Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 6, No. 1, PP. 52-60, Spring 2021
DOI: 10.22112/JWWSE.2020.230301.1208

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال ششم، شماره ۱، صفحات ۵۲-۶۰، بهار ۱۴۰۰

Research Paper

The Effect of Municipal Wastewater and Modern Irrigation Methods on the Properties of Saffron

Yahya Choopan[1*], Abotaleb HezarJaribi[2], Khalil Ghorbani[2], Mousa Hesam[2] and Abbas Khashei Siuki[3]

1- PhD student in Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2- Associate Professor of Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3- Professor, Department of Water Science and Engineering, Birjand University, Birjand, Iran.
* Corresponding Author, Email: Yahyachoopan68@gmail.com

Received: 16/05/2020
Revised: 10/10/2020
Accepted: 10/10/2020
© IWWA

Abstract

Saffron is a plant with high nutritional and commercial value, which has a good economic value when presented in high quality. This study was conducted in a randomized complete block design with two factors; type of irrigation water source (well water W1 and treated wastewater of municipal wastewater W2) and type of irrigation system (surface S1 and subsurface S2) with three replications. According to the results of chemical analysis of unconventional irrigation water source, treated wastewater in Torbat-e-Heydariyeh treatment plant met the standards of irrigation water for crops. The results of the mean squares in testing the irrigation system type and contrast of two factors showed that all quantitative traits of saffron were insignificant except two traits of dry weight of cream and stigma dry weight which were significant at the level of 1% probability. Also the results of the mean squares of saffron quality traits in the factor of type of irrigation source and the contrast of two factors showed that all quality traits, except moisture and total coliform which became significant at the level of 1% probability, became insignificant. Based on the results, the highest yield was obtained for quantitative traits of flower number, stigma dry weight and cream dry weight for W1S1 treatment and wastewater treatment. Treatments did not show significant differences. Also, for the quality traits of pyroxene, crocin, safranal and total coliform in W2S2 treatment, it was the highest value and wastewater treatments did not have a negative effect on product quality.

Keywords: Sewage effluent, subsurface, well water, saffron plant.

مقاله پژوهشی

تاثیر پساب فاضلاب شهری و روش‌های نوین آبیاری بر خواص زعفران

یحیی چوپان[۱*]، ابوطالب هزار جریبی[۲]، خلیل قربانی[۲]، موسی حسام[۲] و عباس خاشعی سیوکی[۳]

۱- دانشجوی دکتری آبیاری زهکشی گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
* نویسنده مسئول، ایمیل: Yahyachoopan68@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۷/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۹
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

زعفران گیاهی با ارزش غذایی و تجاری بالا است که در صورت کیفیت بالا ارزش ریالی خوبی به‌همراه دارد. بدین منظور تحقیقی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو فاکتور نوع منبع آبیاری (آب چاه W1 و پساب تصفیه شده فاضلاب شهری W2) و نوع سیستم آبیاری (سطحی S1 و زیر سطحی S2) با سه تکرار انجام شد. براساس نتایج آنالیز شیمیایی، پساب فاضلاب تصفیه شده در تصفیه‌خانه تربت‌حیدریه در حد استاندارد آبیاری محصولات است. نتایج میانگین مربعات نشان دادند، صفات کمی زعفران در فاکتور نوع منبع آبیاری و اثر متقابل دو فاکتور نوع منبع آبیاری و نوع سیستم آبیاری، همه صفات غیر معنی‌دار شدند. نتایج میانگین مربعات صفات کیفی زعفران در فاکتور نوع منبع آبیاری و اثر متقابل دو فاکتور، جز در صفات رطوبت و کلیفرم کل، که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده‌اند، بقیه صفات غیر معنی‌دار شدند. براساس نتایج بهترین عملکرد برای صفات تعداد گل، وزن خشک کلاله و وزن خشک خامه برای تیمار W1S1 به‌دست آمد و تیمارهای پساب فاضلاب نیز تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. هم‌چنین برای صفات کیفی پیروکسین، کروسین، سافرانال و کلیفرم کل، بیشترین مقدار در تیمار W2S2 مشاهده شد و تیمارهای پساب فاضلاب اثر مخربی بر کیفیت محصول نداشتند.

واژه‌های کلیدی: پساب فاضلاب، زیر سطحی، آب چاه، گیاه زعفران.

۱- مقدمه

زعفران از جمله محصولات مهم کشاورزی قدیمی در خراسان رضوی و جنوبی است. این محصول با کیفیت، دارای بازار اقتصادی مطلوبی در منطقه است. به‌دلیل کمبود آب و فراوانی کشت محصول زعفران در منطقه، کشاورزان به استفاده از منابع آبی نامتعارف از جمله پساب فاضلاب شهری برای آبیاری این محصول روی آورده‌اند که احتمال می‌رود مشکلات کیفی برای زعفران و خاک ایجاد کند. در این بخش مطالعات انجام شده در رابطه با واکنش محصولات به پساب فاضلاب بررسی می‌شود. بررسی تحقیقات صورت گرفته، نشان‌گر آن است که عواملی از جمله خرده‌مالکی، کم‌آبی، وجود نیروی کار در خانواده‌ها و دانش بومی باعث شده تا زعفران جایگاه خوبی در کشور پیدا کند (کافی و همکاران، ۱۳۸۱). در مناطق خشک و نیمه خشک ایران، خشکی و مدیریت آب، به‌عنوان نگرشی جدید و مهم در توسعه کشاورزی به‌شمار می‌روند (آقائی و احسان زاده، ۱۳۹۰). استفاده از کشاورزی پایدار با حفظ منابع آبی و توسعه کشت‌های کم‌آب و با ارزش اقتصادی مناسب می‌تواند چشم‌اندازی بر بحران آب باشد. بنابراین، می‌توان گیاه زعفران را که از خانواده زنبقیان است (Gresta et al., 2009) به‌عنوان یک گیاه مناسب در سیستم‌های کشاورزی با بهره‌وری کم به‌شمار آورد (Temperini et al., 2009). کیفیت خوب پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب و مقایسه آن با استانداردهای آبیاری برای کشاورزی، میل استفاده از پساب فاضلاب را در آبیاری گیاهان مورد توجه قرار داده است. استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در کشاورزی باعث کاهش استفاده از آب‌هایی می‌شود که علاوه‌بر کشاورزی می‌تواند به مصارف دیگر نظیر شرب برسد (Gamito et al., 1999).

