



ارزیابی تأثیر مدیریت آبیاری با کاربرد کود آلی و پلیمرهای ابر جاذب ریز ترکیب بر عملکرد اقتصادی و تولید مواد مؤثره در گیاه دارویی زعفران (*Crocus sativus* L.)

امین رضائی^۱، حسین آرویی^{۲*}، مجید عزیزی^۳ و احمد احمدیان^۴

تاریخ دریافت: ۲۲ خرداد ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: ۱۵ بهمن ۱۳۹۷

رضائی، ا.، آرویی، ح.، عزیزی، م.، و احمدیان، ا. ۱۳۹۹. ارزیابی تأثیر مدیریت آبیاری با کاربرد کود آلی و پلیمرهای ابر جاذب ریز ترکیب بر عملکرد اقتصادی و تولید مواد مؤثره در گیاه دارویی زعفران (*Crocus sativus* L.). زراعت و فناوری زعفران، ۸(۱): ۳-۱۸.

چکیده

به منظور یافتن و توصیه روشی جهت بهبود رشد رویشی و زایشی، همچنین عملکرد اقتصادی زعفران با استفاده از مواد آلی اصلاح کننده خاک، آزمایشی بصورت کرت‌های خرد شده شامل: سه دور آبیاری ۳۰، ۵۰ و ۷۰ روزه به‌عنوان کرت‌های اصلی و سه عامل ورمی کمپوست، تراکوم و بلور آب بصورت ساده و ترکیبی همچنین شاهد به‌عنوان کرت‌های فرعی به مدت سه سال زراعی (۹۶-۱۳۹۳) در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده زعفران، دانشگاه تربت حیدریه اجرا شد. نتایج نشان داد که اثر تیمارها روی کلیه صفات کمی و کیفی مورد مطالعه معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$). به طوری که بیشترین تعداد متوسط برگ (۴۳/۹ برگ در کلنی) و بنه دختری (۳۴۶/۷ بنه دختری در متر مربع) در تیمار دور آبیاری ۵۰ روزه به ترتیب با کاربرد ترکیب ورمی کمپوست با تراکوم و بلور آب حاصل شد. همچنین بالاترین عملکرد متوسط رشد زایشی شامل تعداد گل (۴۷۴/۲ گل در مترمربع) در تیمار دور آبیاری ۵۰ روزه با کاربرد تلفیقی سه گانه بلور آب، ورمی کمپوست و تراکوم، عملکرد گل تر (۲۵۰۹/۲ کیلو گرم در هکتار) و عملکرد اقتصادی کلاله خشک (۲۴/۸ کیلوگرم در هکتار) در تیمار دور آبیاری ۳۰ روزه با کاربرد تلفیقی بلور آب و ورمی کمپوست در سال سوم به دست آمد. بیشترین عملکرد مواد مؤثره شامل کروسین (۱۳/۷ درصد) در تیمار دور آبیاری ۳۰ روزه و پیکروکروسین (۶/۷ درصد) در تیمار دور آبیاری ۷۰ روزه با کاربرد تلفیقی ورمی کمپوست و بلور آب و ساfranال (۲/۹ درصد) در تیمار دور آبیاری ۳۰ روزه با کاربرد ترکیبی سه گانه ورمی کمپوست، بلور آب و تراکوم در سال سوم حاصل شد. بالاترین کارایی آب مصرفی به مقدار ۰/۰۰۹۶ کیلوگرم (کلاله خشک) در مترمکعب در تیمار دور آبیاری ۷۰ روزه با کاربرد ترکیبی بلور آب و ورمی کمپوست در سال سوم مشاهده شد. کمترین عملکرد در تمام صفات مورد بررسی مربوط به تیمار شاهد بود. نتیجه این که می‌توان ترکیبات آلی اصلاح کننده خاک را به صورت تلفیقی و با اعمال دور آبیاری ۵۰ روزه به منظور افزایش بهره‌وری از منابع آبی موجود و بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه زعفران در مناطق خشک و نیمه خشک مورد استفاده قرار داد.

کلمات کلیدی: بلور آب، تراکوم، پیکروکروسین، کروسین، ساfranال و ورمی کمپوست.

۱- دانش آموخته دکتری باغبانی، پردیس بین الملل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۲- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۳- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۴- استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه، ایران
* نویسنده مسئول: aroiee@um.ac.ir

مقدمه

گیاه دارویی زعفران (*Crocus sativus* L.) گیاهی علفی، چند ساله، بدون ساقه هوایی از تیره زنبقیان و از نظر ژنتیکی عقیم ($2n=3x=24$) بوده لذا تکثیر آن به روش غیر جنسی و توسط ساقه زیر زمینی بنام پدازه یا بنه صورت می‌گیرد. کلاله خشک مادگی آن بعنوان زعفران تجاری و ادویه‌ای گران‌بها، مصارف مختلفی در صنایع غذایی و دارویی داشته و از آن در طب سنتی به عنوان ضد افسردگی و آرام بخش، ضد نفخ، مقوی معده و ایجاد قاعدگی زودرس استفاده می‌شود. با وجود این که کشور ایران در بین کشورهای تولید کننده زعفران مقام نخست را از نظر سطح زیر کشت و تولید سالیانه دارد، ولی میانگین عملکرد آن در مقایسه با تولید متوسط عملکرد جهانی این محصول اندک می‌باشد (Kumar et al., 2009).

متأسفانه در سالیان اخیر علیرغم افزایش سطح زیر کشت زعفران، عملکرد اقتصادی در واحد سطح به دلایل مختلف از جمله مهم‌ترین آن‌ها شامل گرم شدن هوا و بدنال آن کاهش میزان بارش‌های جوی و کمبود رطوبت خاک و عدم آبیاری کافی، عدم تأمین مواد آلی و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، عدم کاشت بنه استاندارد و رعایت تاریخ کاشت در مقایسه با ۴۰ سال قبل کاهش یافته است. کمبود رطوبت خاک از مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد زعفران است زیرا رشد برگ‌ها و بنه‌ها به شدت متأثر از شرایط رطوبتی و عوامل خاکری می‌باشد (Kafi et al., 2006). عوامل زیادی مانند اقلیم، بافت خاک، زمان کاشت، تراکم و عمق کاشت، آبیاری و نوع تغذیه در دستیابی به کمیت و کیفیت بهینه و عملکرد اقتصادی زعفران نقش به‌سزایی دارند (Sadeghi et al., 2014). بر این اساس ضروری به نظر می‌رسد که به‌کارگیری فناوری‌های نوین جهت تأمین رطوبت و عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه، با استفاده از ترکیبات آلی اصلاح

کننده خاک مانند ورمی کمپوست و پلیمرهای ابر جاذب ریز ترکیب شرایط را برای بهبود رشد و نمو و عملکرد زعفران فراهم نمود.

استفاده از ترکیبات آلی به طور غیر مستقیم از طریق فراهم آوردن عناصر معدنی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین عناصر کم مصرف برای ریشه، بهبود ساختار خاک و افزایش نفوذپذیری بستر به آب و هوا، زیاد شدن جمعیت میکروبی و افزایش تبادل کاتیونی، باعث حاصلخیزی خاک و در نهایت افزایش عملکرد و بهبود صفات کیفی در گیاه می‌گردند (Sharif et al., 2002). در پژوهش ارزیابی اثرات دور آبیاری و کاربرد کودهای مختلف روی عملکرد کلاله زعفران گزارش گردید که بالاترین عملکرد کلاله در تیمار ورمی کمپوست و دور آبیاری ۱۴ روز به‌دست آمده است (Mohammadpour et al., 2013).

پلیمرهای ابر جاذب قادرند مقادیر زیادی آب حاصل از بارندگی یا آب آبیاری را به میزان ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلیمتر آب به ازای هر گرم وزن خشک پلیمر در خود ذخیره کرده و از نفوذ عمقی و تلفات آن جلوگیری کنند (Abedi-Koupai & Mesforoush, 2009). پلیمرهای ابر جاذب چندین برابر وزن خود آب را جذب، نگهداری و در موقع خشک شدن محیط، آب آنها به تدریج تخلیه می‌گردد لذا خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد مرطوب می‌ماند (Wu et al., 2008). کاربرد پلیمرهای ابر جاذب می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب در تولید بنه‌های دختری دارای توان گلدهی، در مناطق نیمه خشک مورد استفاده قرار گیرند (Fallahi et al., 2016). با توجه به اهمیت فراوان پرورش گیاه زعفران به عنوان یک گیاه دارویی با ارزش در مناطق خشک و نیمه خشک ایران و لزوم پیدا کردن روشی برای استفاده بهینه از منابع با ارزش آب و خاک موجود و افزایش عملکرد کمی و کیفی رشد زایشی گیاه در واحد سطح،

میزان ۴ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن خشک خاک (۱۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)، و پلیمرهای ابر جاذب تراکوتم و بلور آب آ هر کدام به میزان ۰/۴ گرم به ازای کیلوگرم وزن خشک خاک (۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و ترکیب آن‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. لازم به ذکر است که ورمی کمپوست و پلیمرهای ابر جاذب ریز ترکیب تراکوتم و بلور آب آ به منظور حداکثر استفاده بنه از آن‌ها، قبل از کاشت، در داخل شیارهای کاشت بنه پخش گردیدند.

