Journal of Saffron Research (semi-annual)
Vol.11, No.1, Spring & Summer, 2023
p. 108-123
http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2020.3825.1143

University of Birjand

Original Article

Determination of Single and Dual Crop Coefficients of Saffron (*Crocus sativus L.*) in the First Year of Research

Abbas Khashei Siuki[1], Ali Shahidi[2], Mohammad Ali Behdani*[3], Fatemeh Hajiabadi[4], Fatemeh Shirzadi[5]

1- Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand,Birjand, Iran.
2- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
3- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
4- PhD in Irrigation and Drainage, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran.
5- PhD Student of Irrigation & Drainage, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran.
*Corresponding author: *mabehdani@birjand.ac.ir*

Received 20 October 2020; Accepted 08 December 2020

Extended Abstract

Introduction: Water is one of the most common and at the same time the most important substance on the planet. All kinds of plants in different parts of the earth need more water than any other environmental factor. The main purpose of direct measurements or evapotranspiration calculations is the amount of water required by plants. Knowledge of the water need of plants in each region and its use in agricultural planning plays an important role in water usage. Due to the reduction of fresh water reserves in the world, accurate estimation of evaporation and transpiration and water requirement of plants seems to be important. Therefore, developing an irrigation plan and applying proper irrigation management can reduce the losses caused by water resources. The aim of the current research is to determine the evapotranspiration and plant coefficients of saffron plant and the evapotranspiration of the grass reference plant by two methods, lysimeter and FAO-Penman-Mantith, in Birjand city.

Materials and Methods: The research was carried out in the agricultural year of 2018-2019 in the lysimetry laboratory of the Faculty of Agriculture, Birjand city, for this purpose. The saffron plant was grown in six lysimeters and the grass reference plant in three lysimeters, in the collection of lysimetry laboratories of the Faculty of Agriculture, Birjand University. The growth period of saffron plant was divided into four initial (27 days), development (54 days), middle (40 days) and final (54 days) stages. Irrigation was done daily until the soil moisture reached the agricultural capacity. The irrigation volume was adjusted based on the soil moisture level, the reason for which was mentioned above. The start time of irrigation was determined based on soil moisture and Fc. The end of irrigation was done according to the condition and moisture content of the soil.
Results and Discussion: The average of evapotranspiration of the grass reference plant by lysimetric and FAO-Penman-Monteith methods was obtained equal to 4.32 and 4.19

mm/day, respectively, and the average of evapotranspiration of the saffron plant during the 175-day growth period was obtained equal to 2.34 mm/day. During different stages of growth, the amount of the average of single crop coefficient was estimated 0.36, 0.66, 0.86 and 0.42, respectively, and the average of dual crop coefficient was estimated 0.37, 0.67, 0.87 and 0.42, respectively. With the passage of time, the amount of evaporation-transpiration of the reference plant has increased, which can be attributed to the long day length and the increase in net solar radiation, with the increase in temperature, the amount of evaporation-transpiration also has increased, so the demand of the plant to receive water increases.

Conclusion: Observations indicated that at the beginning of the period, due to high evaporation, this coefficient was clearly obtained from their sum, but in the middle stage, due to the decrease in evaporation and the predominance of transpiration, the coefficient of vegetation in most cases was Sweating has approached and this trend of changes has been the same in all lysimeters. The value of the basic vegetation coefficient (transpiration component) gradually increased after passing through the initial stage and reached the maximum value in the middle stage. The value of the evaporation coefficient from the soil surface (Ke) is the highest after the surface soil layer is wetted by rain or irrigation. As this layer dries, the evaporation coefficient will increase. In the condition that there is no water left in the surface layer of the surface soil, the evaporation coefficient reaches zero. The two-component vegetation coefficient, which is the sum of the transpiration and evaporation components, also decreases gradually. The fluctuations seen in the graph are due to the short irrigation period.

Conflict of Interest: The authors declare no potential conflict of interest related to the work.

Keywords: Saffron, Single and dual crop coefficient, Lysimeter, Water requirement.

نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد یازدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۲
شماره صفحه: ۱۲۳-۱۰۸
http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2020.3825.1143

مقاله پژوهشی

تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی یک جزئی و دوجزئی گیاه زعفران (*Crocus sativus* L.) در سال اول پژوهش

عباس خاشعی سیوکی[۱]، علی شهیدی[۲]، محمدعلی بهدانی[۳*]، فاطمه حاجی‌آبادی[۴]، فاطمه شیرزادی[۵]
۱- استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۴- دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۵- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
*نویسنده مسئول: *mabehdani@birjand.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۸

چکیده
استفادهٔ بهینه و صحیح از منابع آب، نیازمند محاسبه میزان آب مصرفی و تعیین ضرایب گیاهی متناسب با هر منطقه است. این تحقیق به‌منظور تعیین تبخیر – تعرق و ضرایب گیاهی گیاه زعفران و تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن به دو روش لایسیمتری و فائو – پنمن - مانتیث در منطقه نیمه خشک بیرجند و در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ صورت گرفته است. بدین‌منظور گیاه زعفران در شش لایسیمتر و گیاه مرجع چمن در سه لایسیمتر، در مجموعه آزمایشگاه‌های لایسیمتری دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، کشت شد. دوره رشد گیاه زعفران به چهار مرحله ابتدایی (۲۷ روز)، توسعه (۵۴ روز)، میانی (۴۰ روز) و نهایی(۵۴ روز) تقسیم شد. میانگین تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن به روش‌های لایسمتری و فائو – پنمن – مانتیث به‌ترتیب برابر ۴/۳۲ و ۴/۱۹ میلی‌متر بر روز و میانگین تبخیر – تعرق گیاه زعفران در دوره ۱۷۵ روزه رشد، برابر با ۲/۳۴ میلی‌متر بر روز بدست آمد. مقدار میانگین ضرایب گیاهی یک جزئی به‌ترتیب برابر با ۰/۳۶، ۰/۶۶، ۰/۸۶ و ۰/۴۲ و میانگین ضرایب گیاهی دوجزئی به‌ترتیب برابر با ۰/۳۷، ۰/۶۷، ۰/۸۷ و ۰/۴۲، در طول مراحل مختلف رشد برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: زعفران، ضریب گیاهی یک‌جزئی و دوجزئی، لایسیمتر، نیاز آبی.

