نشریه زراعت و فناوری زعفران
جلد ۸، شماره ۴،زمستان ۱۳۹۹ ص. ۵۱۰-۴۹۷

Saffron Agronomy & Technology
Vol. 8, No. 4, Winter 2021, P. 497-510

مقاله پژوهشی

اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب زعفران در خراسان رضوی (منطقهٔ باخرز)

حسن مسافری ضیاالدینی[۱]، امین علیزاده [۲]* و پرویز رضوانی مقدم[۳]

تاریخ دریافت: ۱۷ فروردین ۱۳۹۹ **تاریخ پذیرش:** ۲۲ مرداد ۱۳۹۹

مسافری ضیاالدینی، ح.، علیزاده، ا.، و رضوانی مقدم، پ. ۱۳۹۹. اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب زعفران در خراسان رضوی (منطقهٔ باخرز). زراعت و فناوری زعفران، ۸(۴): ۵۱۰-۴۹۷.

چکیده

به منظور مطالعه عملکرد کمی گل و بنه زعفران در پاسخ به مدارهای مختلف و حجم‌های مختلف آب آبیاری و برآورد کارائی مصرف آب آزمایشی در سال های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۵ در شهر باخرز، به صورت کرت‌های نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. دور آبیاری به‌عنوان عامل افقی (فاکتور A) در چهار مدار (a1= ۱۵ ، a2= ۳۰ ، a3= ۴۵ و a4= ۹۰ روز) و حجم آب آبیاری بعنوان عامل عمودی (فاکتور B) در چهار حجم (b1=۲۵۰ ، b2=۵۰۰، b3=۱۰۰۰ و b4=۱۲۵۰ متر مکعب درهکتار) انتخاب شد. نتایج نشان داد، که بیشترین عملکرد گل و بنه زعفران در تیمار a2b3 (حجم کل آب ۶۰۰۰ مترمکعب در هکتار) بدست آمد. بیشترین کاهش عملکرد بنه در تیمار a4b1 (حجم کل آب ۷۵۰ مترمکعب در هکتار) با کاهش ۷۲/۱ درصدی نسبت به a1b2 (حجم کل آب ۵۵۰۰ مترمکعب در هکتار) و کمترین عملکرد وزن تر گل در تیمار a4b1 (حجم کل آب ۷۵۰ مترمکعب در هکتار) با کاهش ۷۶/۵ درصدی نسبت به a1b2 (حجم کل آب ۵۵۰۰ مترمکعب در هکتار) و کمترین عملکرد وزن بنه در تیمار با حجم a4b1 (حجم کل آب ۷۵۰ مترمکعب در هکتار) با کاهش ۷۰/۶ درصدی نسبت به حجم a2b3 (حجم کل آب ۶۰۰۰ مترمکعب در هکتار) به‌دست آمد. همچنین نتایج بدست آمده از مقایسه کارایی مصرف آب زعفران تحت‌تأثیر اثر متقابل حجم و مدار مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین کاهش کارایی مصرف آب بر مبنای وزن بنه در تیمار a1b4 (حجم کل آب ۱۳۷۵۰ متر مکعب در هکتار) با کاهش ۸۵/۴ درصدی نسبت به a3b1 (حجم کل آب ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار) و بیشترین کاهش کارایی مصرف آب بر مبنای وزن گل در تیمار a1b4 (حجم کل آب ۱۳۷۵۰متر مکعب در هکتار) با کاهش ۸۲/۴ درصدی نسبت به a2b1 (حجم کل آب ۱۵۰۰ مترمکعب در هکتار) بدست آمد. با توجه به نتایج بدست آمده استفاده از حجم آبیاری ۲۵۰ تا ۵۰۰ متر مکعب در هکتار در مدار ۳۰ روز (۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار) برای حداکثر بهره وری آب در زراعت زعفران توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: برنامه‌ریزی آبیاری، بهره وری آب ، عملکرد بنه، عملکرد گل

۱- دانشجوی دکتری،گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*-نویسنده مسئول: alizadeh@um.ac.ir)