در هر سه فصل رشد، آبیاری اول به منظور آغاز رشد و نمو سالیانه در ۲۰ مهرماه و آبیاری دوم زاج آب در دهم آذرماه هم‌زمان در همه واحدهای آزمایشی انجام و بقیه تیمارهای آبیاری تا پایان فصل رشد طبق برنامه زمان‌بندی شده انجام گردید. میزان حجم آب مورد نیاز در هر دور آبیاری با استفاده از روش پایش رطوبت وزنی خاک به کمک لوازم اوگر و اون قبل از هر دور آبیاری تعیین گردید. به طوری که میزان حجم آب مورد استفاده در هر دور آبیاری در دوره‌های آبیاری ۳۰، ۵۰ و ۷۰ روزه متفاوت و در مجموع در پایان دوره رشد سالیانه گیاه به‌طور متوسط به ترتیب در سال اول به میزان ۲۴۵۰، ۲۱۰۳ و ۲۰۰۰ و سال دوم ۳۳۲۵، ۲۶۲۵ و ۲۴۰۰ متر مکعب در هکتار بود. همچنین میزان حجم آب مورد نیاز محاسبه شده در هر دور آبیاری به‌طور دقیق و با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری و وارد واحدهای آزمایشی گردید. یک هفته پس از آبیاری اول در همه واحدهای آزمایشی عملیات سله‌شکنی انجام شد. همچنین تا پایان هر فصل رشد کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام گردید.

ده روز پس از اولین آبیاری گل‌ها ظاهر شدند. پس از ظهور گل‌ها، روزانه قبل از طلوع آفتاب و تا پایان دوره گلدهی، عملیات برداشت گل با حذف اثر حاشیه ای از واحدهای آزمایشی انجام شد. پس از شمارش و ثبت وزن تر گل‌ها، بلافاصله کلاله از بقیه

این پژوهش با هدف مطالعه کنترل آبیاری با کاربرد کود آلی و پلیمرهای ابر جاذب ریز ترکیب روی عملکرد و تولید مواد مؤثره زعفران طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش با هدف مطالعه مدیریت آبیاری با کاربرد کود آلی ورمی کمپوست و پلیمرهای ابر جاذب ریز ترکیب تراکوتم و بلور آب آ روی برخی خصوصیات کمی و کیفی رشد رویشی گیاه دارویی زعفران در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده زعفران دانشگاه تربت‌حیدریه با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۱ درجه شرقی و با ارتفاع ۱۴۳۰ متر از سطح دریا با میانگین تبخیر سالیانه ۲۳۶۰/۵ میلی‌متر، میانگین بارندگی ده ساله اخیر ۱۷۵/۸ میلی‌متر، میانگین حداقل و حداکثر دمای سالیانه به ترتیب ۸/۵ و ۲۲/۸ درجه سانتی‌گراد، طی سه سال زراعی ۹۶-۱۳۹۳ بصورت طرح کرت‌های خرد شده^۱ در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. خواص شیمیایی آب مورد استفاده در آبیاری و خصوصیات فیزیکی، شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش همچنین پلیمرهای ابر جاذب ریز ترکیب به شرح جداول ۱ و ۲ بود.

پس از آماده‌سازی زمین و در هنگام خواب حقیقی بنه‌ها، بنه‌های استاندارد در گروه وزنی ۱۲-۸ گرم تهیه و پس از ضد-عفونی با قارچ‌کش کاپتان به میزان ۴ در هزار و بر اساس تراکم ۵۰ بنه در یک مترمربع در ردیف‌هایی به فواصل ۸×۲۵ سانتی‌متر در کرت‌هایی به ابعاد ۶ مترمربع و در عمق ۲۰ سانتی‌متر در اواسط خرداد کاشت گردید. تیمارهای مورد آزمایش شامل سه دور آبیاری ۳۰، ۵۰ و ۷۰ روزه به عنوان کرت‌های اصلی^۲ و هشت تیمار فرعی^۳ شامل: شاهد، ورمی کمپوست به

1- Split plot design

2-Main plot

3- Sub plot

مقایسه میانگین‌ها (جدول‌های ۴ و ۵) در برهمکنش تیمارها، بیشترین میانگین تعداد برگ تولید شده در گیاه به میزان متوسط ۴۳/۹ برگ در کلنی، مربوط به سال دوم و دور آبیاری ۵۰ روزه توسط تیمار ترکیبی ورمی کمپوست با تراکوتم بوده است و کمترین میانگین تولید برگ مربوط به تیمار شاهد طی هر دو سال آزمایش بود. این نتایج نشان می‌دهد که ترکیب ورمی کمپوست با پلیمر ابر جاذب تراکوتم به احتمال زیاد از طریق افزایش آب قابل دسترس در خاک در حد ظرفیت زراعی و فراهم کردن عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه به‌ویژه میزان نیتروژن موجود در ترکیب تراکوتم، موجبات افزایش رشد رویشی گیاه از طریق تولید برگ بیشتر را فراهم آورده است و از طریق افزایش سطح فتوسنتزی گیاه، زمینه مناسب رشد رویشی بیشتر را فراهم کرده است. این مشاهده با نتایج پژوهشی برخی پژوهشگران (Ghasemi & Khoshkhouy, 2007) مطابقت دارد. تعداد و طول برگ‌های زعفران به عنوان مهمترین اجزای تعیین کننده شاخص سطح برگ تأثیر زیادی در تعیین ظرفیت فتوسنتزی گیاه دارند (Kafi et al., 2006). فقدان رطوبت کافی در محیط ریشه باعث کاهش معنی دار ضخامت و عرض برگ زعفران شد، ولی تعداد برگ متأثر از تیمار خشکی نشد (SabetTaimoury et al., 2010).

تعداد بنه های دختری

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد که تمام تیمارها بر تعداد بنه های دختری تولید شده اثر معنی داری داشتند ($p \leq 0.01$). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵ و ۶) و تأثیر تیمارها، بیشترین میانگین تعداد بنه‌های دختری تولید شده به میزان ۳۴۶/۷ بنه در متر مربع مربوط به دور آبیاری ۵۰ روزه توسط تیمار بلور آب آ در سال دوم بود و کمترین میانگین تولید بنه‌های دختری مربوط به تیمار شاهد طی هر دو سال آزمایش بود.

اجزای گل برای تعیین وزن تر آن جدا شدند و سپس کلاله‌ها در خشک‌کن الکتریکی در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد تا میزان رطوبت ۱۰ درصد خشک شدند. بعد از اتمام دوره گلدهی میزان مواد مؤثره کلاله های خشک در آزمایشگاه با استفاده از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) مطابق روش ارائه شده توسط لوزانو و همکاران (Lozano et al., 1999) اندازه‌گیری شد. کارایی مصرف آب با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (Abedini & Abedi-Koupai, 2016):

$$WUE = \frac{Gy (kg)}{Wap(m^3)} \quad (1)$$

که در آن Gy عملکرد محصول (وزن خشک کلاله) و Wap حجم آب مصرفی می باشد.

داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS9.2 تجزیه مرکب و سپس از آزمون چند دامنه ای دانکن ($p \leq 0.01$) جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. هم چنین به منظور رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید. لازم به ذکر است که در تحقیق پیش رو به دلیل عادت رشدی ویژه گیاه زعفران شامل پیش گلده بودن آن و به دلیل اینکه عملکرد زایشی سال اول پس از کاشت به شرایط محیطی و تغذیه‌ای مزرعه‌ای که گیاه سال زراعی قبل در آن مستقر بوده، دارد و نیز عدم فرصت کافی جهت تأثیر تیمارها روی شاخص‌های رشد زایشی، از عملکرد زایشی سال اول پس از کاشت چشم پوشی شده و منظور از مقایسه عملکرد دوساله شاخص‌های رشد زایشی، مقایسه عملکرد سال‌های دوم و سوم پس از کاشت بنه می‌باشد.

