن بنه، دارای اثر مثبت بر عملکرد بودند. تعداد برگ از طریق دوام زیست توده و وزن تر بنه اثر مثبت و از طریق وزن خشک بنه و تعداد بنه‌های کمتر از چهار گرم، اثر منفی بر عملکرد داشت. طول برگ از طریق وزن بنه دارای اثر مثبت و از طریق دوام زیست توده دارای اثر منفی بر عملکرد بود. وزن خشک برگ از طریق وزن تر بنه اثر مثبت و از طریق وزن خشک بنه اثر

منفی (به ترتیب ۰/۲۶۸ و ۰/۷۲۵-) بر عملکرد داشت (جدول ۴). از بین خصوصیات بنه در تیمار کمپوست تنها وزن بنه (۰/۲۸۲) و تعداد بنه‌های متوسط (۰/۳۳۴) اثر مستقیم مثبت بر عملکرد اکوتیپ‌های زعفران داشتند و در مورد سایر خصوصیات بنه اثر مستقیم بر عملکرد منفی بود (جدول ۴). تعداد بنه علاوه بر اثر مستقیم منفی (۰/۱۰۶-)، دارای اثرات غیرمستقیم منفی از طریق وزن تر گل (۰/۱۶۹-)، وزن خشک بنه (۰/۲۲-) و تعداد بنه‌های ریز (۰/۱۱۵-) بر عملکرد بود. وزن تر و خشک بنه و وزن بنه و همچنین تعداد بنه‌های با وزن بیشتر از هشت گرم از طریق وزن تر گل (۰/۳۷۴، ۰/۴۶۵، ۰/۳۴۳ و ۰/۵۴۵)، وزن خشک گل (۰/۴۰۹، ۰/۴۹۳، ۰/۲۸۲ و ۰/۵۲۹) و وزن تر کلانه (۰/۲۰۸، ۰/۲۳۹، ۰/۲۶۷ و ۰/۲۲۱) اثر غیرمستقیم مثبت و قابل توجهی بر عملکرد اکوتیپ‌های زعفران داشتند و به خصوص ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار تعداد بنه‌های درشت در تیمار کمپوست، به دلیل اثرات غیرمستقیم قابل توجه از طریق صفات مذکور بود، در حالی که تعداد بنه‌های ریز علاوه بر اثر مستقیم منفی از طریق وزن تر و خشک گل و وزن تر کلانه، اثر غیرمستقیم منفی بر عملکرد داشتند (جدول ۴).

نتایج تجزیه همبستگی صفات در تیمار تغذیه با کودهای شیمیایی نشان داد که صفات مرتبط با گل بیشترین همبستگی را با عملکرد زعفران داشتند. تعداد گل (**۰/۹۹۱)، وزن تر (**۰/۹۹۱) و خشک (**۰/۹۹۴) گل و وزن کلانه تر (**۰/۹۵۷) بالاترین ضرایب همبستگی را با عملکرد دارا بودند (جدول ۵). از بین صفات ظهور جوانه اصلی و فرعی همانند تیمار شاهد، درصد و سرعت ظهور جوانه همبستگی متوسط و تعداد جوانه فرعی در بنه همبستگی منفی غیرمعنی‌داری با عملکرد داشتند. سرعت رشد در مرحله اول، طول و وزن خشک برگ، همبستگی متوسط مثبت و سرعت رشد در مرحله دوم و تعداد برگ همانند تیمار تغذیه آلی، همبستگی منفی و متوسط با عملکرد نشان دادند.

جدول ۳- ضرایب تجزیه مسیر، اثرات مستقیم (توپر- روی قطر) و اثرات غیرمستقیم صفات مرتبط با گل، ظهور جوانه، شاخص‌های رشد و خصوصیات بنه بر عملکرد کلاله اکوتیپ‌های زعفران در تیمار شاهد (بدون کود)

Table 3. Path analysis coefficients, direct (bold –diagonal) and indirect effects of flower related characteristics, emergence, growth indices and corm characteristics on stigma yield of saffron ecotypes in control (without fertilizer) treatment

Plant characteristics	صفات گیاهی	rsy	FN	FFW	DFW	FSW	SL	MBEP	MBER	SBN	CGR ₁	CGR ₂
FN	تعداد گل	0.992**	0.804	-0.114	-0.022	-0.777	0.159	0.064	-0.288	-0.017	-0.240	0.004
FFW	وزن تر گل	0.995**	0.802	-0.114	-0.022	-0.778	0.159	0.067	-0.287	-0.019	-0.237	0.004
DFW	وزن خشک گل	0.996**	0.799	-0.114	-0.022	-0.775	0.151	0.067	-0.283	-0.019	-0.242	0.007
FSW	وزن تر کلاله	0.989**	0.802	-0.114	-0.022	-0.779	0.163	0.067	-0.299	-0.017	-0.239	0.004
SL	طول کلاله	0.376 ^{ns}	0.327	-0.047	-0.009	-0.325	0.391	0.082	-0.512	-0.009	-0.206	-0.024
MBEP	درصد ظهور جوانه اصلی	0.56 ^{ns}	0.456	-0.068	-0.013	-0.465	0.286	0.112	-0.567	0.002	-0.278	-0.016
MBER	سرعت ظهور جوانه اصلی	0.404 ^{ns}	0.357	-0.050	-0.010	-0.358	0.308	0.098	-0.649	0.009	-0.306	0.004
SBN	تعداد جوانه فرعی در بنه	-0.247 ^{ns}	-0.170	0.027	0.005	0.166	-0.043	0.003	-0.069	0.081	0.048	-0.073
CGR _b	سرعت رشد قبل از مرحله بحرانی	0.656 ^{ns}	0.536	-0.075	-0.015	-0.518	0.223	0.087	-0.552	-0.011	-0.360	0.042
CGR _a	سرعت رشد بعد از مرحله بحرانی	-0.058 ^{ns}	-0.027	0.003	0.001	0.023	0.080	0.015	0.021	0.050	0.127	-0.199
LAI _b	شاخص سطح برگ قبل از مرحله بحرانی	0.847**	0.683	-0.100	-0.019	-0.685	0.211	0.097	-0.421	-0.007	-0.259	-0.009
LAI _a	شاخص سطح برگ بعد از مرحله بحرانی	0.938**	0.754	-0.107	-0.021	-0.731	0.234	0.087	-0.424	-0.007	-0.283	-0.008
LN	تعداد برگ در بنه	-0.258 ^{ns}	-0.171	0.028	0.005	0.182	-0.071	-0.006	0.021	0.061	0.041	-0.064
LL	طول برگ	0.819**	0.695	-0.098	-0.019	-0.686	0.173	0.051	-0.289	-0.025	-0.210	0.021
LDW	وزن خشک برگ	0.528 ^{ns}	0.428	-0.064	-0.012	-0.437	0.197	0.091	-0.340	0.023	-0.138	-0.071
BMD	دوام زیست توده	0.906**	0.754	-0.109	-0.021	-0.745	0.148	0.081	-0.347	-0.008	-0.253	0.000
CN	تعداد بنه	0.388 ^{ns}	0.253	-0.039	-0.008	-0.236	-0.157	-0.030	0.326	-0.030	0.083	0.014
CFW	وزن تر بنه	0.609 ^{ns}	0.495	-0.071	-0.014	-0.485	0.058	0.079	-0.382	0.027	-0.255	-0.007
CDW	وزن خشک بنه	0.706*	0.563	-0.080	-0.016	-0.553	0.061	0.073	-0.340	0.025	-0.253	-0.003
CMW	میانگین وزن بنه	0.482 ^{ns}	0.419	-0.057	-0.011	-0.411	0.145	0.077	-0.490	0.022	-0.303	0.015
SCN	تعداد بنه‌های ریز	0.031 ^{ns}	-0.026	0.003	0.000	0.042	-0.213	-0.061	0.385	-0.046	0.107	0.060
MCN	تعداد بنه‌های متوسط	0.528 ^{ns}	0.479	-0.065	-0.012	-0.454	0.234	0.061	-0.332	0.016	-0.140	-0.065
LCN	تعداد بنه‌های درشت	0.214 ^{ns}	0.133	-0.020	-0.005	-0.124	-0.093	0.040	-0.134	0.019	-0.166	0.020

ns, * and **: Not significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively
rsy: Correlation coefficient with stigma yield

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد
rsy: ضریب همبستگی با عملکرد کلاله