پساب‌های خانگی از ۹۹/۹ درصد آب و ۰/۱ درصد ناخالصی که عمدتا" مواد جامد معلق، کلوئیدی و معلق هستند، تشکیل شده است. گازها و میکروارگانیزم‌ها و سایر موارد نیز بخش بسیار اندکی از پساب‌ها را تشکیل می‌دهند. علاوه‌بر این، پایین‌بودن هزینه استفاده از فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری، کاهش آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و کاهش هزینه مصرف کودهای شیمیایی از دیگر مزایای استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در کشاورزی هستند (عرفانی و علیزاده، ۱۳۷۹). در حقیقت فاضلاب در زُمره آب‌های شیرین ولی آلوده محسوب می‌شود. استفاده مجدد از فاضلاب‌های تصفیه شده و کاربرد آن‌ها برای آبیاری در کشاورزی بسیار آسان‌تر و کم هزینه‌تر از شیرین کردن آب شور دریاها است (عابدی و نجفی، ۱۳۸۰).

از نظر غذایی، پساب حاوی سه عنصر ضروری پتاسیم، فسفر و نیتروژن است و علاوه‌بر آن عناصر ریزمغذی لازم برای رشد گیاهان نیز اغلب در پساب وجود دارد. وجود این عناصر از مزایا و فاکتورهای استفاده از پساب در کشاورزی تلقی می‌شود و صرفه‌جویی قابل‌توجهی در مصرف کودهای شیمیایی در مقابل استفاده از پساب صورت می‌پذیرد. مقدار نیتروژن و پتاسیم موجود در پساب غالبا نیاز گیاهان به این عناصر را طی دوره رشد برآورده می‌نماید. اما در بعضی مواقع نیتروژن و پتاسیم موجود در پساب بیش‌تر از حد مورد نیاز گیاهان است و بنابراین باعث رشد بیش از حد، تأخیر در زمان رسیدن و کاهش کیفیت محصول می‌شود (Asano and Levine, 1996; Al-Salem, 1998; Papadopoulos and Stylianon, 1991).

تاکنون مطالعات بسیاری در خصوص کاربرد پساب در کاشت محصولات کشاورزی انجام شده است. از جمله این مطالعات می‌توان به پژوهش‌های رجبی سرخانی و قائمی (۱۳۹۱) و شفق کلوانق و همکاران (۱۳۹۴) اشاره کرد. انبیر و نوری (۱۳۹۷) کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری اکباتان را برای کاربرد در اراضی کشاورزی بررسی نمودند. نتایج نشان داد که کیفیت پساب خروجی از نظر تمامی پارامترها در مقایسه با استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست هم‌خوانی داشته و این پساب قابلیت استفاده در آبیاری کشاورزی را دارد. مهرآوران و همکاران (۱۳۹۴) استفاده از پساب تصفیه‌شده تصفیه‌خانه پرکندآباد مشهد در آبیاری را با توجه به جنبه محیط‌زیستی آن بررسی کردند و نتیجه گرفتند که این پساب برای کشاورزی مناسب است.

Aiello et al. (2007) تأثیر به‌کارگیری پساب تصفیه‌شده را بر روی خصوصیات خاک با استفاده از آبیاری قطره‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از پساب موجب افزایش میزان آلودگی میکروبی سطح خاک، کاهش تخلخل و هدایت هیدرولیکی می‌شود. محققین اظهار داشتند آبیاری حدود ۱۴ تا ۲۱ روز قبل از گل‌دهی در ظهور گل‌ها قبل از برگ بسیار موثر است. ولی اگر مزرعه زودتر آبیاری شود ابتدا برگ‌ها ظاهر می شوند که عمل برداشت را مشکل می‌سازد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

در مطالعه‌ای دیگر توسط محمدپور و همکاران (۱۳۹۲) مشخص شد در مقایسه با دوره‌های آبیاری ۱۴ و ۲۱ روز، بالاترین تعداد بنه‌های کمتر از ۸ گرم، در دور آبیاری ۷ روز و کود نیتروژن مشاهده شد. بالاترین عملکرد با میانگین ۸/۱ کیلوگرم در هکتار مربوط به اثر متقابل ورمی‌کمپوست و دور آبیاری ۱۴ روز بود.

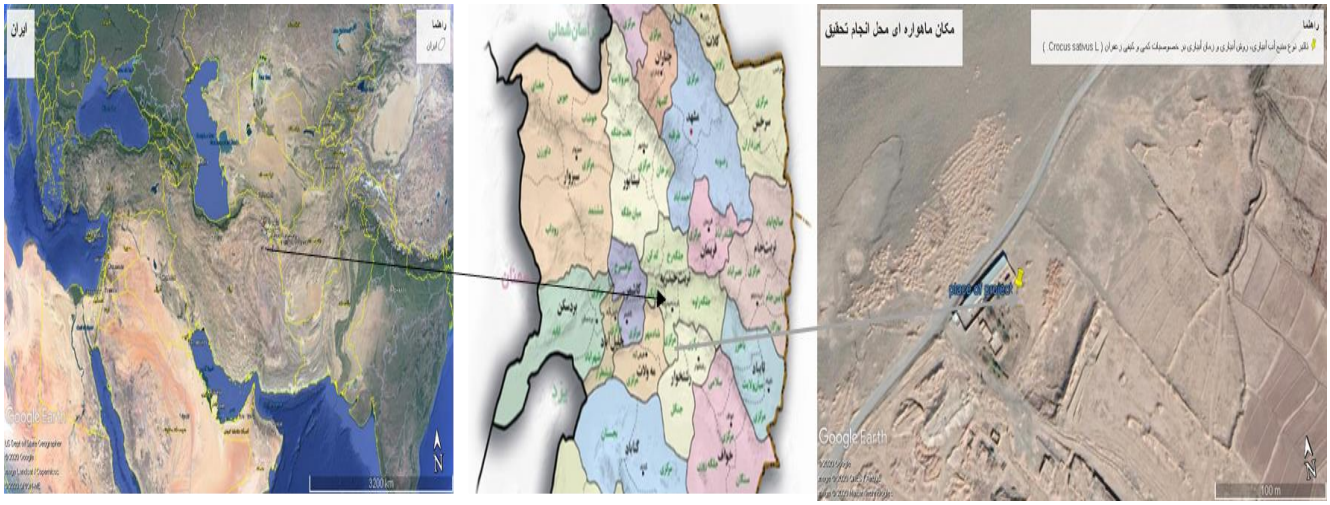
Yarami and Sepaskhah (2015) نشان دادند عملکرد زعفران در روش آبیاری نشتی نسبت به کرتی، ۳/۵ برابر افزایش می یابد. در صورتی‌که Azizi-Zohana et al. (2009) گزارش کردند که در آبیاری کرتی میانگین عملکرد ۱۰/۸ کیلوگرم در هکتار و در آبیاری نشتی ۶/۵ کیلوگرم در هکتار است.