DOI: 10.22048/JSAT.2020.225629.1389

مقدمه

زعفران با نام علمی *Crocus sativus* L. گیاهی است از خانواده زنبقیان (Iridaceae)، گیاهان این تیره خشکزی، علفی و چند ساله می‌باشند. گونه *sativus* تنها گونه‌ای است که برای استفاده اقتصادی کشت می‌شود و گستردگی آن از مدیترانه تا چین امتداد دارد (Kafi et al., 2006). زعفران گیاهی یک ساله است که در پایان دوره رشد بنه‌های جدید بوجود آمده و با توجه به هزینه‌های بالای جابجایی بنه کشاورزان اقدام به کشت متراکم بنه در سال اول نموده (۴ تن در هکتار) و مدت بهره-برداری ۸ سال طول می‌انجامد. اخیرا با تحقیقات انجام شده با کاشت بنه‌های درشت و تراکم دو برابر بنه (۸ تن بنه در هکتار) مدت بهره‌برداری به ۴ سال کاهش می‌یابد و متوسط میزان عملکرد نیز بیشتر می‌شود (Behdani et al., 2005). گیاه زعفران در ایران در نواحی بیابانی و نیمه بیابانی در اواخر پاییز، زمستان و بهار رشد می‌کند، اگر در پاییز قبل از دوران گل دهی بارش باران به تأخیر افتاد، گیاه زعفران به حدود ۱۰۰ میلی متر آبیاری نیاز دارد (Sepaskhah & Kamgar Haghighi, 2009). ایران با سطح زیر کشت ۹۰ هزار هکتار و تولید بیش از ۳۲۰ تن زعفران بیش از ۹۰ درصد زعفران جهان را تأمین می‌کند. کشت زعفران در استان خراسان رضوی سالانه در سطحی بالغ بر ۷۲ هزار هکتار انجام می‌شود. تولید سالانه آن بیش از ۲۲۰ تن با متوسط عملکرد ۳ کیلوگرم در هکتار است که رتبه اول را در بین استان های کشور به خود اختصاص می دهد. شهرستان باخرز با سطح ۳۵۰۰ هکتار کشت زعفران جایگاه پنجم تولید این محصول در سطح استان را دارا می باشد (Sadeghi et al., 2013) در سال‌های چهارم و پنجم کشت آبی و دیم زعفران با عملکرد کل ۱۲/۸ و ۱۲/۲ کیلوگرم در هکتار زعفران خشک نسبت به بقیه سال‌ها برتر بودند و سال‌های دوم، سوم و ششم به ترتیب با عملکرد ۵/۳، ۵/۹۹ و۷/۰۴ کیلوگرم در هکتار در گروه میانی و سال اول با عملکرد ۰/۴ کیلوگرم در هکتار در گروه پایین قرار گرفت. در مجموع، شش سال آزمایش، بین کشت آبی و دیم با متوسط عملکرد به ترتیب با ۷/۵ و ۷/۱ کیلوگرم تفاوت معنی‌دار وجود ندارد (Azizi Zohan et al., 2006). اثر سطوح آبیاری و کشت پر تراکم بر کارایی جذب و مصرف نیتروژن در زعفران نشان داد که کمترین میزان جذب نیتروژن در اندام هوایی و بنه زعفران (به ترتیب ۶/۰۲ و ۵/۶۲ گرم در متر مربع) در شرایط اجرای کاشت ۵۰ بنه در متر مربع +۵۰ درصد آبیاری می‌باشد (Koocheki et al., 2015). آبیاری تابستانه در اواسط مرداد ماه موجب افزایش ۴۰ درصدی در عملکرد گل زعفران و آبیاری در نیمه دوم تیرماه را مضر و با ۱۷ درصد کاهش عملکرد گل زعفران گزارش نمودند (Mosaferi Ziauddiny et al., 2009). آبیاری قطره‌ای با میانگین عملکرد ۱۲/۶ کیلوگرم زعفران (کلاله خشک) و متوسط مصرفی آب ۲۲۷ میلی متر در طول دوره رشد و نمو گیاه نسبت به سایر روش‌ها برتر و قابل توصیه می‌باشد که این عملکرد حدود ۲۰٪ نسبت به سایر روش‌ها افزایش داشت و به‌ازای تولید هر گرم زعفران ۰/۱۸ متر مکعب آب مصرف شد و در سال سوم ۷/۵۱ تن بنه حاصل شد. بالاترین عملکرد بنه و برگ خشک در سال اول مربوط به‌آبیاری کرتی به‌ترتیب ۱۱/۵ و ۳/۹۴ تن و حداقل آن مربوط به آبیاری بارانی به‌ترتیب ۷/۰۵ و ۱/۸۵ تن حاصل شد (Mollafilabi, 2004). آبیاری زعفران بلافاصله پس از کاشت و نیز تکرار آبیاری در سال دوم (آبیاری‌های تأخیری بهاره، تابستانه و زود هنگام پاییزه) بر اکثر صفات مورفولوژیکی بنه‌های دختری زعفران مانند تعداد جوانه در هر بنه و نیز قطر و وزن متوسط بنه‌های دختری اثر منفی داشت. با این وجود، تأثیر آبیاری در تاریخ‌های مختلف کاشت و در شرایط

وجود یا عدم وجود بقایای گیاهان همراه، مقداری متفاوت بود. اثر آبیاری در مهرماه تا حدود (۴۲ درصد) بر وزن بنه‌های موجود در هر کلون مثبت بود. در مجموع، کاشت زعفران در اول خرداد ماه، عدم انجام آبیاری پس از کاشت بنه در این تاریخ کاشت و نیز بکارگیری گیاهان همراه موجب بهبود شاخص‌های رشدی بنه-های دختری زعفران گردید (Koocheki et al., 2015). در ۴ سال اول رشد گیاه زعفران، در هر سال نسبت به سال پیش، مقدار تبخیر - تعرق افزایش پیدا می کند، علت آن ازدیاد پداژه ها به صورت چشم‌گیر در سال دوم نسبت به سال اول و به نسبت کمتری در دوره‌های رشد میانی و پایانی و در نتیجه توسعه پوشش گیاه بوده است. همچنین تبخیر – تعرق گیاه زعفران در سال اول و دوم کشت به ترتیب برابر ۵۲۳ و ۶۴۰ میلی متر بود (Yarami et al., 2011). روش آبیاری کرتی با تولید ۴/۱۸ کیلوگرم در هکتار زعفران دسته و ۱۳/۱۲ تن در هکتار بنه، از روش جویچه‌ای با تولید ۲/۴۲۵ کیلوگرم و ۱۰/۴۸ تن بنه در هکتار، بهتر بوده و در سال‌هایی که بارندگی بیش از میانگین در منطقه خراسان جنوبی نازل می‌شود، مقدار محصول زعفران ۵۰ ٪ افزایش نشان می‌دهد (Shir-Mohammadi Aliakbar-Khani, 2003). همبستگی بالایی بین فواصل آبیاری و عملکرد وزن خشک وجود دارد، به طوری که عملکرد بالاتر با فواصل آبیاری کمتر بدست می‌آید. در سال اول کشت، به علت ضعف بنه‌ها و عدم استقرار کامل آن‌ها در خاک و کشت عمقی، جوانه‌های گل توان کافی برای رویش ندارند و حتی برگ‌ها درسال اول دیرتر از معمول ظاهر می‌شوند (Behdani et al., 2005). مصرف 30 تن در هکتار کود آلی و انجام آبیاری با فواص ماهیانه (مصرف 3600 مترمکعب در هکتار در طول فصل رشد) می‌تواند رشد و عملکرد زعفران را افزایش دهد (Fallahi et al., 2016). همچنین ارتباط مثبت بین اندازه بنه‌های زعفران با تولید گل در این گیاه گزارش شده است (Gresta et al., 2008; Kumar et al., 2009). در استان خراسان رضوی منبع اصلی تأمین‌کننده نیاز بخش‌های مختلف به آب، سفره‌های آب زیرزمینی هستند. به علت برداشت بیش از اندازه از این منابع بسیاری از دشت‌های استان دارای تراز منفی هستند و سطح آب زیرزمینی سالانه در حدود یک متر پایین می‌افتد. نیاز آبی زعفران بستگی به تراکم کشت و سال بهره‌برداری دارد و بین ۳۰۰۰ تا ۸۰۰۰ متر مکعب در هکتار متغیر بوده و در هر مدار بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار آبیاری انجام می‌شود. در مشهد نیاز آبی سالانه زعفران حدود ۳۰۰۰ متر مکعب و بهترین زمان برای آبیاری اول با توجه به دمای هوا در خراسان، ۱۵ مهر و دور آبیاری ۱۵ روز مناسب‌ترین دور آبیاری توصیه می شود (Mosaferi Ziauddiny, 2002). تاکنون افزایش تولید زعفران تنها ناشی از افزایش سطح زیرکشت بوده است و این موضوع یکی از چالش‌های مهم تولید زعفران در سال های آینده می باشد، زیرا در مناطق تولید زعفران تقریباً با آب قابل استحصال مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند و با توجه به شرایط اقلیمی منطقه خراسان، افزایش بیشتر سطح زیر کشت منطقی نیست و تنها راه افزایش پایدار تولید، افزایش عملکرد در واحد سطح می باشد (Alizadeh et al., 2008). اگر چه نیاز آبی زعفران نسبتاً پایین است، ولی اعمال تنش رطوبتی بر رشد برگ و غلاف گیاه شدیداً اثر دارد و بنابراین هرچند زعفران به عنوان گیاهی متحمل به خشکی شناخته شده است، لیکن نباید در شرایط تنش خشکی قرار گیرد (Goliaris, 1999). این تحقیق با هدف تعیین نیاز آبی و برنامه ریزی آبیاری زعفران و به منظور مدیریت بهینه مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب زعفران انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این طرح در مزرعه‌ای در روستای قلعه نو شاملو از توابع شهرستان باخرز واقع در ۱ کیلومتری شهرستان باخرز استان خراسان رضوی (با عرض جغرافیایی ″ ۲۵ ′۴۹ °۳۴ شمالی و طول جغرافیایی ″ ۵۲ ′۱۷ °۶۰ شرقی و ارتفاع ۱۲۸۱ متری از

