Research Paper

Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)

Web site:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 14
No. 3 (55)

Received:
2024-09-25

Accepted:
2024-11-02

Pages: 115-126

Determination of Evapotranspiration and Crop Coefficient of Safflower under Irrigation with Saline Water in Greenhouse

Mahdi Mokari[1*], Javad Alaei[2] and Amir Hossein Ghaderi[3]

1) Assistant Professor, Department of Water Engineering, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar. Iran.
2) Ph.D. Candidate, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran.
3) M.Sc. Graduated, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran.
*Corresponding author email: m.mokari@kashmar.ac.ir

Abstract:

Background and Aim: It is essential to know the water requirement, which is a function of the type of plant and meteorological parameters in order to irrigation scheduling. Due to the direct measurement of water consumption, weighting and drainage microlysimeters are the most accurate method for calculating evapotranspiration. As the access to weighting and drainage lysimeters in most agricultural fields is limited, determination of plant water requirement by calculating the reference evapotranspiration and plant coefficient is a common and widely used method. The objective of the present study was to determine the evapotranspiration and crop coefficient of safflower in conditions without water and salinity stresses and also in conditions with salinity and drought stress in greenhouse.

Method: The present study was done as factorial in a form of completely randomized design with three replications in greenhouse research at Kashmar higher education institute. The experiment treatments were three irrigation regimes including 100, 75 and 50 percent of water requirement and four salinity levels including 0.7, 4, 8 and 12 dS m^{-1}. In order to measuring safflower water requirement 36 pots were used as a microlysimetre. The pots were weighted and irrigated daily and soil deficit moisture was obtained through the difference of the pot weight at the time of irrigation with the weight of the same pot at the status of potted agricultural capacity. By dividing plant evapotranspiration in a specific time interval to reference plant evapotranspiration in the same time interval, the plant coefficient for the four stages of safflower growth was obtained. Graphs drawing and statistical analysis were done using Excel, SPSS and Sigma Plot software.

Results: The results of variance analysis of safflower evapotranspiration showed that salinity, drought, growth stage and their combined effects on evapotranspiration were significant at the probability level of one percent ($P<0.01$). With the increase of salinity and drought stress, plant evapotranspiration decreased significantly. The highest evapotranspiration during the growing season was occurred for the control treatment (i.e. the treatment without water and salinity deficit) by amount of 269.5 mm and the lowest amount of it was observed in the W_2S_3 treatment by amount of 102.2 mm. For all of the experimental treatments, the highest plant evapotranspiration was observed in the middle stage and the lowest of it was seen in the early stage of growth. The value of crop coefficient of safflower in the conditions without water and salinity deficit, in the initial, development, middle and final stages of growth was obtained as 0.55, 0.9, 1.26 and 0.85 respectively. Under severe drought and salinity stress, safflower crop coefficient decreased to 0.07, 0.18, 0.3, and 0.13, in the initial, development, middle, and final stages of growth respectively.

Conclusion: Due to the quantitative and qualitative reduction of underground water resources in most regions of the country, especially in the forbidden plain of Kashmir, accurate determination of the water requirements of agricultural and garden plants, including the valuable oilseed plant safflower, is of great importance. The use of weighting and drainage microlysimeters is considered as an accurate method in determining the evapotranspiration of plants, but the limited access to them in most agricultural fields has caused researchers and implementers of irrigation projects, both surface and pressurized irrigation, to calculate the water requirement of agricultural and garden plants used the crop coefficients presented in FAO irrigation and drainage paper No.56. The results of many researches have shown that the use of crop coefficients presented in FAO irrigation and drainage paper No.56 leads to overestimation or underestimation of the water requirement of plants compared to real and local conditions. Therefore, it is felt necessary to determine the crop coefficient based on local and climatic conditions. On the other hand, the effect of salinity and drought stress on this coefficient doubles the importance of studying and determining the crop coefficient in areas such as the critical forbidden plain of Kashmar, where irrigation water salinity and its quantitative decrease have endangered the agriculture of the region. Therefore, in order to properly and efficiently management of water resources, it is suggested to determine the crop coefficient in the conditions of salinity and drought stress for agricultural plants with high economic value such as safflower oilseed plant.

