

تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی زعفران (*Crocus sativus* L.) با استفاده از روش لایسیمتری در اقلیم خشک-کویری بیرجند

سعید قوام‌سعیدی نوقابی^{۱*}، عباس خاشعی سیوکی^۲، حسین حمامی^۳، علی شهیدی^۴، مصطفی یعقوب‌زاده^۵

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۵- استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

* نویسنده مسئول: saeidghavam@birjand.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۱

چکیده

زعفران گیاهی متعلق به خانواده زنبقیان، علفی، چندساله و نیمه‌گرمسیری است که کشت آن در استان خراسان جنوبی از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به اهمیت مقدار آب آبیاری در عملکرد زعفران، این تحقیق به منظور تعیین نیاز آبی زعفران در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. برای اجرای این طرح از شش مینی‌لایسیمتر استفاده شد که سه لایسیمتر به محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (چمن) اختصاص یافت و در سه لایسیمتر دیگر گیاه زعفران کشت شد. آبیاری هر کدام از واحدهای آزمایشی بر اساس ظرفیت زراعی و به روش اندازه‌گیری رطوبت وزنی اعمال گردید. بر اساس نتایج بدست آمده از معادله بیلان آب، میزان تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع و زعفران به ترتیب برابر ۱۱۳۸/۸۱ و ۷۶۴/۱۲ میلی‌متر بود. طول مراحل مختلف رشد گیاه زعفران شامل مراحل ابتدایی، نمو، میانی و انتهایی به ترتیب برابر ۳۰، ۵۰، ۵۵ و ۶۵ روز بدست آمد. در نهایت، بر اساس روش FAO، نمودار تغییرات ضریب گیاهی ترسیم شد و میانگین ضریب گیاهی در مراحل چهارگانه رشد گیاه به ترتیب برابر ۰/۴۸، ۰/۸۴، ۱/۲۷ و ۰/۳۷ حاصل گردید. همچنین اثر مراحل چهارگانه رشد گیاه بر تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع، زعفران و ضریب گیاهی معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$).

واژه‌های کلیدی: بیلان آب، تبخیر-تعرق پتانسیل، مراحل چهارگانه رشد.

مقدمه

خطا در ارزیابی تبخیر-تعرق می‌تواند در تعیین نیاز آبی گیاهان و راندمان‌های آبیاری اثر منفی داشته باشد. این موضوع به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود منابع آب مواجه هستند، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (Khashei Siuki et al., 2015).

در رابطه با برآورد نیاز آبی به روش لایسیمیتری، تحقیقات زیادی در مورد گیاهان زراعی و باغی انجام شده است، اما درخصوص گیاهان دارویی، تحقیقات به مراتب کمتری صورت گرفته است. در شمال چین با هدف ارزیابی ضریب گیاهی دو جزئی در تعیین مقدار تبخیر-تعرق واقعی بر روی گندم پاییزه و ذرت با استفاده از لایسیمترهای وزنی آزمایشی صورت گرفت. نتایج نشان داد که ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد برای گندم به‌ترتیب برابر ۰/۸، ۱/۱۵، ۱/۲۵ و ۰/۹۵ و برای ذرت ۰/۹، ۰/۹۵، ۱/۲۵ و ۱ تخمین زده شد (Liu & Luo, 2010). در پژوهشی دیگر، ضریب گیاهی و ضریب حساسیت به کم‌آبی سیب‌زمینی در دو سال مطالعه بررسی و بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده، مدل *SIMDualKc* واسنجی و صحت‌سنجی گردید. نتایج نشان داد که برآورد دقیق نیاز آبی و مدیریت زمان کشت در کاهش آب آبیاری معنی‌دار بوده و مدیریت آب مصرفی را بهبود می‌بخشد (Paredes et al., 2018).

در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه، نیاز آبی زعفران برای دو سال آزمایش به‌ترتیب برابر ۴۸۶ و ۶۷۰ میلی‌متر و ضریب گیاهی نیز در مراحل اولیه، میانی و انتهایی رشد گیاه بین ۰/۲۲ تا ۰/۲۴، ۰/۹۴ تا ۱/۰۵ و ۰/۶۸ تا ۰/۷۸ به‌دست آمد (Azizi Zohan et al., 2008). در تحقیقی مشابه در منطقه بیرجند، میزان ضریب گیاهی زینان در مراحل چهارگانه رشد گیاه به‌ترتیب برابر ۰/۷۸، ۱/۰۶، ۱/۱۳ و ۰/۹۶ گزارش شد (Saberi et al., 2016). در پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری واقع در اهواز، نیاز آبی و ضریب گیاهی خرما در مرحله رشد رویشی با استفاده از لایسیمتر تعیین شد. نتایج نشان داد که مقدار تبخیر-تعرق واقعی خرما در سال‌های اول تا سوم رشد به‌ترتیب برابر ۲۷۴/۳، ۴۰۲/۷ و ۵۹۷/۲ میلی‌متر بود (Alihoury, 2017). در دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، میزان تبخیر-تعرق دو گونه بابونه و زیره سبز به‌ترتیب برابر ۶۱۰/۳ و ۴۱۶/۴ میلی‌متر و ضریب گیاهی در دوره‌های