سـطح دریا اجرا شد (شکل ۱).

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و شمای هوایی طرح
Figure 1- Geographical location and aerial view of the experimental site.

دور آبیاری به‌عنوان عامل افقـی (فـاکتور A) در چهـار مـدار (۱۵ =a1 ، ۳۰ =a2 ، ۴۵ =a3 و ۹۰ =a4 روز) و حجـــم آب آبیـاری بـه‌عنـوان عامـل عمـودی (فـاکتور B) در چهـار حجـم (۲۵۰=b1 ، ۵۰۰=b2، ۱۰۰۰=b3 و ۱۲۵۰=b4 متـر مکعـب در هکتار) انتخاب شد. تیمارها (حجم های مختلـف آب آبیـاری بـر حسب متر مکعب در هکتار) شامل: a1b1= 2750 ($m^3.ha^{-1}$), a1b3= 11000 ($m^3.ha^{-1}$), a1b2= 5500 ($m^3.ha^{-1}$) a2b1= 1500 ($m^3.ha^{-1}$), a1b4= 13750 ($m^3.ha^{-1}$), a2b4= a2b2=3000($m^3.ha^{-1}$), a2b3= 6000 ($m^3.ha^{-1}$), a3b1=1000 ($m^3.ha^{-1}$), a3b2= 2000 7500 ($m^3.ha^{-1}$), ($m^3.ha^{-1}$), a3b3= 4000 ($m^3.ha^{-1}$), a3b4= 5000 ($m^3.ha^{-1}$), a4b1= 750 ($m^3.ha^{-1}$), a4b2= 1500 ($m^3.ha^{-1}$) , a4b3= 3000($m^3.ha^{-1}$) و a4b4= 3750 ($m^3.ha^{-1}$) در قالب سه تکرار از اوایل خرداد ۱۳۹۵ تا اواخر آبان مـاه ۱۳۹۷ بـه مدت سه سال متوالی اجرا شد. ابعاد کرت‌ها ۲*۲/۱ متر مربـع و با فاصله یک متر از هر طرف از کرت‌های مجـاور در نظرگرفتـه شد. در ۱۵ اردیبهشت ماه سـال‌هـای ۱۳۹۶ و۱۳۹۷ بـه منظـور بررسی اثرات طرح بر تولیـد بنـه‌هـای زعفـران نمونـه‌بـرداری از ۰/۱۵ متر مربع در هر کرت انجام شد. گل‌های زعفران در سال-های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در ۱ آبان‌ماه ظاهر شدند وگلدهی به مـدت ۲۰ روز به طول انجامید و در طول این مدت، یـک روز در میـان چیدن گل‌ها انجام شد (شکل ۲).

اجزای عملکرد شامل تعداد گل در واحد سطح شمارش شد و وزن تر گل، وزن خشک کلاله، وزن خشک خامه توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین و عملکرد کل گل‌تر و کلاله خشک زعفران از طریق برداشت گل‌های باقی‌مانده از هر کـرت تعیین شد. صفات زراعی اندازه‌گیری شده شامل صـفات مربـوط به گل زعفران (تعداد گل در واحد سـطح، وزن گـل تـر در واحـد

سطح و وزن کلاله خشک در واحد سطح) و صفات مربوط به بنه زعفران (تعداد بنه دختری در واحد سطح) اعمال شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از بسته نرم‌افزاری SPSS استفاده گردید.

شکل ۲- مراحل کاشت و داشت و برداشت طرح

Figure 2- Planting, growth, development and harvesting stages.

کارایی مصرف آب

آب به عنوان مهم‌ترین نهاده در تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود و از این رو کمبود آب عمده‌ترین عامل بازدارنده توسعه زراعت آبی محسوب می‌شود. با توجه به بحران فزاینده مرتب بر کیفیت منابع آبی در ایران و جهان، انتخاب استراتژی‌های مناسب به منظور بیشینه کردن میزان بهره‌وری آب برای محصولات تولیدی ضروری است (Behdani et al., 2008). بنا به تعریف کارایی مصرف آب مقدار محصول تولید شده به ازای واحد آب مصرف شده می‌باشد و با واحد کیلوگرم بر متر مکعب سنجیده می‌شود. مقدار آب مصرفی از جنبه‌های گوناگون قابل تعریف است، لذا کارایی مصرف آب نیز به روش‌های متفاوت قابل محاسبه می‌باشد (Molden et al., 2007). در این تحقیق، تجزیه واریانس شاخص کارایی مصرف آب زعفران با لحاظ نمودن میزان بارندگی برای چهار فاکتور کارایی مصرف آب برای گل تازه ($WUE_{Fresh\ flower}$)، کارایی مصرف آب برای گل خشک ($WUE_{Dry\ flower}$)، کارایی مصرف آب برای بنه (WUE_{Corm}) و کارایی مصرف آب برای کلاله (WUE_{Stigma}) محاسبه شد. با توجه به تیمارهای انتخاب شده زمان‌های آبیاری مشخص گردید و براساس آن آبیاری در طول فصل رشد انجام شد (جدول ۱).

جدول ۱- برنامه زمان‌بندی آبیاری تیمارهای طرح زعفران

Table 1- Irrigation schedule of saffron design treatments

تاریخ آبیاری Irrigation date دور آبیاری Interval irrigation (day)	۲۰ مهر 11 October	۱آذر 21 November	۱۵آذر 5 December	۱دی 21 December	۱۵دی 4 January	۱بهمن 20 January	۱۵بهمن 3 February	۱اسفند 19 February	۱۵اسفند 5 March	۱فروردین 21 March	۱۵فروردین 4 April	۱اردیبهشت 21 April	تعداد آبیاری Irrigation number
15	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
30	+	1		1		1		1		1		1	6
45	+	1			1			1			1		4
90	+	1				1						1	3

حجم کل آب مورد نیاز در طول فصل رشد با انجام آبیاری بر اساس مقدارهای پیش‌بینی شده در طرح برای هر مدار آبیاری مشخص گردید (جدول ۲).