Keywords: Microlysimeter, Salinity, Water requirement, Water scarcity

مقاله پژوهشی

شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

پست الکترونیک:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال چهاردهم
شماره ۳ (۵۵)

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۷/۰۴

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۸/۱۲

صفحات: ۱۲۶-۱۱۵

تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی گلرنگ در شرایط کم‌آبیاری با آب شور در گلخانه

مهدی مکاری[۱*]، جواد علایی[۲] و امیرحسین قادری[۳]

۱)استادیار، گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران.
۲) دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۳) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
*ایمیل نویسنده مسئول: m.mokari@kashmar.ac.ir

چکیده:

زمینه و هدف: آگاهی از نیاز آبی که تابعی از نوع گیاه و پارامترهای هواشناسی می‌باشد به‌منظور برنامه‌ریزی آبیاری، امری ضروری است. لایسی‌مترهای وزنی و زهکش‌دار کوچک به دلیل اندازه‌گیری مستقیم آب مصرفی، دقیق‌ترین روش برای محاسبه تبخیر-تعرق بوده و خطاهای ناشی از واسنجی نمودن وسایل اندازه‌گیری رطوبت خاک نظیر تانسیومتر، TDR و سایر وسایل اندازه‌گیری رطوبت خاک را ندارند. با توجه به محدودیت دسترسی به لایسی‌مترهای وزنی و زهکش‌دار در اکثر مزارع کشاورزی، تعیین نیاز آبی گیاه از طریق محاسبه تبخیر-تعرق مرجع و ضریب گیاهی، روشی مرسوم و پُرکاربرد است. گلرنگ به علت دارا بودن بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیر اشباع، به‌ویژه اسید لینولئیک و اسید اولئیک می‌تواند نقش مهمی در گسترش سطح زیر کشت گیاهان روغنی و تأمین دانه‌های روغنی در کشور داشته باشد. هدف پژوهش حاضر تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی گلرنگ در شرایط بدون کمبود آب و شوری و هم‌چنین در شرایط تنش شوری و خشکی در گلخانه بود.