مقدمه

آب عامل حیات و نهاده اصلی تولید در کشاورزی است. قسمت اعظم کشور ما به‌دلیل واقع شدن در منطقه خشک و نیمه خشک، با کمبود جدی آب روبه‌رو است. ایران سرزمینی کوهستانی است که دو رشته کوه البرز و زاگرس همانند دیواره‌ای مانع رسیدن ابرهای باران‌زا از شمال و غرب کشور به بخش‌های مرکزی می‌شوند و به همین دلیل نیز بخش اعظم کشور را مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل می‌دهد. کمبود منابع آبی همواره به عنوان یک عامل محدود کننده فعالیت‌ها در اقلیم ایران مطرح بوده است. متوسط بارندگی در جهان در حدود ۸۶۰ میلی‌متر است و این در حالیست که متوسط درازمدت این رقم در ایران ۲۵۰ میلیمتر است (لازم به ذکر است میزان بارندگی در سال آبی گذشته در کشور ۳۲۴ میلیمتر بوده است). توزیع بارندگی در ایران نیز ناهمگون است به نحوی که یک درصد از مساحت ایران بارشی بیش از ۱۰۰۰ میلیمتر دارد و میزان بارندگی در مناطقی همچون حوضه آبریز شرق کشور در حدود ۱۴۸ میلیمتر است. به‌طور کلی آب در سه بخش کشاورزی، شرب و صنعت مصرف می‌شود. در کشور ایران سهم مصرف آب در بخش کشاورزی در حدود ۹۰ درصد، شرب ۸ درصد و صنعت و معدن ۲ درصد است، در صورتی‌که در کشورهای توسعه یافته سهم بخش کشاورزی ۳۰ درصد، شرب و بهداشت ۱۱ درصد و سهم بخش صنعت و معدن ۵۹ درصد است. در بخش شرب و بهداشت، مصارف به دو بخش کلی خانگی و غیر خانگی تقسیم می‌شود. مصارف غیر خانگی شامل مصارف تجاری، صنعتی، عمومی و اداری، آموزشی و اماکن مذهبی، بنایی و آزاد و سایر است. در کشور ایران در بخش شهری میزان مصرف آب (آب فروش رفته+ هدررفت ظاهری+ مصارف بدون درآمد) در سال در حدود ۵,۴ میلیارد متر مکعب است. از این میزان مصرف مقدار ۴,۳ میلیارد مترمکعب مربوط به مصارف بخش خانگی است، لذا با توجه به جمعیت تحت پوشش در مناطق شهری میزان سرانه مصرف آب یا همان میانگین مصرف آب به ازای هر نفر در روز برای کل مصارف ۲۲۴ لیتر به ازای هر نفر در روز و برای مصارف خانگی ۱۸۰ لیتر به ازای هر نفر در روز است. سرانه مصرف آب به عوامل متعددی از جمله شرایط اقلیمی و وضعیت آب و هوایی، نوع فرهنگ هر منطقه، تعرفه و قوانین بازدارنده، تجهیزات کاهنده مصرف، وضعیت بهداشتی و غیره بستگی دارد و در کشورهای مختلف دارای ارقام متفاوتی است. به طور کلی در اکثر کشورهای توسعه یافته به دلیل وجود زیرساخت‌های مناسب و قوانین بازدارنده و تعرفه‌های بالای آب میزان سرانه مصرف آب از ایران کمتر است. به عنوان مثال سرانه مصرف آب در کشور دانمارک (۱۵۹ لیتر در روز)، سوئد (۱۶۴)، پرتغال (۱۹۴)، اسپانیا (۲۰۰)، انگلستان (۱۵۳ لیتر در روز)، اتریش (۱۵۳ لیتر در روز)، ایرلند (۱۴۲ لیتر در روز)، فرانسه (۱۳۹ لیتر در روز)، آلمان (۱۲۹ لیتر در روز)، هلند (۱۲۹ لیتر در روز)، بلژیک (۱۱۲ لیتر در روز)، لهستان (۹۸ لیتر در روز)، فنلاند (۲۱۳) و ایتالیا (۲۱۳) است. در تعدادی از کشورها نیز سرانه مصرف آب بالاتر از ایران است، از جمله سوئیس (۲۵۲)، استرالیا (۲۶۸)، آمریکا (۲۹۵) و کانادا (۳۲۶) لیتر به ازای هر نفر در شبانه‌روز. همان‌گونه که آمار نشان می‌دهد در بسیاری از کشورها که دارای منابع آبی بیشتری از ایران هستند و شرایط آب و هوایی مناسبی نیز دارند، سرانه مصرف آب از کشور ایران پایین‌تر است، لذا در کشور ایران ضروری است در راستای مدیریت بهینه منابع آب و دستیابی به وضع مطلوب در آینده و جلوگیری از بحران‌های احتمالی به دلیل کمبود منابع ارزشمند آبی، افزایش بهره‌وری آب از طریق اقداماتی همچون مدیریت تقاضا و مصرف آب و افزایش آگاهی‌های اجتماعی در اولویت مدیریت صنعت بزرگ آب و فاضلاب قرار گیرد (Seyedzadeh,2020). بخش کشاورزی مهم‌ترین مصرف‌کننده آب بوده و مصرف بهینه و افزایش بهره‌وری آب در این بخش، سهم به‌سزایی در حفظ آن دارد. تبخیر - تعرق از مهمترین اجزای چرخه هیدرولوژی بوده و برآورد دقیق آن در مطالعات زیادی از قبیل بیلان آب، برنامه‌ریزی آبیاری، مدیریت منابع آب و طراحی سیستم‌های آبیاری کاربرد دارد. برای بهره‌برداری بهینه از منابع آب، طراحی و مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی و برنامه‌ریزی آبیاری، تعیین نیاز آبی گیاهان (CWR) برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل (ETp) ضروری است (Lo´pez-Urrea et al., 2006). تأمین نیاز آبی در زعفران بر اساس پنج تا شش مرحله در طی فصل رشد انجام می‌شود. این مراحل به ترتیب شامل آبیاری تابستانه (جهت القای گلدهی)، اواخر مهر (تسهیل گل دهی)، اواخر آبان (پس از برداشت گل و ظهور برگ‌ها)، اواخر آذر (بعد از وجین علف های هرز)، اواخر اسفند و اواسط

فروردین (آبیاری تکمیلی جهت رشد مطلوب بنه‌های دختری) انجام می‌شود (Koocheki et al., 2016). میزان تبخیر و تعرق دو گونه بابونه و زیره سبز در منطقه خرم‌آباد به‌ترتیب برابر ۶۱۰/۳ و ۴۱۶/۴ میلی‌متر و میزان ضریب گیاهی در دوره‌های مختلف رشد برای گونه بابونه به‌ترتیب برابر ۰/۱۶، ۰/۵۴، ۰/۸۶ و ۰/۵ و برای گونه زیره سبز به‌ترتیب برابر ۰/۱۴، ۰/۵۲، ۰/۷ و ۰/۵ حاصل شد (Saeedinia et al., 2018). قوام سعیدی‌نوقابی و همکاران (Ghavam Saeedi Noughabi et al., 2019) پژوهشی را در طی یک سال زراعی برای تعیین ضریب گیاهی چای ترش در دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام دادند. در این پژوهش، نیاز آبی چای ترش و تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع با استفاده از لایسیمتر و به روش بیلان آب محاسبه شد. در نهایت در پایان فصل رشد، مقادیر ضرایب گیاهی در چهار مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی برای این گیاه به ترتیب برابر ۱/۲۶، ۱/۵۵، ۱/۸۱ و ۰/۹۶ برآورد شد. قمرنیا و همکاران (Ghamarnia et al., 2011) پژوهشی را با هدف برآورد نیاز آبی و ضرایب گیاهی یک جزئی و دوجزئی رزماری در اقلیم نیمه‌خشک کرمانشاه انجام دادند. نتایج نشان داد که نیاز آبی گیاه رزماری برابر با ۴۹۳/۶۳ میلی‌متر بود. همچنین، ضرایب گیاهی یک-جزئی و دوجزئی رزماری در مراحل اولیه، توسعه و میانی به‌ترتیب برابر با ۰/۳۰، ۰/۶۳، ۰/۹۶، ۰/۳۲، ۱/۲۰ و ۱/۰۵ گزارش شد. توسط سپاسخواه و کامگارحقیقی (Sepaskhah & Kamgar Haghighi., 2009) تحقیقی بر روی گیاه زعفران صورت گرفت که نشان داد گیاه زعفران در ایران، در نواحی بیابانی و نیمه بیابانی در اواخر پاییز، زمستان و بهار رشد می‌کند، اگر در پاییز قبل از دوران گل‌دهی بارش باران به تأخیر افتد، گیاه زعفران به‌حدود ۱۰۰ میلیمتر آبیاری نیاز دارد. فرناندز و همکاران مقادیر ضریب گیاه (K_c) فلفل را تحت شرایط گلخانهای منطقه آلمریای اسپانیا تعیین کردند. آنها به منظور محاسبه ET_C و ET_O چند لایسیمتر زهکش دار در دو گلخانه پلاستیکی با شرایط آب و هوایی مشابه نصب کردند. در یک گلخانه و لایسیمترهای آن، فلفل و در دیگری چمن کشت شدند. با استفاده از معادله بیلان آبی، مقادیر ET_C و ET_O محاسبه شدند. مقدارK_c اولیه تقریباً به ۰/۲ در ۱۵ روز بعد از نشاء افزایش یافت و به طور خطی به حداکثر ۱/۴ در روزهای ۹۰-۸۰ رسید. مقدار بیشینه K_c از مقدار گزارش شده در شرایط خارج گلخانه، بیش تر بود (Fernandez et al., 2000) یرمی و همکاران (Yarami et al., 2012) تبخیر و تعرق بالقوه و ضریب گیاهی زعفران را در سال زراعی ۸۶- ۸۵ با استفاده از لایسیمترهای بیلان آبی محاسبه نموده‌اند. تبخیر و تعرق بالقوه زعفران و تبخیر و تعرق بالقوه گیاه مرجع با روش پنمن-فائو، در منطقه باجگاه، به ترتیب ۵۲۴ و ۸۱۱ میلی‌متر در طی فصل رشد بدست آمد. ضریب گیاهی زعفران در دوره ابتدایی رشد، دوره میانی و انتهایی به ترتیب ۰/۴۱، ۰/۹۵ و ۰/۳۳۵ محاسبه شد. زعفران یکی از ارزشمندترین رستنی‌های ایران است که با رنگ و رایحه‌ای دل انگیز و مزه‌ای دلپذیر جهانیان را مجذوب خود می‌کند. دربارهٔ منشاء زعفران با نام علمی (*Crocus sativus* L.) نظریه‌های مختلفی ابراز شده است که برخی از آنها ریشه‌های افسانه‌ای دارد (Akhondzadeh, 2007). مزیت‌های نسبی کاشت زعفران نسبت به دیگر محصولات در بسیاری از مناطق، سبب توجه کشاورزان به این محصول شده است. نیاز آبی، سازگاری با نظام‌های کم نهاده و امکان بهره‌برداری طولانی مدت با یک بار کاشت، از جمله این مزایای نسبی است (Koocheki et al., 2016).