Table 3. Continued

جدول ۳- ادامه

Plant characteristics	صفات گیاهی	LAI ₁	LAI ₂	LN	LL	LDW	BMD	CN	CFW	CDW	CMW	SCN	MCN	LCN
FN	تعداد گل	0.477	0.251	0.070	-0.356	-0.275	0.341	0.128	-0.021	0.054	0.473	-0.001	0.299	-0.021
FFW	وزن تر گل	0.491	0.252	0.081	-0.353	-0.292	0.346	0.138	-0.021	0.055	0.457	-0.001	0.288	-0.022
DFW	وزن خشک گل	0.495	0.252	0.081	-0.348	-0.289	0.348	0.141	-0.021	0.057	0.473	-0.001	0.267	-0.028
FSW	وزن تر کلاله	0.494	0.251	0.077	-0.363	-0.290	0.347	0.123	-0.021	0.055	0.479	-0.002	0.293	-0.020
SL	طول کلاله	0.303	0.160	0.059	-0.183	-0.261	0.138	-0.163	-0.005	0.012	0.336	-0.020	0.300	0.030
MBEP	درصد ظهور جوانه اصلی	0.486	0.209	0.017	-0.189	-0.422	0.262	-0.107	-0.024	0.051	0.620	-0.020	0.273	-0.045
MBER	سرعت ظهور جوانه اصلی	0.365	0.175	0.011	-0.183	-0.270	0.194	-0.204	-0.020	0.041	0.685	-0.021	0.257	-0.026
SBN	تعداد جوانه فرعی در بنه	-0.048	-0.022	-0.247	0.129	-0.149	-0.035	-0.150	-0.011	0.023	0.240	-0.020	0.097	-0.029
CGR ₁	سرعت رشد قبل از مرحله بحرانی	0.405	0.210	0.038	-0.241	-0.198	0.255	-0.093	-0.024	0.055	0.764	-0.011	0.196	-0.057
CGR ₂	سرعت رشد بعد از مرحله بحرانی	0.045	0.019	-0.176	0.073	-0.308	-0.001	-0.049	-0.002	0.002	-0.114	-0.018	0.274	0.021
LAI ₁	شاخص سطح برگ قبل از مرحله بحرانی	0.562	0.246	0.043	-0.307	-0.418	0.349	0.022	-0.025	0.062	0.603	-0.012	0.276	-0.042
LAI ₂	شاخص سطح برگ بعد از مرحله بحرانی	0.516	0.268	0.046	-0.305	-0.360	0.338	0.058	-0.024	0.060	0.572	-0.008	0.320	-0.036
LN	تعداد برگ در بنه	-0.074	-0.038	-0.328	0.120	-0.122	-0.053	-0.211	-0.010	0.018	0.307	-0.022	0.172	-0.045
LL	طول برگ	0.419	0.198	0.096	-0.412	-0.176	0.295	0.028	-0.013	0.038	0.464	-0.005	0.256	0.016
LDW	وزن خشک برگ	0.455	0.186	-0.077	-0.140	-0.517	0.252	-0.035	-0.023	0.050	0.427	-0.021	0.332	-0.039
BMD	دوام زیست توده	0.540	0.249	0.048	-0.335	-0.358	0.363	0.086	-0.026	0.065	0.587	-0.006	0.265	-0.043
CN	تعداد بنه	0.030	0.039	0.170	-0.028	0.045	0.077	0.406	0.002	0.001	-0.443	0.030	-0.119	0.002
CFW	وزن تر بنه	0.422	0.191	-0.101	-0.159	-0.348	0.281	-0.026	-0.034	0.074	0.749	-0.013	0.223	-0.094
CDW	وزن خشک بنه	0.450	0.207	-0.076	-0.203	-0.335	0.305	0.006	-0.032	0.078	0.749	-0.012	0.183	-0.089
CMW	میانگین وزن بنه	0.374	0.169	-0.111	-0.211	-0.244	0.235	-0.198	-0.028	0.064	0.907	-0.022	0.216	-0.072
SCN	تعداد بنه‌های ریز	-0.196	-0.063	0.199	0.054	0.301	-0.066	0.335	0.012	-0.027	-0.556	0.036	-0.265	0.015
MCN	تعداد بنه‌های متوسط	0.309	0.170	-0.113	-0.210	-0.342	0.191	-0.096	-0.015	0.028	0.389	-0.019	0.502	0.010
LCN	تعداد بنه‌های درشت	0.189	0.077	-0.118	0.052	-0.162	0.126	-0.005	-0.025	0.056	0.526	-0.004	-0.042	-0.125

تعداد گل (FN)، وزن تر گل (FFW)، وزن خشک گل (DFW)، وزن تر کلاله (FSW)، طول کلاله (SL)، درصد ظهور جوانه اصلی (MBEP)، سرعت ظهور جوانه اصلی (MBER)، تعداد جوانه فرعی در بنه (SBN)، سرعت رشد گیاه قبل (CGR₁) و بعد (CGR₂) از مرحله بحرانی، شاخص سطح برگ قبل (LAI₁) و بعد (LAI₂) از مرحله بحرانی، تعداد برگ (LN)، طول برگ (LL)، وزن خشک برگ (LDW)، دوام زیست توده (BMD)، تعداد بنه (CN)، وزن تر بنه (CFW)، وزن خشک بنه (CDW)، میانگین وزن بنه (CMW)، تعداد بنه ریز (SCN)، تعداد بنه متوسط (MCN) و تعداد بنه درشت (LCN). اثر باقیمانده: ۰/۰۱۳.

Flower number (FN), Fresh flower weight (FFW), Dry flower weight (DFW), Fresh stigma weight (FSW), Stigma length (SL), Main bud emergence percent (MBEP), Main bud emergence rate (MBER), Sub bud number per corm (SBN), Crop growth rate before (CGR₁) and after (CGR₂) critical stage, Leaf area index before (LAI₁) and after (LAI₂) critical stage, Leaf number (LN), Leaf length (LL), leaf dry weight (LDW), Biomass duration (BMD), Corm number (CN), Corm fresh weight (CFW), Corm dry weight (CDW), Corm mean weight (CMW), Small corms number (SCN), Medium corms number (MCN) and Large corms number (LCN). Residual effect: 0.013

جدول ۴- ضرایب تجزیه مسیر، اثرات مستقیم (توپر- روی قطر) و اثرات غیرمستقیم صفات مرتبط با گل، ظهور جوانه، شاخص های رشد و خصوصیات بنه بر عملکرد کلاله اکوتیپ های زعفران در تیمار کمپوست

Table 4. Path analysis coefficients, direct (bold –diagonal) and indirect effects of flower related characteristics, emergence, growth indices and corm characteristics on stigma yield of saffron ecotypes in compost treatment

Plant characteristics	صفات گیاهی	rsy	FN	FFW	DFW	FSW	SL	MBEP	MBER	SBN	CGR ₁	CGR ₂
FN	تعداد گل	0.991**	-0.206	0.794	0.771	0.364	-0.088	0.341	-0.077	-0.178	-0.073	0.050
FFW	وزن تر گل	0.988**	-0.205	0.799	0.775	0.373	-0.095	0.294	-0.069	-0.163	-0.070	0.044
DFW	وزن خشک گل	0.973**	-0.202	0.787	0.786	0.364	-0.082	0.284	-0.069	-0.098	-0.073	0.031
FSW	وزن تر کلاله	0.884**	-0.185	0.735	0.706	0.406	-0.101	0.003	-0.012	-0.094	-0.049	-0.006
SL	طول کلاله	0.525 ^{ns}	-0.114	0.478	0.410	0.261	-0.158	0.015	-0.044	-0.368	-0.018	0.086
MBEP	درصد ظهور جوانه اصلی	0.379 ^{ns}	-0.083	0.275	0.262	0.001	-0.003	0.853	-0.178	-0.113	-0.093	0.120
MBER	سرعت ظهور جوانه اصلی	0.323 ^{ns}	-0.079	0.276	0.270	0.025	-0.035	0.758	-0.200	-0.154	-0.104	0.116
SBN	تعداد جوانه فرعی در بنه	-0.270 ^{ns}	0.050	-0.176	-0.104	-0.052	0.079	-0.131	0.042	0.737	-0.030	-0.135
CGR ₁	سرعت رشد قبل از مرحله بحرانی	0.495 ^{ns}	-0.117	0.437	0.448	0.155	-0.023	0.614	-0.162	0.173	-0.129	0.028
CGR ₂	سرعت رشد بعد از مرحله بحرانی	-0.268 ^{ns}	0.056	-0.188	-0.133	0.012	0.074	-0.553	0.126	0.539	0.019	-0.185
LAI ₁	شاخص سطح برگ قبل از مرحله بحرانی	0.661 ^{ns}	-0.136	0.493	0.452	0.125	-0.047	0.776	-0.152	-0.264	-0.079	0.136
LAI ₂	شاخص سطح برگ بعد از مرحله بحرانی	0.618 ^{ns}	-0.130	0.468	0.460	0.108	-0.025	0.794	-0.176	-0.189	-0.099	0.109
LN	تعداد برگ در بنه	-0.432 ^{ns}	0.086	-0.349	-0.277	-0.135	0.124	-0.130	0.051	0.627	-0.012	-0.138
LL	طول برگ	0.380 ^{ns}	-0.089	0.310	0.321	0.030	-0.031	0.759	-0.195	-0.178	-0.097	0.123
LDW	وزن خشک برگ	0.472 ^{ns}	-0.102	0.411	0.435	0.249	-0.006	0.018	0.009	0.489	-0.067	-0.097
BMD	دوام زیست توده	0.695*	-0.144	0.529	0.481	0.162	-0.070	0.700	-0.134	-0.260	-0.071	0.138
CN	تعداد بنه	-0.201 ^{ns}	0.040	-0.169	-0.068	-0.084	0.107	0.029	-0.009	0.471	-0.038	-0.109
CFW	وزن تر بنه	0.434 ^{ns}	-0.093	0.374	0.409	0.208	-0.008	0.127	-0.014	0.477	-0.069	-0.069
CDW	وزن خشک بنه	0.531 ^{ns}	-0.111	0.465	0.493	0.239	-0.041	0.131	-0.024	0.397	-0.068	-0.046
CMW	میانگین وزن بنه	0.360 ^{ns}	-0.076	0.343	0.282	0.267	-0.100	-0.320	0.072	0.085	0.005	-0.036
SCN	تعداد بنه های ریز	-0.541 ^{ns}	0.105	-0.412	-0.330	-0.150	0.118	-0.286	0.054	0.543	-0.004	-0.150
MCN	تعداد بنه های متوسط	-0.28 ^{ns}	0.051	-0.178	-0.193	-0.073	-0.073	-0.007	-0.048	-0.199	0.009	0.070
LCN	تعداد بنه های درشت	0.730*	-0.148	0.545	0.529	0.221	-0.027	0.335	-0.023	-0.015	-0.038	0.045

ns, * and **: Not significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively
rsy: Correlation coefficient with stigma yield