روش پژوهش: پژوهش حاضر به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی مرکز آموزش عالی کاشمر انجام شد. تیمارهای آزمایش سه رژیم آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی و چهار سطح شوری ۰/۷، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بودند. به‌منظور اندازه‌گیری نیاز آبی گلرنگ از ۳۶ گلدان به عنوان لایسی‌متر کوچک استفاده شد. گلدان‌ها به‌صورت روزانه توزین و آبیاری شدند و کسر رطوبت خاک آن‌ها از طریق اختلاف وزن گلدان در زمان آبیاری با وزن همان گلدان در حالت ظرفیت زراعی گلدانی به‌دست آمد. البته برای گلدان‌های تحت تنش خشکی، مقدار آب آبیاری، ۷۵ و ۵۰ درصد مقدار آب آبیاری برای گلدان‌هایی که به‌صورت کامل و بدون تنش خشکی آبیاری شدند، در نظر گرفته شد. تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن نیز به‌صورت روزانه و با استفاده از دو گلدان که در آن‌ها چمن کشت شده بود، اندازه‌گیری شد. از تقسیم تبخیر-تعرق گیاه در یک فاصله زمانی مشخص به تبخیر-تعرق گیاه مرجع در همان فاصله زمانی، ضریب گیاهی برای مراحل چهارگانه رشد گلرنگ به‌دست آمد. در تیمارهای آبیاری با آب شور، برای جلوگیری از تجمع نمک در محدوده ریشه گیاه کسر آبشویی محاسبه و اعمال شد. رسم نمودارها و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای اکسل، SPSS و سیگما پلات انجام شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس تبخیر-تعرق گلرنگ نشان داد که شوری، خشکی، مرحله رشد و اثر توأمان آن‌ها بر تبخیر-تعرق در سطح احتمال یک درصد ($P<0.01$) معنی‌دار بود. با افزایش تنش شوری و خشکی تبخیر-تعرق گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیش‌ترین تبخیر-تعرق در طول فصل رشد برای تیمار شاهد (یعنی تیمار بدون کمبود آب و شوری) و به اندازه ۲۶۹/۵ میلی‌متر و کم‌ترین مقدار آن در تیمار W_2S_3 و به اندازه ۱۰۲/۲ میلی‌متر اتفاق افتاد. برای تمام تیمارهای آزمایش، بیش‌ترین تبخیر-تعرق گیاه در مرحله میانی و کم‌ترین مقدار آن در مرحله اولیه رشد بود. مقدار ضریب گیاهی گلرنگ در شرایط بدون کمبود آب و شوری، در مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی رشد به ترتیب ۰/۵۵، ۰/۹، ۱/۲۶ و ۰/۸۵ به‌دست آمد. در شرایط تنش شوری و خشکی شدید ضریب گیاهی گلرنگ در مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی رشد به ترتیب به ۰/۰۷، ۰/۱۸، ۰/۳ و ۰/۱۳ کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: با توجه به کاهش کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در اکثر مناطق کشور و به خصوص در دشت ممنوعه بحرانی کاشمر، تعیین دقیق نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی و از جمله گیاه دانه روغنی و ارزشمند گلرنگ از اهمیت بالایی برخوردار است. استفاده از لایسی‌مترهای وزنی و زهکش‌دار کوچک روشی دقیق در تعیین تبخیر-تعرق گیاهان به شمار می‌رود اما محدودیت دسترسی به آن در بیش‌تر مزارع کشاورزی باعث شده است که پژوهشگران و مجریان طرح‌های آبیاری اعم از سطحی و تحت فشار، برای محاسبه نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی از ضرایب گیاهی ارائه شده در نشریه شماره ۵۶ فائو استفاده نمایند. نتایج تحقیقات زیادی نشان داده است که استفاده از ضرایب گیاهی ارائه شده در نشریه فائو ۵۶ منجر به بیش‌برآورد یا کم‌برآورد نیاز آبی گیاهان نسبت به شرایط واقعی و محلی می‌شود لذا این ضرورت احساس می‌گردد که ضریب گیاهی بر اساس شرایط اقلیمی و محلی تعیین گردد. از طرفی تأثیر تنش شوری و خشکی بر این ضریب اهمیت مطالعه و تعیین ضریب گیاهی در مناطقی مانند دشت ممنوعه بحرانی کاشمر که شوری آب آبیاری و کاهش کمی آن کشاورزی منطقه را به مخاطره انداخته است، دوچندان می‌نمایند. لذا پیشنهاد می‌گردد به‌منظور مدیریت صحیح و کارآمد منابع آب، ضریب گیاهی در شرایط تنش شوری و خشکی برای گیاهان زراعی با ارزش اقتصادی بالا مانند گیاه دانه روغنی گلرنگ تعیین شود.

کلیدواژه‌ها: شوری، کمیابی آب، ، لایسی‌متر کوچک، نیاز آبی

مقدمه

تبخیر- تعرق گیاه که از ویژگی‌های فیزیولوژیکی، مرحله رشد و فنولوژی آن تأثیر می‌پذیرد از عوامل اصلی کنترل کننده نیاز آب آبیاری برای محصولات زراعی محسوب می‌شود (Gao et al., 2020). تعیین تبخیر-تعرق گیاه در هر منطقه و هر فصل برای طراحی مناسب سیستم‌های آبیاری، مطالعات بیلان آبی محصول و مدیریت آب آبیاری فصلی ضروری به نظر می‌رسد (Okechukwu and Mbajiorgu, 2020). 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 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). معمول‌ترین روش محاسبه تبخیر-تعرق گیاه، استفاده از روش ضریب گیاهی است (Shukla et al., 2014).