بدلیل برنامه‌ریزی دقیق در تخصیص منابع آب و طراحی صحیح و دقیق سیستم‌های زراعی فاریاب به‌منظور تعیین شرایط برای دستیابی به یک سامانه‌ی مناسب جهت اعمال مدیریت کارا و آگاهانه، تعیین ضرایب گیاهی (یک-جزئی و دوجزئی) بر مبنای مراحل رشد و نیز تبخیر - تعرق گیاه ضروری است. به‌منظور اهمیت تولید و پرورش گیاه زعفران در منطقه بیرجند و همچنین به علت آنکه در این منطقه، هنوز مطالعه خاصی روی ضرایب گیاهی و نیاز آبی این گیاه انجام نشده است، این پژوهش برای دستیابی به اطلاعاتی از جمله نیاز آبی و ضرایب گیاهی یک‌جزئی و دوجزئی گیاه زعفران، طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

به‌منظور بررسی ضرایب گیاهی یک‌جزئی و دوجزئی گیاه زعفران در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ به‌عنوان سال اول تحقیق، پژوهشی در دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند واقع در ۵ کیلومتری جاده بیرجند– کرمان با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و از

سطح دریا انجام گرفت. با این منظور ۶ عدد لایسیمتر بابت زعفران و ۳ لایسیمتر برای گیاه چمن در محیط آزمایش قرار گرفت. کاشت پیازها در تاریخ ۱۳۹۸/۰۸/۱۹ در محیط پژوهش مورد کاشت قرار گرفت بدین منظور تعداد ۷ عدد پیاز درون هر لایسیمتر کاشته شد. برای احداث این لایسیمترها از لایسیمترهای زهکش‌دار به قطر ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر استفاده شد. جدول ۲ بیانگر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده شده است. شکل ۱، نمایی از لایسیمترهای گیاه زعفران و گیاه مرجع چمن را نشان می‌دهد. آبیاری لایسیمترها به صورت آبیاری قطره‌ای و با استفاده از کنتور انجام شد. میزان آبیاری به طوری برنامه ریزی شد که میزان رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR صورت گرفته باشد و هیچگاه میزان رطوبت خاک کمتر از (F_C) نباشد و گیاه هیچگونه تنشی را نبیند. آبیاری روزانه انجام می‌گرفت تا رطوبت خاک به ظرفیت زراعی برسد. حجم آبیاری بر اساس میزان رطوبت خاک که دلیل آن در بالا ذکر گردید تنظیم شد. زمان شروع آبیاری بر اساس میزان رطوبت خاک و (FC)تعیین شد. پایان آبیاری باتوجه به شرایط و میزان رطوبت خاک انجام گرفت. هدف از انجام این عمل (آبیاری) حفظ رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی بوده است تا گیاه بیشترین عملکرد خود را داشته باشد بنابراین مقدار آب مورد نیاز گیاه مصرف شد و چنانچه آب بیش از حد مورد نیاز گیاه بود از لایسیمتر به صورت زهکش خارج شد. میانگین آب مصرفی برای هر لایسیمتر زعفران در طول دوره کشت، برابر ۴۹۴ میلی‌متر محاسبه شد. میانگین آب مصرفی برای هر لایسیمتر چمن معادل ۲۱۴۹ میلی‌متر بدست آمد. همچنین میزان آب بارندگی در طول کشت، برابر ۲۳/۸ میلی‌متر برآورد شد. عملکرد گیاه زعفران در سال نخست پژوهش، به طور متوسط، برابر ۰/۸۳ کیلوگرم بر هکتار بدست آمد.

روش ضریب گیاهی

در روش ضریب گیاهی، تبخیر– تعرق گیاه با ضرب ضریب گیاهی در تبخیر– تعرق گیاه مرجع، محاسبه می-شود:

$$ET_{crop} = K_C(ET_O) \quad (۱)$$

ET_C: تبخیر - تعرق گیاه (میلی‌متر بر روز)، ET_O: تبخیر– تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز)، K_C: ضریب گیاهی (بدون واحد)

شکل ۱. نمایی از لایسیمترهای گیاه زعفران و گیاه مرجع چمن.

Fig 1. View of lysimeters of saffron plant and grass reference plant.

جدول ۱.خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب.

Table 1. Physical and chemical properties of water.

Ec	PH	Na	k	Ca	Mg	CI	CO3	HCO3	SAR
ms/cm		meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	
1.11	7.7	7.65	0.6	2.4	1.2	7.8	0	3.2	5.7

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 2. Physical and chemical properties of soil.

شماره Number	رس clay	سیلت silt	شن Sand	SAR	منیزیم محلول Soluble magnesium	کلسیم محلول Soluble calcium	سدیم محلول Soluble sodium	Ece	PH	Sp	بافت Texture
	٪	٪	٪	0	meq/lit	meq/lit	meq/lit	ms/cm	0	٪	کلاس بافتی Tissue class
	15-10	30-50	30-55	<13	0.25-0.5 برابر کلسیم times calcium	۲-۴ برابر منیزیم 2-4 times magnesium	<30	<4	5.5-6.7	30-45	متوسط average
1	10	22	72	7/05	2.12	3.24	11.5	1.66	7.9	36	Sandy loam
2	4	16	80	7/86	2.23	3.65	13.45	1.97	8	34	Loamy sand

ضریب گیاهی یک جزئی (Kc)

ضریب گیاهی یک‌جزئی، میانگین تبخیر از خاک و تعرق گیاهان را نشان می‌دهد. پس این روش برای محاسبه تبخیر-تعرق گیاه تحت شرایط استاندارد در دوره‌های زمانی هفتگی یا طولانی‌تر مناسب است. ضریب گیاهی یک‌جزئی، برای طراحی سامانه‌های آبیاری که در آن میانگین اثر خیس شدن خاک مورد نظر بود، قابل بکارگیری است. در طراحی سامانه‌های آبیاری سطحی و بارانی با فاصله چند روز و اغلب ۱۰ روز یا بیشتر، این روش مناسب می‌باشد. بنابراین برای مدیریت آبیاری معمول، روش ضریب گیاهی یگانه معتبر است. ضریب گیاهی یک مقدار ثابت نبوده و مقدار در طول دوره رویش تغییر می‌کند (Alizadeh, 2004). دورنبوس و پروت (Doorenbos & Pruitt., 1977) لیست جامعی از ضرایب گیاهی (Kc) گیاهان مختلف تحت شرایط مختلف آب و هوایی جمع‌آوری و ارائه نمودند. ضریب گیاهی از معادله ۲ زیر به‌دست می‌آید (Vaziri et al., 2008)، چنان‌چه به صورت منحنی گیاهی ارائه شود در برنامه‌های کامپیوتری که منظور تعیین نیاز آبی تولید شده‌اند، کاربرد دارد.

$$K_C = \frac{ET_C}{ET_O} \qquad (۲)$$

ET_C و ET_O از معادله ۳ بیلان آبی خاک به‌دست می‌آید.

$$ET_C = I + P - D \pm \Delta S \qquad (۳)$$

I: آب آبیاری[1] (mm)، p: بارندگی[2] (mm)، D: زهکش[3] (mm)، ΔS: تغییرات رطوبت خاک در دوره معین (mm)

تبخیر – تعرق گیاهان (ET_C)

برآورد دقیق میزان آب مصرفی یک گیاه در کل دوره رشد و آگاهی از چگونگی مصرف این میزان آب در دوره‌های مختلف رشد گیاه می‌تواند نقش بسیار مهمی در مدیریت حاکم بر منابع آب، مدیریت توأم آب و خاک و اعمال برنامه‌های منظم و صحیح آبیاری داشته باشد (Fathalian et al., 2009). تبخیر– تعرق تحت شرایط استاندارد (ET_C) که گیاه بدون آبیاری بوده است و از نظر حاصلخیزی خاک و دسترسی به آب و مواد آلی موجود در خاک در شرایط بهینه قرار داشته باشد به‌عنوان نیاز آبی تعریف شده است. نیاز آبیاری به مقدار آبی گفته می‌شود که باید به صورت آبیاری به زمین داده شود تا گیاه با حداکثر توان خود رشد نموده و تولید محصول کند. آب مورد احتیاج آبیاری نمایانگر تفاوت بین نیازآبی گیاه و بارندگی مؤثر است. نیاز آبیاری همچنین شامل آب مورد نیاز برای آبشویی نمک‌های محلول و افزایش یکنواختی کاربرد آب در مزعه می‌باشد (Vaziri et al., 2009). در روش ضریب گیاهی دوجزئی، تعرق گیاهان و تبخیر از سطح خاک به طور جداگانه بررسی و تعیین می‌شوند.