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد
TSy: ضریب همبستگی با عملکرد کلاله

Table 4. Continued

جدول ۴- ادامه

Plant characteristics	صفات گیاهی	LAI ₁	LAI ₂	LN	LL	LDW	BMD	CN	CFW	CDW	CMW	SCN	MCN	LCN
FN	تعداد گل	0.007	0.056	0.169	-0.316	0.087	-0.172	0.020	0.127	-0.442	-0.129	0.073	-0.083	-0.105
FFW	وزن تر گل	0.007	0.052	0.176	-0.283	0.092	-0.164	0.022	0.132	-0.476	-0.151	0.074	-0.075	-0.100
DFW	وزن خشک گل	0.006	0.052	0.142	-0.297	0.098	-0.151	0.009	0.147	-0.514	-0.126	0.060	-0.082	-0.099
FSW	وزن تر کلاله	0.003	0.024	0.134	-0.053	0.109	-0.099	0.022	0.145	-0.483	-0.231	0.053	-0.061	-0.080
SL	طول کلاله	0.003	0.014	0.316	-0.144	0.006	-0.110	0.072	0.014	-0.210	-0.221	0.106	0.156	-0.025
MBEP	درصد ظهور جوانه اصلی	0.010	0.082	0.061	-0.648	0.004	-0.203	-0.004	0.042	-0.126	0.131	0.048	-0.003	-0.058
MBER	سرعت ظهور جوانه اصلی	0.008	0.078	0.103	-0.711	-0.008	-0.165	-0.005	0.019	-0.099	0.126	0.039	0.081	-0.017
SBN	تعداد جوانه فرعی در بنه	-0.004	-0.023	-0.344	0.176	0.118	0.087	-0.068	0.183	-0.441	-0.040	-0.105	-0.090	0.003
CGR ₁	سرعت رشد قبل از مرحله بحرانی	0.007	0.068	-0.039	-0.552	0.092	-0.136	-0.031	0.152	-0.434	0.014	-0.004	-0.024	-0.043
CGR ₂	سرعت رشد بعد از مرحله بحرانی	-0.008	-0.052	-0.302	0.486	0.093	0.184	-0.063	0.106	-0.205	-0.068	-0.116	-0.127	0.036
LAI ₁	شاخص سطح برگ قبل از مرحله بحرانی	0.011	0.081	0.170	-0.571	0.014	-0.239	0.026	0.048	-0.191	0.032	0.091	-0.022	-0.092
LAI ₂	شاخص سطح برگ بعد از مرحله بحرانی	0.010	0.089	0.109	-0.652	0.020	-0.204	-0.008	0.059	-0.211	0.108	0.056	-0.017	-0.061
LN	تعداد برگ در بنه	-0.005	-0.024	-0.404	0.216	0.083	0.116	-0.087	0.129	-0.181	0.067	-0.127	-0.092	0.028
LL	طول برگ	0.009	0.079	0.120	-0.729	-0.014	-0.172	-0.005	0.013	-0.092	0.148	0.044	0.060	-0.032
LDW	وزن خشک برگ	0.001	0.010	-0.188	0.058	0.178	-0.036	-0.042	0.268	-0.725	-0.188	-0.037	-0.107	-0.062
BMD	دوام زیست توده	0.011	0.073	0.190	-0.506	0.026	-0.247	0.038	0.074	-0.277	-0.037	0.104	0.015	-0.099
CN	تعداد بنه	-0.003	0.006	-0.332	-0.032	0.070	0.088	-0.106	0.123	-0.220	0.160	-0.115	-0.051	0.042
CFW	وزن تر بنه	0.002	0.019	-0.185	-0.034	0.169	-0.065	-0.046	0.282	-0.774	-0.158	-0.025	-0.036	-0.056
CDW	وزن خشک بنه	0.003	0.023	-0.089	-0.082	0.157	-0.084	-0.029	0.267	-0.818	-0.185	0.003	-0.013	-0.058
CMW	میانگین وزن بنه	-0.001	-0.027	0.077	0.308	0.095	-0.026	0.048	0.128	-0.431	-0.350	0.044	0.017	-0.045
SCN	تعداد بنه‌های ریز	-0.007	-0.035	-0.358	0.225	0.046	0.181	-0.085	0.049	0.016	0.108	-0.143	-0.088	0.063
MCN	تعداد بنه‌های متوسط	-0.001	-0.004	0.111	-0.130	-0.057	-0.011	0.016	-0.030	0.032	-0.018	0.038	0.334	0.082
LCN	تعداد بنه‌های درشت	0.007	0.037	0.078	-0.157	0.074	-0.166	0.031	0.107	-0.323	-0.107	0.061	-0.187	-0.147

تعداد گل (FN)، وزن تر گل (FFW)، وزن خشک گل (DFW)، وزن تر کلاله (FSW)، طول کلاله (SL)، درصد ظهور جوانه اصلی (MBEP)، سرعت ظهور جوانه اصلی (MBER)، تعداد جوانه فرعی در بنه (SBN)، سرعت رشد گیاه قبل (CGR₁) و بعد (CGR₂) از مرحله بحرانی، شاخص سطح برگ قبل (LAI₁) و بعد (LAI₂) از مرحله بحرانی، تعداد برگ (LN)، طول برگ (LL)، وزن خشک برگ (LDW)، دوام زیست توده (BMD)، تعداد بنه (CN)، وزن تر بنه (CFW)، وزن خشک بنه (CDW)، میانگین وزن بنه (CMW)، تعداد بنه ریز (SCN)، تعداد بنه متوسط (MCN) و تعداد بنه درشت (LCN). اثر باقیمانده: *

Flower number (FN), Fresh flower weight (FFW), Dry flower weight (DFW), Fresh stigma weight (FSW), Stigma length (SL), Main bud emergence percent (MBEP), Main bud emergence rate (MBER), Sub bud number per corm (SBN), Crop growth rate before (CGR₁) and after (CGR₂) critical stage, Leaf area index before (LAI₁) and after (LAI₂) critical stage, Leaf number (LN), Leaf length (LL), leaf dry weight (LDW), Biomass duration (BMD), Corm number (CN), Corm fresh weight (CFW), Corm dry weight (CDW), Corm mean weight (CMW), Small corms number (SCN), Medium corms number (MCN) and Large corms number (LCN). Residual effect: 0

جدول ۵- ضرایب تجزیه مسیر، اثرات مستقیم (توپر- روی قطر) و اثرات غیرمستقیم صفات مرتبط با گل، ظهور جوانه، شاخص های رشد و خصوصیات بنه بر عملکرد کلاله اکوتیپ های زعفران در تیمار کود شیمیایی

Table 5. Path analysis coefficients, direct (bold –diagonal) and indirect effects of flower related characteristics, emergence, growth indices and corm characteristics on stigma yield of saffron ecotypes in chemical fertilizer treatment