نتایج و بحث

تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که تمام تیمارها بر تعداد برگ اثر معنی داری داشت ($p \leq 0.01$). بر اساس

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، ورمی کمپوست و آب آبیاری
Table 1- Physical and chemical properties of field soil, vermicompost and irrigation water

خاک مزرعه و ورمی کمپوست									
Field soil and vermicompost									
خصوصیات Properties	کلاس بافت خاک Soil texture class			نیترژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس Available P (ppm)	پتاسیم قابل دسترس Available K (ppm)	هدایت الکتریکی E.C (dS.m ⁻¹)	شاخص واکنش pH	کربن آلی Organic carbon (%)
	Clay (%)	Loam (%)	Sand (%)						
خاک مزرعه Field soil	24	52	24	.06	2.6	220	1.51	8.16	0.058
ورمی کمپوست Vermicompost	-	-	-	1.6	1.9	1.54	1.42	7.27	24.13

آب آبیاری									
Irrigation water									
شاخص واکنش pH	هدایت الکتریکی E.C (ds.m ⁻¹)	نسبت جذب سدیم S.A.R	کل مواد جامد محلول T.D.S (mg.lit ⁻¹)	یون کلر CL ⁻ (meq.lit ⁻¹)	یون بی کربنات HCO ₃ ⁻ (meq.lit ⁻¹)	یون کلسیم Ca ²⁺ (meq.lit ⁻¹)	یون منیزیم Mg ²⁺ (meq.lit ⁻¹)	یون پتاسیم K ⁺ (meq.lit ⁻¹)	یون سدیم Na ⁺ (meq.lit ⁻¹)
7.51	0.8	3.74	512	4.37	3	1.8	2.1	0.04	5.22

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پلیمرهای ابر جاذب ریز ترکیب
Table 2- Physical and chemical properties of nanocomposite superabsorbent polymers (N.S.A.P)

پلیمر ابر جاذب ریز ترکیب N.S.A.P	شکل ظاهری Appearance	حامل Career	چگالی Density (g.cm ⁻³)	شاخص واکنش pH	اندازه ذرات Particle size (µm)	حداکثر دوام Maximum durability (year)	محتوای عناصر غذایی Nutrient elements content			پتانسیل جذب آب مقطر Potential of deionized water absorption (g.g ⁻¹)	پتانسیل جذب محلول ۲٪ کلرید سدیم Potential for solution absorption of 0.2% NaCl (g.g ⁻¹)
							N (%)	P (%)	K (%)		
تراکوتم Terracottem	Granul and brown	لاوا Lava	0.8	7	63-40	8	15	10	15	450	250
بلور آب آ BolourabA	Powder and pink	زئولیت Zeolite	0.85	6.5	25-45	5	3.75	6.6	19	320	220

منبع: اطلاعات مندرج در بروشور آنالیز محصول توسط شرکت سازنده.

Source: Information provided in the product analysis brochure by the manufacturer.

خاک (Islam et al., 2011)، بهبود تخلل و افزایش تهویه (Wu et al., 2008) و تأمین عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه در محیط ریزوسفر شرایط مناسبی را برای تولید بنه‌های دختره

این نتایج نشان می‌دهد که تشکیل بنه‌های دختره به طور معنی‌داری تحت تأثیر فراهمی آب و عناصر غذایی خاک می‌باشد. پلیمر ابر جاذب با بالا بردن ظرفیت نگهداری آب در

دسترس بنه، سبب بهبود رشد رویشی و زایشی گیاه خواهد شد. چون آغازش و تکوین اندام زایشی زعفران، زیر سطح خاک بوده و گیاه تنها بخش کوچکی از رشد خود را روی سطح خاک سپری می‌کند (SabetTaimoury et al., 2010; Poggi et al., 2009).

عملکرد گل

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر تیمارها بر عملکرد گل معنی داری بوده است ($p \leq 0.01$). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱) و تأثیر تیمارها، بیشترین میانگین عملکرد گل تر تولید شده در هکتار به میزان ۲۵۰۹/۱ کیلوگرم مربوط به دور آبیاری ۳۰ روزه توسط تیمار ترکیبی بلور آب آ با ورمی کمپوست در سال سوم بوده است و کمترین میانگین تولید گل مربوط به تیمار شاهد طی هر دو سال آزمایش بوده است. به نظر می‌رسد کاربرد ابرجاذب در ترکیب با ماده آلی علاوه بر تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از طریق حفظ رطوبت خاک و تأمین دمای مناسب اطراف بنه‌ها در اواسط فصل تابستان (مردادماه) که مصادف با زمان گل‌انگیزی جوانه‌های راسی بنه هم هست، موجبات افزایش عملکرد گل نسبت به تیمار شاهد را فراهم کرده‌اند. این موضوع با نتایج پژوهش برخی از محققان مطابقت دارد. وو و همکاران (Wu et al., 2008) گزارش کردند که کاربرد ابرجاذب به دلیل افزایش ذخیره رطوبت در خاک، موجب تعدیل درجه حرارت خاک و جلوگیری از افزایش دمای بیش از حد آن طی فصل تابستان گردید. بر خلاف نیاز کودی کم زعفران، ۱۶ تا ۸۰ درصد تغییرات عملکرد گل به متغیرهای مربوط به خاک نظیر میزان ماده آلی، فسفر قابل استفاده، نیتروژن معدنی و پتاسیم تبدالی وابسته است (Behdani et al., 2005). آزاد شدن تدریجی عناصر غذایی از ترکیبات آلی در طولانی مدت، علاوه بر بهبود بافت و ساختمان خاک و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه زعفران، در نهایت منجر به تولید عملکرد بیشتر، در مزارع بیش از یک ساله خواهد شد

بیشتر مهیا نموده است. نتایج حاصله با نتایج پژوهشی تعدادی از محققین مطابقت دارد. با افزایش کاربرد ابرجاذب‌ها میزان رشد برگ‌ها و تولید بنه‌های دختری گیاه زعفران بطور معنی‌داری افزایش یافت (Khorramdel et al., 2014). کاربرد پلیمرهای ابرجاذب باعث افزایش رشد رویشی گیاه زعفران شامل افزایش تولید بنه‌های استاندارد ($W \geq 8 \text{ g}$) در نواحی نیمه خشک می‌گردد (Fallahi et al., 2016).

تعداد گل

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر تیمارها بر تعداد گل تولید شده معنی‌داری بود ($p \leq 0.01$). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول‌های ۵ و ۶) و تأثیر تیمارها، بیشترین میانگین تعداد گل تولید شده در مترمربع به میزان ۴۷۴/۲ گل مربوط به دور آبیاری ۵۰ روزه توسط تیمار ترکیبی سه گانه بلور آب آ، تراکوتم و ورمی کمپوست در سال سوم بود. همچنین کمترین میانگین تولید گل مربوط به تیمار شاهد طی هر دو سال آزمایش بود. این نتایج نشان می‌دهد که رشد رویشی گیاه شامل تولید برگ و بنه و بدنبال آن تشکیل گل به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر فراهمی آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌باشد. بنابراین کاربرد توام کود آلی ورمی کمپوست با ابرجاذب‌های تراکوتم و بلور آب آ باعث افزایش تولید گل در مقایسه با سایر تیمارها گردیده است.

کاربرد تلفیقی کود آلی با پلیمرهای ابرجاذب علاوه بر بهبود ساختمان خاک و افزایش نفوذپذیری و تخلل، با حفظ رطوبت و عناصر غذایی در خاک (Islam et al., 2011) و بهبود دسترسی به آنها برای بنه‌ها، در نهایت موجبات بهبود رشد بنه‌ها و افزایش تعداد گل را به دنبال داشت. تأمین عناصر غذایی مورد نیاز بنه می‌تواند نقش مهمی در ظهور بیشترین تعداد گل داشته باشد. به‌علاوه بنه منبع ذخیره مواد غذایی مورد نیاز جهت رشد مجدد زعفران محسوب شده لذا افزایش میزان مواد غذایی در

جدول ۳ - تجزیه واریانس خصوصیات رشد رویشی و زایشی زعفران تحت تیمارهای سال، دور آبیاری و پلیمرهای ابر جاذب ریز ترکیب
Table 3-Analysis of variance for generative and vegetative growth characteristics of saffron under year, irrigation interval and nanocomposite superabsorbent polymers treatments