با بررسی مطالعات انجام شده مشخص شد که تاکنون تحقیقی در استفاده از پساب تصفیه شده فاضلاب شهری بر محصول زعفران انجام نشده است و سیستم نوین آبیاری نیز به‌ندرت استفاده شده است. لذا ضرورت تحقیقات بیش‌تری در زمینه نوع منبع آبیاری و نوع سیستم آبیاری زعفران در منطقه تربت حیدریه احساس می‌شود. در همین راستا، با توجه به اهمیت بهبود مدیریت زراعی این محصول، هدف از این تحقیق، بررسی نوع منبع آبیاری و نوع سیستم آبیاری بر عملکرد زعفران است.

۲- مواد و روش‌ها

شهرستان تربت حیدریه در مدار ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی در ارتفاع ۱۳۳۳ متر از سطح دریا قرار دارد. وضعیت اقلیمی این ایستگاه بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه، اقلیم خشک سرد و براساس طبقه‌بندی دکتر کریمی دارای اقلیم نیمه خشک است (اداره کل هواشناسی خراسان رضوی). براساس داده‌های هواشناسی آمار ۲۰ ساله ایستگاه هواشناسی شهرستان تربت حیدریه، متوسط درجه حرارت روزانه در ایستگاه تربت حیدریه ۱۴/۲ درجه سانتیگراد، حداقل و حداکثر دما به‌ترتیب برابر ۲۴/۶- و ۴۰/۴ درجه سانتی‌گراد، متوسط رطوبت نسبی ۴۵٪، متوسط بارش سالانه ۲۵۳ میلی‌متر و متوسط تبخیر سالیانه ۱۱۴۳/۱۳ میلی‌متر است (اداره کل هواشناسی خراسان رضوی). متوسط بارش سالیانه ۲۶۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۲۱ درجه است. در شکل ۱ مکان ماهوراه‌ای محل انجام تحقیق ارائه شده است.

تحقیق حاضر در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو فاکتور نوع منبع آبیاری (آب چاه W1 و پساب تصفیه شده فاضلاب شهری W2) و نوع سیستم آبیاری (سطحی S1 و زیرسطحی S2) با سه تکرار انجام شد. پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری با تانکر از تصفیه‌خانه شهرستان تربت حیدریه برداشت و به محل تحقیق حمل شد. مقدار بنه مصرفی برای کاشت، بنه‌های ۸ تا ۱۲ گرم و برای کرت‌های ۴ مترمربعی مقدار ۳/۶ کیلوگرم بود که در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک کاشته شد. آبیاری سطحی و زیرسطحی به‌وسیله لوله تا ابتدای هر کرت انتقال یافت و میزان آن به‌وسیله کنتور با دقت لیتر اندازه‌گیری شد. آنالیز شیمیایی آب آبیاری، پساب فاضلاب شهری و استاندارد آبیاری و آنالیز شیمیایی و فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب در جداول ۱ تا ۳ آمده است.



شکل ۱- مکان ماهواره‌ای انجام تحقیق

برای به‌دست آوردن کاتیون‌ها (کلسیم، پتاسیم، منیزیم و سدیم) و آنیون‌های (کربنات، بیکربنات، کلر، سولفات، شوری و اسیدیته) پساب از روش و دستگاه‌های آزمایشگاهی استفاده شده است. شوری با استفاده از دستگاه EC متر مدل ۱۱۰ در دمای ۲۲ درجه سانتیگراد و اسیدیته توسط دستگاه pH متر مدل ۲۱۲ اندازه‌گیری شد. نسبت جذب سدیم توسط روش استات سدیم به‌دست آمد. برای تعیین کلسیم و منیزیم از روش تتراسیون با (اتیلن دی آمین تترا استات) با غلظت ۰/۰۲ مولار و سدیم و پتاسیم از دستگاه فلیم فتومتر با محلول‌های استاندارد مورد استفاده قرار گرفتند. برای محاسبه میزان کلر، از روش تتراسیون

با اسید سولفوریک ۰/۰۲ نرمال در حضور معرف فنل فتالین، سولفات از روش توربیدومتری و برای محاسبه کربنات و بی‌کربنات از روش تتراسیون با اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال در حضور معرف متیل اورانژ استفاده شدند.