Plant characteristics	صفات گیاهی	rsy	FN	FFW	DFW	FSW	SL	MBEP	MBER	SBN	CGR ₁	CGR ₂
FN	تعداد گل	0.991**	0.801	-0.541	0.005	0.534	0.022	-0.208	0.447	0.017	-0.415	0.029
FFW	وزن تر گل	0.991**	0.799	-0.542	0.005	0.530	0.020	-0.198	0.423	0.016	-0.399	0.027
DFW	وزن خشک گل	0.994**	0.800	-0.542	0.005	0.532	0.022	-0.200	0.427	0.017	-0.407	0.029
FSW	وزن تر کلاله	0.957**	0.762	-0.512	0.004	0.561	0.024	-0.226	0.502	0.016	-0.406	0.033
SL	طول کلاله	0.524 ^{ns}	0.396	-0.252	0.002	0.307	0.044	-0.184	0.481	0.020	-0.435	0.036
MBEP	درصد ظهور جوانه اصلی	0.524 ^{ns}	0.467	-0.300	0.003	0.356	0.023	-0.357	0.705	0.019	-0.523	0.037
MBER	سرعت ظهور جوانه اصلی	0.548 ^{ns}	0.477	-0.305	0.003	0.374	0.028	-0.335	0.752	0.018	-0.496	0.036
SBN	تعداد جوانه فرعی در بنه	-0.424 ^{ns}	-0.314	0.205	-0.002	-0.206	-0.020	0.160	-0.319	-0.043	0.225	-0.068
CGR ₁	سرعت رشد قبل از مرحله بحرانی	0.650 ^{ns}	0.559	-0.364	0.003	0.383	0.032	-0.315	0.628	0.016	-0.594	0.028
CGR ₂	سرعت رشد بعد از مرحله بحرانی	-0.439 ^{ns}	-0.320	0.205	-0.002	-0.261	-0.022	0.185	-0.381	-0.041	0.231	-0.072
LAI ₁	شاخص سطح برگ قبل از مرحله بحرانی	0.898**	0.735	-0.493	0.004	0.488	0.029	-0.203	0.508	0.011	-0.446	0.018
LAI ₂	شاخص سطح برگ بعد از مرحله بحرانی	0.767*	0.636	-0.420	0.004	0.405	0.036	-0.237	0.535	0.017	-0.538	0.025
LN	تعداد برگ در بنه	-0.399 ^{ns}	-0.271	0.181	-0.002	-0.200	-0.014	0.117	-0.217	-0.039	0.115	-0.062
LL	طول برگ	0.568 ^{ns}	0.447	-0.293	0.003	0.305	0.031	-0.255	0.533	0.036	-0.421	0.055
LDW	وزن خشک برگ	0.545 ^{ns}	0.475	-0.318	0.003	0.291	0.022	-0.126	0.344	-0.011	-0.378	-0.021
BMD	دوام زیست توده	0.864**	0.702	-0.470	0.004	0.468	0.031	-0.189	0.499	0.010	-0.442	0.017
CN	تعداد بنه	-0.379 ^{ns}	-0.327	0.213	-0.002	-0.269	-0.024	0.288	-0.639	-0.028	0.381	-0.049
CFW	وزن تر بنه	0.689*	0.593	-0.401	0.003	0.355	0.012	-0.118	0.344	-0.006	-0.285	-0.013
CDW	وزن خشک بنه	0.660 ^{ns}	0.573	-0.387	0.003	0.343	0.020	-0.146	0.361	-0.006	-0.404	-0.012
CMW	میانگین وزن بنه	0.600 ^{ns}	0.530	-0.353	0.003	0.346	0.028	-0.253	0.602	0.009	-0.488	0.012
SCN	تعداد بنه های ریز	-0.462 ^{ns}	-0.388	0.260	-0.002	-0.304	-0.022	0.264	-0.590	-0.028	0.355	-0.049
MCN	تعداد بنه های متوسط	-0.171 ^{ns}	-0.132	0.099	-0.001	-0.059	0.027	-0.034	0.219	-0.004	-0.166	-0.005
LCN	تعداد بنه های درشت	0.832**	0.707	-0.480	0.004	0.461	0.008	-0.230	0.472	0.009	-0.359	0.014

ns, * and **: Not significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

rsy: Correlation coefficient with stigma yield

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

rsy: ضریب همبستگی با عملکرد کلاله

Table 5. Continued

جدول ۵- ادامه

Plant characteristics	صفات گیاهی	LAI ₁	LAI ₂	LN	LL	LDW	BMD	CN	CFW	CDW	CMW	SCN	MCN	LCN
FN	تعداد گل	-0.849	0.540	0.207	-0.180	0.385	-0.152	-0.343	-0.273	0.500	0.021	0.363	0.047	0.035
FFW	وزن تر گل	-0.842	0.526	0.204	-0.174	0.381	-0.150	-0.330	-0.273	0.499	0.021	0.359	0.052	0.035
DFW	وزن خشک گل	-0.844	0.536	0.212	-0.179	0.379	-0.151	-0.334	-0.268	0.496	0.021	0.360	0.047	0.034
FSW	وزن تر کلاله	-0.804	0.490	0.218	-0.175	0.336	-0.144	-0.404	-0.233	0.428	0.020	0.405	0.030	0.032
SL	طول کلاله	-0.604	0.551	0.193	-0.228	0.327	-0.124	-0.460	-0.098	0.323	0.020	0.377	-0.175	0.007
MBEP	درصد ظهور جوانه اصلی	-0.525	0.451	0.200	-0.230	0.229	-0.092	-0.679	-0.121	0.287	0.023	0.554	-0.027	0.025
MBER	سرعت ظهور جوانه اصلی	-0.625	0.483	0.177	-0.228	0.297	-0.115	-0.716	-0.168	0.336	0.026	0.588	-0.083	0.025
SBN	تعداد جوانه فرعی در بنه	0.238	-0.271	-0.547	0.269	0.172	0.041	0.548	-0.050	0.089	-0.007	-0.493	-0.023	-0.008
CGR ₁	سرعت رشد قبل از مرحله بحرانی	-0.695	0.616	0.119	-0.228	0.413	-0.129	-0.540	-0.177	0.475	0.027	0.448	-0.079	0.024
CGR ₂	سرعت رشد بعد از مرحله بحرانی	0.237	-0.242	-0.528	0.250	0.192	0.040	0.575	-0.065	0.121	-0.005	-0.508	-0.020	-0.008
LAI ₁	شاخص سطح برگ قبل از مرحله بحرانی	-0.925	0.614	0.074	-0.167	0.526	-0.172	-0.378	-0.316	0.613	0.027	0.376	-0.057	0.031
LAI ₂	شاخص سطح برگ بعد از مرحله بحرانی	-0.835	0.680	0.106	-0.216	0.494	-0.158	-0.446	-0.241	0.573	0.028	0.401	-0.104	0.024
LN	تعداد برگ در بنه	0.112	-0.118	-0.611	0.250	0.258	0.018	0.427	-0.081	0.221	0.000	-0.386	-0.089	-0.008
LL	طول برگ	-0.480	0.457	0.474	-0.322	0.095	-0.090	-0.675	-0.052	0.141	0.018	0.581	-0.038	0.017
LDW	وزن خشک برگ	-0.749	0.517	-0.243	-0.047	0.649	-0.145	-0.101	-0.318	0.672	0.026	0.099	-0.118	0.022
BMD	دوام زیست توده	-0.918	0.620	0.064	-0.168	0.542	-0.173	-0.361	-0.310	0.611	0.027	0.353	-0.081	0.029
CN	تعداد بنه	0.415	-0.360	-0.310	0.258	-0.078	0.074	0.842	0.053	-0.136	-0.022	-0.732	0.089	-0.017
CFW	وزن تر بنه	-0.794	0.444	-0.135	-0.045	0.560	-0.146	-0.122	-0.369	0.627	0.024	0.151	-0.020	0.031
CDW	وزن خشک بنه	-0.811	0.557	-0.193	-0.065	0.624	-0.151	-0.163	-0.331	0.699	0.027	0.181	-0.086	0.026
CMW	میانگین وزن بنه	-0.781	0.587	-0.009	-0.182	0.514	-0.146	-0.576	-0.267	0.582	0.032	0.520	-0.136	0.026
SCN	تعداد بنه‌های ریز	0.464	-0.364	-0.315	0.250	-0.086	0.082	0.823	0.074	-0.169	-0.023	-0.749	0.074	-0.020
MCN	تعداد بنه‌های متوسط	-0.184	0.248	-0.192	-0.043	0.269	-0.049	-0.264	-0.027	0.212	0.016	0.194	-0.284	-0.012
LCN	تعداد بنه‌های درشت	-0.733	0.409	0.129	-0.140	0.358	-0.125	-0.368	-0.291	0.465	0.022	0.374	0.087	0.040

تعداد گل (FN)، وزن تر گل (FFW)، وزن خشک گل (DFW)، وزن تر کلاله (FSW)، طول کلاله (SL)، درصد ظهور جوانه اصلی (MBEP)، سرعت ظهور جوانه اصلی (MBER)، تعداد جوانه فرعی در بنه (SBN)، سرعت رشد گیاه قبل (CGR₁) و بعد (CGR₂) از مرحله بحرانی، شاخص سطح برگ قبل (LAI₁) و بعد (LAI₂) از مرحله بحرانی، تعداد برگ (LN)، طول برگ (LL)، وزن خشک برگ (LDW)، دوام زیست توده (BMD)، تعداد بنه (CN)، وزن تر بنه (CFW)، وزن خشک بنه (CDW)، میانگین وزن بنه (CMW)، تعداد بنه ریز (SCN)، تعداد بنه متوسط (MCN) و تعداد بنه درشت (LCN). اثر باقیمانده: *