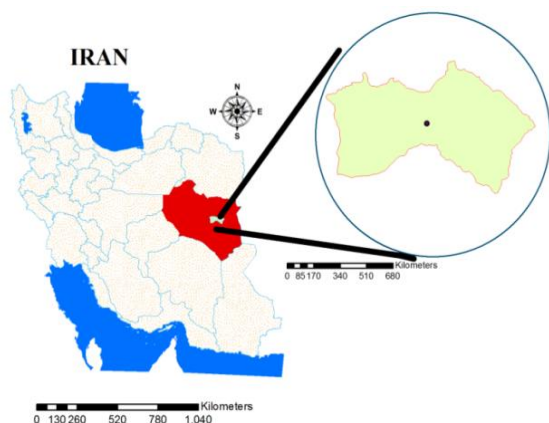
زعفران (*Crocus sativus L.*) به‌عنوان گیاهی ادویه‌ای، افزودنی و طعم‌دهنده در صنایع غذایی مورد استفاده است، علاوه بر آن دارای کاربردهای دارویی متعددی نیز می‌باشد (Hosseinzadeh & Sadeghnia, 2005; Maggi et al., 2010; Koocheki et al., 2018) و از آنجا که گران‌ترین ادویه در جهان است، طلای سرخ نامیده می‌شود (Shahi et al., 2016). زعفران به صورت گسترده در طب سنتی و صنایع دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کلاله قرمز خشک شده زعفران نه تنها یک ادویه، بلکه یک گیاه دارویی بسیار محبوب در طب سنتی است که در برابر گرفتگی عضلات، آسم، اختلالات قاعدگی، بیماری کبد، درمان سرطان و تقویت دستگاه گوارش مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ferrara et al., 2014). در حال حاضر، ایران بزرگ‌ترین تولیدکننده زعفران در جهان است و تقریباً ۹۰ درصد از تولید زعفران و بیش از ۸۴ درصد سطح زیرکشت آن در دنیا به ایران تعلق دارد (Mardani Asl et al., 2018). استان‌های خراسان رضوی و جنوبی، دو قطب عمده تولید زعفران در کشور محسوب می‌شوند (Mollafilabi & Shoorideh, 2009). سطح زیر کشت این گیاه در ایران در سال ۱۳۹۰ بالغ بر ۷۲۱۶۲ هکتار بود که بیش از ۷۰۰۰۰ هکتار آن به دو استان خراسان رضوی و جنوبی (۵۷۰۰۰ هکتار به خراسان رضوی و ۱۳۰۰۰ هکتار به خراسان جنوبی) اختصاص داشت (Jahad Keshavarzi, 2012). بدیهی است که از طریق افزایش تولید و توسعه صادرات زعفران به روش صحیح می‌توان درآمد ارزی قابل اطمینانی را برای کشور تأمین نمود.

با توجه به خصوصیات اقلیمی، کمبود آب و کشت عمده زعفران در شهرستان بیرجند، توجه به نیاز آبی آن از اهمیت خاصی برخوردار است. از طرفی نظام‌های سنتی آبیاری و کشاورزی در این منطقه سبب به‌هدر رفتن منابع آبی می‌گردد. به‌همین دلیل طراحی و برنامه‌ریزی دقیق آبیاری به‌منظور استفاده بهتر از آب آبیاری در این منطقه مورد نیاز می‌باشد (Stegman & Bauer, 1997). بررسی میزان تبخیر-تعرق یکی از اساسی‌ترین نیازهای طراحی سیستم‌های آبیاری است و تخمین دقیق آن در ارتقاء سطح بهره‌برداری از منابع آب در کشاورزی مؤثر می‌باشد. وجود

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۷ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد (شکل ۱). میانگین کمینه و بیشینه دمای سالیانه بیرجند به ترتیب برابر ۸ و ۲۴ درجه سانتی‌گراد، بارش سالانه ۱۲۰ میلی‌متر و میانگین تبخیر-تعرق پتانسیل ۲۷۰۰ میلی‌متر است. بر اساس شاخص‌های اقلیمی دوماتن و ایوانف، شهر بیرجند دارای اقلیم خشک-کوبری می‌باشد (Jafarzadeh et al., 2017). قبل از کاشت جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده، نمونه‌برداری صورت گرفت. نتایج مربوطه به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان

Fig. 1. Location of study area in the country and province

مختلف رشد برای گونه بابونه به ترتیب برابر ۰/۱۶، ۰/۵۴، ۰/۱۸۶ و ۰/۵ و برای گونه زیره سبز برابر ۰/۱۴، ۰/۵۲، ۰/۷ و ۰/۵ محاسبه شد (Saeedinia et al., 2018). در پژوهشی دیگر روی تعیین ضریب گیاهی چای ترش در منطقه بیرجند نیاز آبی چای ترش و تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع با استفاده از لایسیمتر و به روش بیلان آب محاسبه گردید. در نهایت در پایان فصل رشد، مقادیر ضرایب گیاهی در چهار مرحله ابتدایی، نمو، میانی و انتهایی برای این گیاه به ترتیب برابر ۱/۲۶، ۱/۵۵، ۱/۸۱ و ۰/۹۶ بدست آمد (Ghavamsaeidi Noghabi et al., 2019). در پژوهشی مشابه در این منطقه، میزان نیاز آبی خارمریم در طی ۱۷۷ روز دوره رشد گیاه برابر ۹۲۰/۲ میلی‌متر برآورد شد. ضریب گیاهی نیز در مراحل اولیه، نمو، میانی و انتهایی به ترتیب برابر با ۰/۳۴، ۰/۶۹، ۰/۹۳ و ۰/۷۷ گزارش شد (Ghavamsaeidi Noghabi et al., 2019).