تعیین ضریب گیاهی تحت شرایط اقلیم محلی اساس بهبودبخشیدن و مدیریت آبیاری مؤثر در بسیاری از محصولات زراعی به شمار می‌رود. امکان افزایش کارآیی مصرف آب در محصولات زراعی از طریق آبیاری مناسب فراهم می‌گردد. زیرا با انجام برنامه‌ریزی اصولی و مناسب برای آبیاری، ضمن تأمین آب مورد نیاز در مراحل حساس و بحرانی رشد، آن مقدار از آب آبیاری که تنها صرف تبخیر-تعرق گیاه گردد، فراهم می‌شود (Kar et al., 2007). ضریب گیاهی (K_c) نسبت تبخیر- تعرق یک گیاه در طول یک فاصله زمانی مشخص به تبخیر- تعرق گیاه مرجع در همان فاصله زمانی می‌باشد و تعیین آن جهت مشخص کردن نیاز آبی گیاه برای طراحی سیستم‌های آبیاری و مدیریت آبیاری در مزرعه ضروری است (Saeidi et al., 2021). (Doorenbos and Pruitt, 1977). این ضریب در طی مراحل رشد گیاه تغییر می‌کند. این تغییرات به ساختار سایبان گیاه و پویایی شاخص سطح برگ که خود متأثر از تابش دریافتی از خورشید و کنترل روزنه‌ای است، بستگی دارد (Gong et al., 2020). توجه به این نکته حائز اهمیت است که ضریب گیاهی علاوه بر مراحل رشد، تحت تأثیر عوامل مختلف دیگری از جمله وضعیت رطوبتی خاک، روش و دور آبیاری، عوامل اقلیمی، ویژگی‌های خاک و فنون زراعی نیز قرار می‌گیرد (Lovelli et al., 2005). مراحل رشد گیاه نیز که بر اساس توسعه فنولوژیکی آن تعیین می‌شوند در منحنی ضریب گیاهی به چهار مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی تقسیم می‌شوند (Doorenbos and Pruitt, 1977).

محققین زیادی از لایسی‌مترها برای تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی محصولات زراعی در مناطق مختلف جهان استفاده کرده‌اند (Xu et al., 2018). در پژوهشی دوساله بیش‌ترین مقدار ضریب گیاهی برای آفتابگردان در مرحله میانی رشد به ترتیب ۱/۱۷ برای سال اول و ۱/۲۱ برای سال دوم گزارش گردید (Lopez-Urrea et al., 2014). در شمال چین با هدف ارزیابی ضریب گیاهی دو جزیی 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 به ترتیب 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 and Luo, 2010). قوام‌سعیدی نوقابی و همکاران (Ghavamsaeidi Noghabi et al., 2020) در پژوهش خود میانگین ضریب گیاهی در مراحل چهارگانه رشد برای گیاه زعفران در منطقه بیرجند را به ترتیب برابر ۰/۴۸، ۰/۸۴، ۱/۲۷ و ۰/۳۷ گزارش نمودند. در پژوهشی دیگر رضاوردی‌نژاد و همکاران (Rezaverdinejad et al., 2017) متوسط ضریب گیاهی مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی برای گوجه‌فرنگی را به ترتیب ۰/۲، ۰/۶۵، ۱/۲۹ و ۱ و برای خیار به ترتیب ۰/۱۹، ۰/۶۴، ۰/۹۹ و ۰/۸۱ در شرایط گلخانه محاسبه نمودند. کار و همکاران (Kar et al., 2007) در پژوهش خود محاسبه ضریب گیاهی برای گیاهان دانه روغنی گلرنگ، خردل و کتان را در شرق هندوستان مورد مطالعه قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که مقدار ضریب گیاهی برای مراحل اولیه، توسعه، میانی و انتهایی رشد برای گلرنگ به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۹۴، ۱/۲۹ و ۰/۳۵؛ برای کتان ۰/۳۵، ۰/۹۱، ۱/۱۷ و ۰/۲۸ و برای خردل ۰/۳۹، ۰/۹۲، ۱/۳۱ و ۰/۴۲ به دست آمد. در مطالعه‌ای که برای تعیین ضریب گیاهی کنجد در منطقه نیمه‌خشک شیراز در ایران انجام شد مقدار ضریب گیاهی کنجد برای مرحله میانی و انتهایی فصل رشد به ترتیب ۱/۰۸ و ۰/۶۴ به دست آمد (Sepaskhah and Andam, 2001).

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یک گیاه دانه روغنی از گیاهان تیره آستراسه است که از خاورمیانه و آسیای جنوبی نشئت گرفته است و در حال حاضر در بسیاری از نقاط جهان رشد می‌کند. در گذشته از این گیاه برای رنگ و طعم دادن به غذاها و رنگ کردن لباس‌ها استفاده می‌شد اما اخیراً از آن در روغن‌های خوراکی، ادویه‌ها، غذای پرندگان، لوازم آرایشی و برخی از کاربردهای پزشکی، استفاده می‌گردد. علاوه بر این پژوهش‌های جدید نشان داده است که از این گیاه می‌توان به عنوان سوخت‌های زیستی و دیزلی نیز استفاده نمود (Shahrokhnia and Sepaskhah, 2017).