Flower number (FN), Fresh flower weight (FFW), Dry flower weight (DFW), Fresh stigma weight (FSW), Stigma length (SL), Main bud emergence percent (MBEP), Main bud emergence rate (MBER), Sub bud number per corm (SBN), Crop growth rate before (CGR₁) and after (CGR₂) critical stage, Leaf area index before (LAI₁) and after (LAI₂) critical stage, Leaf number (LN), Leaf length (LL), leaf dry weight (LDW), Biomass duration (BMD), Corm number (CN), Corm fresh weight (CFW), Corm dry weight (CDW), Corm mean weight (CMW), Small corms number (SCN), Medium corms number (MCN) and Large corms number (LCN). Residual effect: 0

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس و میزان تغییرات (درصد) صفات گیاهی اکوتیپ‌های زعفران در تیمارهای کودی نسبت به تیمار شاهد

Table 6. Analysis of variance and changes (%) of plant characteristics of saffron ecotypes in fertilizer application treatments compared to the control (without fertilizer) treatment

	DSW	FN	FFW	DFW	FSW	SL	MBEP	MBER	SBN	CGR ₁	CGR ₂	LAI ₁
Compost کمپوست	15	14.9	11	20.8	14.1	0.97	8.3	-4	19.5	18.7	51.6	15.9
Chemical Fertilizer کود شیمیایی	37	34	29	30.4	37	0.97	-6.3	-16.3	9.2	18	61.3	8.7
SOV منابع تغییر												
Fertilizer type (df, 2) نوع کود	**	**	*	*	*	ns	**	ns	*	*	*	*
Ecotype (df, 8) اکوتیپ	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**
Fertilizer×Ecotype (df, 16) اثر متقابل	ns	**	**	**	ns	ns	**	ns	ns	*	**	ns

Table 6. Continued

جدول ۶- ادامه

	LAI ₂	LN	LL	LDW	BMD	CN	CFW	CDW	CMW	SCN	MCN	LCN
Compost کمپوست	17.4	24.2	-2.4	23.2	13.1	24.3	26	28.3	5.8	16.7	14.5	54
Chemical Fertilizer کود شیمیایی	18.3	21.1	4.9	21.7	9.7	6.8	21.7	19.8	12.8	-18.4	25	39.6
SOV منابع تغییر												
Fertilizer type (df, 2) نوع کود	*	*	ns	**	*	**	*	ns	ns	**	ns	*
Ecotype (df, 8) اکوتیپ	**	**	**	**	**	ns	**	ns	**	**	**	**
Fertilizer×Ecotype (df, 16) اثر متقابل	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	**

وزن خشک کلاله (DSW)، تعداد گل (FN)، وزن تر گل (FFW)، وزن خشک گل (DFW)، وزن تر کلاله (FSW)، طول کلاله (SL)، درصد ظهور جوانه اصلی (MBEP)، سرعت ظهور جوانه اصلی (MBER)، تعداد جوانه فرعی در بنه (SBN)، سرعت رشد گیاه قبل (CGR₁) و بعد (CGR₂) از مرحله بحرانی، شاخص سطح برگ قبل (LAI₁) و بعد (LAI₂) از مرحله بحرانی، تعداد برگ (LN)، طول برگ (LL)، وزن خشک برگ (LDW)، دوام زیست توده (BMD)، تعداد بنه (CN)، وزن تر بنه (CFW)، وزن خشک بنه (CDW)، میانگین وزن بنه (CMW)، تعداد بنه ریز (SCN)، تعداد بنه متوسط (MCN) و تعداد بنه درشت (LCN).

Dry stigma weight (DSW), Flower number (FN), Fresh flower weight (FFW), Dry flower weight (DFW), Fresh stigma weight (FSW), Stigma length (SL), Main bud emergence percent (MBEP), Main bud emergence rate (MBER), Sub bud number per corm (SBN), Crop growth rate before (CGR₁) and after (CGR₂) critical stage, Leaf area index before (LAI₁) and after (LAI₂) critical stage, Leaf number (LN), Leaf length (LL), leaf dry weight (LDW), Biomass duration (BMD), Corm number (CN), Corm fresh weight (CFW), Corm dry weight (CDW), Corm mean weight (CMW), Small corms number (SCN), Medium corms number (MCN) and Large corms number (LCN)

کلیه شاخص‌های رشد با اثر غیرمستقیم مثبت از طریق وزن خشک برگ و وزن خشک بنه، بر عملکرد اثرگذار بودند (جدول ۵).

تعداد بنه در تیمار کودهای شیمیایی علی‌رغم همبستگی منفی ($-0/379$) با عملکرد، اثر مستقیم مثبت ($0/842$) بر عملکرد داشت. همبستگی منفی تعداد بنه با عملکرد به دلیل اثرات غیرمستقیم منفی از طریق تعداد گل ($-0/327$)، وزن‌تر کلاله ($-0/269$)، وزن خشک بنه ($-0/136$) و تعداد بنه‌های ریز ($-0/733$) بود. وزن‌تر بنه با وجود اثر مستقیم منفی ($-0/369$)، از طریق تعداد گل ($0/593$)، وزن‌تر کلاله ($0/355$) و وزن خشک بنه ($0/627$) اثر غیرمستقیم مثبت بر عملکرد داشت. تعداد بنه‌های ریز و متوسط علاوه بر اثرات مستقیم منفی، اثرات غیرمستقیم منفی از طریق تعداد گل و کلاله تر بر عملکرد داشتند. وزن خشک بنه اثر مستقیم $0/699$ بر عملکرد داشت. همچنین وزن خشک بنه، میانگین وزن بنه و تعداد بنه‌های درشت از طریق تعداد گل ($0/573$)، $0/53$ و $0/707$ و وزن‌تر کلاله ($0/343$)، $0/346$ و $0/461$ اثر غیرمستقیم قابل توجهی بر عملکرد داشتند (جدول ۵).

نتایج تجزیه همبستگی و ضرایب مسیر برای صفات ظهور جوانه، شاخص‌های رشد رویشی، خصوصیات بنه و صفات مرتبط با گل در بین تیمارهای تغذیه اکوتیپ‌های زعفران نشان داد که برخی از صفات تحت هر شرایطی اثر بارزی بر عملکرد زعفران دارند. همبستگی صفاتی نظیر تعداد گل، وزن‌تر و خشک گل، وزن‌تر کلاله و دوام زیست توده در کلیه تیمارها مثبت و معنی‌دار بود. در تیمارهای کمپوست و کود شیمیایی، تعداد بنه‌های درشت همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد داشتند (جدول‌های ۱، ۲ و ۳). این موضوع نشان می‌دهد که در افزایش عملکرد زعفران این صفات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (جدول ۶). صفات یاد شده در تعیین سایر صفات مؤثر بر عملکرد زعفران توسط بیات و همکاران

از بین شاخص‌های رشد رویشی، شاخص سطح برگ در هر دو مرحله و دوام زیست توده همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد داشتند. از بین خصوصیات بنه، همانند تیمار کمپوست، تعداد بنه‌های ریز همبستگی منفی با عملکرد داشته و سایر خصوصیات بنه همبستگی مثبت با عملکرد داشتند که از این بین همبستگی تعداد بنه‌های درشت، قابل توجه بود ($0/832^{**}$).

نتایج تجزیه ضرایب مسیر در تیمار تغذیه شیمیایی (جدول ۵) نشان داد که از بین صفات مرتبط با گل، تنها تعداد گل و وزن‌تر کلاله اثر مستقیم مثبت (به ترتیب $0/801$ و $0/561$) بر عملکرد کلاله داشتند. با توجه به اثر مستقیم ناچیز وزن‌تر گل و اثر مستقیم منفی وزن خشک گل بر عملکرد، ضرایب همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص‌های مرتبط با گل عمدتاً به دلیل اثر غیرمستقیم مثبت آن‌ها از طریق تعداد گل و وزن کلاله تر و اثر غیر مستقیم منفی از طریق وزن‌تر گل بود. درصد ظهور جوانه اصلی دارای اثر مستقیم منفی ($-0/357$) و سرعت ظهور جوانه اصلی دارای اثر مستقیم مثبت ($0/752$) بر عملکرد اکوتیپ‌های زعفران بودند (جدول ۳). این دو صفت ضریب همبستگی متوسط و مثبتی با عملکرد زعفران داشتند که علاوه بر اثرات مستقیم به دلیل اثرات غیرمستقیم مثبت این صفات از طریق تعداد گل، وزن‌تر کلاله، شاخص سطح برگ در مرحله دوم، تعداد و وزن خشک برگ، وزن خشک بنه و تعداد بنه‌های ریز و اثرات غیرمستقیم منفی از طریق وزن‌تر گل، سرعت رشد و شاخص سطح برگ در مرحله اول، طول برگ، تعداد بنه و وزن‌تر بنه بود (جدول ۵).