[1] Irrigation
[2] precipitation
[3] Drain

محاسبه تبخیر- تعرق گیاه به روش ضریب گیاهی دوجزئی شامل مراحل زیر است: تعیین مراحل رشد گیاه و انتخاب ضرایب گیاهی پایه (K_{cb}) در هر مرحله رشد، در صورتی که در جدول مقدار K_{cb} گزارش نشده باشد می‌توان به‌طور مستقیم اندازه‌گیری کرد و یا در این روش از ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) برای توصیف فرایند تعرق گیاه و از ضریب تبخیر (K_e) برای توصیف فرایند تبخیر از خاک استفاده می‌شود. در این روش، ضریب گیاهی دوجزئی (K_c) به صورت زیر تعیین می‌شود (معادله ۴):

$$K_c = K_{cb} + K_e \qquad (۴)$$

که در معادله ۴: K_{cb} = ضریب گیاهی پایه، K_e = ضریب تبخیر از سطح خاک می‌باشند (Vaziri et al., 2008). ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) در شرایطی که لایه خاک سطحی خشک بوده اما مقدار آب برای تعرق کامل گیاهان کافی است، به صورت نسبت تبخیر-تعرق گیاه به تبخیر-تعرق مرجع تعریف می‌شود. ضریب K_{cb} مقدار K_c بالقوه در شرایطی است که اثر تبخیر اضافی ناشی از خیس شدن خاک با آبیاری یا بارندگی وجود ندارد. ضریب تبخیر (K_e)، تبخیر از سطح خاک را توصیف می‌کند و مقدار آن پس از بارندگی یا آبیاری، ممکن است بالا باشد. به هر حال مجموع ضریب گیاهی پایه و تبخیر از حداکثر ضریب گیاهی ($K_{c\ max}$) تابع انرژی در دسترس تبخیر- تعرق بیشتر نخواهد شد. با خشک شدن خاک سطحی ضریب تبخیر کاهش یافته و پس از مصرف آب قابل تبخیر صفر می‌شود. برآورد ضریب تبخیر نیازمند محاسبه موازنه روزانه آب لایه خاک سطحی می‌باشد. روش محاسبه ضریب تبخیر به ترتیب زیر می‌باشد: تبخیر از خاک خیس شده بیشترین مقدار را دارا است. هر چند، ضریب گیاهی دوجزئی ($K_c = K_{cb} + K_e$) بزرگتر از بیشترین مقدار این ضریب ($K_{c\ max}$) نخواهد شد ($K_{cb} + K_e \leq K_{c\ max}$) یا ($K_e \leq K_{c\ max} - K_{cb}$) حداکثر تبخیر از خاک تابع انرژی در دسترس می‌باشد. با خشک شدن لایه خاک سطحی، برای تبخیر آب کمتری در دسترس بوده و مقدار آن متناسب با آب باقیمانده در این لایه کاهش می‌یابد. بنابراین، رابطه زیر برقرار است (معادله ۵):

$$K_e = K_r\,(K_{c\ max} - K_{cb}) \leq f_{ew}\,K_{c\ max} \qquad (۵)$$

K_e = ضریب تبخیر از خاک، K_{cb} = ضریب گیاهی پایه، $K_{c\ max}$ = حداکثر مقدار ضریب گیاهی پس از بارندگی یا آبیاری، K_r = ضریب کاهش تبخیر وابسته به عمق تخلیه (تبخیر) تجمعی از لایه خاک سطحی، f_{ew} = کسر خاک خیس شده و در معرض هوا یا کسر خاک دارای بیشترین مقدار تبخیر می‌باشد. ضریب کاهش تبخیر (K_r) پس از بارندگی یا آبیاری (۱) است و شدت تبخیر، تنها به انرژی در دسترس برای تبخیر بستگی دارد. با خشک شدن تدریجی لایه خاک سطحی، K_r کوچکتر از ۱ شده و تبخیر نیز کاهش می‌یابد. هنگامی که آبی در لایه خاک سطحی برای تبخیر باقی نباشد، مقدار (K_r) صفر است. آب به طور عمده از خاک بدون پوشش تبخیر می‌شود. بنابراین، تبخیر در هر لحظه به انرژی در دسترس این لایه بستگی دارد و (K_e) نمی‌تواند بزرگتر از مقدار مشخص ($f_{ew} \times K_{c\ max}$) باشد. عبارت ، (f_{ew}) کسر خاک سطحی دارای بیشترین شدت تبخیر است. یعنی (f_{ew}) سطح خاک بدون پوشش گیاهی است که به وسیله آبیاری یا بارندگی خیس می‌شود. در محاسبه تبخیر تعیین مقادیر ضرورت دارد: کران بالای $K_{c\ max}$، ضریب کاهش تبخیر خاک (K_r)، سطح خاک خیس و در معرض هوا (f_{ew})، برآورد ضریب کاهش تبخیر نیازمند محاسبه موازنه روزانه آب در لایه خاک سطحی است. لذا در این پژوهش برای محاسبه رابطه فائو پنمن- مانتیث، از فرمول فائو پنمن- مانتیث به صورت معادله ۶ و داده‌های هواشناسی مرکز بیرجند، استفاده گردید.

به‌منظور برآورد مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن- مانتیث از فرمول زیر استفاده شده است (Alizadeh, 2004)

$$ET_O = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma[890/(T+273)]U_2(e_a - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \qquad (۶)$$

که در آن: ET_O= تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)

R_n= تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJ^{-2}d^{-1}$)

T= متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ($°C$)

U^2= سرعت باد در اتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})

$(e_a - e_a)$= کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (KPa)

Δ= شیب منحنی فشار بخار ($KPa°C^{-1}$)

γ= ضریب رطوبتی ($KPa°C^{-1}$)

G= شار گرما به داخل خاک ($MJ^{-2}d^{-1}$)

برای بدست آوردن اجزای معادله فائو پنمن مانتیث به ترتیب زیر عمل می‌شود:

$$\lambda = 2.501 - \left(2.361 \times 10^{-3}\right)T \qquad (۷)$$

که در آن λ گرمای نهان تبخیر ($MJ\ Kg^{-1}$) و T دمای هوا (°C) است.

$$\Delta = \frac{2504\ exp[17.27\ T/(T+237.7)]}{(T+273.3)^2} \quad (۸)$$

که Δ شیب منحنی فشار بخار ($KPa°C^{-1}$) است.

$$\gamma = 0.00163\frac{P}{\lambda}\gamma \quad (۹)$$

γ ضریب سایکرومتری رطوبتی ($KPa°C^{-1}$) و P= فشار هوا (KPa) که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P = 101.3\left(\frac{293-0.0065Z}{293}\right)^{5.26} \quad (۱۰)$$

که در آن Z= ارتفاع محل از سطح دریا (m) است.