آزمایش خاک مزرعه به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن انجام شد (جدول ۳).

جدول ۲- مقادیر کل آب آبیاری تیمارهای طرح

Table 2- The total amount of irrigation water for treatments (cubic meter per hectare)

مدار آبیاری Irrigation interval (day)	تعداد آبیاری Irrigation number	حجم کل آب (Total volume of water)			
		250 $m^3.ha^{-1}$	500 $m^3.ha^{-1}$	1000 $m^3.ha^{-1}$	1250 $m^3.ha^{-1}$
15	11	2750	5500	11000	13750
30	6	1500	3000	6000	7500
45	4	1000	2000	4000	5000
90	3	750	1500	3000	3750

جدول۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 3- Physical and chemical properties of farm soil

کربن‌آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس Available P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس Available K ($mg.kg^{-1}$)	قدرت یونی هیدروژن pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	بافت خاک Soil texture
0.35	0.04	4.8	85	7.15	1.17	لومی رسی Loamy clay

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس تأثیر اثرات ساده تیمارهای سطوح مختلف آبیاری و مدارهای مختلف آبیاری برعملکرد گل تازه و گل خشک و کلاله خشک و بنه زعفران در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید و اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و مدارهای مختلف آبیاری برعملکرد گل تازه و بنه زعفران در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد و اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و مدار-های مختلف آبیاری برعملکرد گل خشک زعفران معنی‌دار نشد و اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و مدارهای مختلف آبیاری برعملکرد وزن کلاله خشک زعفران در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل تکرار بر مدار و اثر متقابل تکرار بر حجم آب آبیاری معنی‌دار نشد (جدول ۴).

نتایج میانگین وزنی گل زعفران تحت تأثیر اثرات ساده تیمارهای سطوح مختلف آبیاری و مدارهای مختلف آبیاری آزمایش نشان داد که با افزایش حجم آب آبیاری از ۲۵۰ متر مکعب در هکتار (b1) به ۵۰۰ (b2) و ۱۰۰۰ (b3) و ۱۲۵۰ (b4) متر مکعب در هکتار به‌ترتیب میزان عملکرد وزن گل ۴۲/۲ و ۶۴/۴ و ۵۶/۹ درصد افزایش کمی یافته و اختلاف بین میانگین عملکرد گل در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد و میزان عملکرد بنه ۳۰/۵ و ۴۷/۷و ۴۷/۵ درصد افزایش کمی یافته و اختلاف بین میانگین عملکرد بنه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش مدار آبیاری از ۱۵ (a1) به ۳۰ (a2)، ۴۵ (a3) و (a4) ۹۰ روز به ترتیب میزان عملکرد گل زعفران را ۹/۱ و ۳۶/۱ و ۵۵/۸ درصد کاهش یافته و اختلاف بین میانگین عملکرد گل در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. میزان عملکرد بنه ۵/۷ و ۲۷/۳ و ۴۸/۹ درصد کاهش کمی یافته و اختلاف بین میانگین عملکرد بنه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۵).

جدول ٤ -تجزیه واریانس(میانگین مربعات) اثرات متقابل حجم و مدارهای مختلف آبیاری بر ویژگی‌های کمی عملکرد زعفران

Table 4- Analysis of variance (mean squares) for the effects of different irrigation volume and interval on some quantitative yield criteria of saffron

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	وزن بنه Weight of corm	وزن گل تازه Weight of fresh flower	وزن گل خشک Weight of dry flower	وزن کلاله خشک Weight of dry stigma
تکرار Replication	2	35895.396**	893.795**	18.189**	0.220**
مدار Interval	3	93990.889**	4311.710**	43.132**	1.119**
حجم Volume	3	34912.500**	1547.412**	25.302**	0.468**
حجم*مدار Interval * Volume	9	2343.685**	249.762**	3.115 ns	0.056*
تکرار* مدار Replication * Interval	6	954.035**	112.209*	3.713 ns	0.068*
تکرار* حجم Replication * Volume	6	344.479 ns	54.069 ns	2.045 ns	0.033 ns
تکرار* مدار*حجم Replication * Interval* Volume	18	588.525	31.350	1.609	0.018
کل Total	47	10595.29	493.08	7.09	0.141
ضریب تغییرات C.V. %		32.6	39.9	42.8	44.8

**، * و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

*, ** and ns are significant at the 0.05 and 0.01 level of probability and no significant, respectively.

جدول ٥- مقایسه میانگین اثرات متقابل حجم و مدارهای مختلف آبیاری بر ویژگی‌های کمی عملکرد زعفران

Table 5- Mean comparison for the effects of different irrigation volume and interval on some quantitative yield criteria of saffron

تیمار Factor	بنه عملکرد Yield of corms ($g.m^{-2}$)	وزن تر گل Fresh weight of flower ($g.m^{-2}$)	خشک گل وزن Dry weight of flower ($g.m^{-2}$)	وزن خشک کلاله Dry weight of stigma ($g.m^{-2}$)
حجم آب آبیاری Volume water irrigation (m^3)				
b1	240.17 b	39.465 b	4.242 b	0.553 b
b2	313.42 ab	56.129 ab	6.002 ab	0.863 a
b3	354.92 a	64.900 a	7.436 a	0.984 a
b4	354.17 a	61.905 a	7.161 a	0.955 a
مدار آبیاری Irrigation interval (day)				
a1	397.00 a	74.372 a	8.240 a	1.167 a
a2	374.17 a	67.616 a	7.304 a	0.991 a
a3	288.67 b	47.524 b	5.190 b	0.729 b
a4	202.83 c	32.886 c	4.107 c	0.469 c

*: در هر ستون تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

*: For each factor and in each column means followed by the same letters are not significantly different by Duncan's test at 5% level of probability.