با توجه به اینکه زعفران یکی از مهم‌ترین محصولات استراتژیک استان خراسان جنوبی و مناطق خشک و نیمه‌خشک شرق کشور محسوب می‌شود و کشت آن در سطح وسیعی از این منطقه صورت می‌گیرد، بنابراین لازم است تا برآورد مناسبی از نیاز آبی این گیاه در منطقه صورت گیرد. از این‌رو، برای مدیریت بهتر آبیاری، ضروری است به صورت پایه‌ای عمل نموده و با مشخص کردن نیاز آبی و ضرایب گیاهی زعفران در منطقه، مدیریت‌های آبیاری با دقت بالاتری انجام گیرد. با توجه به اینکه در این زمینه تحقیق خاصی انجام نشده است، هدف این تحقیق عبارت است از تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی در مراحل چهارگانه رشد گیاه زعفران در شرایط آب و هوایی بیرجند.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. Soil physical and chemical characteristics of experimental farm

عمق (سانتی‌متر)	جرم مخصوص	رطوبت جرمی	رطوبت جرمی	هدایت الکتریکی	کربن آلی
Depth (cm)	ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	ظرفیت زراعی (درصد)	نقطه پژمردگی (درصد)	عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر)	(درصد)
	Bulk density ($g.cm^{-3}$)	θ_{FC} (%)	θ_{PWP} (%)	EC of saturation extract ($dS.m^{-1}$)	Organic carbon (%)
0-30	1.4	17.9	11.8	8.12	0.49
	لوم Loam				

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده

Table 2. Water chemical characteristics used in the experiment

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	نسبت جذب سدیم SAR	کاتیون‌ها (میلی‌اکی والان بر لیتر) Cations ($meq.lit^{-1}$)				آنیون‌ها (میلی‌اکی والان بر لیتر) Anions ($meq.lit^{-1}$)			
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Hco ₃ ⁻	Co ₃ ²⁻	So ₄ ²⁻
1.4	8	7.5	3.5	2.7	13.3	0.08	8.8	4.9	0	6.4

صورت که هر روز گلدان‌ها وزن گردید و زمانی که رطوبت خاک به حد پایین رطوبت سهل‌الوصول (θ_m) رسید، آبیاری صورت گرفت. میزان رطوبت سهل‌الوصول و حد پایین آن با استفاده از معادلات ۱ و ۲ محاسبه شد (Alizadeh, 2013).

$$RAW = MAD(\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \quad (1)$$

$$m = \theta \left|_{FC} - MAD(\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \right| \theta \quad (2)$$

در این معادلات، MAD : حداکثر میزان تخلیه و مقدار آن در ۰/۵ در نظر گرفته شد. $FC\theta$: میزان درصد رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی و $PWP\theta$: میزان درصد رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی می‌باشد. آب مورد نیاز گیاه مرجع (چمن) نیز طبق روش ذکر شده اعمال گردید.



شکل ۲. وضعیت لایسمترها در اواخر دوره رشد

Fig. 2. The status of lysimeters in the end of the growth period

تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_o)

در این تحقیق از کشت مستقیم چمن برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع استفاده شد. روش کار به این صورت بود که قبل از کاشت بانه زعفران، بذر چمن در لایسمترهای مربوطه کشت گردید و اجازه داده شد تا ارتفاع ۱۲ سانتی‌متری رشد کنند. در طول دوره رشد گیاه زعفران، ارتفاع گیاه چمن در این حد حفظ و در حد پتانسیل آبیاری گردید. نیاز آبی چمن در طول دوره رشد ثبت و به‌عنوان تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع در نظر گرفته شد.

طراحی و ساخت لایسمترها

برای اجرای این طرح با توجه به اندازه و ارتفاع گیاه، از شش عدد لایسمتر وزنی (گلدانی) به قطر ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. در سه عدد از لایسمترها بانه زعفران و در سه لایسمتر دیگر گیاه مرجع (چمن) کشت گردید. به‌منظور خروج آب اضافی و اندازه‌گیری آن، از لایسمترهایی استفاده شد که در کف آن‌ها سوراخ‌هایی تعبیه شده بود. از طرفی، برای سهولت در انجام عمل زهکشی، در کف هر کدام از لایسمترها یک لایه شن درشت ریخته شد و حجم باقی‌مانده توسط خاک مورد نظر به همراه کود پوسیده حیوانی به‌منظور رشد بهتر گیاه پر گردید. قبل از کشت جهت تحکیم خاک، دو نوبت خاک داخل لایسمترها آبیاری شد و پس از نشست کامل مجدداً تا سطح مورد نظر با خاک پر شد. همچنین به‌منظور جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید و برقراری شرایطی مشابه با شرایط مزرعه، لایسمترها در خاک کارگذاری شدند.

عملیات کاشت

در هر لایسمتر به‌طور متوسط، ۱۵ بانه مادری با میانگین وزن هشت گرم در تاریخ ۱۳۹۷/۶/۲۴ در عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک کشت شد. عملیات مبارزه با علف‌های هرز نیز بنابر ضرورت در طول فصل رشد گیاه انجام شد. شکل ۲ وضعیت لایسمترها را در اواخر دوره رشد گیاه زعفران نشان می‌دهد.

در نهایت برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel 2010 انجام شد.

برنامه‌ریزی آبیاری

در طی دوره رشد گیاه، اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک به‌منظور تعیین مقدار آب مورد نیاز گیاه به‌صورت وزنی انجام شد و آبیاری به گونه‌ای اعمال گردید که میزان رطوبت خاک در حد رطوبت سهل‌الوصول باقی بماند. به این

تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه زعفران (ET_C)

تبخیر-تعرق پتانسیل زعفران، به صورت مستقیم و با استفاده از معادله بیلان رطوبتی برآورد گردید. معادله بیلان رطوبتی، شامل میزان آب ورودی و خروجی به ناحیه ریشه گیاه در دوره‌های زمانی مشخص می‌باشد که اساس کار لایسیمتر وزنی است. با توجه به اینکه لایسیمتر یک محیط بسته است و انتقال آب از محیط اطراف به داخل آن امکان‌پذیر نبوده و تمام آب رسیده به سطح زمین به داخل آن نفوذ می‌کند، بنابراین میزان رواناب سطحی صفر خواهد بود. لذا در مطالعات نیاز آبی، معادله کلی بیلان رطوبتی برای یک محیط بسته مانند لایسیمتر به صورت رابطه (۳) می‌باشد (Allen et al., 1998):

$$ET_C = I + P - D \pm \Delta S \quad (3)$$

در این معادله، ET_C : تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه زعفران (میلی‌متر)، I : آب آبیاری (میلی‌متر)، P : میزان بارندگی (میلی‌متر)، D : آب زهکشی‌شده (میلی‌متر) و ΔS : تغییرات ذخیره‌ای رطوبت خاک (میلی‌متر) می‌باشند. هر یک از ویژگی‌های فوق در طول دوره رشد گیاه به روش وزنی اندازه‌گیری و در نهایت میزان تبخیر-تعرق پتانسیل زعفران محاسبه گردید.