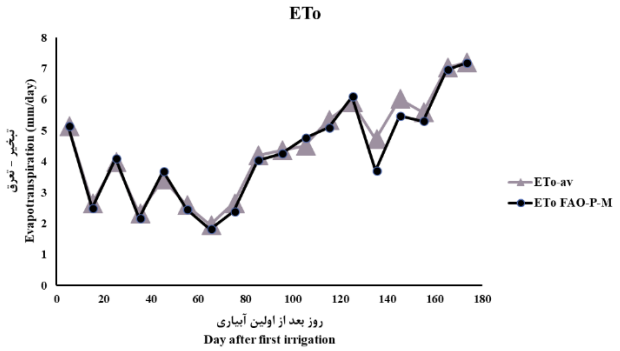
نتایج و بحث

هدف از انجام این تحقیق، اندازه‌گیری تبخیر– تعرق گیاه دارویی زعفران و محاسبه ضریب گیاهی آن می‌باشد. جدول ۳ میانگین تبخیر – تعرق (میلی‌متر بر روز) گیاه مرجع چمن در هر لایسیمتر بیان می‌کند. در این تحقیق ابتدا مقادیر تبخیر– تعرق گیاه مرجع چمن بوسیله لایسیمتر اندازه‌گیری و با داده‌های بدست آمده از روش فائو– پنمن– مانتیث مورد مقایسه قرار گرفت. مقدار میانگین تبخیر– تعرق گیاه مرجع بوسیله لایسیمتر و روش فائو– پنمن– مانتیث در طول دوره اول کشت به‌ترتیب برابر ۴/۳۲ و ۴/۱۹ میلی‌متر بر روز برآورد شد. همچنین مقدار تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن در طول دوره کشت معادل ۳۶۷/۳ میلی‌متر محاسبه شد. روند تغییرات تبخیر– تعرق گیاه مرجع بدست آمده توسط لایسیمتر و روش فائو– پنمن– مانتیث در شکل ۲ ارائه شده است. بررسی‌های انجام شده بر روی تبخیر– تعرق گیاه مرجع نشان داد که مقادیر برآورد شده توسط لایسیمتر تا حد زیادی از مقادیر بدست آمده به روش فائو– پنمن– مانتیث پیروی می‌کند. طبق نتایج بدست آمده از پژوهش موسی‌بیگی (Moosabeygi et al., 2011) با گذشت زمان مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع افزایش پیدا کرده است که دلیل آن را می‌توان به بلند بودن طول روز و افزایش تابش خالص خورشیدی می‌باشد، با افزایش دما میزان تبخیر- تعرق نیز افزایش می‌یابد بنابراین تقاضا گیاه برای دریافت آب افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش با پژوهش مذکور مطابقت دارد.

جدول ۳. میانگین تبخیر – تعرق (میلی‌متر بر روز) گیاه مرجع چمن در هر لایسیمتر.

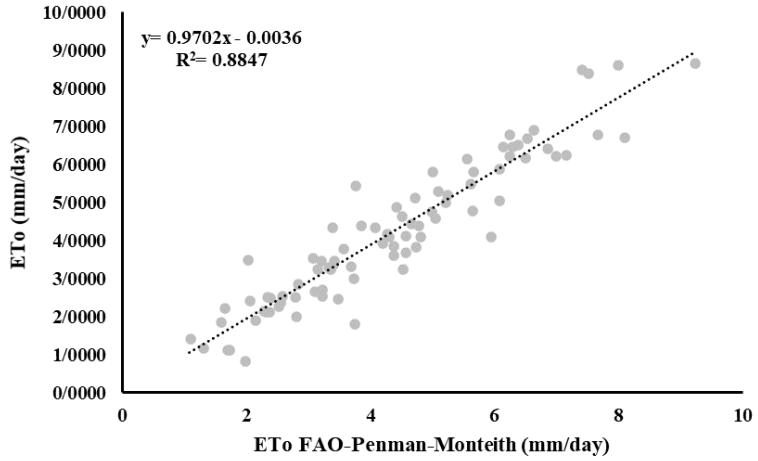
Table 3. Average evapotranspiration (mm/day) of grass reference plant in each lysimeter.

فصل رشد Growth season	دهه‌های رشد Decades of growth	تاریخ هر دهه The date of each decade	لایسیمتر (میلی‌متر بر روز) Lysimeter (mm/day)			میانگین (میلی‌متر بر روز) Average (mm/day)
			1	2	3	
آبان ۱۳۹۸ تا اردیبهشت ۱۳۹۹ November 2019 to May. 2020	1	1398/08/19-1398/08/29	5.2	5.174	5.06	5.145
	2	1398/08/29-1398/09/09	2.746	2.908	2.294	2.649
	3	1398/09/09-1398/09/19	3.982	3.952	4.048	3.994
	4	1398/09/19-1398/09/29	2.558	1.978	2.456	2.331
	5	1398/09/29-1398/10/09	3.498	3.488	3.324	3.437
	6	1398/10/09-1398/10/19	2.53	2.668	2.582	2.593
	7	1398/10/19-1398/10/29	2.008	1.816	2.042	1.955
	8	1398/10/29-1398/11/09	2.556	2.558	2.86	2.658
	9	1398/11/09-1398/11/19	4.05	4.546	4.016	4.204
	10	1398/11/19-1398/11/29	3.854	4.852	4.376	4.361
	11	1398/11/29-1398/12/09	4.254	4.718	4.552	4.508
	12	1398/12/09-1398/12/19	5.008	5.136	5.908	5.351
	13	1398/12/19-1398/12/29	6.128	5.385	6.238	5.917
	14	1398/12/29-1399/01/10	4.978	4.6	4.763	4.72
	15	1399/01/10-1399/01/20	5.878	6.015	6.168	6.02
	16	1399/01/20-1399/01/30	5.804	5.5	5.47	5.591
	17	1399/01/30-1399/02/09	7.188	6.718	7.204	7.037
	18	1399/02/09-1399/02/14	7.543	7.103	6.957	7.201
	میانگین دوره The average of period		4.421	4.395	4.462	4.321



شکل ۲. تبخیر – تعرق گیاه مرجع به روش لایسیمتری و فائو – پنمن – مانتیث.

Fig 2. Evapotranspiration of the reference plant by lysimetric and FAO - Penman - Monteith methods.



شکل ۳. مقایسه نتایج روش پنمن مانتیث با تبخیر و تعرق گیاه مرجع.

Fig 3. Comparison of the results of FAO-Penman-Monteith method with evapotranspiration of reference plant.

در این تحقیق یک معادله ساده جهت برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن- مانتیث، بدون نیاز به محاسبات طولانی ارائه شد. بدین منظور سعی شده است که بین مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع روزانه به دست آمده از روش فائو - پنمن - مانتیث برای کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان جنوبی و پارامترهای هواشناسی دخیل در محاسبه آن، روابط ساده شده‌ای ارائه گردد. بدین منظور اولین پارامتر مورد بررسی، دمای متوسط هوا می‌باشد، چرا که در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی، دمای هوا ثبت می شود (Valiantzas, 2006).

علاوه بر این در آنالیزهای آماری دو پارامتر ضریب سایکرومتری و تابش برون زمینی نیز شرکت داده شده اند، زیرا این پارامترها خود شامل چند پارامتر مستقل بوده که برای محاسبه آنها مورد نیاز بوده است و در سری محاسبات بعدی وارد نمی‌شوند. علاوه بر این، مزیت دیگر استفاده از این پارامترها این است که می‌توان با مشخص کردن مقدار دمای متوسط هوا، ارتفاع محل از سطح دریا و عرض جغرافیایی، به سادگی مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع را به روش فائو - پنمن - مانتیث (معادله ساده ارائه شده، معادله ۱۱) محاسبه کرد. در شکل ۳ نتایج روش فائو - پنمن - مانتیث با تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن مقایسه شده است.

$$y=0.9702x-0.0036 \ , \ R^2 = 0.8847 \qquad (11)$$

شکل ۳ نشان داد که مقدار ضریب همبستگی گیاه مرجع چمن در این پژوهش، برابر با ۰/۸۹ بدست آمده است.