در کشور ما، سهم گلرنگ در تولید روغن‌های خوراکی بسیار پایین است و بیش‌تر روغن‌های مصرفی از طریق واردات تأمین می‌شود؛ بنابراین لازم است تولید گلرنگ چه از طریق افزایش سطح زیر کشت و چه از طریق افزایش تولید در واحد سطح توسعه یابد (Mohtashami et al., 2018). از آن جایی که تعیین ضرایب گیاهی اکثر محصولات زراعی و از جمله گیاه دانه روغنی گلرنگ بر اساس آمار و اطلاعات موجود در نشریه شماره ۵۶ فائو صورت می‌پذیرد و هیچ گونه اندازه‌گیری محلی از ضرایب گیاهی این محصول در سرتاسر ایران و از جمله شهرستان کاشمر وجود ندارد، لذا در این پژوهش سعی گردید تا ضمن اندازه‌گیری تبخیر-تعرق گیاه گلرنگ با توجه به شرایط اقلیمی کاشمر، ضریب گیاهی این محصول در مراحل مختلف رشد در شرایط بدون کمبود آب و شوری و در شرایط وجود تنش شوری و خشکی در گلخانه تعیین گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه‌ای با پوشش پلاستیکی در محل مرکز آموزش عالی کاشمر به مدت ۸۸ روز از تاریخ ۱۴۰۰/۱۱/۰۱ تا ۱۴۰۱/۰۱/۲۹ انجام شد. گلخانه به‌صورت شمالی-جنوبی، در مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول جغرافیایی و ارتفاع ۱۱۰۹/۷ متر از سطح دریا واقع شده است. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۱۹۲/۱ میلی‌متر می‌باشد. برای کشت گیاه، از خاکی با نسبت ۲۵ درصد پیت ماس (جهت تقویت حاصلخیزی و بهبود تهویه خاک) ، ۲۵ درصد ماسه (جهت سبک کردن بافت خاک) و ۵۰ درصد خاک مزرعه تحقیقاتی استفاده شد. رطوبت ظرفیت زراعی به روش گلدانی اندازه‌گیری شد. در این روش خاک تمام گلدان‌ها اشباع شد و به مدت ۴۸ ساعت رها گردید تا آب ثقلی آن خارج شود و رطوبت خاک گلدان‌ها به رطوبت ظرفیت زراعی نزدیک شود. سپس جهت تعیین رطوبت ظرفیت زراعی گلدانی (FC گلدانی)، نمونه‌ای از خاک مرطوب هر گلدان تهیه و برای اندازه‌گیری رطوبت آن به روش وزنی به آزمایشگاه منتقل گردید. مقدار متوسط رطوبت ظرفیت زراعی گلدانی ۱۳/۵ درصد حجمی به‌دست آمد (Ebrahimi et al., 2018).

به‌منظور تعیین برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌ها قبل از کاشت و بعد از اضافه نمودن پیت ماس و ماسه، نمونه‌برداری انجام گرفت که نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده است. در پایان آزمایش، از خاک هر یک از تیمارهای شوری نمونه خاک از عمق توسعه ریشه برای تعیین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک گرفته شد.

ه دلیل اهمیت کسر آبشویی (LF) در آبیاری با آب شور، در ادامه این پژوهش اقدام به تعیین این پارامتر شد. بدین منظور ابتدا ضریب غلظت (X) یا نسبت بین میانگین شوری عصاره اشباع خاک (EC_e) و شوری آب آبیاری (EC_{iw}) در هر یک از تیمارهای آزمایش محاسبه شد.

$$X = \frac{EC_e}{EC_{iw}} \quad (۱)$$

سپس به کمک رابطه زیر مقادیر کسر آبشویی در هر یک از تیمارهای آبیاری با آب شور به‌صورت مجزا تعیین و تحلیل شد (Ayers and Westcott, 1985).

$$LF = 0.3274X^{-1.63} \quad (۲)$$

نتایج آنالیز کیفیت آب شیرین و آب شور چاه‌های عمیق مورد استفاده در پژوهش حاضر در جدول (۲) ارائه شده است.