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد برگ	تعداد بنه دختری	تعداد گل	عملکرد گل	عملکرد کلاله خشک
S.O.V.	df	Number of leaf	Number of daughter corm	Number of flower	Yield of flower	Yield of dry stigma
تکرار Replication	2	14.5 ^{ns}	185.5 ^{ns}	392.8 ^{ns}	15882.8 ^{ns}	1.59 ^{ns}
سال Year	1	10796.9 ^{**}	583314.1 ^{**}	1020874.5 ^{**}	26700558.7 ^{**}	3196.5 ^{**}
خطای سال Year error	2	24.9	723.6	188.5	1478.9	0.53
آبیاری Irrigation	2	202.7 ^{**}	4089.2 ^{**}	214 [*]	136386.6 ^{**}	6.21 ^{**}
سال * آبیاری Year * Irrigation	2	326.4 ^{**}	5266.6 ^{**}	3323.4 ^{**}	58676.8 ^{**}	3.23 ^{**}
خطای آبیاری Irrigation error	4	6.8	279.7	90.2	2077.5	0.74
ترکیبات آلی Organic compound †	7	277.9 ^{**}	15195.7 ^{**}	65179.3 ^{**}	2391328.9 ^{**}	263.1 ^{**}
سال * ترکیبات آلی Year * Organic compound	7	107.5 ^{**}	2491.1 ^{**}	16396.3 ^{**}	448222.9 ^{**}	53.2 ^{**}
آبیاری * ترکیبات آلی Irrigation * Organic compound	14	21.7 ^{**}	2624 ^{**}	2208.4 ^{**}	55012.1 ^{**}	3.54 ^{**}
سال * آبیاری * ترکیبات آلی Year * Irrigation * Organic compound	14	26.6 ^{**}	2521.1 ^{**}	948.6 ^{**}	25359.7 ^{**}	2.68 ^{**}
خطای فرعی Sub error	88	2.4	643.4	80.2	1458.6	0.49
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	6.9	13.2	2.9	2.6	4.9

- ns, * and ** are no significant and significant in probability levels 5 and 1 percent respectively.

- ns, * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪

† include: vermicompost + terracottem + bolourab a.

شامل: ورمی کمپوست + تراکوتتم + بلور آب آ.

عملکرد کلاله خشک

در هکتار مربوط به دور آبیاری ۳۰ روزه توسط تیمار ترکیبی بلور آب آ با ورمی کمپوست در سال سوم بود و کمترین میانگین تولید کلاله خشک مربوط به تیمار شاهد طی هر دو سال آزمایش بوده است. یکسان بودن تیمار مؤثر بر عملکرد کلاله خشک با

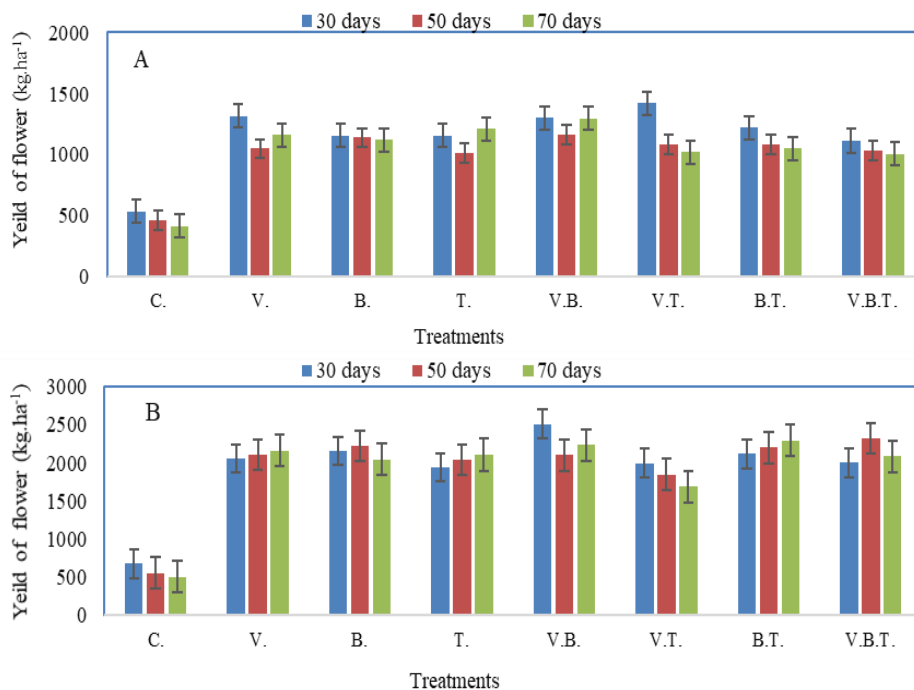
نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می دهد که اثر تیمارها بر عملکرد کلاله خشک معنی داری بود ($p \leq 0.01$). بر اساس نتایج مقایسه میانگینها (شکل ۲) و تأثیر تیمارها، بیشترین میانگین عملکرد کلاله خشک تولید شده به مقدار ۲۴/۸ کیلوگرم

رگرسیون خصوصیات خاک با وزن خشک بنه، تعداد گل، وزن تر گل و وزن خشک کلاله زعفران به ترتیب برابر با ۰/۸۴، ۰/۸۷/۹۰ و ۰/۸۹ محاسبه گردید (Rezvani Moghaddam et al., 2015).

خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2014) گزارش کردند که افزایش کاربرد سطوح پلیمر ابر جاذب از صفر تا ۰/۸٪ وزنی بر اساس وزن خاک خشک باعث افزایش رشد رویشی و بهبود ۲۶۱ درصدی عملکرد کلاله زعفران شد. درصد بالایی از تغییرات عملکرد کلاله زعفران به طور معنی‌داری متأثر از خصوصیات بیولوژیکی و شیمیایی خاک می‌باشد (Temperini et al., 2009).

عملکرد گل نشان از این واقعیت دارد که عملکرد کلاله خشک نیز تابعی از عملکرد گل است. همچنین تأثیرگذاری مستقیم ماده آلی تلفیق شده با پلیمر ابر جاذب بر افزایش تعداد و وزن گل و در نهایت افزایش وزن کلاله خشک از طریق افزایش محتوی رطوبتی و بهبود جذب عناصر مغذی ضروری و ریز مغذی در ناحیه ریزوسفر خاک را نشان می‌دهد. مشاهدات سایر پژوهشگران بر این موضوع تأکید دارد.

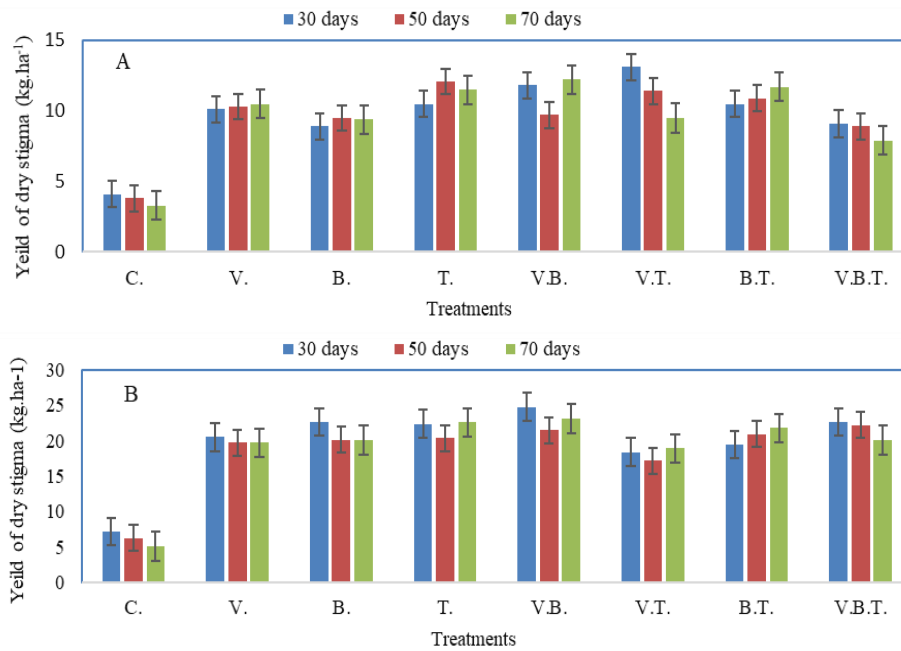
مهم‌ترین عوامل شیمیایی خاک مؤثر بر وزن خشک کلاله زعفران بر اساس آنالیز رگرسیون گام به گام شامل محتوی پتاسیم قابل دسترس، فسفر قابل دسترس، هدایت الکتریکی و نیتروژن کل می‌باشند. همچنین ضرایب همبستگی مدل‌های



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و تغذیه روی عملکرد گل زعفران در سال دوم (آ) و سوم (ب)

Figure 1- Mean comparison for interaction effects of irrigation intervals and nutrition on flower yield of saffron in the first (A) and the second (B) year.

(C.: Control شاهد, V.:Vermicompost ورمی کمپوست, B.: Bolourab A بلور آب, T.: Terracottem تراکوتم)



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و تغذیه روی عملکرد کلاله خشک زعفران در سال دوم (آ) و سوم (ب)
 Figure 2- Mean comparison for interaction effects of irrigation intervals and nutrition on dry stigma yield of saffron in the first (A) and the second (B) year.