سنجش کدورت با استفاده از روش نفلومتری یا تفریق‌سنجی با استفاده از دستگاه کدورت‌سنج مدل AQUA LYTIC با دامنه کاربرد ۰ تا ۱۰۰۰ صورت گرفت. اندازه‌گیری اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD) و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) نمونه‌ها به‌ترتیب با استفاده از دستگاه‌های COD مدل AQUA LYTIC و دستگاه BOD متر دیجیتال مدل AQUA LYTIC انجام گرفت (Torkian, 1991؛ چوپان و همکاران، ۱۳۹۷). صفات کمی (تعدادگل، وزن تازه گل، وزن خشک کلاله، وزن خشک خامه و شاخص درشتی گل) زعفران روزانه از یک مترمربع وسط هر کرت برداشت شد. صفات کیفی (پیروکسین،کروسین، سافرانال، رطوبت، کپک و کلیفرم کل) زعفران نیز توسط آزمایشگاه کنترل کیفی انجام شد که روش های آزمایش و حدود قابل قبول آنالیز کیفی در جدول ۴ آمده است. به‌منظور تعیین صفات کمی و کیفی، برداشت از هر کرت پس از حذف اثر حاشیه‌ای انجام شد. پس از جمع‌آوری نمونه‌های گیاهی، نمونه‌ها در دمای اطاق و به دور از نور خشک شدند. متابولیت‌های ثانویه اصلی کروسین (عامل رنگ)، پیکروکروسین (عامل طعم) و سافرانال (عامل عطر) به روش اسپکتروفتومتری طبق استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲۵۹ اندازه‌گیری شدند (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۲). تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 و ترسیم نمودارها به‌وسیله نرم افزار EXCEL انجام شد. هم‌چنین مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی آب آبیاری

هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	نسبت جذب سدیم (SAR)	کلسیم	منیزیم	سدیم	کربنات	بی‌کربنات	کلر	سولفات
$dS.m^{-1}$	-	-	($meq.l^{-1}$)						
۲/۵	۶/۸	۱۳/۴	۱/۲	۲/۸	۱۸/۴	-	۳/۴	۱۰/۵	۱۰/۸

جدول ۲- آنالیز شمیایی و بیولوژیکی فاضلاب تصفیه شده شهری

آزمایش	واحد اندازه‌گیری	نتایج آزمایش	استاندارد آبیاری
اسیدیته	-	۷/۴	۷-۹
کل جامدات محلول	($mg.Kg^{-1}$)	۱۰۴۴	۱۵۰۰-۳۰۰۰
املاح معلق	($mg.Kg^{-1}$)	۹۲	۱۰۰
چربی	($mg.Kg^{-1}$)	۵۶	۱۰
کدورت	NTU	۶/۵	۵۰
اکسیژن محلول	($mg.Kg^{-1}$)	۹/۶	۲
اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی	($mg.Kg^{-1}$)	۵۵	۱۰۰
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	($mg.Kg^{-1}$)	۱۲۰	۲۰۰
کلیفرم	N ($100mg^{-1}$)	۲۰۰	۴۰۰
کلسیم	($mg.Kg^{-1}$)	۵۲/۸	۲۵۰
منیزیم	($mg.Kg^{-1}$)	۳۵/۵	۱۰۰
سولفات	($mg.Kg^{-1}$)	۸۴/۹	۵۰۰
کلر	($mg.Kg^{-1}$)	۶۰۸	۶۰۰
نیترات	($mg.Kg^{-1}$)	۳/۱	۰/۵
فسفات	($mg.Kg^{-1}$)	۱/۵	-
سرب	($mg.Kg^{-1}$)	۰/۰۴	۵
مس	($mg.Kg^{-1}$)	۰/۰۱	۰/۲
فیکال کلیفرم	MPN ($100mg^{-1}$)	۳۲۰۰	۱۰۰۰
نماتد روده‌ای	N ($100mg^{-1}$)	۰	۱
هدایت الکتریکی	($dS.m^{-1}$)	۵/۸	۰/۷
نسبت جذبی سدیم	-	۷/۴	۳

جدول ۳- آنالیز شیمیایی خاک مزرعه (۰-۴۰ سانتی‌متری)

نوع آزمایش	واحد اندازه گیری	نتایج آزمایش
پتاسیم	($mg.Kg^{-1}$)	۱۳۰
فسفر	($mg.Kg^{-1}$)	۳/۵
هدایت الکتریکی	(dS.m-1)	۳/۸
اسیدیته		۷/۲
آهک	(٪)	۱۶/۴
مواد آلی	(٪)	۱/۲
شن	(٪)	۳۸
رس	(٪)	۲۲
سیلت	(٪)	۴۰
درصد اشباع	(٪)	۳۹

جدول ۴- صفات کیفی، روش های آزمایش و حدود قابل قبول آنالیز کیفی زعفران

صفات کیفی	حداکثر رطوبت (درصد جرمی)	حداقل پیروکسین (حداکثر محلول جذبی ۱ درصد در طول موج ۲۵۷ نانومتر)	سافرانال (حداکثر محلول جذبی ۱ درصد در طول موج ۳۳۰ نانومتر)	حداقل کروسین (حداکثر محلول جذبی ۱ درصد در طول موج ۴۴۰ نانومتر)	میکرو ارگانیسم کل (تعداد در گرم)	اشریشیا کلی (تعداد در گرم)	کپک (تعداد در گرم)
حد قابل‌قبول	۱۲-۱۰	۸۰-۷۰	۵۰-۲۰	۲۰۰-۱۴۰	۳۰۰۰۰۰	منفی	۱۰۰۰
روش آزمایش (استاندارد ملی)	۲-۲۵۹	۲-۲۵۹	۲-۲۵۹	۲-۲۵۹	۵۲۷۲	۲۹۴۶	۳-۱۰۸۹۹

۳- نتایج و بحث

نتایج میانگین مربعات نشان دادند، صفات کمی (تعدادگل، وزن تازه گل، وزن خشک کلاله، وزن خشک خامه و شاخص درشتی گل) زعفران در فاکتور نوع سیستم آبیاری همه صفات جز صفات وزن خشک خامه و وزن خشک کلاله که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند بقیه صفات غیر معنی‌دار بودند. در فاکتور نوع منبع آبیاری و تقابل دو فاکتور همه صفات کمی غیر معنی‌دار شدند. نتایج میانگین مربعات صفات کیفی (پیروکسین،کروسین، سافرانال، رطوبت، کپک و کلیفرم کل) زعفران در فاکتور نوع سیستم آبیاری همه صفات جز صفت رطوبت که در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است، بقیه صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. در فاکتور نوع منبع آبیاری و تقابل دو فاکتور، همه صفات کیفی جز رطوبت و کلیفرم کل که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند، بقیه صفات غیر معنی‌دار شدند.