ضریب گیاهی (K_C)

مقدار ضریب گیاهی در طول دوره رشد گیاه با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد و سپس نمودار ضریب گیاهی ترسیم گردید. برای بررسی تغییرات ضریب گیاهی در طول دوره رشد، اقدام به برآزش بهترین منحنی غیرخطی بر روی داده‌های مربوط به ضریب گیاهی گردید (Ko et al., 2009). سپس بر اساس روش FAO نمودارهای مربوط به ضریب گیاهی ترسیم و ضرایب گیاهی در مراحل چهارگانه رشد محاسبه گردید (Allen et al., 1998).

$$K_C = \frac{ET_C}{ET_0} \quad (4)$$

نتایج و بحث

مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع، زعفران و ضریب گیاهی زعفران به صورت ۱۰ روزه در طی دوره رشد گیاه برای هر کدام از لایسیمترها محاسبه شد و نتایج مربوطه در جدول ۳ ارائه شده است.

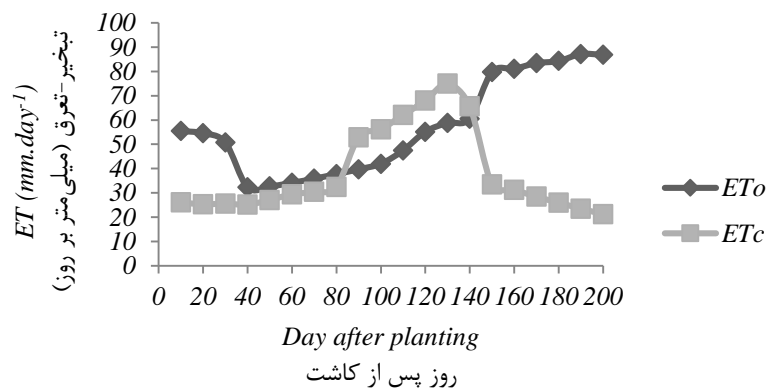
مقادیر سالانه تبخیر-تعرق پتانسیل زعفران و گیاه مرجع در طی دوره رشد گیاه به ترتیب برابر ۷۶۴/۱۲ و ۱۱۳۸/۸۱ میلی‌متر می‌باشد. کیخامقدم و همکاران (Keykhamoghadam et al., 2013) مقدار کل تبخیر-تعرق محاسبه شده از لایسیمترهای کشت زعفران در سال‌های سوم و چهارم کاشت را به ترتیب برابر ۷۲۶ و ۷۸۳ میلی‌متر گزارش کردند. با توجه به جدول ۳، مقادیر متوسط تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع و زعفران در دوره‌های ۱۰ روزه به ترتیب بین ۳۲ تا ۸۸ و ۲۱ تا ۷۵ میلی‌متر در حال تغییر بوده است. همچنین مقادیر حداکثر و حداقل متوسط تبخیر-تعرق پتانسیل زعفران به ترتیب برابر ۷۴/۹۱ و ۲۱/۱۹ و تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع به ترتیب برابر ۸۷/۱۲ و ۳۲/۲۵ میلی‌متر در ۱۰ روز می‌باشد. گرچه زعفران در شرایط گرم و خشک رشد می‌کند، ولی اعمال تنش آبی به این گیاه سبب کاهش عملکرد آن (Ahmadee et al., 2017) به خصوص در شرایط دیم خواهد شد (Pazoki et al., 2013). هرچند آزمایشات عملی در خصوص عملکرد زعفران در این تحقیق انجام نشده است، ولی می‌توان کم‌آبیاری را دلیلی بر پایین بودن عملکرد زعفران در دشت بیرجند نسبت به متوسط عملکرد آن در ایران (Kafi, 2006) در نظر گرفت.

نمودار تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع و تبخیر-تعرق پتانسیل زعفران در شکل ۳ نشان داده شده است. در ابتدا و انتهای دوره رشد گیاه، اختلاف بین تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع و تبخیر-تعرق پتانسیل زعفران زیاد بوده ولی در اواسط دوره رشد، این اختلاف کم می‌شود. تبخیر-تعرق پتانسیل زعفران در مرحله ابتدایی به دلیل رشد کم و کوچک بودن گیاه، پایین بوده و سپس در مرحله نمو با افزایش رشد گیاه، افزایش شاخص سطح برگ و افزایش تعرق، افزایش یافته است. در مرحله میانی به دلیل نمو اندام‌های هوایی گیاه و پرشدن دانه‌ها، میزان تبخیر-تعرق پتانسیل زعفران به حداکثر مقدار خود رسیده و به تدریج در مرحله پایانی روند کاهشی داشته است. قوام سعیدی نوقابی و همکاران (Ghavamsaeidi, Noghbi et al., 2019) بیشترین و کمترین میزان تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه را به ترتیب در مراحل میانی و انتهایی گزارش کردند که با نتایج این بخش مطابقت دارد.