نتایج بدست آمده از مقایسه میانگین وزنی بنه های زعفران تحت تأثیر اثرات متقابل تیمارهای مدارهای آبیاری و سطوح مختلف آبیاری آزمایش نیز نشان داد که با افزایش مدار آبیاری از a1 به a4 و افزایش حجم آبیاری از b1 به b4 بیشترین کاهش عملکرد بنه در تیمار a4b1 (حجم کل آب ۷۵۰ مترمکعب در هکتار) با کاهش ۷۲/۱ درصدی نسبت به a1b2 (حجم کل آب ۵۵۰۰ مترمکعب در هکتار) و کمترین عملکرد وزن تر گل در تیمار a4b1 (حجم کل آب ۷۵۰ مترمکعب در هکتار) با کاهش ۷۶/۵ درصدی نسبت به a1b2 (حجم کل آب ۵۵۰۰ مترمکعب در هکتار) و کمترین عملکرد وزن بنه در تیمار با حجم a4b1 (حجم کل آب ۷۵۰ مترمکعب در هکتار) با کاهش ۷۰/۶ درصدی نسبت به حجم a2b3 (حجم کل آب ۶۰۰۰ مترمکعب در هکتار) بدست آمد (جدول ۶).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل حجم و مدارهای مختلف آبیاری بر ویژگی‌های کمی عملکرد زعفران

Table 6- Mean comparisons for the effects of interaction of different irrigation volume and interval on some quantitative yield criteria of saffron

مدار آبیاری Irrigation interval (day)	حجم آب آبیاری Irrigation volume (m^3)	بنه عملکرد Yield of corms ($g.m^{-2}$)	وزن تر گل Weight of Fresh flower ($g.m^{-2}$)	وزن خشک گل Weight of dry flower ($g.m^{-2}$)	خشک کلاله وزن Weight of dry stigma ($g.m^{-2}$)	حجم کل آب Total volume of irrigation (m^3)
a1	b1	343.6 c	64.960 bc	6.680 bcd	0.922 abc	2750
	b2	431.6 ab	88.718 a	9.452 ab	1.406 a	5500
	b3	398.0 abc	73.544 abc	8.756ab	1.251 a	11000
	b4	414.6 ab	70.268 abc	8.076 abc	1.091 ab	13750
a2	b1	277.6 de	43.695 de	4.727 cdw	0.660 bcd	1500
	b2	365.0 bc	66.798 bc	6.520 bcd	0.973 abc	3000
	b3	452.0 a	83.459 ab	9.744 a	1.245 a	6000
	b4	402.0 abc	76.515abc	8.228 abc	1.087 ab	7500
a3	b1	206.3 fg	28.321 eh	3.482 de	0.367 d	1000
	b2	267.3 ef	39.395 eh	4.623 cde	0.651 bcd	2000
	b3	335.3 cd	62.128 c	5.352 cde	0.917 abc	4000
	b4	345.6 c	60.255 cd	7.306 bcd	0.981 abc	5000
a4	b1	133.0 h	20.886 h	2.081 d	0.264 d	750
	b2	189.6 gh	29.605 eh	3.417 bcd	0.425 d	1500
	b3	234.3 efg	40.471 eh	5.895 de	0.523 cd	3000
	b4	254.3 efg	40.583 eh	5.038 cde	0.665 bcd	3750

*: در هر ستون تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

*: For each factor and in each column means followed by the same letters are not significantly different by Duncan's test at 5% level of probability.

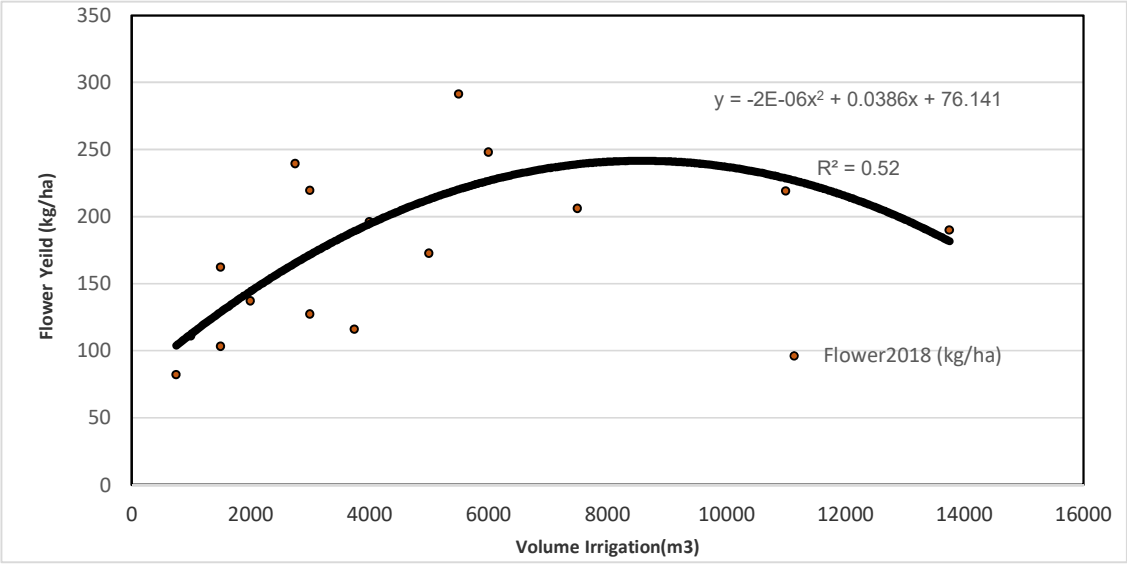
تأثیر رژیم آبیاری بر تعداد گل تولید در واحد سطح، طول گل ، طول کلاله، سرعت گلدهی و نیز عملکرد گل، کلاله و گلبرگ معنی‌دار بود ومیزان گلدهی زعفران در تیمار فواصل آبیاری چهار هفته، ۱۵ درصد بیشتر از تیمار انجام آبیاری با فواصل هر دو هفته بود این موضوع با کاهش ۱۵ درصدی تعداد بنه‌های دختری در رژیم آبیاری دو هفته همخوانی دارد با کاهش فواصل آبیاری مقادیر طول گل و کلاله حدود هفت درصد در مقایسه با دور آبیاری چهار هفته‌ای افزایش نشان داد، ولی سرعت گلدهی ۲۳ درصد کاهش یافت (Fallahi & Mahmoodi, 2018).

رابطهٔ آب مصرفی -عملکرد زعفران

در شکل ۱ منحنی تابع تولید برای زعفران با استفاده از نتایج سطوح مختلف آبیاری و مدارهای مختلف آبیاری رسم شده است . نقطه حداکثر تولید گل با مشتق گیری از تابع درجه دو تولید با مقدار آب مصرفی ۹۶۵۰ متر مکعب و تولید ۲۶۲/۴ کیلوگرم گل در هکتار در سال سوم کشت زعفران بدست آمد.

نتایج تجزیه واریانس تأثیر اثرات ساده و متقابل تیمارهای سطوح مختلف آبیاری و مدارهای مختلف آبیاری برکارایی مصرف آب (گل تازه و گل خشک و کلاله خشک و بنه) زعفران در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۷).