محاسبه تبخیر – تعرق گیاه زعفران

نتایج حاصل نشان داد، در سال نخست کشت، میزان

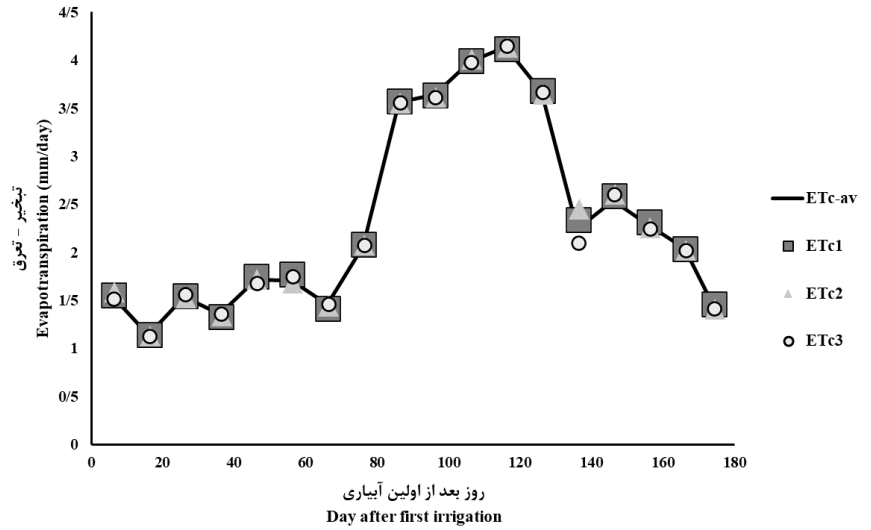
تبخیر– تعرق گیاه زعفران در مراحل ابتدایی رشد و توسعه گیاه، سیر صعودی داشته است. پس از آن تبخیر– تعرق گیاه زعفران در ابتدای مرحله میانی با یک سیر صعودی و سپس در باقی مرحله میانی و نهایی با یک سیر نزولی و کاهشی همراه بوده است. کاهش ضرایب گیاهی به واسطه کاهش مقدار رطوبت خاک می‌تواند نتیجه تلاش خاک در حفظ رطوبت و به تبع آن کاهش محتوای نسبی آب برگ باشد که این امر در بسته شدن روزنه‌ها و کاستن از تعرق برای تنظیم وضعیت آب گیاه نقش دارد. در جدول ۴ مقادیر میانگین تبخیر– تعرق گیاه زعفران ارائه شده است. شکل ۴ میزان تبخیر– تعرق گیاه دارویی زعفران را نشان می‌دهد. در ماه‌های اول کشت به دلیل رشد کم گیاه و کوچک بودن آن سهم تبخیر بیشتر از تعرق بوده و در این مدت نیاز آبی گیاه کمتر از مراحل دیگر رشد می‌باشد، با توسعه اندام هوایی گیاه تعرق افزایش داشته است و سپس در روزهای آخر با کاهش فعالیت برگ‌ها مجدداً تعرق و در پی آن نیاز آبی کم می‌شود. در مرحله ابتدایی که رشد گیاه کم و اندازه گیاه کوچک است، سهم تبخیر بیشتر از تعرق بوده و مقدار K_C پایین است. در مرحله توسعه و میانی با توسعه اندام هوایی گیاه میزان تعرق افزاش یافته که به دنبال آن K_C افزایش می‌یابد، در مرحله پایانی با کاهش فعالیت گیاه مجداً تعرق و در پی آن K_C کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش با پژوهش قمرنیا و همکاران (Ghamarnia et al., 2012) مطابقت دارد.

در سال ابتدایی کشت، میانگین تبخیر – تعرق گیاه زعفران در طول دوره ۱۷۵ روزه رشد، برابر با ۲/۳۴ میلی‌متر بر روز و مقدار تبخیر – تعرق گیاه زعفران در طول این برابر با ۱۹۸/۹۹ میلی‌متر برآورد شد. همانطور که شکل نشان می‌دهد، میزان تبخیر– تعرق در ماه‌های ابتدایی دوره رشد، کمترین میزان را به خود اختصاص داده است. همچنین بیشترین مقادیر تبخیر – تعرق گیاه زعفران در ماه‌های میانی و نهایی دوره رشد مشاهده شد. میانگین تبخیر– تعرق زعفران در مرحله‌های ابتدایی رشد و توسعه به‌ترتیب برابر ۱/۳۵ و ۱/۶۷ ملی‌متر بر روز برآورد شد. همچنین متوسط تبخیر– تعرق گیاه دارویی زعفران در مراحل میانی و نهایی دوره رشد به ترتیب برابر ۳/۸۳ و ۲/۳۹ میلی‌متر بر روز بدست آمد.

جدول ۴. میانگین تبخیر – تعرق (میلی‌متر بر روز) گیاه زعفران در هر لایسیمتر.

Table 4. Average evapotranspiration (mm/day) of saffron plant in each lysimeter.

فصل رشد Growth season	دهه‌های رشد Decades of growth	تاریخ هر دهه The date of each decade	لایسیمتر (میلی‌متر بر روز) Lysimeter (mm/day)			میانگین (میلی‌متر بر روز) Average (mm/day)
			1	2	3	
آبان ۱۳۹۸ تا اردیبهشت ۱۳۹۹ November 2019 to May. 2020	1	1398/08/19-1398/08/29	1.544	1.584	1.51	1.547
	2	1398/08/29-1398/09/09	1.134	1.126	1.124	1.142
	3	1398/09/09-1398/09/19	1.536	1.522	1.556	1.538
	4	1398/09/19-1398/09/29	1.32	1.336	1.356	1.354
	5	1398/09/29-1398/10/09	1.742	1.72	1.676	1.713
	6	1398/10/09-1398/10/19	1.764	1.678	1.748	1.709
	7	1398/10/19-1398/10/29	1.408	1.436	1.456	1.458
	8	1398/10/29-1398/11/09	2.076	2.078	2.047	2.062
	9	1398/11/09-1398/11/19	3.566	3.548	3.556	3.565
	10	1398/11/19-1398/11/29	3.63	3.612	3.61	3.644
	11	1398/11/29-1398/12/09	3.99	4.012	3.972	3.984
	12	1398/12/09-1398/12/19	4.11	4.132	4.144	4.135
	13	1398/12/19-1398/12/29	3.678	3.648	3.668	3.676
	14	1398/12/29-1399/01/10	2.33	2.45	2.098	2.241
	15	1399/01/10-1399/01/20	2.58	2.605	2.6	2.58
	16	1399/01/20-1399/01/30	2.308	2.252	2.244	2.279
	17	1399/01/30-1399/02/09	2.026	2.02	2.016	2.038
	18	1399/02/09-1399/02/14	1.457	1.407	1.413	1.45
		میانگین دوره The average of period	2.344	2.434	2.323	2.34



شکل ۴. تبخیر – تعرق گیاه زعفران در هر لایسیمتر.
Fig 4. Evapotranspiration of saffron plant in each lysimeter.

محاسبه ضریب گیاهی یک‌جزئی

در طول این تحقیق و پژوهش، دوره رشد و یادداشت-برداری گیاه به چهار مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و نهایی تقسیم شد. جدول ۵ طول مراحل مختلف رشد و جدول ۶ مقادیر میانگین ضریب گیاهی یک‌جزئی گیاه زعفران را در سال اول کشت نشان می‌دهد. در شکل ۵ منحنی میانگین ضرایب گیاهی زعفران ارائه شده است. تبخیر- تعرق گیاه ET_C و در نتیجه مقدار K_C پایین‌تر است. در مرحله توسعه، که گیاه در حال رشد است. در واقع تبخیر از سطح خاک با افزایش ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد و به‌تدریج تعرق جزء اصلی تلفات آب محسوب می‌شود. ضریب گیاهی یک‌جزئی متناسب با رشد گیاه با پوشش زمین متغیر و در حال زیاد شدن است و مرحله میانی با توسعه اندام هوایی گیاه میزان تعرق افزایش یافته و ضریب گیاهی به بیشترین مقدار خودش می‌رسد. اما در خصوص ضریب گیاهی دوره انتهایی رشد از آن جا که گیاه تا زمانی نزدیک به برداشت آبیاری شد، لایه خاک سطحی مرطوب بوده و علاوه بر تعرق، تبخیر هم در تعیین نیازآبی مؤثر بود به همین دلیل برای مقدار ضریب گیاهی مرحله پایانی، عدد بالایی حاصل گردید (Gamarnia et al., 2011). نتایج پژوهش با تحقیق مذکور مطابقت دارد.

مقادیر میانگین ضریب گیاهی یک‌جزئی در سال نخست پژوهش در چهار مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و نهایی به‌ترتیب برابر ۰/۳۶، ۰/۶۶، ۰/۸۶ و ۰/۴۲ بدست آمد. همانطور که مشاهده می‌شود، روند تغییرات ضریب گیاهی در طول فصل کشت، از الگوی نمودار ضرایب گیاهی پیروی می‌کند.