برای کشت گیاه از گلدان‌هایی به ارتفاع ۳۰ و قطر ۳۰ سانتی-متر استفاده شد. ابتدا بذور گلرنگ در سینی کاشت، کشت گردید و بعد از گذشت تقریباً دو هفته که نشاها چهار برگی شدند، انتقال نشاها به گلدان‌ها انجام شد. بر اساس تراکم کاشت ۴۰ بوته در مترمربع (Khoshnam and Mamnoie, 2021)، در هر گلدان ۴ بوته کاشت گردید. جهت استقرار کامل بوته‌ها در گلدان‌ها، آبیاری بوته‌ها با آب شیرین به مدت دو هفته به‌طور یکسان انجام شدند و بعد از آن تیمارهای آزمایش اعمال گردیدند.

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌ها

بافت خاک	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	کل آهک خاک (٪)	سدیم ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم ($mg\ kg^{-1}$)	فسفر ($mg\ kg^{-1}$)	نیتروژن (٪)	کربن آلی (٪)	نسبت جذب سدیم	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	واکنش خاک	رطوبت ظرفیت زراعی (٪)	رطوبت نقطه پژمردگی (٪)	چگالی ظاهری ($g\ cm^{-3}$)
لومی شنی	۷۱	۱۷	۱۲	۱۴/۶	۲۰۲/۹۱	۱۷۳/۵۲	۲/۹	۰/۰۳	۱/۴۲	۵/۸۹	۱/۳۴	۷/۴۹	۱۵	۷	۱/۴۳

جدول ۲. برخی از ویژگی‌های شیمیایی آب شیرین و آب شور (چاه عمیق)

منبع آبی	EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	K^+	Na^+	Mg^{+2}	Ca^{+2}	$So4^{-2}$	Cl^-	HCo_3^-	SAR
			meq l^{-1}							
آب شیرین	۰/۶۳	۷/۲۴	۰/۰۳۸	۱/۳	۴/۶	۳/۳	۰	۴/۸۷	۴/۳	۰/۶۵
آب شور	۱۳/۸۲	۷/۲۵	۰/۴۸	۱۰۷/۹۷	۲۵/۶	۱۴/۴	۲۷/۳۵	۱۱۷/۵	۳/۶	۲۴/۱۵

در این مطالعه از سه تیمار آبیاری W_0 (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه)، W_1 (تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه) و W_2 (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) و چهار سطح شوری آب آبیاری S_0 (۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر)، S_1 (۴ دسی‌زیمنس بر متر)، S_2 (۸ دسی‌زیمنس بر متر) و S_3 (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) به‌صورت فاکتوریل (با سه فاکتور شوری، آب آبیاری و مرحله رشد) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار استفاده گردید. آماده کردن آب آبیاری با شوری‌های حدود ۴، ۸ و ۱۲ دسی-زیمنس بر متر در شروع آزمایش به این صورت انجام شد که مثلاً برای تهیه آب با شوری حدود ۴ دسی‌زیمنس بر متر، آب تهیه شده از چاه عمیق با شوری ۱۳/۸۲ دسی‌زیمنس بر متر که مشخصات کیفی آن به‌طور کامل در جدول (۳) ارائه شده است، با یک نسبت مشخصی با آب شیرین مخلوط می‌شد (مثلاً نسبت ۱:۱ یا ۱: ۱/۵ یا ۱:۲ و ...) سپس هدایت الکتریکی آب حاصل از اختلاط آب شور و شیرین با EC متر اندازه‌گیری می‌شد. تغییر نسبت اختلاط آب شور و شیرین تا آن جا ادامه می‌یافت که شوری آب حاصل از اختلاط این دو تقریباً به تیمار شوری مورد نظر نزدیک شود. مقدار SAR تیمارهای شوری که از اختلاط آب شور و شیرین به‌دست آمدند به‌همراه رسانایی الکتریکی و pH آن‌ها در جدول (۳) ارائه شد.