(C.: Control شاهد, V.: Vermicompost ورمی کمپوست, B.: Bolourab A بلور آب, T.: Terracottem تراکوتم)

جاذبها به سبب تأثیر بر فراهمی رطوبت و عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه (فسفر و پتاسیم)، تولید مواد هورمونی و ویتامینهای محلول در آب در اثر بهبود شرایط محیطی ریز موجودات مفید خاک و تولید ترکیبات اولیه مؤثر در بیوسنتز گلوکوزیدها و تجزیه آنها به متابولیتهای ثانویه ممکن است بر عملکرد کیفی زعفران تأثیر گذاشته باشد.

نتایج تحقیقات برخی پژوهشگران به شرح زیر این موضوع را تأیید می کند. میزان مواد مؤثره موجود در گیاهان دارویی به شرایط آب و هوایی، روشهای زراعی، مدیریت آبیاری و همچنین تغذیه کودی بستگی دارد، بنابراین بهبود عملکرد کمی و کیفی می تواند توسط هر یک از این عوامل حاصل گردد (Kuntal et al., 2007). ساخت ترپنوئیدها نیاز به ترکیبات سفردار (ATP و NADPH) دارد لیکن جهت تأمین انرژی لازم برای چرخه های آن، به نیتروژن وابسته است (Loomis & corteau, 1972).

عملکرد مواد مؤثره (کروسین، پیکروکروسینوسافرانال) ارزش زعفران (کلاله خشک) به علت وجود سه متابولیت ثانویه اصلی و مشتقات آن می باشد. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) حاکی از تأثیر برخی تیمارها بر عملکرد مواد مؤثره بوده است ($p \leq 0.01$). بر اساس نتایج مقایسه میانگینها (جداول ۵ و ۶) و تأثیر تیمارها، بیشترین میانگین عملکرد کروسین تولید شده به مقدار ۱۳/۷ درصد مربوط به دور آبیاری ۳۰ روزه توسط تیمار ترکیبی بلور آب با ورمی کمپوست، بیشترین میانگین تولید پیکروکروسین به میزان ۶/۸ درصد در دور آبیاری ۷۰ روزه و تیمار ترکیبی بلور آب با ورمی کمپوست به دست آمد. در حالیکه بالاترین میزان سافرانال به مقدار ۲/۹ درصد در دور آبیاری ۳۰ روزه توسط تیمار ترکیبی سه گانه بلور آب، تراکوتم و ورمی کمپوست در سال سوم حاصل شد. کمترین میانگین تولید مواد مؤثره مربوط به تیمار شاهد طی سالهای آزمایش بود. اثر تلفیقی ترکیبات آلی شامل ورمی کمپوست و ابر

جدول ۴ - تجزیه واریانس خصوصیات کمی و کیفی زعفران تحت تیمارهای سال، دور آبیاری و پلیمرهای ابر جاذب ریز ترکیب
 Table 4 - Analysis of variance for quantitative and qualitative characteristics of saffron under year, irrigation interval and nanocomposite superabsorbent polymers treatments

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	کروسین Crocin	پیکروکروسین Picrocrocin	سافراناال Safranal	کارایی آب مصرفی Water use efficiency
تکرار Replication	2	4.37 ^{ns}	0.87 ^{ns}	0.39 [*]	0.00000009 ^{ns}
سال Year	1	9.1 [*]	0.0003 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.00025202 ^{**}
خطای سال Year error	2	0.55	0.08	0.001	0.00000006
آبیاری Irrigation	2	0.32 ^{ns}	0.56 ^{**}	0.58 ^{**}	0.00014147 ^{**}
سال * آبیاری Year * Irrigation	2	0.22 ^{ns}	0.0184 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.00001573 ^{**}
خطای آبیاری Irrigation error	4	0.47	0.011	0.08	0.00000007
ترکیبات آلی Organic compound†	7	0.34 ^{**}	14.22 ^{**}	2.91 ^{**}	0.00002146 ^{**}
سال * ترکیبات آلی Year * Organic compound	7	1.22 ^{**}	0.49 [*]	0.008 ^{ns}	0.00000197 ^{**}
آبیاری * ترکیبات آلی Irrigation * Organic compound	14	0.48 [*]	0.15 ^{**}	0.064 [*]	0.00000398 ^{**}
سال * آبیاری * ترکیبات آلی Year * Irrigation * Organic compound	14	0.21 ^{ns}	0.037 [*]	0.005 ^{ns}	0.00000035 ^{**}
خطای فرعی Sub error	88	0.19	0.062	0.03	0.00000005
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	3.6	4	7.2	5.5

- ns, * and ** are not significant and significant in probability levels 5 and 1 percent respectively.

- ns, * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

- † include: vermicompost + terracottem + bolourab a.

- شامل: ورمی کمپوست + تراکوتتم + بلور آب آ.

باکتری‌های محرک رشد گزارش کردند (Rasouli et al., 2015). بیشترین میزان مواد مؤثره شامل پیکروکروسین (طعم)، کروسین (رنگ) و سافراناال (عطر) در تیمارهای تلفیقی با کود آلی و کمترین مقدار در تیمار شاهد به دست آمد (Esmaili et al., 2013). نتایج آزمایش حیدری و همکاران (Heidari et al., 2014) و تحقیق حاضر بیانگر این حقیقت است که در گل‌های بزرگ‌تر و با کلاله‌های سنگین‌تر زعفران، چنین انتظار می‌رود

به خاطر استفاده از مواد آلی، میزان قند و کربن در گیاه افزایش می‌یابد، لذا قند اضافی که در گیاه تولید می‌شود، در ساختمان متابولیت‌های ثانویه و مواد مؤثره استفاده می‌شود که در نهایت باعث افزایش میزان این ترکیبات در گیاه می‌شود (Tour et al., 2006). برخی از پژوهشگران افزایش درصد کروسین، پیکروکروسین و سافراناال را در نتیجه استفاده از نیمی از مقادیر کود شیمیایی و نیم دیگر ورمی کمپوست و

عملکرد رشد زایشی، موجب افزایش کارایی آب مصرفی شود. عابدینی و عابدی کویایی (Abedini & Abedi-Koupai, 2016) نیز تأثیر مثبت کاربرد هیدروژل آکوازوربراروی افزایش کارایی مصرف آب در گیاه زعفران گزارش کردند. فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2016) در آزمایشی نشان دادند که کارایی مصرف آب در بنه‌های دختره زعفران، در اثر کاربرد پلیمر ابرجاذب (6.1 kg.m^{-3}) برتر از تیمار شاهد (4.34 kg.m^{-3}) در سال دوم آزمایش بود. عابدی کویایی و مسفروش (Abedi-Koupai & Mesforoush, 2009) با کاربرد پلیمر ابر جاذب سوپر آ ۲۰۰ بر روی شاخص‌های رشدی خیار گلخانه‌ای گزارش کردند که استفاده از ۴ گرم هیدروژل در کیلوگرم خاک خشک در شرایط ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه موجب تولید بیشترین عملکرد، کارایی مصرف آب، کود و کیفیت محصول شد. با افزایش تنش خشکی و کاهش میزان آب قابل دسترس، تأثیر هیدروژل‌های ابر جاذب بر افزایش عملکرد، افزایش یافت. بنابراین اثر پلیمرهای ابر جاذب در سطوح پایین تر رطوبت محسوس تر است (Koohestani et al., 2009).

نتیجه‌گیری

زعفران نیز مانند سایر گیاهان جهت استفاده بهینه از پنانسیل محیط، رسیدن به عملکرد بالا و افزایش طول دوره بهره برداری مزارع، نیاز به اعمال مدیریت مناسب زراعی و مطابق با فن‌آوری‌های جدید دارد. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از پلیمرهای ابرجاذب ریز ترکیب به صورت تلفیقی با کود آلی ورمی کمپوست از طریق بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک و با به تاخیر انداختن تنش رطوبتی در گیاه و فراهم کردن یک حالت بافوری در برابر از دست رفتن رطوبت در طول زمان بین دو آبیاری، مؤثر بوده و از طریق افزایش راندمان آبیاری موجب کاهش نیاز آبی گیاه می‌گردند.

که میزان ترکیبات کیفی شامل کروسین، پیکروکروسین و سافرانال کمتری تولید شود، زیرا با فراهمی رطوبت و عناصر غذایی، سرعت و میزان رشد گیاه افزایش می‌یابد، لیکن افزایش تولید مواد مؤثره تا غلظت معینی میسر است، به طوری که ممکن است سرعت رشد بیشتر از سرعت و میزان ساخت متابولیت ثانویه بوده و سبب کاهش غلظت آن در کلاله شود. ولی با مشاهده تأثیر نوع تیمارها روی عملکرد کمی و تولید مواد مؤثره زعفران می‌توان نتیجه گرفت که اگر عامل یا عواملی منجر به ارتقاء عملکرد یک یا چند صفت شود، ممکن است بر افزایش عملکرد سایر مواد مانند متابولیت‌های ثانویه هم مؤثر باشد. البته این نتایج نیاز به مطالعات جامع و دقیق‌تری جهت درک بیشتر روابط موجود بین خصوصیات کمی و کیفی گیاه زعفران دارد.