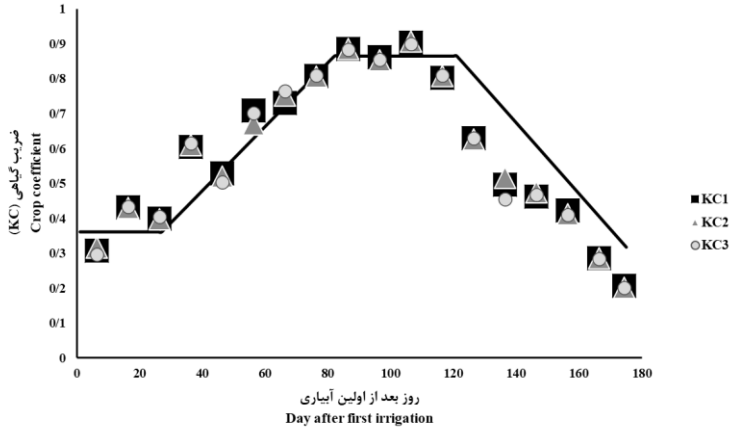
جدول ۵. طول مراحل رشد مختلف گیاه زعفران.
Table 5. The length of different growth stages of saffron plant.

مراحل رشد Growth stages	شروع Beginning	پایان End	طول دوره رشد The length of growth period
ابتدایی Initial	1398/08/19	1398/09/16	27 days
توسعه Development	1398/09/16	1398/11/10	54 days
میانی Intermediate	1398/11/10	1398/12/20	40 days
نهایی Final	1398/12/20	1399/02/14	54 days

جدول ۶. میانگین ضرایب گیاهی یک‌جزئی گیاه زعفران در هر لایسیمتر.

Table 6. The average of single crop coefficients of saffron plant in each lysimeter.

مراحل رشد Growth stages	لایسیمتر (ملی‌متر بر روز) Lysimeter (mm/day)			میانگین Average
	1	2	3	
ابتدایی Initial	0.36	0.362	0.356	0.36
توسعه Development	0.664	0.659	0.668	0.66
میانی Intermediate	0.864	0.864	0.8622	0.86
نهایی Final	0.421	0.422	0.417	0.42



شکل ۵. ضرایب گیاهی یک جزئی گیاه زعفران در هر لایسیمتر.

Fig 5. Dual crop coefficients of saffron plant in each lysimeter.

تبخیر این ضریب به طور مشخص از مجموع آن ها به دست آمده است اما ضریب گیاهی در مرحله میانی به دلیل کم شدن میزان تبخیر و غالب بودن جزء تعرق، میزان ضریب گیاهی در اغلب موارد به جزء تعرق نزدیک شده و این روند تغییرات در تمامی لایسیمترها به همین ترتیب بوده است. مقدار ضریب گیاهی پایه (جزء تعرق) با گذر از مرحله اولیه به تدریج زیاد شده و در مرحله میانی به حداکثر مقدار می‌رسد. مقدار ضریب تبخیر از سطح خاک (K_e) پس از خیس شدن لایه خاک سطحی با بارندگی یا آبیاری، بیشترین مقدار است. با خشک شدن این لایه، ضریب تبخیر کاش می‌یابد. در شرایطی که آب در لایه سطحی خاک سطحی باقی نمانده باشد، ضریب تبخیر به صفر می‌رسد. ضریب گیاهی دوجزئی که مجموع جزء تعرق و تبخیر می‌باشد نیز به‌تدریج کاهش می‌یابد. نوساناتی که در نمودار مشاهده می‌شود به دلیل کوتاه بودن دور آبیاری می‌باشد. نتایج تحقیق با پژوهش قمرنیا و همکاران (Gamarnia et al., 2017)تطابق دارد.

محاسبه ضریب گیاهی دوجزئی

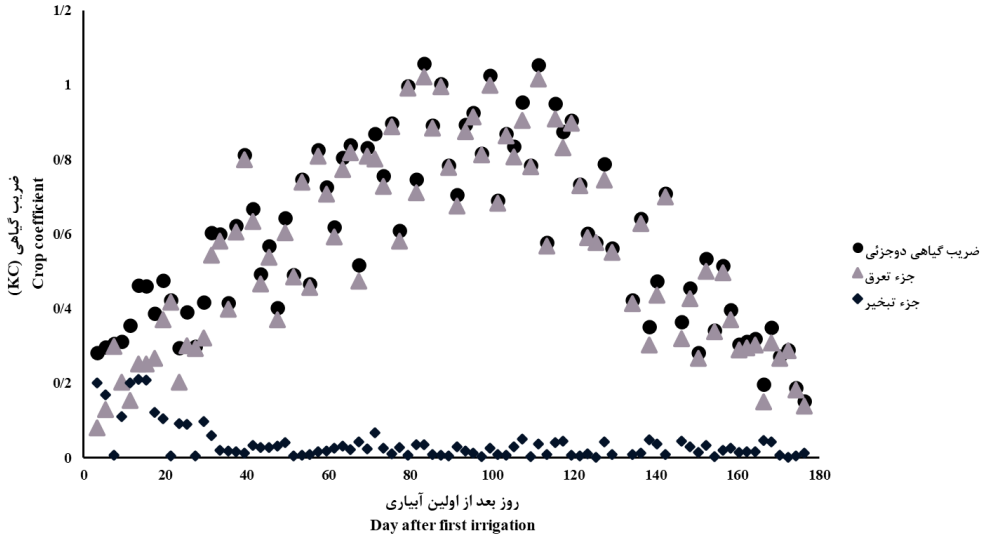
برای برآورد ضریب گیاهی دوجزئی ابتدا جزء تعرق و سپس جزء تبخیر به دست آمد و از مجموع آنها ضریب گیاهی دوجزئی حاصل شد. جدول ۷ نتایج به دست آمده برای هر یک از مراحل کشت را نشان می‌دهد. جزء تعرق و جزء تبخیر ضریب گیاهی گیاه زعفران، در شکل ۶ ارائه شده است. قیصری و همکاران (Gheisari et al., 2006) در پژوهشی با هدف اندازه‌گیری نیازآبی و ضرایب گیاهی ذرت علوفه‌ای در منطقه ورامین گزارش کردند که مقادیر ضرایب گیاهی یک‌جزئی به‌ترتیب در مراحل میانی، توسعه، نهایی و اولیه، به‌ترتیب ۰/۴۵، ۰/۹۰، ۱/۱۳ و ۰/۷ حاصل شده است. نتایج پژوهش با با پژوهش (Yarami et al., 2012) ذکر شده مطابقت دارد.

مقادیر میانگین ضریب گیاهی دوجزئی در سال اول کشت، در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و نهایی به‌ترتیب برابر ۰/۳۷، ۰/۶۷، ۰/۸۷ و ۰/۴۲ برآورد شد. مشاهده شد که در ابتدای دوره به دلیل زیاد بودن

جدول ۷. میانگین ضرایب گیاهی دوجزئی مراحل مختلف رشد.

Table 7. The average of dual crop coefficients of different growth stages.

ضریب گیاهی Crop coefficient	ابتدایی Initial	توسعه Development	میانی Intermediate	نهایی Final
Kc	0.37	0.67	0.87	0.42
Kcb	0.25	0.64	0.85	0.40
Ke	0.12	0.03	0.02	0.02



شکل ۶. اجزای ضرایب گیاهی دوجزئی گیاه زعفران.