نتایج بدست آمده از مقایسه میانگین کارایی مصرف آب بر مبنای وزن گل و وزن کلاله و وزن بنه زعفران تحت تأثیر اثر ساده حجم مختلف آبیاری نشان می‌دهد که با افزایش حجم آب آبیاری از ۲۵۰متر مکعب (b1) به ۵۰۰ (b2) و ۱۰۰۰ (b3) و ۱۲۵۰ متر مکعب (b4) به ترتیب میزان کارایی مصرف آب نسبت به عملکرد بنه به مقدار ۶۸/۱ و ۶۰/۶ و ۳۳/۷ درصد کاهش یافته و با افزایش مدار آبیاری از ۱۵ روز (a1) به ۳۰ (a2) و ۴۵ (a3) و ۹۰ روز (a4) به ترتیب میزان کارایی مصرف آب نسبت به عمکلرد بنه مقدار ۶۶/۷ و ۸۲/۷ و ۶۱/۵ درصد افزایش یافته است (جدول ۸). همچنین با افزایش حجم آب آبیاری از b1 به b2 وb3 و b4 به ترتیب میزان کارایی مصرف آب نسبت به عمکلرد گل به مقدار ۶۴/۹ و ۵۴/۴ و ۲۸/۵ درصد کاهش و با افزایش مدار آبیاری از a1 به a2 و a3 و a4 به ترتیب میزان کارایی مصرف آب نسبت به عمکلرد کلاله خشک به مقدار ۳۹/۵ و ۴۶/۷ و ۴۶/۴ درصد افزایش یافته است (جدول ۸).



شکل ۳-تابع تولید گل زعفران

Figure 3- Production function of saffron flower.

جدول ۷ -تجزیه واریانس(میانگین مربعات) اثرات حجم و مدارهای مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب برخی از صفات زعفران

Table 7- Analysis of variance (mean squares) for the effects of different irrigation volume and interval on water use efficiency of some saffron criteria

تکرار Replication	درجه آزادی df	کارایی مصرف آب بنه WUE of corm	کارایی مصرف آب گل تازه WUE of fresh flower	کارایی مصرف آب گل خشک WUE of dry flower	کارایی مصرف آب کلاله خشک WUE of dry stigma
تکرار Replication	2	17.71**	696.87**	13.173**	0.194**
مدار Interval	3	152.77**	8323.31**	88.669**	1.436**
حجم Volume	3	31.96**	1106.58**	16.776**	0.206**
حجم*مدار Interval * Volume	9	0.965**	43.12 *	1.948 ns	0.025**
تکرار* مدار Replication * Interval	6	0.314**	23.20 ns	1.211 ns	0.014 ns
تکرار* حجم Replication * Volume	6	1.563 ns	38.46 ns	2.020 ns	0.032**
تکرار* مدار*حجم Replication * Interval* Volume	18	0.258	17.06	1.819	0.007
کل Total	47	13.06	654.22	8.773	0.126
ضریب تغییرات C.V. %		52.6	44.7	46.5	42.6

**، * و ns به ترتیب نشاندهنده معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم وجود اختلاف معنی دار می‌باشند.

*, ** and ns are significant at the 0.05 and 0.01 level of probability and no significant, respectively.

جدول ۸ – مقایسه میانگین اثرات حجم و مدارهای مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب برخی از صفات زعفران

Table 8- Mean comparison for the effects of different irrigation volume and interval on water use efficiency of some saffron criteria

تیمار Factor / حجم آب آبیاری Irrigation volume (m^3)	کارایی مصرف آب بنه WUE of corm ($kg.m^{-3}$)	کارایی مصرف آب گل تازه WUE of fresh flower ($g.m^{-3}$)	کارایی مصرف آب گل خشک WUE of dry flower ($g.m^{-3}$)	کارایی مصرف آب کلاله خشک WUE of dry stigma ($g.m^{-3}$)
b1	11.562 a	90.768 a	9.863 a	1.244 a
b2	7.671 b	64.859 b	7.067 b	0.991 b
b3	4.557 c	41.348 c	4.769 c	0.604 c
b4	3.678 c	31.821 d	3.741 c	0.498 c
مدار آبیاری Irrigation Interval (day)				
a1	4.496 a	42.957 a	4.609 a	0.653 a
a2	7.261 b	62.923 a	6.705 a	0.930 b
a3	8.216 b	63.001 b	7.160 b	0.931 b
a4	7.495 b	59.914 b	6.966 b	0.822 b

*: در هر ستون تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

*: For each factor and in each column means followed by the same letters are not significantly different by Duncan's test at 5% level of probability.

نتایج بدست آمده از مقایسه کارایی مصرف آب زعفران تحت تأثیر اثر متقابل حجم و مدار مختلف آبیاری در نشان می‌دهد که با افزایش مدار آبیاری از ۱۵ روز به ۹۰ روز و افزایش حجم آبیاری از ۲۵۰ متر مکعب به ۱۲۵۰ متر مکعب بیشترین کاهش کارایی مصرف آب بر مبنای وزن بنه در تیمار a1b4 (حجم کل آب ۱۳۷۵۰ متر مکعب) با کاهش ۸۵/۴ درصدی نسبت به a3b1(حجم کل آب ۱۰۰۰ مترمکعب) و بیشترین کاهش کارایی مصرف آب بر مبنای وزن گل در تیمار a1b4 (حجم کل آب ۱۳۷۵۰متر مکعب) با کاهش ۸۲/۴ رصدی نسبت به a2b1 (حجم کل آب ۱۵۰۰ مترمکعب) بدست آمد (جدول ۹) .

جدول ۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل حجم و مدارهای مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب برخی از صفات زعفران

Table 9- Mean comparison for the effects of interaction of different irrigation volume and interval on water use efficiency of some saffron criteria