جدول ۳. متوسط تبخیر-تعرق پتانسیل چمن (ET_o) و زعفران (ET_c) بر حسب میلی‌متر و ضرایب گیاهی (K_c) ۱۰ روزه زعفران

Table 3. Average of grass (ET_o) and Saffron potential evapotranspiration (ET_c) in millimeters and ten-day Saffron crop coefficients

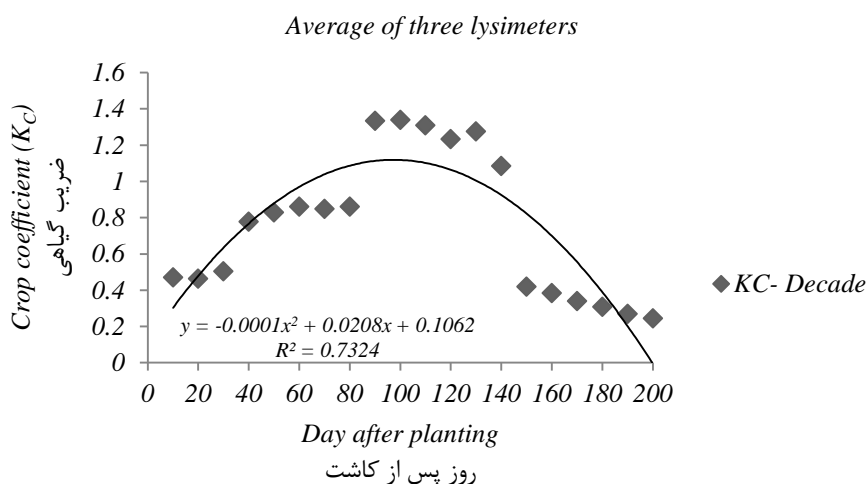
دهه Decade	متوسط تبخیر-تعرق پتانسیل چمن Average of grass potential evapotranspiration (ET _o)	لایسیمتر ۱ (زعفران) 1 st lysimeter (Saffron)		لایسیمتر ۲ (زعفران) 2 nd lysimeter (Saffron)		لایسیمتر ۳ (زعفران) 3 rd lysimeter (Saffron)		متوسط (زعفران) Average (Saffron)	
		ET _c (mm)	K _c	ET _c (mm)	K _c	ET _c (mm)	K _c	ET _c (mm)	K _c
		1	55.45	26.42	0.47	25.44	0.47	26.34	0.47
2	54.50	26.1	0.48	23.83	0.44	25.72	0.47	25.22	0.46
3	50.70	25.75	0.51	25.91	0.50	24.92	0.50	25.53	0.50
4	32.25	24.65	0.76	25.54	0.79	25.03	0.78	25.07	0.78
5	32.59	27.4	0.84	26.98	0.84	26.73	0.81	27.04	0.83
6	34.07	29.3	0.86	29.85	0.87	28.89	0.85	29.35	0.86
7	35.79	29.95	0.82	30.6	0.87	30.52	0.85	30.36	0.85
8	37.67	31.2	0.82	32.92	0.89	33.03	0.87	32.38	0.86
9	39.66	52.18	1.32	52.72	1.31	53.7	1.37	52.87	1.33
10	41.93	55.87	1.31	55.69	1.33	56.92	1.38	56.16	1.34
11	47.40	61.66	1.29	61.55	1.32	62.96	1.31	62.06	1.31
12	55.10	67.25	1.22	67.57	1.22	68.95	1.25	67.92	1.23
13	58.75	74.74	1.26	74.28	1.28	75.71	1.29	74.91	1.28
14	60.47	65.75	1.09	65.36	1.09	65.8	1.08	65.64	1.09
15	79.74	33.1	0.42	34.32	0.43	32.98	0.41	33.47	0.42
16	81.09	31.12	0.38	32.06	0.39	30.4	0.38	31.19	0.38
17	83.39	27.92	0.34	29.04	0.35	28.12	0.34	28.36	0.34
18	84.27	25.75	0.31	26.82	0.32	25.18	0.30	25.92	0.31
19	87.12	23.18	0.27	24.02	0.28	23.11	0.27	23.44	0.27
20	86.85	20.87	0.24	21.74	0.25	20.95	0.24	21.19	0.24
جمع کل Total	1138.81	760.16	-	766.24	-	765.96	-	764.12	-



شکل ۳. تغییرات متوسط تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع و تبخیر-تعرق پتانسیل زعفران
Fig. 3. The average changes of potential evapotranspiration of reference plant and Saffron

سال اول و ۰/۴۵، ۱/۰۵ و ۰/۳۱ برای سال دوم گزارش شد. با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق و مقایسه آن با نتایج تحقیق یرمی و همکاران (Yarami et al., 2011) می‌توان اظهار داشت که به‌علت تغییرات زیاد شرایط اقلیمی مانند دمای هوا، رطوبت هوا، سرعت باد، تابش خورشیدی و سایر عوامل مؤثر بر تبخیر-تعرق، طول دوره‌های رشد زعفران ثابت نبوده و برای اینکه طول مراحل چهارگانه رشد زعفران از قطعیت بیشتری برخوردار باشد، نیاز به تحقیقات بیشتر در شرایط آب و هوایی متفاوت می‌باشد. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که حداکثر مقدار ضریب گیاهی زعفران همزمان با پوشش کامل گیاه اتفاق افتاده است. بنابراین، به‌نظر می‌رسد که مرحله میانی رشد زعفران فعال‌ترین دوره رشد گیاه بوده و ازدیاد بنه‌ها و حداکثر رشد برگ‌ها در این دوره اتفاق می‌افتد.