Fig 6. Components of dual crop coefficients of saffron plant.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، مقادیر تبخیر– تعرق گیاه زعفران با استفاده از روش لایسیمتری در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸، به عنوان سال نخست پژوهش، و مجموعه آزمایشگاه‌های لایسیمتری دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، تعیین گردید. علاوه بر برآورد مقادیر تبخیر – تعرق، به تعیین تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن به دو روش لایسیمتری و فائو – پنمن – مانتیث، ضریب گیاهی یک‌جزئی و دوجزئی گیاه زعفران، جهت تکمیل تحقیق، پرداخته شد. برای انجام این تحقیق گیاه زعفران در ۶ لایسیمتر و گیاه مرجع چمن در ۳ لایسیمتر کشت شد. مقادیر میانگین تبخیر – تعرق گیاه مرجع چمن به دو روش لایسیمتری و فائو– پنمن– مانتیث به‌ترتیب برابر ۴/۳۲ و ۴/۱۹ میلی‌متر بر روز و میانگین تبخیر– تعرق گیاه زعفران برابر با ۲/۳۴ میلی‌متر بر روز برآورد شد. میانگین ضرایب گیاهی یک-جزئی به ترتیب برابر با ۰/۳۶، ۰/۶۶، ۰/۸۶ و ۰/۴۲ و میانگین ضرایب گیاهی دوجزئی به ترتیب برابر با ۰/۳۷، ۰/۶۷، ۰/۸۷ و ۰/۴۲ در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و نهایی دوره رشد گیاه زعفران محاسبه شد. مقدار آب به کار برده شده توسط کشاورزان برابر ۱۱۴۸/۱۷ مترمکعب در هکتار تعیین شد (Ahmadee et al., 2017)؛ میزان آب مصرفی توسط کشاورزان بیشتر از میزان آب مصرفی در این پژوهش می‌باشد، این نتایج بیانگر این است که کشاورزان این منطقه به دلیل آبیاری سنتی و ناآگاهی از نیاز آبی واقعی زعفران، سبب اعمال تنش آبی به این محصول می‌شوند. گرچه زعفران در شرایط گرم و خشک رشد می‌کند، ولی اعمال تنش آبی به این گیاه سبب کاهش عملکرد آن خواهد شد (Khorramdel et al., 2014). گرچه آزمایشات عملی در خصوص عملکرد زعفران در این مقاله انجام نشده است؛ ولی می‌توان کم آبیاری را دلیلی بر پایین بودن عملکرد زعفران در دشت بیرجند نسبت به متوسط عملکرد آن در ایران (Kafi, 2006) در نظر گرفت.

یرمی و همکاران (Yarami et al.,2012) ضریب گیاهی در سال اول دوران رشد زعفران را به چهار مرحله‌ی ۳۰، ۴۰، ۷۰ و ۶۰ روزه و سال دوم را هم به چهار مرحله‌ی ۳۰، ۴۵، ۶۵ و ۶۰ روزه تقسیم نمودند. این ضرایب مطابق با مراحل ابتدایی، مرحله رشد میانی و انتهای مرحله پایانی رشد زعفران برای سال اول ۰/۴۱، ۰/۹۳ و ۰/۲۹ و سال دوم به‌ترتیب و ۰/۴۵، ۱/۰۵ و ۰/۱۳ بدست آمدند. باتوجه به نتایج این تحقیق و

تحقیق یرمی و همکاران (Yarami et al.,2012) مشخص می‌شود که به علت تغییرات زیاد شرایط اقلیمی مانند دمای هوا، رطوبت هوا، سرعت باد، تابش خورشیدی که خود مؤثر بر تبخیر- تعرق می‌باشند، طول دوره‌های رشد ثابت نبوده و برای منظور نمودن این دوره‌ها نیاز به تحقیقات بیشتری است. مشاهده می‌شود که حداکثر مقدار ضریب گیاهی همزمان با پوشش کامل گیاه اتفاق افتاده است. به نظر می‌رسد که مرحله میانی رشد زعفران فعال‌ترین دوره است و ازدیاد پداژه‌ها و حداکثر رشد برگ‌ها در این دوره اتفاق می‌افتد.

منابع

Ahmadee, M., Khashei Siuki, A, 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). *Journal of Agroecology*. 8(4): 505-520.

Akhondzadeh, S., (2007). Herbal medicine in the treatment of psychiatric and neurological Disorders. In: L'Abate L. Low Cost Approaches to Promote Physical and Mental Health: Theory Research and Practice. New York, pp. 119 - 38. [in Persian]

Doorenbos, J., Pruitt, W. O. (1977). Crop Water Requirements. Irrig. Drain., Paper 24 FAO, Rome., 144 p.

Fathalian, F., Moazzenzadeh, R., Noori Emamzadeei, M., (2009). Evaluation and estimation of evapotranspiration of greenhouse cucumber at different stages of growth. J. Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries). 23(4), 16-27. [in Persian]

Fernandez,M.D., Gallardo,M., Bonachela,S., Orgaz,F and Fereres,E. (2000). Crop coefficient of a pepper crop grown in plastic greenhouses in Almeria, Spain. ISHS Acta Horticulturae, 537: III International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops.

Gamarnia, H., Jafarzadeh, M., Miri, E., Ghobadi, M.A., (2011). Lysimetric determination of Coriandrum sativum L. water requirement and single and single and dual crop coefficients in Semiarid Climate. *J. Irrigation and Drainage Engineering*. 139(6), 447-455.

Ghamarnia, H., Miri, A., Jafarzadeh, M., Ghobadi, M.A., (2011). Determination of crop coefficient of black seed (Nigella saitva L.) at different stages of growth by lysimetric method. *J. Water Research in Agriculture*. 25(2), 145-133. [in Persian]

Ghamarnia, H., Nazari, B., Ghobadi, M., (2017). Estimation of chickpea (cicer arietinum l.) (Bivanij) water requirement, single and dual crop coefficient in lysimeter conditions and comparision with the SIMIDualKC model. Iranian *J. Pulses Researches*. 8(1), 164-179. [in Persian]

Ghavam Saeedi Noughabi, S., Khashei Siuki, A., Hammami, H., (2019). Estimation of herbal tea crop coefficient at different stages of growth by lysimetric method in Birjand region. *J. Water and Soil*. 33(1), 1-11. [in Persian]

Gheisari, M., Mirlotfi, S.M., Homayi, M., Asadi, M.A., (2006). Determining the water requirement of forage corn and its crop coefficient at different stages of growth. *J. Agricultural Engineering Research*. 7, 125-142. [in Persian]

Kafi, M. (2006). Saffron Ecophysioligy p. 39-57. In: Kafi, M., Koocheki, A., Rashed, M.H., Nassiri, M. (Eds.). Saffron (*Crocus sativus*) Production and Processing. Science Publishers, Enfield.

Khorramdel, S., Gheshm, R., Amin Ghafori, A., and Esmaielpour, B. (2014). Evaluation of soil texture and superabsorbent polymer impacts on agronomical characteristics and yield of saffron. *Journal of Saffron Research*, *1*(2), 120-135.

Koocheki, A., Seyyedi, S.M., Gharaei, S., (2016). Evaluation of the effects of saffron-cumin intercropping on growth, quality and land equivalent ratio under semi-arid conditions. *Scientia Horticulturae*. 201, 190-198.

Lo´pez-Urrea, R., Martı´n de Santa Olalla, F., Fabeiro, C., Moratalla, A., (2006). Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*. 85, 15-26.

Moosabeygi, F., Ghamarnia, H., Arji, I., (2013). Mentha piperita L and Melissa officinalis water requirement and crop coefficients estimation by drainable lysimeter. MSc Thesis, Faculty of Agricultural sciences and engineering, University of Kermanshah, Iran. [in Persian With English Summary]

Saeedinia, M., Tarnian, F.A., Hoseinian, S.A., Nasrollahi, A.H., (2018). Estimation of

evapotranspiration and crop coefficient of two species of chamomile and cumin in Khorramabad region. *J. Water and Irrigation Management*. 8(1), 175-185. [in Persian]

Sepaskhah, A.R., Kamgar-Haghighi, A. A. (2009). Saffron Irrigation Regime. Inter. *J. Plant Prod*., 3 (1): 1-16.

Seyedzadeh, A. (2020). The situation of per capita water consumption in Iran and other countries. Retrieved 12 October, from www.irna.ir/news/84062923/.

Valiantzas, J.D. (2006). Simplified versions for the Penman evaporation equation using routine weather data. *J. of Hydrol*., 331: 690-702.

Vaziri, Zh., Salamat, A., Entesari, M., Meschi, M., Heidari, N., Dehghani Sanych, H. (2008). Evapotranspiration (water consumption intructions required by plants). Iranian National Committee or Irrigation and Drainage. [in Persian]

Yarami, N., Kamgar-Haghighi, A.A., Sepaskhah, A.R., Zand-Parsa, S.H., (2012). Determination of the potential evapotranspiration and crop coefficient for saffron using a water-balance lysimeter. Arch. Agron. Soil Sci. 57(7), 727-740.

COPYRIGHTS

© 2023 by the authors. Published by University of Birjand – Saffron Research Group. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)