اثر مستقیم شاخص‌های رشد رویشی به جز شاخص سطح برگ در مرحله دوم و وزن خشک برگ، بر عملکرد منفی بود. همبستگی مثبت سرعت رشد در مرحله اول، شاخص سطح برگ در هر دو مرحله، طول و وزن خشک برگ و دوام زیست توده به دلیل اثرات غیرمستقیم این صفات از طریق تعداد گل، وزن‌تر کلاله، وزن خشک بنه و تعداد بنه‌های ریز بود. همچنین

(Bayat *et al.*, 2016a,b) نیز گزارش شده است. بیات و همکاران (Bayat *et al.*, 2016a) همبستگی تعداد گل، وزن تر و خشک گل، وزن خشک برگ، تعداد و وزن بانه های دختری را با عملکرد کلالة مثبت و معنی دار گزارش کردند. هم راستا با این نتایج، علوی سینی و همکاران (Alavi Siney *et al.*, 2015) نیز گزارش کردند که تعداد گل همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد کلالة در زعفران داشت. در مورد ارتباط بین شاخص های رشد با عملکرد زعفران، احسان زاده و همکاران (Ehsanzadeh *et al.*, 2004) ارتباط معنی داری بین شاخص سطح برگ، سرعت رشد، وزن خشک کل و وزن بانه با عملکرد زعفران گزارش کردند.

با توجه به اینکه زعفران گیاهی چند ساله است، تغذیه صحیح آن در ابتدای رویش آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است (Behdani and Fallahi, 2015). ۱۵۰-۱۲۰ روز پس از کاشت، دوره بحرانی رشد زعفران بوده و توزیع زیست توده قبل و بعد از این مرحله دارای دو مرحله مشخص می باشد. در مرحله اول مواد فتوسنتزی عمدتاً به برگ ها و ریشه ها اختصاص یافته و وزن خشک برگ با سرعت بیشتری افزایش می یابد و در مرحله دوم بانه های دختری بیشترین سهم را از مواد فتوسنتزی دریافت می کنند (Behdani *et al.*, 2016)، در نتیجه به نظر می رسد که سرعت رشد در مرحله اول سهم مهمی در رشد، فتوسنتز و عملکرد زعفران داشته باشد. در تیمارهای مورد بررسی سرعت رشد در مرحله اول (اواسط دی تا اواسط اسفند) با عملکرد و صفات مرتبط با گل، شاخص های رشد و خصوصیات بانه همبستگی مثبت و در اکثر موارد معنی دار داشته در مقابل سرعت رشد در مرحله دوم (اواسط اسفند تا پایان دوره رشد) با صفات مذکور دارای ارتباط منفی بود (نتایج نشان داده نشده است). همان طور که در نتایج تجزیه مسیر نیز نشان داده شد، سرعت رشد در مرحله اول اثر بیشتری بر عملکرد داشت. همبستگی سرعت رشد در مرحله اول با صفات

مذکور در شرایط تغذیه شیمیایی قوی تر بوده و سرعت رشد در مرحله اول با کلیه خصوصیات گل، سطح برگ و دوام زیست توده، وزن خشک بانه و وزن بانه همبستگی مثبت و معنی داری داشت (با تعداد گل: 0.698^* ، وزن تر گل: 0.671^* ، وزن خشک گل: 0.685^* ، وزن تر کلالة: 0.683^* ، طول کلالة: 0.733^* ، شاخص سطح برگ در مرحله اول: 0.751^* ، شاخص سطح برگ در مرحله دوم: 0.906^{**} ، دوام زیست توده: 0.744^* ، وزن خشک بانه: 0.680^* و میانگین وزن بانه: 0.822^{**}). این موضوع به دلیل اثر کودهای شیمیایی بر توسعه برگ و افزایش سرعت رشد در طی رشد گیاه زعفران است (Chaji *et al.*, 2013). همبستگی منفی تعداد برگ با عملکرد کلالة به این دلیل است که در طول دوره رشد گیاه زعفران برگ های جدید بوجود می آیند که بسیاری از آنها (به خصوص برگ هایی که پس از دوره بحرانی ظاهر می شوند) رشد چندان نداشته و عملاً نقشی در فتوسنتز جاری گیاه ندارند. با توجه به اینکه پس از دوره گل دهی، ذخایر باقیمانده بانه ها صرف ظهور برگ های جدید می شود (Renau-Morata *et al.*, 2012)، در نتیجه ظهور چنین برگ هایی ذخایر بانه ها را نیز مورد استفاده قرار می دهند. در مقابل سطح برگ که حاصل برگ های توسعه یافته است، نقش تعیین کننده ای در فتوسنتز گیاه داشته و با بهبود خصوصیات بانه باعث افزایش عملکرد کلالة می شود (Behdani *et al.*, 2016). در مقایسه با تیمار شاهد، درصد و سرعت ظهور جوانه اصلی در تیمار کمپوست با سرعت رشد در مرحله اول ارتباط قوی تری داشت (جدول های ۱، ۲ و ۳). جوانه های ظهور یافته از بانه که مسئول تولید برگ، محور گل و بانه دختری جدید هستند، نقش تعیین کننده ای در تولید و فتوسنتز در مراحل اولیه رشد گیاه زعفران دارند (Kumar *et al.*, 2009). کمپوست به دلیل اثر مثبت بر خصوصیات فیزیکی خاک باعث تسهیل ظهور جوانه ها و در نتیجه بهبود رشد اولیه گیاهچه زعفران می شود

(Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2017).

در برنامه‌های اصلاحی از تجزیه ضرایب مسیر به‌طور گسترده‌ای برای شناسایی اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر عملکرد گیاهان استفاده می‌شود (Ghanbari *et al.*, 2014; Srivastava *et al.*, 2017). نتایج تجزیه ضرایب مسیر با تفکیک آثار مستقیم و غیرمستقیم، تفاوت در میزان اثر گذاری بسیاری صفات را در تیمارهای مورد بررسی نشان داد. در تیمار شاهد از نظر شاخص‌های مرتبط با گل، اثرات مبتنی بر تعداد گل بوده و وزن گل و کلاله به‌طور مستقیم اثر چندانی بر عملکرد کلاله نداشتند و اثرات بیشتر به‌صورت غیرمستقیم بود. اثرات غیرمستقیم کلیه شاخص‌های مرتبط با گل از طریق وزن‌تر و خشک گل و وزن‌تر کلاله عمدتاً منفی بود (جدول ۳). در تیمار کودهای شیمیایی نیز اثرات مستقیم عمدتاً مربوط به تعداد گل و وزن‌تر کلاله بود، اما در این تیمار وزن خشک گل اثر مستقیم منفی بر عملکرد کلاله نداشت. در مقابل در تیمار کمپوست، اثرات مستقیم قوی وزن‌تر و خشک گل و وزن‌تر کلاله بر عملکرد کلاله مشاهده شد. بعلاوه اثرات غیرمستقیم قابل توجهی نیز از طریق این صفات بر عملکرد خشک کلاله مشاهده شد. همبستگی مثبت و معنی‌دار تعداد گل نیز به‌دلیل اثرات غیرمستقیم از طریق همین صفات بود (جدول ۴). در همین ارتباط، تغذیه مناسب با کودهای آلی و شیمیایی از عوامل مهم اثرگذار بر عملکرد گل و کلاله زعفران گزارش شده است (Koocheki and Seyyedi, 2015; Rezvani Moghaddam *et al.*, 2014). علوی سینی و همکاران (Alavi Siney *et al.*, 2015) صفات تعداد گل، اثر مستقیم مثبت و وزن خشک گل اثر منفی بر عملکرد زعفران داشتند. بیات و همکاران (Bayat *et al.*, 2016a) از بین صفات مرتبط با گل، وزن‌تر کلاله، تعداد گل و وزن خشک کلاله را دارای بیشترین اثر مستقیم مثبت بر عملکرد زعفران گزارش کردند.

در رابطه با صفات ظهور جوانه در تیمار شاهد اثر مستقیم قابل توجهی مشاهده نشده و حتی سرعت ظهور اثر مستقیم منفی بر عملکرد داشت (جدول ۳). بعلاوه اثرات غیرمستقیم منفی این صفات از طریق وزن‌تر و خشک گل و کلاله مشاهده شد. در مقابل در تیمار کمپوست نه تنها این شاخص‌ها اثرات مستقیم مثبت قابل توجهی بر عملکرد نشان دادند، بلکه از طریق وزن گل‌تر و خشک نیز دارای اثر غیرمستقیم بر عملکرد بودند (جدول ۴). در تیمار کودهای شیمیایی نیز اثر درصد ظهور جوانه و تعداد جوانه فرعی در بنه بر عملکرد منفی بود و تنها سرعت ظهور جوانه دارای اثر مستقیم مثبت بود (جدول ۵). چنین تفاوت‌هایی را می‌توان با خصوصیات فیزیکی بستر کاشت مرتبط دانست. مواد آلی نظیر کمپوست با اثر بر خصوصیات فیزیکی خاک می‌توانند موجب افزایش درصد و میزان ظهور جوانه و بهبود رشد و استقرار اولیه گیاهچه شوند (Amlinger *et al.*, 2007; Guo *et al.*, 2016). به‌خصوص در زعفران که ظهور جوانه فرآیندی است که به خصوصیات فیزیکی بستر کاشت حساس بوده (Behdani and Fallahi, 2015) و در شرایط نامطلوب میزان ظهور جوانه کاهش می‌یابد (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2017). گزارش شده است که در بستر کاشت زعفران نقش فیزیکی مواد آلی در مقایسه با نقش تغذیه‌ای آن به‌مراتب دارای اهمیت بیشتری است (Behdani and Fallahi, 2015).