کارایی آب مصرفی

آن چه را که به عنوان ارزش در تولید محصول بسیار دارای اهمیت است مقدار تولید به ازای میزان آب مصرف شده می‌باشد که تحت عنوان کارایی آب مصرفی شناخته می‌شود. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) حاکی از تأثیر همه تیمارها بر کارایی آب مصرفی بوده است ($p \leq 0.01$). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵ و ۶) و تأثیر تیمارها، بیشترین میانگین کارایی به مقدار 0.096 کیلوگرم بر مترمکعب مربوط به دور آبیاری ۷۰ روزه توسط تیمار ترکیبی بلور آب آ با ورمی کمپوست در سال سوم و کمترین میزان مربوط به دور آبیاری ۳۰ روزه طی هر دو سال آزمایش بود. بطور کلی کم آبیاری یک استراتژی برای تولید بهینه محصول، تحت شرایط کمبود آب که همواره باعث کاهش محصول می‌شود، بوده و هدف اصلی آن افزایش کارایی مصرف آب است.

طبق نتایج آزمایش، کاربرد تیمار تلفیقی ورمی کمپوست با بلور آب آ، در شرایط تنش بر اثر افزایش فواصل آبیاری، قادر بوده با جذب رطوبت بیشتر از میزان تنش کاسته و با بهبود

جدول ۵- مقایسه میانگین بر همکنش اثرات تیمارها روی صفات کمی و کیفی زعفران در سال اول (۹۵-۱۳۹۴)
 Table 5- Mean comparison for interaction effects of treatments on quantitative and qualitative traits of saffron in the first year (2015-16)

تیمارها Treatments	سال ترکیبات آلی دور آبیاری Year irrigation organic interval compound	تعداد برگ در کلونی Number of leaf (no.clony)	تعداد بنه دختری Number of daughter corm (no.m ²)	تعداد گل Number of flower (no.m ²)	کروسین Crocine (%)	پیکروکروسین Picrocrocin (%)	سافرانال Safranal (%)	کارایی آب مصرفی Water use efficiency (kg.m ⁻³)	
۳۰ روزه 30 days	شاهد Control	10.2 ^t	8.8 ^h	155.8 ^s	8.8 ^h	4.5 ^g	1.5 ^d	0.0007 ^z	
	ورمی کمپوست Vermicompost	12.5 ^{rst}	12.9 ^{a-f}	247.4 ^{kl}	12.9 ^{a-f}	6.6 ^{ab}	2.6 ^{ab}	0.0017 ^{u-z}	
	بلور آب آ Bolourab A	13.3 ^{q-t}	12.2 ^{e-f}	221.9 ^{mno}	12.2 ^{e-f}	6.6 ^{ab}	2.7 ^{ab}	0.0016 ^{vwx}	
	تراکوتتم Terracottem	14 ^{q-t}	12.4 ^{b-f}	242.4 ^{klm}	12.4 ^{b-f}	6.5 ^{abc}	2.5 ^{abc}	0.0018 ^{t-w}	
	ورمی کمپوست + بلور آب آ Vermi.+Bolour.	15.5 ^{o-s}	12.6 ^{a-f}	225.3 ^{l-o}	12.6 ^{a-f}	6.5 ^{abc}	2.6 ^b	0.0022 ^{s-v}	
	ورمی کمپوست + تراکوتتم Vermi.+Terraco	16.4 ^{o-r}	13 ^{a-f}	280.1 ^j	13 ^{a-f}	6.6 ^{ab}	2.5 ^{abc}	0.0021 ^{s-v}	
	بلور آب آ + تراکوتتم Bolour.+Terraco.	18.6 ^{nop}	12.5 ^{a-f}	249.1 ^k	12.5 ^{a-f}	6.2 ^{a-f}	2.4 ^{abc}	0.0019 ^{t-w}	
	ورمی کمپوست + بلور آب آ + تراکوتتم Vermi.+Bolour.+ Terraco.	12.3 ^{rst}	12.2 ^{e-f}	220.5 ^{mno}	12.2 ^{e-f}	6.4 ^{a-d}	2.8 ^{ab}	0.0016 ^{vwx}	
	۵۰ روزه 50 days	شاهد Control	10.3 ^t	9.1 ^h	120.5 ^t	9.1 ^h	3.8 ^{hi}	1.4 ^d	0.0010 ^{yz}
		ورمی کمپوست Vermicompost	11.5 st	12.3 ^{c-f}	213.9 ^o	12.3 ^{c-f}	5.8 ^{def}	2.5 ^{abc}	0.0025 ^{p-s}
بلور آب آ Bolourab A		13.9 ^{q-t}	12.3 ^{c-f}	222 ^{mno}	12.3 ^{c-f}	6.5 ^{abc}	2.6 ^b	0.0023 ^{q-t}	
تراکوتتم Terracottem		12.1 ^{rst}	12.2 ^{e-f}	209.6 ^{op}	12.2 ^{e-f}	6.6 ^{ab}	2.5 ^{abc}	0.0030 ^{nop}	
ورمی کمپوست + بلور آب آ Vermi.+Bolour.		12.4 ^{rst}	13.1 ^{a-f}	237.2 ^{k-n}	13.1 ^{a-f}	6.5 ^{abc}	2.6 ^b	0.0024 ^{q-t}	
ورمی کمپوست + تراکوتتم Vermi.+Terraco		13.7 ^{q-t}	12.3 ^{c-f}	240 ^{k-n}	12.3 ^{c-f}	6.1 ^{b-f}	2.8 ^{ab}	0.0028 ^{opq}	
بلور آب آ + تراکوتتم Bolour.+Terraco.		17.7 ^{n-q}	12.7 ^{a-f}	225.8 ^{l-o}	12.7 ^{a-f}	6.5 ^{abc}	2.4 ^{abc}	0.0027 ^{pqr}	
ورمی کمپوست + بلور آب آ + تراکوتتم Vermi.+Bolour.+ Terraco.		14.5 ^{o-t}	12.5 ^{a-f}	226.9 ^{l-o}	12.5 ^{a-f}	6.5 ^{abc}	2.6 ^b	0.0024 ^{r-u}	
۷۰ روزه 70 days		شاهد Control	10.4 ^t	10.2 ^g	128.3 ^t	10.2 ^g	3.9 ^{gh}	1.3 ^d	0.0015 ^{vwx}
		ورمی کمپوست Vermicompost	15 ^{o-s}	12.3 ^{c-f}	238.4 ^{k-n}	12.3 ^{c-f}	6.6 ^{ab}	2.5 ^{abc}	0.0044 ^{hij}
	بلور آب آ Bolourab A	14.3 ^{p-t}	12 ^f	219 ^{no}	12 ^f	5.9 ^{def}	2.3 ^{bc}	0.0042 ^{ij}	
	تراکوتتم Terracottem	13.5 ^{q-t}	12.2 ^{e-f}	246.8 ^{kl}	12.2 ^{e-f}	6.4 ^{a-d}	2.5 ^{abc}	0.0047 ^{f-i}	
	ورمی کمپوست + بلور آب آ Vermi.+Bolour.	14.5 ^{o-t}	12.2 ^{e-f}	256.6 ^k	12.2 ^{e-f}	6.5 ^{abc}	2.4 ^{abc}	0.0050 ^{def}	
	ورمی کمپوست + تراکوتتم Vermi.+Terraco	16.3 ^{n-r}	12.3 ^{c-f}	205.7 ^{opq}	12.3 ^{c-f}	6.6 ^{ab}	2.3 ^{bc}	0.0043 ^{ij}	
	بلور آب آ + تراکوتتم Bolour.+Terraco.	18.7 ^{no}	12.6 ^{a-f}	214.2 ^o	12.6 ^{a-f}	6.5 ^{abc}	2.5 ^{abc}	0.0048 ^{e-h}	
	ورمی کمپوست + بلور آب آ + تراکوتتم Vermi.+Bolour.+ Terraco.	11.7 st	13.3 ^{a-f}	192.2 ^{pqr}	13.3 ^{a-f}	6.6 ^{ab}	2.4 ^{abc}	0.0042 ^{ij}	

- Common letters in every column be indicative not significantly different according to Duncan's test in (P ≤ 0.01).

- حروف مشترک در هر ستون حاکی از عدم وجود اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد است.