مدار آبیاری Irriation interval (Day)	حجم آب آبیاری Irrigation volume (m^3)	کارایی مصرف آب بنه WUE of corm ($kg.m^{-3}$)	کارایی مصرف آب گل تازه WUE of fresh flower ($g.m^{-3}$)	کارایی مصرف آب گل خشک WUE of dry stigma ($g.m^{-3}$)	کارایی مصرف آب کلاله خشک WUE of dry stigma ($g.m^{-3}$)	حجم کل آب Total volume of water (m^3)
a1	b1	8.331 c	78.740 b	1.11 bc	8.09 cd	2750
	b2	5.232 d	53.768 d	0.85 de	5.72 def	5500
	b3	2.412 fg	22.286 h	0.37 hi	2.65 ik	11000
	b4	2.011 g	17.035 h	0.264h	1.958 k	13750
A2	b1	12.341 b	97.1 a	1.46 a	10.50 ab	1500
	b2	8.111 c	74.2 b	1.08 bc	7.24 cde	3000
	b3	5.022 d	46.3 def	0.69 efg	5.41 efg	6000
	b4	3.573 ef	34.01 g	0.48 gh	3.65 hik	7500
a3	b1	13.756 a	94.404 a	1.22 b	11.60 a	1000
	b2	8.911 c	65.658 c	1.08 bc	7.70 cde	2000
	b3	5.589 d	51.77 de	0.76 def	4.46 ghi	4000
	b4	4.609 de	40.17 fg	0.65 efg	4.87 fgh	5000
a4	b1	11.822 b	92.828 a	1.17 b	9.24 bc	750
	b2	8.430 c	65.789 c	0.94 cd	7.59 cde	1500
	b3	5.207 d	44.96 ef	0.58 fgh	6.55 def	3000
	b4	4.521 de	36.074 g	0.59 fg	4.47 ghi	3750

*: در هر ستون تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

*: For each factor and in each column means followed by the same letters are not significantly different by Duncan's test at 5% level of probability.

در این طرح آبیاری با حجم ۵۵۰۰ متر مکعب در هکتار بیشترین عملکرد گل و بنه زعفران را به دنبال داشت که با کاهش حجم آبیاری به ۷۵۰ متر مکعب در هکتار کاهش ۷۲/۱ درصدی عملکرد بنه دختری و کاهش ۷۱/۸ درصدی وزن گل را به دنبال داشت که در تحقیق مشابه مشخص شد کاهش آبیاری از سطح ۱۰۰ به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، تعداد بنه‌های دختری و وزن آن‌ها را شدیداً کاهش می‌دهد (به ترتیب ۶۲ و ۸۶ درصد) و در مجموع بیشترین سطح فتوسنتزی گیاه زعفران و نیز حداکثر تعداد گل و وزن کل بنه‌های دختری در روش آبیاری قطره‌ای و در سطح تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد (Karimiferezgh et al., 2018). عملکرد و کارآیی مصرف آب محصول زعفران، بیشترین حساسیت را به عامل آبیاری، سپس بارندگی و درنهایت ساعات آفتابی دارد (Shirdeli & Tavassoli, 2015) و آبیاری و تأمین رطوبت کافی جهت

افزایش وزن بنه ها نیز در افزایش عملکرد زعفران مؤثر بوده است و تأمین رطوبت کافی سبب افزایش تعداد بنه‌های خواهری شد (Mohammad Abadi et al., 2011) و در این تحقیق نیز تغییر در تأمین سطوح مختلف آب آبیاری بر کارایی مصرف آب تأثیر متفاوت داشت، به طوری که بیشترین کارایی مصرف آب در حجم آبیاری ۱۵۰۰ متر مکعب در هکتار بدست آمد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که بیشترین عملکرد گل و بنه زعفران در تیمار a1b2 با حجم مصرفی ۵۵۰۰ متر مکعب در هکتار در سال بدست آمد. با افزایش مدار آبیاری از ۱۵ روز به ۹۰ روز و افزایش حجم آبیاری از ۲۵۰ متر مکعب در هکتار (حجم آب مصرفی ۵۵۰۰ متر مکعب در هکتار در سال) با کاهش ۷۲/۱ درصدی نسبت به حجم a1b2 و کمترین عملکرد وزن تر گل در تیمار a4b1 با کاهش ۷۱/۸ درصدی نسبت به تیمار a1b2 و کمترین عملکرد وزن کلاله خشک در تیمار a4b1 با کاهش ۷۷/۴ درصدی نسبت به تیمار a1b2 بدست آمد. همچنین بیشترین کارایی مصرف آب زعفران در تیمار a2b1 (حجم آب مصرفی ۱۵۰۰ متر مکعب در هکتار در سال) بدست آمد. با افزایش مدار آبیاری از ۱۵ روز به ۹۰ روز و افزایش حجم آبیاری از ۲۵۰ متر مکعب در هکتار به ۱۲۵۰ متر مکعب در هکتار بیشترین کاهش کارایی مصرف آب بر مبنای وزن بنه دختری در تیمار a1b4 با کاهش ۹۰ درصدی نسبت به تیمار a3b1 و بیشترین کاهش کارایی مصرف آب بر مبنای وزن کلاله خشک در تیمار a1b4 با کاهش ۸۵ درصدی نسبت به تیمار a2b1 بدست آمد. با توجه به نتایج بدست آمده بهترین برنامه آبیاری برای زعفران آبیاری با حجم ۲۵۰ تا ۵۰۰ متر مکعب در هکتار در مدار۳۰ روز (۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر مکعب در هکتار درسال زراعی) می‌باشد و برای اجرایی نمودن آن استفاده از روش‌های نوین آبیاری با هدف مصرف بهینه آب برای زعفران توصیه می‌شود.

قدردانی

این تحقیق با حمایت دانشگاه فردوسی مشهد و جهاد کشاورزی خراسان رضوی اجرا شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Alizadeh, A., Sayari, N., Ahmadian, J., and Mohamadian, A. 2008. Study for zoning the appropriate time of irrigation of saffron (*Crocus sativus*) in Khorasan Razavi, northern and southern provinces. Journal of Water and Soil 23: 109-118. (In Persian with English Summary).

Azizi Zohan, A.A., Kamgar-Haghighi, A.A., and Sepaskhah, A.R. 2006. Effect of irrigation method and frequency on corm and saffron production (*Crocus sativus* L.). JWSS-Isfahan University of Technology 10 (1): 45-54. (In Persian with English Summary).

Behdani, M.A., Koocheki, A.R., Nassiri, 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: 1-14. (In Persian with English Summary).

Behdani, M.A., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Jami Al-Ahmadi, M. 2008. Agro-ecological zoning and potential yield of saffron in Khorasan-Iran. Journal of Biological Sciences 8 (2): 298-305.

Fallahi, H.R., Zamani, G., Mehrabani, M., Aghhavani-Shajari, M., and Samadzadeh, A. 2016. Influence of superabsorbent polymer rates on growth of saffron replacement corms.

Journal of Crop Science and Biotechnology 19 (1): 77-84. (In Persian with English Summary).

Fallahi, H.R., and Mahmoodi, S. 2018. Influence of organic and chemical fertilization on growth and flowering of saffron under two irrigation regimes. Saffron Agronomy and Technology 6 (2): 147-166. (In Persian with English Summary).

Gresta, F., Lombardo, G.M., Siracusa, L., and Ruberto, G. 2008. Saffron, an alternative crop for sustainable agricultural systems. A review. Agronomy for Sustainable Development 28: 95-112.