در تیمار شاهد (بدون کود) از بین شاخص‌های مرتبط با رشد رویشی، تنها شاخص سطح برگ و دوام زیست توده اثر مستقیم مثبت بر عملکرد داشتند و اثر غیرمستقیم عمدتاً از طریق تعداد گل و وزن بنه بود (جدول ۳). در تیمار کمپوست اثر منفی سرعت رشد گیاه در هر دو مرحله، کاهش یافت و برخلاف تیمار شاهد، وزن خشک برگ اثر مثبت بر عملکرد داشت (جدول ۴). در آزمایش بیات و همکاران (Bayat *et al.*, 2016a) طول، تعداد و وزن

خشک برگ اثر غیرمستقیم مثبت بر عملکرد داشتند. در تیمار کمپوست نسبت به شاهد و تیمار کود شیمیایی، شاخص‌های رشد با ظهور جوانه و به‌خصوص درصد و سرعت ظهور جوانه اصلی، ارتباط نزدیک‌تری داشتند که این موضوع نشان دهنده اثر ظهور جوانه بر رشد گیاه و تأثیر آن بر عملکرد است (جدول ۴). کمپوست به دلیل نقش مثبت دوجانبه (اثر بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و نقش تغذیه‌ای و باروری خاک) می‌تواند منجر به افزایش جوانه‌زنی، ظهور و رشد گیاه شود (Amlinger *et al.*, 2007; Guo *et al.*, 2016; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2017). در مورد اثرگذاری ظهور جوانه بر عملکرد زعفران گزارشی در دست نیست، اما گزارش شده است که بالاتر بودن قدرت ظهور گیاهچه با اثر بر رشد اولیه گیاهچه، باعث بهبود شاخص‌های رشد گیاه زعفران می‌شود (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2017). در تیمار کودهای شیمیایی اثر شاخص‌های رشد بر عملکرد، علاوه بر اثر از طریق تعداد گل و وزن کلانه‌تر، از طریق وزن خشک برگ و بنه بود (جدول ۵).

در تیمار شاهد، تعداد بنه و تعداد بنه‌های با وزن کمتر، اثر مثبت و تعداد بنه‌های درشت اثر مستقیم منفی بر عملکرد داشتند. اثر غیرمستقیم خصوصیات بنه در تیمار شاهد عمدتاً از طریق تعداد گل بر عملکرد بود، در حالی که این اثرات از طریق وزن‌تر کلانه منفی بود (جدول ۳). تفاوت در بین اثرپذیری عملکرد از خصوصیات بنه در بین تیمارهای مورد بررسی در اثرات غیرمستقیم بیشتر قابل مشاهده بود. در تیمار کمپوست به جز تعداد بنه و تعداد بنه‌های ریز، سایر خصوصیات بنه از طریق وزن‌تر و خشک گل و وزن کلانه‌تر، اثر غیرمستقیم قابل توجهی بر عملکرد داشتند، به‌خصوص بنه‌های با وزن بالاتر از اثر بیشتری برخوردار بودند (جدول ۴). نتایج تجزیه همبستگی (جدول‌های ۳، ۴ و ۵) نیز نشان داد که اثرپذیری عملکرد از بنه‌های درشت‌تر در تیمار کودهای شیمیایی بارزتر بود (جدول

۵). در تیمار کود شیمیایی، تعداد و وزن بنه اثر مستقیم قابل توجه و سایر خصوصیات (به جز تعداد بنه‌های ریز و متوسط) از طریق تعداد گل و وزن کلانه‌تر، اثر غیرمستقیم بر عملکرد داشتند. این نتایج نشان می‌دهد که تغذیه گیاه با کودهای آلی و شیمیایی با افزایش وزن بنه، تأثیر بنه‌های با وزن بالاتر بر عملکرد را افزایش می‌دهد. این موضوع به دلیل تأثیر مثبت تغذیه گیاهی در بهبود رشد بنه‌های دختری است. کودهای آلی نظیر کمپوست علاوه بر اصلاح ساختار فیزیکی خاک، با تأثیر بر رژیم‌های حرارتی و رطوبتی خاک، نقش مؤثری در توسعه بنه‌ها دارند (Behdani and Fallahi, 2015). اثر مثبت کمپوست و کودهای شیمیایی نسبت به عدم مصرف آنها، بر بهبود عملکرد و خصوصیات بنه و تولید زعفران توسط کوچکی و سیدی (Koocheki and Seyyedi, 2015) نیز گزارش شده است. در تیمار کود شیمیایی، با وجود اثرات مستقیم عمدتاً منفی بر عملکرد، اثرات غیرمستقیم قابل توجهی از طریق تعداد گل و وزن‌تر کلانه مشاهده شد. در این تیمار اثر شاخص‌های مرتبط با رشد رویشی به صورت غیرمستقیم از طریق وزن خشک برگ و بنه بود. وزن خشک برگ با اثر پذیری از شاخص‌های رشد و هم‌چنین با اثری که بر وزن خشک بنه برجا گذاشت، اثر غیرمستقیم قابل توجهی بر عملکرد زعفران داشت (جدول ۵). فراهم بودن نیتروژن و فسفر یکی از مهم‌ترین عواملی است که به طور مستقیم بر رشد بنه‌های دختری تأثیر داشته و مصرف آنها به صورت کودهای شیمیایی به توسعه برگ در طی رشد گیاه زعفران کمک کرده و با افزایش میزان تولید مواد فتوسنتزی، برای رشد بنه‌های دختری مفید خواهد بود (Chaji *et al.*, 2013). به دلیل عقیم بودن گیاه زعفران و ضرورت تکثیر آن از طریق بنه، یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای افزایش عملکرد آن، بهبود مدیریت زراعی و فراهم کردن محیط مناسب برای تولید بنه‌های با کیفیت و با وزن بالاتر است. این موضوع باعث

برنامه‌های اصلاحی مورد توجه قرار گیرد. از طرف دیگر تغذیه گیاهی اثر چشمگیری بر نحوه اثرپذیری عملکرد از صفات و شاخص‌های مورد مطالعه داشت. کودهای آلی با اثر بر شاخص‌های ظهور گیاهچه، ضمن افزایش اثرات مستقیم آنها بر عملکرد کلالة، با افزایش وزن گل تر و خشک و کلالة حائز اهمیت هستند. کودهای شیمیایی با اثر بر رشد، تعداد بنه‌های درشت و وزن خشک بنه، عمدتاً از طریق تعداد گل، عملکرد کلالة را افزایش داده و از این جهت می‌توانند مورد توجه قرار گیرند. بنابراین با تلفیق برنامه‌های به‌زراعی و به‌نژادی و از طریق بهینه‌سازی شرایط رشد گیاه زعفران با تغذیه کودهای آلی و شیمیایی و یا تیمارهای تلفیقی، می‌توان با افزایش میزان تأثیر صفات گیاهی بر عملکرد، عملکرد زعفران را در واحد سطح بهبود داد.

سپاسگزاری

هزینه اجرای این طرح (شماره ۹۰۰/۱۰۶ پ) توسط پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان تأمین شده است که بدین‌وسیله قدردانی می‌گردد.

افزایش تعداد و وزن گل شده و عملکرد را بهبود می‌بخشد (Bayat et al., 2016b). اثر باقیمانده برای تیمار شاهد ۰/۰۱۳ و برای تیمارهای تغذیه‌ای صفر بود (جدول‌های ۳، ۴ و ۵). این موضوع نشان می‌دهد که اثر تجمعی شاخص‌های گیاهی مورد ارزیابی بر عملکرد کلالة زعفران در تیمار شاهد ۹۸/۷ درصد و در تیمارهای تغذیه‌ای ۱۰۰ درصد بود، به عبارت دیگر شاخص‌های مورد مطالعه در این آزمایش از مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر در توجیه عملکرد زعفران بوده و اثر عوامل ناشناخته بر عملکرد در تیمارهای تغذیه‌ای صفر بوده است.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که برخی صفات نظیر تعداد گل، وزن تر و خشک گل و وزن تر کلالة و شاخص‌های مرتبط با رشد نظیر سرعت رشد قبل از مرحله بحرانی، شاخص سطح برگ، دوام زیست توده، عملکرد بنه و تعداد بنه‌های با وزن بالاتر از هشت گرم، در هر شرایطی اثر قابل توجهی بر عملکرد زعفران داشته و انتخاب بر اساس این صفات می‌تواند در