جدول ۶- مقایسه میانگین بر همکنش اثرات تیمارها روی صفات کمی و کیفی زعفران در سال دوم (۹۶-۱۳۹۵)

Table 6- Mean comparison for interaction effects of treatments on quantitative and qualitative traits of saffron in the second year (2016-17)

تیمارها Treatments	سال ترکیبات آلی Year irrigation organic interval compound	تعداد برگ در کلونی Number of leaf (no.clony)	تعداد بنه دختری Number of doughter corm (no.m ²)	تعداد گل Number of flower (no.m ²)	کروسین Crocine (%)	پیکروکروسین Picrocrocin (%)	سافراناال Safranal (%)	کارایی آب مصرفی Water use efficiency (kg.m ⁻³)	
۳۰ روزه 30 days	شاهد Control	15.8 ^{n-s}	8.9 ^h	185.7 ^{qr}	8.9 ^h	4.2 ^{gh}	1.4 ^d	0.0012 ^{xy}	
	ورمی کمپوست Vermicompost	29.8 ^{h-k}	13.4 ^{a-e}	399 ^{fg}	13.4 ^{a-e}	6.8 ^{ab}	2.5 ^{abc}	0.0037 ^{klm}	
	بلور آ Bolourab A	32.7 ^{ghi}	12.9 ^{a-f}	401.8 ^{fg}	12.9 ^{a-f}	6.6 ^{ab}	2.7 ^{ab}	0.0040 ^{jk}	
	تراکوتتم Terracottem	26.1 ^{kl}	13.4 ^{a-e}	390.3 ^{gh}	13.4 ^{a-e}	6.5 ^{abc}	2.5 ^{abc}	0.0039 ^{ikl}	
	ورمی کمپوست + بلور آ Vermi.+Bolour.	38.2 ^{b-e}	13.6 ^{abc}	430.4 ^{cde}	13.6 ^{abc}	6.8 ^{ab}	2.6 ^{ab}	0.0040 ^{jk}	
	ورمی کمپوست + تراکوتتم Vermi.+Terraco	27 ^{jkl}	13.7 ^a	401.9 ^{fg}	13.7 ^a	6.6 ^{ab}	2.6 ^{ab}	0.0033 ^{mno}	
	بلور آ + تراکوتتم Bolour.+Terraco.	29.5 ^{h-k}	13 ^{a-f}	426.4 ^{de}	13 ^{a-f}	6.3 ^{a-e}	2.5 ^{abc}	0.0035 ^{lmn}	
	ورمی کمپوست + بلور آ + تراکوتتم Vermi.+Bolour.+ Terraco.	35 ^{efg}	13.3 ^{a-e}	400.9 ^{fg}	13.3 ^{a-e}	6.4 ^{a-d}	2.9 ^a	0.0040 ^{jk}	
	۵۰ روزه 50 days	شاهد Control	19.9 ^{mn}	8.3 ^h	172.6 ^{rs}	8.3 ^h	3.8 ^{hi}	1.4 ^d	0.0015 ^{wxy}
		ورمی کمپوست Vermicompost	37 ^{c-f}	12.9 ^{a-f}	415.4 ^{ef}	12.9 ^{a-f}	5.6 ^f	2.6 ^{abc}	0.0049 ^{efg}
بلور آ Bolourab A		33.2 ^{fgk}	12.6 ^{a-f}	417.3 ^{def}	12.6 ^{a-f}	6.5 ^{abc}	2.6 ^{ab}	0.0050 ^{def}	
تراکوتتم Terracottem		42.2 ^{ab}	12.9 ^{a-f}	432.6 ^{cde}	12.9 ^{a-f}	6.6 ^{ab}	2.5 ^{abc}	0.0051 ^{def}	
ورمی کمپوست + بلور آ Vermi.+Bolour.		40.6 ^{abc}	13.6 ^{abc}	415.9 ^{ef}	13.6 ^{abc}	6.5 ^{abc}	2.7 ^{ab}	0.0054 ^{de}	
ورمی کمپوست + تراکوتتم Vermi.+Terraco		43.9 ^a	12.9 ^{a-f}	333.5 ⁱ	12.9 ^{a-f}	6.2 ^{a-f}	2.8 ^{ab}	0.0044 ^{hig}	
بلور آ + تراکوتتم Bolour.+Terraco.		39.5 ^{bcd}	13.3 ^{a-e}	467.4 ^{ab}	13.3 ^{a-e}	6.6 ^{ab}	2.4 ^{abc}	0.0053 ^{def}	
ورمی کمپوست + بلور آ + تراکوتتم Vermi.+Bolour.+ Terraco.		35.8 ^{d-g}	13.1 ^{a-f}	474.2 ^a	13.1 ^{a-f}	6.5 ^{abc}	2.6 ^{abc}	0.0055 ^d	
۷۰ روزه 70 days		شاهد Control	15.5 ^{o-s}	8.6 ^h	180.6 ^r	8.6 ^h	3.3 ⁱ	1.3 ^d	0.0022 ^{q-t}
		ورمی کمپوست Vermicompost	30.8 ^{hij}	12.9 ^{a-f}	428.3 ^{de}	12.9 ^{a-f}	6.6 ^{ab}	2.4 ^{abc}	0.0082 ^c
	بلور آ Bolourab A	26.9 ^{ikl}	12.8 ^{a-f}	374.5 ^h	12.8 ^{a-f}	5.8 ^{ef}	2.3 ^{bc}	0.0084 ^c	
	تراکوتتم Terracottem	28.9 ^{ijk}	12.9 ^{a-f}	451.1 ^{bc}	12.9 ^{a-f}	6.4 ^{a-d}	2.5 ^{abc}	0.0094 ^{ab}	
	ورمی کمپوست + بلور آ Vermi.+Bolour.	35.5 ^{d-g}	13.4 ^{a-e}	434.9 ^{cde}	13.4 ^{a-e}	6.8 ^a	2.4 ^{abc}	0.0096 ^a	
	ورمی کمپوست + تراکوتتم Vermi.+Terraco	28.4 ^{jk}	12.9 ^{a-f}	338.3 ⁱ	12.9 ^{a-f}	6.6 ^{ab}	2.3 ^{bc}	0.0079 ^c	
	بلور آ + تراکوتتم Bolour.+Terraco.	33.3 ^{fgh}	13.4 ^{a-e}	469.4 ^{ab}	13.4 ^{a-e}	6.5 ^{abc}	2.3 ^{bc}	0.0091 ^b	
	ورمی کمپوست + بلور آ + تراکوتتم Vermi.+Bolour.+ Terraco.	23.2 ^{i-m}	13.5 ^{a-d}	439 ^{cd}	13.5 ^{a-d}	6.6 ^{ab}	2.4 ^{abc}	0.0084 ^c	

- Common letters in every column be indicative not significantly different according to Duncan's test in (P ≤ 0.01).

- حروف مشترک در هر ستون حاکی از عدم وجود اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد است.

دنبال داشته است. در مجموع و با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی، کاربرد کود آلی ورمی کمپوست (۶۰۰۰ کیلو گرم در هکتار) با پلیمر ابر جاذب بلور آب آ (۶۰۰ کیلوگرم در هکتار) بصورت ترکیبی، در موقع کاشت بنه‌ها و با اعمال دور آبیاری متوسط ۵۰ روزه در طول دوره رشد گیاه زعفران، می‌تواند باعث افزایش کارایی آب مصرفی و بهبود عملکرد رشد رویشی و زایشی گیاه گردد.