Goliaris, A.H. 1999. Saffron Cultivation in Greece. In: Neghbi, M., (Eds.), Saffron. Harwood Academic Publication. The Nether- land. pp. 73-83.

Kafi, M., Rashed-Mohassel, M.H., Koocheki, A., and Mollafilabi, A. 2006. Saffron, Production and Processing. Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran. (In Persian with English Summary).

Karimiferezgh, M., Khazaei, H.R., Kafi, M., and Nezami, A. 2018. Comparison of the effect of irrigation levels and methods on leaf area and replacement corm production of saffron (*Crocus sativus* L.). Saffron Agronomy and Technology 6 (3): 279-290. (In Persian with English Summary).

Koocheki, A.R., Rezvani Moghaddam, P., and Fallahi, H.R. 2015. Effects of planting dates, irrigation management and cover crops on growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Agroecology 8 (3): 435-451. (In Persian with English Summary).

Kumar, R., Virendra, S., Kiran, D., 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.

Mohammad Abadi, A.A., Rezvani Moghaddam, P., and Fallahi, J. 2011. Effects of planting pattern and the first irrigation date on growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Agroecology 3 (1): 84-93. (In Persian with English Summary).

Molden, D., Oweis, T., Kijne, J., Steduto, P., Ahmad Hanjra, M., Bindraban, P.S., Bouman, B.A.M., Cook, S., Erenstein, O., Farahani, H., Hachum, A., Hoogeveen, J., Mahoo, H., Nangia, V., Peden, V., Sikka, A., Silva, P., Turral, H., Upadhyaya, A., and Zwart, S. 2007. Pathways for increasing agricultural water productivity. In: D. Molden (Ed.). Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture (7 ed., pp. 279-310). Earthscan; International Water Management Institute.

Mollafilabi A. 2004. Experimental findings of production and echophysiological aspects of saffron (*Crocus sativus* L.). Acta Horticulturae (ISHS) 650: 195-200.

Mosaferi Ziauddiny, H. 2002. Investigation the effects of irrigation methods yield of saffron (*Crocus sativus* L.). M.Sc Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary).

Mosaferi Ziauddiny, H., Alizadeh, A., and Mousavi, S.J. 2009. Effect of summer irrigation on saffron yield. Science and Technology of Agriculture 21: 163-169. (In Persian with English Summary).

Sadeghi, B., Hosseini, M., Masroori, M., and Mollafilabi, A. 2013. Effect of nutrition in bed on enlargement of saffron corm. Research Project for Institute of Food Science and Technology, Khorasan Razavi, Iran. 23p. (In Persian).

Sepaskhah, A.R., and Kamgar Haghighi, A.A. 2009. Saffron irrigation regime. International Journal of Plant Production 3 (1): 1-16.

Shirdeli, A, and Tavassoli, A. 2015. Predicting yield and water use efficiency in Saffron using models of artificial neural network based on climate factors and water. Saffron Agronomy

and Technology 3 (2): 121- 131. (In Persian with English Summary).

Shir-Mohammadi Aliakbar-Khani, Z. 2003. Investigation the effects of irrigation methods and water defiction on leaf area index, canopy temperature and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). M.Sc Thesis, University of Shiraz, Iran. (In Persian with English Summary).

Yarami, N., Kamgar-Haghighi, A.A., Sepaskhah, A.R., and Zand-Parsa, S. 2011. Determination of the potential evapotranspiration and crop coefficient for saffron using a water-balance lysimeter. Archives of Agronomy and Soil Science 57: 727-740.

Effect of Irrigation Regimes on Crop Water Use Efficiency of Saffron (Case study: the Bakharz region of Khorasan Razavi, Iran)

***Hassan Mosafery Zyaaldiny*[1], *Amin Alizadeh*[2*] *and Parviz Rezvani Moghaddam*[3]**

Submitted: 7 April 2020 **Accepted:** 12 August 2020

Mosafery Zyaaldiny, H., Alizadeh, A., Rezvani Moghaddam, P. 2021. Effect of Irrigation Regimes on Crop Water Use Efficiency of Saffron (Case study: the Bakharz region of Khorasan Razavi, Iran). Saffron Agronomy & Technology, 8(4): 497-510.

Abstract

An experiment was conducted in a strip-plot layout based on a randomized complete block design with three replications in the 2016-2017 growing season at the Bakhrez county, Khorasan Razavi province, Iran, in order to study quantitative performance and water use efficiency of a few saffron criteria in response to different irrigation volumes and intervals. Irrigation intervals was allocated as horizontal factor (factor A) in four levels (a1=15, a2 =30, a3 = 45, and a4 = 90 days) and irrigation water volume performed as vertical factor (factor B) in four volumes (b1 = 250, b2 = 500, b3 = 1000 and b4 = 1250 $m^3.ha^{-1}$). The results showed that the highest saffron flower and corm yields were obtained in the a2b3 treatment (total water volume of 6000 $m^3.ha^{-1}$). The highest reduction in corm yield is shown in the a4b1 treatment (total water volume 750 $m^3.ha^{-1}$) with a decrease of 72.1% compared to a1b2 (total water volume 5500 $m^3.ha^{-1}$). The lowest fresh flower yield was obtained in the a4b1 treatment (total water volume 750 $m^3.ha^{-1}$) with a decrease of 76.5% compared to a1b2 (total water volume 5500 $m^3.ha^{-1}$), and the lowest yield of corm yield was shown in treatment with a4b1 volume (total water volume 750 $m^3.ha^{-1}$) with a decrease of 70.6% compared to the a2b3 volume (The total volume of water was 6000 $m^3.ha^{-1}$). Also, the results showed that the highest decrease in corm water use efficiency was obtained in the a1b4 treatment (total water volume 13750 $m^3.ha^{-1}$) decreased by 85.4 percent compared to a3b1 (total volume of water 1000 $m^3.ha^{-1}$) and the greatest decrease in fresh flower water use efficiency was shown in the a1b4 treatment (total volume of water 13750 $m^3.ha^{-1}$) decreased by 82.4% compared to a2b1 (total volume of water 1500 $m^3.ha^{-1}$). According to the results, 250 to 500 $m^3.ha^{-1}$ irrigation in 30-day intervals (1500 to 3000 $m^3.ha^{-1}$) is recommended for maximum water use efficiency in saffron cultivation.

Keywords: Corm yield, Dry flower yield, Irrigation planning, Water Productivity.

1- Ph.D. Student of Water Science Engineering, international campus, Ferdowsi University of Mashhad
2- Professor, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
3- Professor, Department of Agrtechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding author Email: alizadeh@um.ac.ir)
DOI: 10.22048/JSAT.2020.225629.1389