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات کمی زعفران در اثر نوع منبع آبیاری و نوع سیستم آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد گل	وزن گل تازه	وزن خشک کلاله	وزن خشک خامه	شاخص درشتی گل
تکرار	۲	۴۸۸	۴۱/۶	۰/۰۰۴	۶/۱E-۰۶	۰/۰۰۰۱۶
نوع سیستم آبیاری	۱	۰/۰۴۹ ns	۳ ns	۰/۵ **	۹/۵E-۰۵ **	۱/۷E-۰۶ ns
نوع منبع آبیاری	۱	۰/۷۹ ns	۴/۴ ns	۰/۰۰۲ ns	۱/۹E-۰۷ ns	۲/۷E-۰۵ ns
نوع سیستم آبیاری × نوع منبع آبیاری	۱	۹۵ ns	۴/۷ ns	۰/۰۰۳ ns	۱/۹E-۰۷ ns	۱/۴E-۰۵ ns
خطا	۴	۱۵۶۴۲	۱۳۳۲	۰/۱۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات (CV)	-	۴۴/۵	۴۴/۲	۸	۱۶	۶۳

ns و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

جدول ۶- تجزیه واریانس صفات کیفی زعفران در اثروع منبع آبیاری و نوع سیستم آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	رطوبت	پیکروسین	سافرانال	کروسین	کلیفرم کل	کپک
تکرار	۲	۰/۰۲۶	۳/۳	۱/۴۷	۵/۶	۷/۲E+۹	۰/۰۱۲
نوع سیستم آبیاری	۱	۰/۱۳ *	۶۱/۳۶ **	۵۳/۷ **	۵۸/۷ **	۱/۳E+۱۱ **	۰/۶ **
نوع منبع آبیاری	۱	۱/۶۴ **	۱/۰۸ ns	۴ ns	۴ ns	۳/۴E+۱۳ **	۰/۰۰۷ ns
نوع سیستم آبیاری × نوع منبع آبیاری	۱	۰/۲۵ **	۰/۲۱ ns	۴ ns	۷/۱ ns	۱/۳E+۱۱ **	۰/۰۰۲۵ ns
خطا	۴	۰/۸۵	۶۶/۷	۴۷	۱۹۰	۲/۳۲E+۱۱	۱/۰۲
ضریب تغییرات (cv)	-	۲/۲	۱/۶	۳/۸	۱	۸/۵	۳/۹

ns و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

۳-۱- صفات کمی

از مهم‌ترین صفات مورد بررسی در این تحقیق، عملکرد کمی زعفران تعداد گل، وزن گل تازه، وزن خشک کلاله، شاخص درشتی گل خشک شده و صفت وزن خشک خامه هستند. در بررسی مقایسه میانگین در صفات کمی، نتایج نشان دادند که تمامی صفات در یک گروه آماری بین تیمارهای تحقیق قرار گرفته و از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار با یکدیگر نداشتند (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین مربعات صفات کمی در تیمار های تحقیق

تیمارهای تحقیق	تعداد گل (عدد در مترمربع)	وزن گل تازه (گرم در مترمربع)	وزن خشک کلاله (گرم در مترمربع)	وزن خشک خامه (گرم در مترمربع)	شاخص درشتی گل (گرم در مترمربع)
W1S1	۵۱/۴ a	۱۵/۹ a	۰/۷۹ a	۰/۰۱۷ a	۰/۰۱۹ a
W1S2	۴۸/۲ a	۱۴ a	۰/۷ a	۰/۰۱۴ a	۰/۰۲ a
W2S1	۴۸/۹ a	۱۳/۹ a	۰/۷۸ a	۰/۰۱۷ a	۰/۰۲۲ a
W2S2	۵۱/۲ a	۱۴/۶ a	۰/۷۲ a	۰/۰۱۴ a	۰/۰۲ a

۳-۱-۱- تعداد گل

بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای صفت تعداد گل به‌ترتیب برای تیمارهای W1S1 و W2S1 با مقادیر ۵۱/۴ و ۴۷/۹ عدد گل در یک مترمربع بود. برای صفت تعداد گل آب چاه و برای روش آبیاری، هر دو روش مناسب و دارای عملکرد یکسان بودند (جدول ۷). براساس نتایج، درصد تفاوت عملکرد در تیمارها بسیار کم و در حدود ۲ درصد بود.

۳-۱-۲- وزن گل تازه

بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای صفت وزن تازه گل به‌ترتیب برای تیمارهای W1S1 و W2S1 با مقادیر ۱۵/۹ و ۱۳/۹ گرم در یک متر مربع بود. برای صفت وزن تازه گل آب چاه و آبیاری سطحی بهترین عملکرد را نشان دادند. دلیل این‌که عملکرد آب چاه بیشتر از پساب فاضلاب شهری در صفات کمی شده است می‌تواند به این دلیل باشد که کودهای مورد نیاز رشد در روزهای قبل به گیاه داده شده و پساب فاضلاب شهری در نقش کود و مغذی برای رشد گیاه عکس العملی را به‌همراه نداشته است.

۳-۱-۳- وزن خشک کلاله

اقتصادی‌ترین قسمت یک گل زعفران کلاله است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای صفت وزن خشک کلاله به‌ترتیب برای تیمارهای W1S1 و W1S2 با مقادیر ۰/۷۹ و ۰/۷۰ گرم در یک مترمربع بود. برای صفت وزن خشک کلاله پساب فاضلاب شهری و آبیاری سطحی بهترین عملکرد را نشان دادند. نتایج نشان داد درصد کاهش در تیمار حداکثر با تیمار حداقل ۱۳٪ است.