که این موضوع در مناطق خشک و نیمه خشک و مواجهه با محدودیت منابع آبی مانند مناطق کاشت زعفران در ایران، از اهمیت زیادی برخوردار است. کاربرد مواد اصلاح کننده خاک باعث بهبود تهویه، افزایش تخلخل، جلوگیری از آب شویی، حفظ و تأمین عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه، افزایش ضریب نفوذ پذیری و از طریق تعدیل دمای خاک، باعث ایجاد شرایط مطلوبتری برای رشد و نمو گیاه شده که این امر افزایش شاخص‌های رشد زایشی شامل تولید گل و عملکرد کلاله را به

References

- Abedini, A., and Abedi-Koupai, J. 2016. The effect of application of three types of superabsorbent polymers on production performance and saffron (*Crocus sativus* L.) growth indices and water use utilization. 2th Iranian National Congress on Irrigation and Drainage. Esfahan Industrial University, Iran, 24-26 August 2016. (In Persian).
- Abedi-Koupai, J., and Mesforoush, M. 2009. Evaluation of application of superabsorbent polymer on yield, water use efficiency, storage of nutrients in greenhouse cucumber. Journal irrigation and drainage of Iran 2 (3): 100-111. (In Persian).
- Behdani, M.A., Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., and Rezvani Moghaddam, P. 2005. Evaluation of quantitative relationships between saffron yield and nutrition (on farm trial). Iranian Journal of Field Crop Research 3 (1): 1-14. (In Persian with English Summary).
- Esmaili, V., Moradi, P., and Ansari, K.H. 2013. Changes amount of picrocrocin, crocin and safranal in saffron (*Crocus sativus* L.) under affective kind of vermicompost and bio-fertilizers. 2th Iranian Congress Saffron. Torbate-hydarieh, Iran. 28 October 2013. (In Persian).
- Fallahi, H.R., Zamani, G.H., Mehrabani, M., Aghhavan-Shajari, M., and Samadzadeh, A. 2016. Influence of superabsorbent polymer rates on growth of saffron (*Crocus sativus* L.) replacement corms. Journal of Crop Science Biotechnology 19 (J): 77-84.
- Ghasemi, M., and Khoshkhoui, M. 2007. Effects of superabsorbent polymer on irrigation interval and growth and development of Chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* KITAM). Journal Science and Technology Horticulture of Iran 8 (2): 65-82.
- Heidari, Z., Besharati, H., and Maleki Farahani, S. 2014. Effect of some chemical fertilizer and bio-fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of Saffron. Saffron Agronomy and Technology 2 (3): 177-189. (In Persian with English Summary).
- Islam, M.R., Xue, X., Mao, S., Ren, C., Eneji, A.E. 2011. Effects of water-saving superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in oat (*Avena sativa* L.) Under drought stress. Journal Science Food Agriculture 91: 680-686.
- Kafi, M., Rashed-Mohassel, M.H., Koocheki, A., and Mollafilabi, A. 2006. Saffron, Production and Processing. Ferdowsi University of

- Mashhad Press, Iran. (In Persian).
- Khorramdel, S., Gheshm, R., Amin Ghafari, A., and Esmaelpour, B. 2014. Evaluation of soil texture and superabsorbent polymer impacts on agronomical characteristics and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal Saffron Researches 1: 120-135. (In Persian with English Summary).
- Koocheki, A., and Sabet Taimouri, M. 2014. Effect of farm's age, corm weight, and manure on the yield of corm and stigma of saffron (*Crocus sativus* L.) in Mashhad conditions. Journal Agronomy 105: 148-157. (In Persian).
- Koohestani, S., Askari, N., and Maghsoudi, K. 2009. Assesment effects of superabsorbent hydrogels on corn yield (*Zea mays* L.) under drought stress conditions. Iran. Water Research Journal 5: 71-78. (In Persian with English Summary).
- Kumar, R., Singh, V., Devi, K., Sharma, M., Singh, M.K., and Ahuja, P.S. 2009. State of art of saffron (*Crocus sativus* L.) agronomy: A comprehensive review. Food Reviews International 25: 44-85.
- Kuntal, D., Raman, D., Thippenahalli, N.S., and Sekeroglu, N. 2007. Influence of bio-fertilizers on the biomass yield and nutrient content in *Stevia rebaudiana*. Journal of Medicinal Plants Research 1 (1): 5-8.
- Loomis, W.D., and Corteau, R. 1972. Essential oil biosynthesis. Journal of Recent Advance in Phytochemistry 6: 147-185.
- Lozano, P., Castellar, M., Simancas, M., and Iborra, L. 1999. Quantitative high-performance liquid chromatographic method to analyze commercial saffron (*Crocus sativus* L.) products. Journal of Chromatogramphy 830: 477-483.
- Mohammadpour, J., Ghodsi, M.R., and Esmi, A.R. 2013. Evaluation of effects irrigation interval and different fertilizers on some morphological traits and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). 2th Iranian Congress Saffron. Torbate-hydarieh, Iran. 28 October 2013. (In Persian).
- Poggi, L.M., Portela, J.A., Pontin, M.A., and Molina, R.V. 2009. Corm size and incubation effects on time to flowering and threads yield and quality, in saffron production in Argentina. 3th International Symposium on Saffron Biology and Technology, Kosani, Greece. pp, 51.
- Rasouli, Z., MalekiFarahani, S., and Besharati, H. 2015. Some vegetative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by various fertilizers. Iranian Journal of Soil Research 27: 35-36. (In Persian with English Summary).
- Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., and Filabi, A. 2015. Evaluation of soil physical and chemical characteristics impacts on morphological criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Saffron Research 3 (2): 188-203. (In Persian with English Summary).
- Sabet Taimouri, M., Kafi, M., Orsagi, Z., and Orougi, K. 2010. The effect of drought stress, corm tunic and size on morpho-ecophysiological characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) in the greenhouse conditions. Journal of Agroecology 2 (2): 323-334.
- Sadeghi, B., Hossieni, M., Masrouri, M., and Mollafilabi, A. 2014. The effect of nutrition on corm-bed for enlargement of saffron corms. Research Project of Institute of Food Science and Technology, Khorasan Razavi, Iran. 23p. (In Persian).
- Sharif, M., Khattak, R.A., and Sarir, M.S. 2002. Effect of different levels of lignitic coal driven humic acid on growth of maize plants. Communication in Soil Science and Plant Analysis 33: 3567-3580.
- Temperini, O., Rea, R., Temperini, A., Colla, G., and Roupael, Y. 2009. Evaluation of saffron (*Crocus sativus* L.) production in Italy: Effects of the age of saffron fields and plant density. Journal of Food, Agriculture and Environment 7 (1): 19-23.

- Tour, R.K., Geoffrey, P., and Savagea, A.H. 2006. Influence of different types of fertilizers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 20-27.
- Wu, L., Liu, M.Z., and Liang, R. 2008. Preparation and properties of a double-coated slow-release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water-retention. *Bioresource Technology* 99: 547-554.

Assessing the Effects of Irrigation Management on Economic Yield and Production of Active Ingredients of Saffron Medicinal Plant (*Crocus sativus* L.) by Application of Organic Fertilizer and Nanocomposite Superabsorbent Polymers

Amin Ramezani¹, Hossein Aroiee^{2*}, Majid Azizi³ and Ahmad Ahmadian⁴

Submitted: 12 June 2018

Accepted: 4 February 2019

Ramezani, A., Aroiee, H., Azizi, M., and Ahmadian, A. 2020. Assessing the Effects of Irrigation Management on Economic Yield and Production of Active Ingredients of Saffron Medicinal Plant (*Crocus sativus* L.) by Application of Organic Fertilizer and Nanocomposite Superabsorbent Polymers, Saffron Agronomy & Technology, 8(1): 3-18.

Abstract

A split-plot experiment including three irrigation intervals of 30, 50 and 70 days as main plots and three factors of vermicompost, Terracottem and Bolourab A, as well as control, as sub plots was carried out for three years (2014-2017) at the Saffron Research Institute, Torbate Heydarieh University in order to find and recommend a method for improving vegetative and reproductive traits and economic yield of saffron using organic compounds of soil amendment. The results showed that the effects of treatments on all quantitative and qualitative traits, were significant ($p < 0.01$). The highest leaf number (43.9 leaves in colony) and daughter corm (346.7 m²) were obtained in the treatment of 50-day irrigation intervals and combined use of vermicompost, Terracottem and Bolourab A. Moreover, the highest average yield of reproductive growth including flower number (474.2 m²) was observed in the treatment of 50-day irrigation interval and combined application of Bolourab A, vermicompost and Terracottem, and fresh flower yield (2509.2 kg.ha⁻¹). Moreover, economic yield of dry stigma (24.8 kg.ha⁻¹) in the treatment of 30-day irrigation intervals and combined use of Bolourab A and vermicompost in the third year. The highest yield of crocin (13.7%) and picrocrocin (6.7%) active ingredients were obtained at irrigation intervals of 30 and 70 days, respectively, with combined application of vermicompost and Bolourab A. The highest content of safranal (2.9%) active ingredient was obtained in the treatment of 30-day irrigation and combined application of vermicompost, Bolourab A, and Terracottem in the third year. The highest water use efficiency of 0.0096 kg.m⁻³ was related to the treatment of 70-day irrigation intervals and combined use of Bolourab A and vermicompost in the third year. The lowest yield in all of the studied traits was observed in the control treatment. Generally, soil amendment organic compounds can be used in combination with 50-day irrigation interval to increase the efficiency of existing water resources and improve qualitative and quantitative yield of saffron plant in semi-arid regions.

Keywords: Bolourab A, Crocin, Picrocrocin, Safranal, Terracottem, Vermicompost.

1- Ph.D, Department of Horticultural Sciences, International Pardis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2- Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

3- Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

4- Assistant Professor, Department of plant Production, University of Torbat Heydarieh, Iran

(*- Corresponding author. Email: aroiee@um.ac.ir)

DOI: 10.22048/jsat.2019.135749.1304