نمودار ضریب گیاهی ۱۰ روزه زعفران مربوط به متوسط مقادیر سه لایسیمتر در طول دوره رشد گیاه، در شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به شکل ۴، حداکثر میزان ضریب گیاهی برابر ۱/۳۴ و در دوره رشد میانی و حداقل میزان آن برابر ۰/۲۴ و در دوره انتهایی برآورد گردید. دورنبوس و پرویت (Doorenbos & Pruitt, 1997) ضریب گیاهی مطابق با مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی رشد زعفران را به‌ترتیب برابر ۰/۴۶، ۱/۲ و ۰/۳۵ در سال سوم و ۰/۴۹، ۱/۲۵ و ۰/۳۵ در سال چهارم گزارش کردند. یرمی و همکاران (Yarami et al., 2011) دوره رشد زعفران را در سال اول به چهار مرحله ۳۰، ۴۰، ۷۰ و ۶۰ روزه و سال دوم به چهار مرحله ۳۰، ۴۵، ۶۵ و ۶۰ روزه تقسیم نمود. ضرایب گیاهی بدست آمده در این تحقیق مطابق با مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی به‌ترتیب برابر ۰/۴۱، ۰/۹۳ و ۰/۲۹ برای



شکل ۴. تغییرات ضریب گیاهی ۱۰ روزه زعفران مربوط به متوسط مقادیر سه لایسیمتر در دوره رشد گیاه

Fig. 4. Ten-days saffron crop coefficient changes to average values of three lysimeters in plant growth period

تابع شرایط اقلیمی است بلکه ارتفاع گیاه نیز در آن تأثیر دارد (Allen et al., 1998). لذا با رشد گیاه و افزایش ارتفاع آن میزان تبخیر-تعرق و در نتیجه ضریب گیاهی به حداکثر مقدار خود رسیده است. در مرحله پایانی به علت ریزش برگ‌ها و خشک شدن گیاه، تغییرات ضریب گیاهی روند کاهشی داشته است. یرمی و همکاران (Yarami et al., 2011) در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه، ضریب گیاهی زعفران را در مراحل اولیه،

مراحل چهارگانه رشد گیاه، طول دوره، تاریخ و ضریب گیاهی زعفران برای سه لایسیمتر و متوسط آن‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است، در مرحله اولیه، به‌دلیل کوچک بودن گیاه و پایین بودن نیاز آبی آن، میزان ضریب گیاهی در این مرحله پایین است. در مرحله نمو، به‌دلیل افزایش سرعت رشد گیاه، افزایش شاخص سطح‌برگ و به تبع آن افزایش تعرق، ضریب گیاهی روند افزایشی داشته است. در مرحله میانی، ضریب گیاهی نه تنها

میانی و انتهایی به ترتیب برابر ۰/۴۵-۰/۴۱، ۰/۹۳-۱/۰۵ و اختلاف به تفاوت میزان تبخیر-تعرق در دو منطقه برگردد. ۰/۲۹-۳۱ گزارش کردند. به نظر می‌رسد که علت این

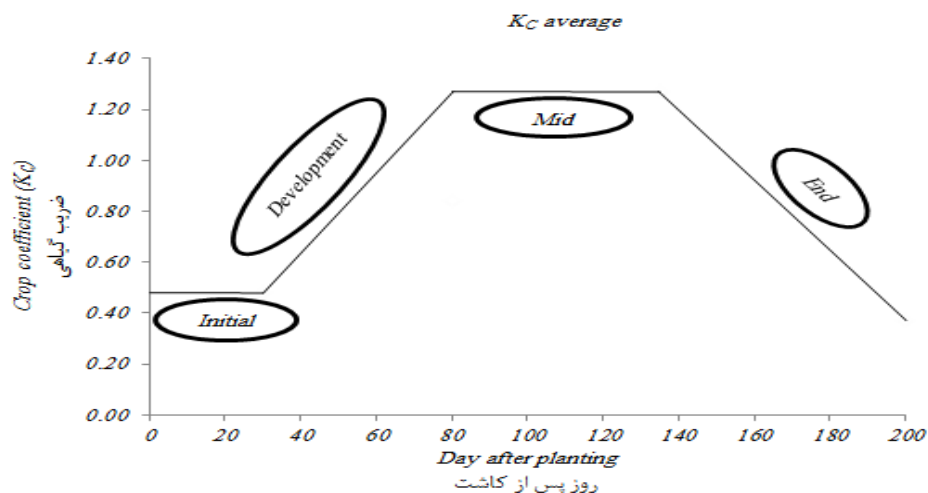
جدول ۴. طول مراحل رشد و متوسط ضریب گیاهی در هر مرحله

Table 4. Stages length and average of crop coefficient in each stage

مراحل رشد Growth stages	طول دوره (روز) Stage length (Day)	تاریخ Data		ضریب گیاهی Kc			متوسط Average
		شروع Start	پایان End	لایسیمتر ۱ 1 st lysimeter	لایسیمتر ۲ 2 nd lysimeter	لایسیمتر ۳ 3 rd lysimeter	
اولیه Initial	30	2018/9/15	2018.10.14	0.49	0.47	0.48	0.48
نمو Development	50	2018/10/15	2018/12/3	0.82	0.85	0.83	0.84
میانی Middle	55	2018/12/4	2019/1/27	1.26	1.27	1.29	1.27
انتهایی End	65	2019/1/28	2019/4/2	0.37	0.38	0.36	0.37

استفاده شد. از طرفی تغییرات ضریب گیاهی در مراحل نمو و پایانی با توجه به مقدار ضریب گیاهی به دست آمده در ابتدا و انتهای هر مرحله از رشد و در نهایت با بدست آوردن معادله خط قابل ترسیم است. منحنی ضریب گیاهی زعفران مطابق با روش ارائه شده در نشریه FAO-56 در شکل ۵ ارائه شده است.

برای تعیین ضریب گیاهی و استفاده از آن جهت تبدیل تبخیر-تعرق گیاه مرجع به تبخیر-تعرق گیاه مورد نظر بر اساس روش پیشنهادی FAO، منحنی تغییرات ضریب گیاهی در طی دوره رشد گیاه رسم شد تا در هر مرحله از رشد، ضریبی متناسب با همان مرحله اعمال شود. برای رسم این منحنی در مراحل اولیه و میانی از روش میانگین‌گیری



شکل ۵. تغییرات ضریب گیاهی زعفران در مراحل چهارگانه رشد در منطقه بیرجند

Fig. 5. Saffron crop coefficient changes in four- stages of growth in Birjand region

ارائه شده است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط لایسیمترها (تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع،

در این تحقیق همچنین اثر تکرار و تیمارهای مختلف (مراحل چهارگانه رشد گیاه) بر پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط لایسیمترها آنالیز شد و نتایج مربوطه در جدول ۵

زعفران و ضریب گیاهی) معنی دار بود ($P \leq 0.001$)، ولی اثر تکرارهای مختلف بر پارامترهای اندازه‌گیری شده معنی دار نبود. صارمی و همکاران (Saremi et al., 2015) نیز اثر

مراحل چهارگانه رشد گیاه بر تبخیر-تعرق پتانسیل، تبخیر-تعرق واقعی گیاه عدس و ضریب گیاهی را معنی دار گزارش کردند ($p \leq 0.001$).