۳-۱-۴- وزن خشک خامه

بعد از کلاله، خامه زعفران مهم‌ترین قسمت خوراکی آن است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای صفت وزن خشک خامه به‌ترتیب تیمارهای W1S1 و W1S2 با مقادیر ۰/۰۱۷ و ۰/۰۱۴ گرم در یک مترمربع بود. برای صفت وزن خشک خامه پساب فاضلاب شهری و آب چاه عملکرد برابر داشته و آبیاری سطحی بهترین عملکرد را نشان داد. نتایج به‌دست آمده از تحقیق با نتایج (Azizi-Zohana et al. (2009 مطابقت دارد ولی با نتایج (Yarami and Sepaskhah (2015 و بهدانی (۱۳۸۴) در زمینه استفاده از روش سطحی هم‌خوانی نداشته است.

۳-۱-۵- شاخص درشتی گل خشک

این صفت از مجموع وزن خشک کلاله و وزن خشک خامه تقسیم بر تعداد گل به‌دست می‌آید و نشان‌دهنده درشتی و اقتصادی بودن گل است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای صفت شاخص درشتی گل خشک به‌ترتیب برای تیمارهای W2S1 و W1S1 با مقادیر ۰/۰۲۲ و ۰/۰۱۹ به‌دست آمد. برای صفت شاخص درشتی گل خشک پساب فاضلاب شهری و آبیاری سطحی بهترین عمل‌کرد را نشان دادند. در تفسیر این شاخص می‌توان به این نتیجه رسید که گیاه در صفات کمی از پساب فاضلاب استفاده کرده ولی این نتایج را در درشت بودن گل که یک شاخص موثر در بازار پسندی محصول است می‌توان مشاهده نمود.

۳-۲- صفات کیفی

از مهم‌ترین آزمون‌های کیفی زعفران که برای ارزیابی کروسین، سافرانال و پیروکسین انجام می‌شود و برای ارزیابی میزان بار میکروبی از آزمایش‌های کلیفرم کل، اشریشیا کل و کپک استفاده می‌شود. در آنالیز کیفی تیمارهای تحقیق مشخص شد همه تیمارها دارای کیفیت قابل‌قبول هستند و امتیاز کیفی آب چاه از پساب فاضلاب شهری بالاتر قرارگرفت. زعفران به‌عنوان غنی‌ترین منبع ریبوفلاوین ویتامین B2 شناخته شده است (سعیدی راد و مختاریان، ۱۳۸۹). استفاده گسترده از زعفران در صنایع آرایشی و به‌ویژه غذایی، به‌عنوان طعم‌دهنده طبیعی و رنگ خوراکی، سبب توسعه روزافزون کاربرد این گیاه در دنیا شده است (Gresta et al., 2008; Juana et al., 2009). هم‌چنین از زعفران به‌عنوان محرک در تقویت توانایی جسمی و جنسی نیز یاد شده است (دادخواه و همکاران، ۱۳۸۲؛ Keyhani et al., 2006). کلاله زعفران دارای رنگ، عطر و طعم خاصی است که هریک از این خصیصه‌ها مربوط به دسته‌ای از مواد شیمیایی آلی بوده و علاوه‌بر آن دارای مقادیری آب، مواد معدنی و ویتامین نیز هست (بهنیا، ۱۳۷۰). سه ترکیب هم‌خانواده با سه ویژگی زعفران مرتبط است: استرهای کروسین با رنگ، سافرانال با عطر و پیروکروسین با طعم (دانشور و همت زاده، ۱۳۹۰).

جدول ۸- مقایسه میانگین مربعات صفات کیفی در تیمار های تحقیق

تیمارهای تحقیق	رطوبت (درصد جرمی)	پیروکسین (حداکثر جذب در طول موج ۲۵۷ نانومتر)	سافرانال (حداکثر جذب در طول موج ۳۳۰ نانومتر)	کروسین (حداکثر جذب در طول موج ۴۴۰ نانومتر)	کلیفرم کل (تعداد در گرم)	کپک (تعداد در گرم)
W1S1	۷/۴ b	۸۹/۴ a	۲۹/۷ a	۲۵۹/۴ a	۱۱۵۶۷ a	۲۸۰ a
W1S2	۷/۷ c	۹۱/۴ ab	۳۲/۸ b	۲۶۱ a	۱۳۰۴۴ a	۳۰۰ b
W2S1	۷/۱ a	۸۹/۳ a	۳۱ ab	۲۵۹/۲ a	۱۸۴۴۴ b	۲۸۰ a
W2S2	۷/۱ a	۹۲/۶ b	۳۲/۸ b	۲۶۲/۷ a	۲۰۸۸۹ c	۳۰۰ b

۳-۲-۱- رطوبت

مقدار رطوبت موجود در زعفران خشک به‌صورت جرمی به‌دست می‌آید. در مقدار درصد جرمی رطوبت تیمارهای تحقیق در گروه مختلف آماری قرارگرفته و اختلاف معنی‌دار آماری نشان دادند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای درصد جرمی رطوبت به‌ترتیب برای تیمارهای W1S2 و W2S1 با مقادیر ۷/۷ و ۷/۱ درصد جرمی شد (جدول ۷).

۳-۲-۲- پیروکسین، سافرانال و کروسین

در مقدار پیروکسین تیمارهای تحقیق در گروه مختلف آماری قرارگرفته و اختلاف معنی‌دار آماری نشان دادند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای صفت پیروکسین، حداکثر جذب در طول موج ۲۵۷ نانومتر به‌ترتیب برای تیمارهای W2S2 و W2S1 با مقادیر ۹۲/۶ و ۸۹/۳ شد. برای پیروکسین آبیاری زیر سطحی و پساب فاضلاب شهری بهترین عملکرد را نشان دادند.

در مقدار سافرانال تیمارهای تحقیق در گروه مختلف آماری قرارگرفته و اختلاف معنی‌دار آماری نشان دادند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای سافرانال، حداکثر جذب در طول موج ۳۳۰ نانومتر به‌ترتیب برای تیمارهای W2S2 و W1S1 با مقادیر ۳۲/۸ و ۲۹/۷ شد. برای سافرانال آبیاری زیر سطحی و پساب فاضلاب شهری بهترین عملکرد را نشان دادند.