References

- Alavi Siney, S. M., J. Saba, B. Andalibi, S. S. Alavikia and M. R. Azimi. 2015. Determination of effective agronomical traits on saffron ecotypes stigma yield in Zanjan conditions. J. Saffron Agron. Tech. 3(2): 97-106. (In Persian with English abstract).
- Amlinger, F., S. Peyr, J. Geszti, P. Dreher, W. Karlheinz and S. Nortcliff. 2007. Beneficial effects of compost application on fertility and productivity of soils. Literature Study, Federal Ministry for Agriculture and Forestry. Environment and Water Management, Austria, Retrieved from: www.umwelt.net.at/filemanager/download/20558/
- Baghalian, K., M. Shabani Sheshtamand and A. H. Jamshidi. 2010. Genetic variation and heritability of agro-morphological and phytochemical traits in Iranian saffron (*Crocus sativus* L.) populations. Ind. Crops Prod. 31: 401-406.
- Bayat, M., M. Rahimi and M. Ramezani, 2016b. Determining the most effective traits to improve saffron (*Crocus sativus* L.) yield. Physiol. Mol. Biol. Plants. 22: 153-161.
- Bayat, M., R. Amirnia and M. Rahimi, 2016a. Phenotypic and genotypic relationships between traits in

منابع مورد استفاده

- saffron (*Crocus sativus* L.) as revealed by path analysis. J. Appl. Res. Med. Arom. Plants. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2016.10.001>
- Behdani, M. A. and H. R. Fallahi, 2015.** Saffron: Technical knowledge based on research approaches, University of Birjand Press. (In Persian).
- Behdani, M. A., M. Jami Al-Ahmadi and H. R. Fallahi. 2016.** Biomass partitioning during the life cycle of saffron (*Crocus sativus* L.) using regression models. J. Crop Sci. Biotech. 19(1): 71-76.
- Behnia, M. R., A. Estilai and B. Ehdaie, 1999.** Application of fertilizers for increased saffron yield. J. Agron. Crop Sci. 182: 9-15.
- Behzad, S., M. Razavi, M. Mahajeri, 1992.** The effect of various amount of ammonium phosphate and urea on saffron production. Acta Hort. 306: 337-339.
- Chaji, N., R. Khorassani, A. R. Astarai and A. Lakzian. 2013.** Effect of phosphorous and nitrogen on vegetative growth and production of daughter corms of saffron. J. Saffron Res. 1 :1-12. (In Persian with English abstract).
- De Mastro, G. and C. Ruta. 1993.** Relation between corm size and saffron (*Crocus sativus* L.) flowering. Acta Hort. 344: 512-517.
- Ehsanzadeh, P., A. Yadollahi and A. M. Maibodi. 2004.** Productivity, growth and quality attributes of 10 Iranian saffron accessions under climate condition of Chahar-Mahal Bakhteyari. Acta Hort. 650: 183-188.
- Ghanbari J. and G. R. Khajoei-Nejad. 2017.** Effect of compost and combination of compost and biochar application on soil bulk density of planting bed and seedling emergence rate and early growth of saffron ecotypes. J. Saffron Agron. Tech. DOI: 10.22048/jsat.2017.57414.1178. (In Persian).
- Ghanbari J., G. R. Khajoei-Nejad and G. Mohammadi-Nejad. 2014.** Casual explanation of the relationships between seed yield and some yield components in cumin (*Cuminum cyminum* L.) by different multivariate statistical analysis at different sowing dates. J. Ethno-Pharm. Prod. 1(1): 15-22.
- Gresta, F., G. M. Lombardo, L. Siracusa and G. Ruberto. 2008a.** Saffron, an alternative crop for sustainable agricultural systems. A review. Agron. Sustain. Dev. 28: 95-112.
- Gresta, F., G. M. Lombardo, L. Siracusa and G. Ruberto. 2008b.** 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. J. Sci. Food Agric. 88 :1144-1150.
- Guo, L., G. Wu, Y. Li, C. Li, W. Liu, J. Meng, H. Liu, X. Yu and G. Jiang. 2016.** Effects of cattle manure compost combined with chemical fertilizer on topsoil organic matter, bulk density and earthworm activity in a wheat-maize rotation system in Eastern China. Soil Tillage Res. 156: 140-147.
- Hunt, R. 1978.** Plant Growth Analysis. Studies in Biology No.96. Edward Arnold (Publishers). London.
- Khorramdel, S., S. Eskandari Nasrabadi and G. Mahmoodi. 2015.** Evaluation of mother corm weights and foliar fertilizer levels on saffron (*Crocus sativus* L.) growth and yield components. J. Appl. Res. Med.

Aroma. Plants. 2: 9-14.

Koocheki, A. and S. M. Seyyedi. 2015. Relationship between nitrogen and phosphorus use efficiency in saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by mother corm size and fertilization. Ind. Crops Prod. 71: 128-137.

Kumar, R., V. Singh, K. Devi, M. Sharma, M. K. Singh and P. S. Ahuja. 2009. State of art of saffron (*Crocus sativus* L.) agronomy: a comprehensive review. Food Rev. Int. 25: 44-85.

Maguire, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Sci. 2: 176-177.

Melnyk, J. P., S. Wang and M. F. Marcone. 2010. Chemical and biological properties of the world's most expensive spice: Saffron Food Res. Int. 43: 1981-1989.

Orchard, T. J. 1977. Estimating the parameters of plant seedling emergence. Seed Sci. Tech. 5: 61-69.

Renau-Morata, B., S. G. Nebauer, M. Sánchez and R. V. Molina. 2012. Effect of corm size: water stress and cultivation conditions on photosynthesis and biomass partitioning during the vegetative growth of saffron (*Crocus sativus* L.). Ind. Crops Prod. 39: 40-46.

Rezaei, A. M. and A. Soltani. 2008. An Introduction to Applied Regression Analysis (3rd Ed.), Isfahan University of Technology, Isfahan (In Persian).

Rezvani Moghaddam, P., A. A. Mohammad Abadi, H. R. Falahi, M. Aghhavani shajari. 2014. Effects of nutrient management on flower yield and corm characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.). J. Hort. Sci. 28(3): 427-434. (In Persian with English abstract).

Srivastava, A., A. K. Gupta, K. Shanker, M. M. Gupta, R. Mishra and R. K. Lal. 2017. Genetic variability, associations and path analysis of chemical and morphological traits in Indian ginseng [*Withania somnifera* (L.) Dunal] for selection of higher yielding genotypes, J. Ginseng Res. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jgr.2017.01.014>.

Effect of organic and chemical fertilizers application on relationships among growth indices, corm characteristics, flower related attributes and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) ecotypes

Ghanbari, J.¹. and Gh.R. Khajoei-Nejad²

ABSTRACT

Ghanbari, J. and Gh.R. Khajoei-Nejad. 2018. Effect of organic and chemical fertilizers application on relationships among growth indices, corm characteristics, flower related attributes and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) ecotypes. **Iranian Journal of Crop Sciences. 19(4): 297-318. (In Persian).**

This experiment was aimed to evaluate the effects of organic and chemical nutritions on flower related characteristics yield of saffron. Experiment was conducted using randomized complete block design with three replications at the research field of Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, during two growing seasons of 2015 and 2016. Nine saffron ecotypes (Bajestan, Estahban, Ferdows, Gonabad, Natanz, Qaen, Sarayan, Torbat-e Heydarieh and Zarand) were sown in different nutritional conditions (control (C): no fertilizer or amendment; 20 t.ha⁻¹ compost (Com); and chemical fertilizers (CF): 46 kg ha⁻¹ N and 13 kg ha⁻¹ P₂O₅) in October 2015. Different traits, growth indices and corm characteristics in first growing season and flower related traits in second growing season were measured. Correlation analysis showed that the flower number (FN), fresh and dry flower weight (FFW and DFW), fresh stigma weight (FSW) and biomass duration (BMD) in all treatments were significantly and positively correlated with stigma yield (SY). The number of large corms (LCN) (more than 8 g) in CF and Com treatments showed significant and positive correlation with SY. The results of path analysis in control treatment showed that FN, corm mean weight (CMW), medium corms number (MCN) (4-8 g) had the highest direct effect (0.804, 0.907 and 0.502, respectively) on SY, whilst, the indirect effects was mainly through FN on SY. In Com treatment, FFW, DFW, FSW, main bud emergence percentage (MBEP) and sub bud number per corm (SBN) had the highest direct effects (0.799, 0.786, 0.406, 0.853 and 0.737, respectively) and corm characteristics and growth parameters had the highest indirect effects through these traits. In CF treatment, FN (0.801), FSW (0.561), LAI after critical stage (0.68), leaf dry weight (LDW) (0.649) and corm dry weight (CDW) (0.699) had the positive direct effect on SY. Effect of growth parameters and corm characteristics was mainly through FN on SY. Consequently, with proper nutrition, the number of flowers per unit area can be increase by improving the growth and the corm yield in the first year while reducing the effects of unknown factors, therefore improve the yield of saffron.

Key words: Correlation, Path analysis, Saffron, Soil fertility and Stigma yield

Received: June, 2017 Accepted: January, 2018

1. PhD Student, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran and member of Young Researcher Society

2. Associate Prof., Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran and Research and Technology Institute of Plant Production (RTIPP), Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran (Corresponding author)

(Email: Khajoei@mail.uk.ac.ir)