جدول ۵. تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده تحت مراحل چهارگانه رشد گیاه

Table 5. Analysis of variance of measured parameters under four- stages of plant growth

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares		
		تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع ET _o	تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه زعفران ET _c	ضریب گیاهی K _c
تکرار Replication	2	1.023 ^{ns}	2.935 ^{ns}	0.00006 ^{ns}
تیمار Treatment	3	89647.032 ^{***}	39512.758 ^{***}	0.498 ^{***}
خطا Error	6	1.132	10.369	0.0002
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	—	0.374	1.686	1.926

ns, * و **: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

ns, * and **: indicating non-significant and significant at 5 and 1% levels of probability, respectively.

مختلف رشد و مقادیر ضرایب گیاهی در مراحل اولیه، نمو، میانی و انتهایی به ترتیب برابر با ۳۰، ۵۰، ۵۵ و ۶۵ روز و ۰/۴۸، ۰/۸۴، ۱/۲۷ و ۰/۳۷ برآورد گردید. همچنین اثر مراحل چهارگانه رشد گیاه بر تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع، زعفران و ضریب گیاهی معنی‌دار بود ($P \leq 0.001$). ضریب گیاهی بدست آمده در این تحقیق، می‌تواند در برنامه‌ریزی آبیاری گونه مورد بررسی توسط نرم‌افزار *Cropwat* و مدیریت مصرف آب به‌منظور کاهش هدررفت آب و افزایش بازدهی مصرف آن مؤثر و کاربردی باشد.

نتیجه‌گیری

تعیین مقدار آب مورد نیاز گیاهان و جلوگیری از بیش‌آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور علی‌الخصوص استان خراسان جنوبی که از مشکل کمبود منابع آب رنج می‌برد، یکی از راه‌های صرفه‌جویی و مصرف بهینه آب در این مناطق است. بدین منظور در این تحقیق با استفاده از لایسمترهای وزنی اقدام به تعیین ضریب گیاهی زعفران شد. نتایج نشان داد، مقدار نیاز آبی زعفران در طی دوره رشد گیاه برابر ۱۲/۶۴ میلی‌متر و مقدار نیاز آبی گیاه مرجع برابر ۱۱۳۸/۸۱ میلی‌متر بود. از طرفی طول دوره‌های

منابع

- Ahmadee, M., Khashei Siuki, A., and Sayyari, M.H., 2017. Comparison of efficiency of different equations to estimate the water requirement in Saffron (*Crocus sativus L.*) (Case study: Birjand Plain, Iran). *J. Saffron Res.* 8(4), 505-520. [in Persian with English Summary].
- Alihoury, M., 2017. Lysimetric determination of water requirement and crop coefficient of date palm in vegetative growth phase. *J. Water Res. Agric.* 31(3), 329-340. [in Persian with English Summary].
- Alizadeh, A., 2013. Soil, water, plant relationship. Imam Reza Publication, Mashhad, Iran. 326 pp. [in Persian].
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56. Rome, Italy, 300 p.
- Azizi Zohan, A., Kamgar Haghghi, A.A., and Sepaskhah, A.R., 2008. Crop and pan coefficients for saffron in a semi-arid region of Iran. *Arid Environ.* 72(3), 270-278.