در مقدار کروسین تمامی تیمارهای تحقیق در یک گروه آماری قرار گرفته و اختلاف معنی‌دار آماری نداشتند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای کروسین، حداکثر جذب در طول موج ۴۴۰ نانومتر به‌ترتیب برای تیمارهای W2S2 و W2S1 با مقادیر ۲۶۲/۷ و ۲۵۹/۲ شد. برای صفت کروسین آبیاری زیرسطحی و پساب فاضلاب شهری بهترین عملکرد را نشان دادند.

۳-۲-۳- کلیفرم کل، اشریشیا کل و کپک

در مقدار کلیفرم کل و کپک تیمارهای تحقیق در گروه مختلف آماری قرارگرفته و اختلاف معنی‌دار آماری نشان دادند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار برای کلیفرم کل و کپک به‌ترتیب برای تیمارهای W2S2 و W1S1 با مقادیر ۲۰۸۸۸۹ و ۱۱۵۶۶ عدد در هر گرم کلیفرم کل و ۳۰۰ و ۲۸۰ عدد در گرم کپک بود. در بحث اشریشیا کلی در تمام تیمارهای تحقیق نتیجه منفی شد و تاثیر منفی در عملکرد کیفی محصول برای هیچکدام از تیمارها نداشت. دلیل بالا بودن مقدار کلیفرم آبیاری زیرسطحی در تیمارهای دارای پساب و آب چاه نسبت به تیمارهای سطحی می‌تواند قرار داشتن زمان بیشتر رطوبت و فعالیت کلیفرم‌ها در محیط خاک و انتقال به گیاه باشد. در مورد پساب فاضلاب شهری این امر باعث دوچندان شدن مشکل در بارمیکروبی محصول شده است ولی از لحاظ کیفی اثر مخربی بر محصول نداشته است. برای صفات تعداد کپک و کلیفرم کل آبیاری سطحی و آب چاه بهترین عملکرد را نشان دادند که با توجه به کلیفرم کل موجود در پساب تیمار، پساب فاضلاب از تیمار آب چاه دارای بار کلیفرم بیشتری بوده و با اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در تفاوت قرارگرفتند.

۳-۳- کارآیی مصرف آب

شاخص کارآیی مصرف آب آبیاری در تعریف به‌معنای مقدار محصول به حجم آب مصرفی است. کارآیی مصرف آب به مقدار محصول در قطعه مزرعه‌ای گفته می‌شود که از هر واحد حجم آب آبیاری کاربردی در آن مزرعه به‌دست می‌آید و معمولا به کیلوگرم بر مترمکعب ارائه می‌شود. در این تحقیق چون مقیاس اندازه‌گیری زعفران گرم است با واحد گرم در لیتر محاسبه شده است. منابع کاهش و دلایل پایین بودن کارآیی مصرف آب محصولات در مناطق مختلف قطعا به عوامل و پارامترهای زیادی از جمله شرایط اقلیمی، کیفیت آب و خاک، نوع منبع آب و سیستم آبیاری، مسائل مدیریت و غیره بستگی داشته است. مقدار آب مصرفی در این تحقیق برای همه تیمارها یکسان بوده است. پس حداکثر عملکرد کل (مجموع وزن خشک کلاله و وزن خشک خامه) کارآیی مصرف آب بالاتری را نشان می‌دهد که در این تحقیق تیمار W1S1 با مقدار ۰/۰۰۸۸ گرم بر لیتراست. در کارآیی مصرف آب تیمارهای آبیاری سطحی نسبت به آبیاری زیرسطحی از میزان کارآیی بالاتری برخوردار بودند و این می‌تواند به‌دلیل ناسازگاری زعفران با شرایط کم‌آبی یا آبیاری کم در زمان‌های متوالی در منطقه مورد مطالعه باشد.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق ارزش کمی و کیفی زعفران در واکنش به پساب فاضلاب شهری تصفیه شده در اولویت بررسی گرفت. نتایج صفات کمی زعفران نشان دادند بهترین منبع آبیاری در منطقه مورد مطالعه آب چاه (در شرایط کم آبی و با توجه به نتایج مطلوب کمی و نداشتن اختلاف معنی‌دار آماری، به‌کاربردن پساب فاضلاب شهری به‌عنوان منبع آبیاری منعی ندارد) و طبق نتایج، بهترین نوع سیستم آبیاری، آبیاری سطحی در صفات کمی است. برای صفات کیفی پساب فاضلاب شهری تصفیه شده که به‌دلیل قرارگرفتن نتایج صفات کیفی مورد بررسی زعفران در رده استفاده مجاز برای آبیاری، منعی نداشته و در ویژگی‌های طعم، عطر و رنگ دارای اثر مثبت بوده است که می‌توان به‌عنوان پیشنهاد در منطقه مورد مطالعه نیز برای کشت محصول همراه با اقدامات بهداشتی لحاظ نمود. لازم‌به ذکر است، آبیاری زیرسطحی در صفات کیفی اثر مثبت داشته و برای سال‌های مختلف کشت و مناطق مختلف کشت می‌توان اجرا و پیشنهاد نمود.

۵- مراجع

آقائی، ا.ح.، و احسان‌زاده، پ.، (۱۳۹۰)، "اثر رژیم آبیاری و نیتروژن بر عملکرد برخی پارامترهای فیزیولوژیک گیاه داروی کدوی تخم کاغذی"، *مجله علوم باغبانی ایران*، ۳(۴۳)، ۲۹۱-۲۹۹.

اداره کل هواشناسی خراسان رضوی، razavimet.ir.

انبیر، ل.، و نوری، ز.، (۱۳۹۷)، "بررسی کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری اکباتان جهت کاربرد در اراضی کشاورزی و فضای سبز"، *نشریه مدیریت اراضی*، ۶(۱)، ۹۵-۱۰۲.

بهنیا، م.ر.، (۱۳۷۰)، *زراعت زعفران*، انتشارات دانشگاه تهران.