- Doorenbos, J., and Pruitt, W., 1977. Crop water requirements. FAO Irrig. Drain. Paper No. 24, Food and Agric. Organization, United Nations, Rome, Italy.
- Ferrara, L., Naviglio, D., and Gallo, M., 2014. Extraction of Bioactive Compounds of Saffron (*Crocus sativus* L.) by ultrasound Assisted Extraction (UAE) and by rapid solid-liquid dynamic extraction (RSLDE). *Eur. Sci. J.* 10(3), 1-13.
- Ghavamsaeidi Noghabi, S., Hammami, H., and Khashei Siuki, A., 2019. Determination of evapotranspiration and crop coefficient of Milk Thistle in Birjand Plain. *J. Water Res. Agric.* 33(3), 493-505. [in Persian with English Summary].
- Ghavamsaeidi Noghabi, S., Khashei Siuki, A., and Hammami, H., 2019. The estimation of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) crop coefficients at different growth stages by lysimetric method in Birjand region. *J. Water & Soil.* 33(1), 1-11. [in Persian with English Summary].
- Hosseinzadeh, H., and Sadeghnia, H.R., 2005. Safranal: a constituent of *Crocus sativus* (saffron), attenuated cerebral ischemia induced oxidative damage in rat hippocampus. *J. Pharm. & Pharmaceut. Sci.* 8(3), 394-399. [in Persian with English Summary].
- Jafarzadeh, A., Pourreza-Bilondi, M., Khashei-Siuki, A., and Aghakhani, A., and Yaghoobzadeh, M., 2017. Reliability estimation of rainwater catchment system using future GCMs output data (Case study: Birjand city). In: 10th World Congress on Water Resources and Environment. Pp. 536-541. [in Persian with English Summary].
- Jahad Keshavarzi Khorasan Razavi., 2012. Report on agronomic research for saffron. [in Persian].
- Kafi, M., Koocheki, A., Rashed, M.H., and Nassiri, M., 2006. Saffron Production and Processing. Science Publishers, Enfield.
- Keykhamoghadam, P., Kamgar Haghghi, A.A., Sepaskhah, A.R., and Zand Parsa, S., 2013. Determination of single and dual crop coefficients and potential evapotranspiration of developed Saffron. *J. Agric. Meteorol.* 1(1), 1-13. [in Persian with English Summary].
- Khashei Siuki, A., Hashemi, S.R., Ahmadee, M., 2015. The effect of Pottasic Zeolite and irrigation scheduling on saffron yield. Research Project in University of Birjand, Iran. [in Persian with English Summary].
- Ko, J., Piccinni, G., Marek, T., and Howell, T., 2009. Determination of growth-stage-specific crop coefficient (Kc) of cotton and wheat. *Agric. Water Manag.* 96, 1691-1697.
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mollafilabi, A., and Noroozian, A., 2018. Effects of extensive range of corm weights on Saffron (*Crocus sativus* L.) growth and flowering. *J. Agroecol.* 10(3), 635-646. [in Persian with English Summary].
- Liu, Y., and Luo, Y., 2010. A consolidated evaluation of the FAO-56 dual crop coefficient approach using the lysimeter data in the North China Plain. *Agric. Water Manag.* 97(1), 31-40.
- Maggi, L., Carmona, M., zalacain, A.D., K anakis, C., Anastasaki, E.A., Tarantilis, P.G., Polissiou, M.L., and Alonso, G., 2010. Changes in saffron volatile profile according to its storage time. *Food Res. Int.* 43, 1329-1334.
- Mardani Asl, S., Movahhedi Dehnavi, M., Salehi, A., and Yadavi, A., 2018. Effect of corm weight and planting density on saffron (*Crocus sativus* L.) yield between apple trees in Firouzabad of Yasouj. *J. Saffron Res.* 6(1), 89-102. [in Persian].
- Mollafilabi, A., and Shoorideh, H., 2009. The new methods of saffron production. The 4th National Festival of Saffron, Khorasan-Razavi, 27-28 October, Mashhad, Iran. [in Persian].
- Paredes, P., D'Agostino, D., Assif, M., Todorovic, M., and Pereira, L.S., 2018. Assessing potato transpiration, yield and water productivity under various water regimes and planting dates using the FAO dual Kc approach. *Agric. Water Manag.* 195, 11-24.
- Pazoki, A., Kariminejad, M., and Targhi, A.F., 2013. Effect of planting patterns on yield and some agronomical traits in saffron (*Crocus sativus* L.) under different irrigation intervals in Shahr-e-Rey Region. *Int. J. Farm. & Allied Sci.* 2(S2), 1363-8.
- Saberi, E., Rezaei, F., and Khashei siuki, A., 2016. Lysimetric determination of *Trachyspermum ammi* crop coefficients during different growth stages in Region of

- Birjand. *J. Water Res. Agric.* 31(3), 389-398. [in Persian with English Summary].
- Saeedinia, M., Tarnian, F., Hosseinian, S., and Nasrollahi, A., 2018. Estimation of the evapotranspiration and crop coefficient of chamomile (*Matricaria chamomilla L.*) and cumin (*Cuminum cyminum L.*) in Khorram Abad region. *Water & Irrig. Manag.* 8(1), 165-175. [in Persian with English Summary].
- Saremi, M., Farhadi, B., Maleki, A., Farasati, M., 2015. Determination the crop coefficient and water requirement of lentil, using water balance method (case study: Khorram Abad). *Iran. J. Pulses Res.* 6(2), 87-98. [in Persian with English Summary].
- Shahi, T., Assadpour, E., and Jafari, S.M., 2016. Main chemical compounds and pharmacological activities of stigmas and petals of 'Red Gold'; Saffron. *Trends in Food Sci. & Technol.* 58, 69-78.
- Stegman, E.C., Bauer, A., 1977. Sugar beet response to water stress in sandy soils. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 20, 469-472.
- 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. *Arch. Agron. Soil Sci.* 57(7), 727-740.



Original Article:

Determination of Evapotranspiration and Crop Coefficient of Saffron (*Crocus sativus* L.) by using Lysimetric Method in the Dry- Desert Climate of Birjand

Saeid Ghavamsaeidi Noghbi^{1*}, Abbas Khashei Siuki², Hossein Hammami³, Ali Shahidi⁴,
Mostafa Yaghoobzadeh⁵

1- MSc Graduate of Irrigation and Drainage, Department of Science and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

2- Associate Professor, Department of Science and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

4- Associate Professor, Department of Science and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

5- Assistant Professor, Department of Science and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

*Corresponding author Email: saeidghavam@birjand.ac.ir

Received 27 May 2019; Accepted 01 January 2020

Abstract

Saffron is a herbaceous, perennial and semi tropical plant belongs to Iridaceae family that cultivated in Southern Khorasan province as an importance spice crop. Considering the importance of irrigation water content in saffron yield, this research was conducted to determine the water requirement of saffron at Agricultural Research Farm, Faculty of Agriculture, University of Birjand during 2018-2019. Six mini lysimeters were used to carry out. Three lysimeters were used to calculate the evapotranspiration of the reference plant (grass) and in the other lysimeter saffron cultivation. Irrigation of each experimental unit was carried out based on field capacity by weight method. Based on the results obtained from the water balance equation, the potential evapotranspiration of the reference plant and saffron values were estimated with 1138.81 and 764.12 mm, respectively. The length of various growth stages of saffron, including the initial, developmental, middle and end stages were 30, 50, 55 and 65 days, respectively. Finally, based on the FAO method, the coefficient of variations was plotted and the average crop coefficients at four stages of plant growth were 0.48, 0.84, 1.27 and 0.37, respectively. Also, four stages on potential evapotranspiration of the reference plant, saffron and crop coefficients were significantly different at 1% probability level.

Keywords: Four stages of growth, Potential evapotranspiration, Water balance.