چوپان، ی.، خاشعی سیوکی، ع.، و شهیدی، ع.، (۱۳۹۷)، "ارزیابی اثرات فاضلاب تصفیه‌شده شهری بر خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت پنبه"، *نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۳(۲)، ۶۱-۶۸.

دادخواه، م.ر.، احتشام، م.، و فکرت، ح.، (۱۳۸۲)، *زعفران ایران گوهری ناشناخته*، انتشارات شهر آشوب، تهران.

دانشور، م.ح .، و همت زاده، ا.، (۱۳۹۰)، *ترکیبات شیمیایی زعفران: رنگ، طعم و عطر*، انتشارات دانشگاه شهید چمران.

رجبی سرخانی، م.، و قائمی، ع.آ.، (۱۳۹۱)، "پیامدهای استفاده

از فاضلاب تصفیه شده و کودهای شیمیایی بر رشد کلم بروکلی"، *مدیریت آب و آبیاری*، ۲(۲)، ۱۳-۲۴.

سازمان ملی استاندارد ایران، (۱۳۹۲)، *زعفران، روشهای آموزش*، استاندارد شماره ۲۵۹-۲، بازنگری اول، کرج، ایران.

سعیدی راد، م.ح.، و مختاریان.، ک.، (۱۳۸۹)، *اصول علمی کاربردی کاشت، داشت و برداشت زعفران*، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی.

شفق کلوانق، ج.، ذهتاب سلماسی، س.، عالمی میلانی، م.، اوستان، ش.، و عبدلی، س.، (۱۳۹۴)، "تأثیر استفاده از فاضلاب کارخانه تولید مخمر بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در منطقه گرمامالک تبریز"، *مجله علوم کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۵(۲)، ۶۵-۷۷.

عابدی، م.، و نجفی، پ.، (۱۳۸۰)، *استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در کشاورزی*، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۵۲ ص.

عرفانی، ع.، و علیزاده، الف.، (۱۳۷۹)، "استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده خانگی در آبیاری"، *سومین همایش کشوری بهداشت محیط*، دانشگاه علوم پزشکی کرمان.

علیزاده، ا.، سیاری، ن.، احمدیان، ج.، و محمدیان، آ.، (۱۳۸۸)، "بررسی مناسب‌ترین زمان شروع آبیاری زراعت زعفران دراستان‌های خراسان رضوی، شمالی و جنوبی"، *مجله آب و خاک (علوم و صنایع غذایی)*، ۲۳(۱)، ۱۰۹-۱۱۸.

کافی، م. ، راشدمحصل، م.ح.، کوچکی، ک.، و ملافیلابی، ک.، (۱۳۸۱)، *زعفران، فناوری تولید و فرآوری*، انتشارات دانشگاه فردوسی.

محمدپور، ج.، وزین، ف.، حسن زاده، م.، و شجاع، ع.، (۱۳۹۲)، "بررسی اثر کاربرد کودهای بیولویک و کودهای شیمیایی نیتروژن بر مورفولوژی و عملکرد زراعی تحت‌تاثیر سطوح مختلف آبیاری"، *همایش ملی پژوهش‌های محیط‌زیست ایران*، ۹ آبان، همدان.

مهرآوران، ب.، انصاری، ح.، بهشتی، ع.ا.، و اسماعیلی، ک.، (۱۳۹۴)، "بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه‌شده در آبیاری با توجه به اثرات زیست‌محیطی آن (مطالعه موردی پساب خروجی تصفیه خانه پرکندآباد مشهد)"، *مجله آبیاری و زهکشی ایران*، ۹(۳)، ۴۴۰-۴۴۷.

Aiello, R., Cirelli, G.L., and Consoli, S., (2007), "Effects of reclaimed wastewater irrigation on soil and tomato fruits: A case study in Sicily (Italy)", *Agricultural Water Management*, 93(1-2), 65-72.

Asano, T., and Levine, A.D., (1996), "Wastewater reclamation and reuse, Post, present and future", *Journal of Water Science and Technology*, 33, 1-14.

Al-Salem, S., (1998), "Environmental consideration for wastewater reuse in agriculture", *Journal of Water Science and Technology*, 33, 345-355.

Azizi-Zohana, A.A., Kamgar-Haghighib, A.A., Sepaskhah, A.R., (2009), "Saffron (Crocus sativus L.) production as influenced by rainfall", *Irrigation Method and Intervals Archives of Agronomy and Soil Science*, 55(5), 547-555.

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

Gresta, F., Lombardo, G.M., Siracusa, L. and Ruberto, G., (2008), "Effect of mother corm dimension and sowing time on stigma yield, daughter corms and qualitative aspects of saffron (Crocus sativus L.) in a Mediterranean environment", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(7), 1144-1150.

Gamito, P., Arsenio, A., Faleiro, M.L., Brito, J.M. and Beltrao, J., (1999), "The influence of wastewater treatment of irrigation water quality", *International Workshop on, Improved Crop Quality by Nutrient Management*, pp. 267-270, Izmir, Turkey.

Juana, J.A.D., Córcolesb, H.L., Munozb, R.M., and Picornella, M.R., (2009), "Yield and yield components of saffron under different cropping systems", *Industrial Crop Production*, 30(2), 212-219.

Keyhani, E., Ghamsari, L., Keyhani, J., Hadizadeh, M., (2006), "Antioxidant enzymes during hypoxia-anoxia signaling events in Crocus sativus L. corm", *In Annals of the New York Academy of Sciences: Stress Signaling and Transcriptional Control*, 1091, 65-75.

Papadopoulos, L., and Stylianon, Y., (1991), "Trickle irrigation of sunflower with municipal wastewater", *Agricultural Water Management*, 19, 67-75.

Temperini, O., R. Rea, R., Temperini, A., Colla, G., and Rouphael, 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 Environment*, 7(1), 19-23.

Torkian, A., (1991), *Environmental Engineering*, First Volume, Kankash Publication.

Yarami, N., Sepaskhah, A.R., (2015), "Saffron response to irrigation water salinity, cow manure and planting method", *Agricultural Water Management*, 150, 57-66.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.