جدول ۳. رسانایی الکتریکی، واکنش خاک و نسبت جذب سدیم تیمارهای آب شور

کد تیمار آب شور	رسانایی الکتریکی	واکنش خاک	نسبت جذب سدیم
S_1	۴/۱۹	۷/۷	۱۰/۸۳
S_2	۸/۲۳	۷/۷	۱۹/۰۴
S_3	۱۱/۸۹	۷/۲۹	۱۸/۰۱

برای تعیین تبخیر- تعرق مرجع در درون گلخانه، از گیاه چمن که در دو گلدان مشابه کشت شده بود، استفاده گردید. اندازه‌گیری تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن در محل آزمایش، شرایط را برای محاسبه دقیق‌تر ضرایب گیاهی فراهم می‌نماید (Silva, 2020). ارتفاع چمن با هرس روزانه در حد نرمال ۱۲ سانتی‌متر ثابت نگه داشته شد. دور آبیاری ثابت و به‌صورت روزانه اعمال شد تا این که شرایط مناسب و بدون تنش برای تبخیر- تعرق مهیا گردد.

برای محاسبه میزان تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی گلرنگ، از گلدان‌ها به‌عنوان یک لایسی‌متر کوچک وزنی استفاده شد. استفاده از لایسیمتر یا لایسی‌مترهای کوچک پُر استفاده‌ترین روش تعیین نیاز آبی گیاهان است و ضریب گیاهی به‌دست آمده با این روش، قابل اعتماد می‌باشد (Xu et al., 2018). وزن خاک خشک شده درون تمام گلدان‌ها (W_d)، تقریباً ۱۴ کیلوگرم بود. وزن کردن گلدان‌ها با محتویات آن (W_t) به‌صورت روزانه انجام گرفت. توزین گلدان‌ها هر روز رأس ساعت ۹ صبح توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم انجام شد. وزن آب مورد نیاز روزانه (W_w) برای رساندن رطوبت خاک به حد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (Θ_{fc}) در آن روز با استفاده از رابطه (۳) محاسبه و آبیاری انجام شد (Fathalian and Nouri-Emamzadei, 2013):

$$W_w = W_d.\left(\theta_{fc} - \frac{W_{ty}-W_t}{W_d} \times 100\right) \quad (۳)$$

که در آن، W_d وزن خاک خشک درون میکرولایسی‌متر در ابتدای آزمایش، Θ_{fc} رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی (٪)، W_t وزن لایسی‌متر و محتویات آن قبل از آبیاری روزانه و W_{ty} وزن لایسی‌متر و محتویات آن بعد از آبیاری و خروج آب مازاد در روز قبل است. وزن‌ها همگی بر حسب کیلوگرم لحاظ شده‌اند.

حدود سه تا چهار ساعت پس از انجام آبیاری، زمانی که خروجی احتمالی زه‌آب تحتانی میکرولایسی‌متر به حد صفر می‌رسید، با کسر زه‌آب (در صورت وجود) از آب مصرف شده، مقدار خالص آب به‌کار رفته برای آبیاری آن روز اصلاح می-گردید. توزین مجدد مجموعه در این مرحله (W_{ty}) برای برآورد مقدار آب مورد نیاز تا رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی در روز بعدی انجام می‌شد. در مورد میکرولایسی‌متر حاوی چمن نیز به همین ترتیب عمل شد.

با در نظر گرفتن گیاه چمن به‌عنوان گیاه مرجع ضرایب گیاهی در مراحل چهارگانه رشد و در شرایط بدون تنش شوری و خشکی از رابطه (۴) محاسبه گردید.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (۴)$$

در این رابطه، K_c ضریب گیاهی بین دو مقطع زمانی متوالی، ET_c و ET_0 به ترتیب میزان تبخیر- تعرق گیاه گلرنگ و گیاه مرجع در گلخانه در مقطع زمانی مورد نظر می‌باشند. طول مراحل رشد چهارگانه گیاه مطابق با مساحت سطح زمین پوشیده شده توسط گیاه تعیین شد (Kato and Kamichika, 2006). برای انجام محاسبات و رسم شکل‌ها به‌ترتیب از نرم-افزارهای اکسل و سیگما پلات استفاده شد.

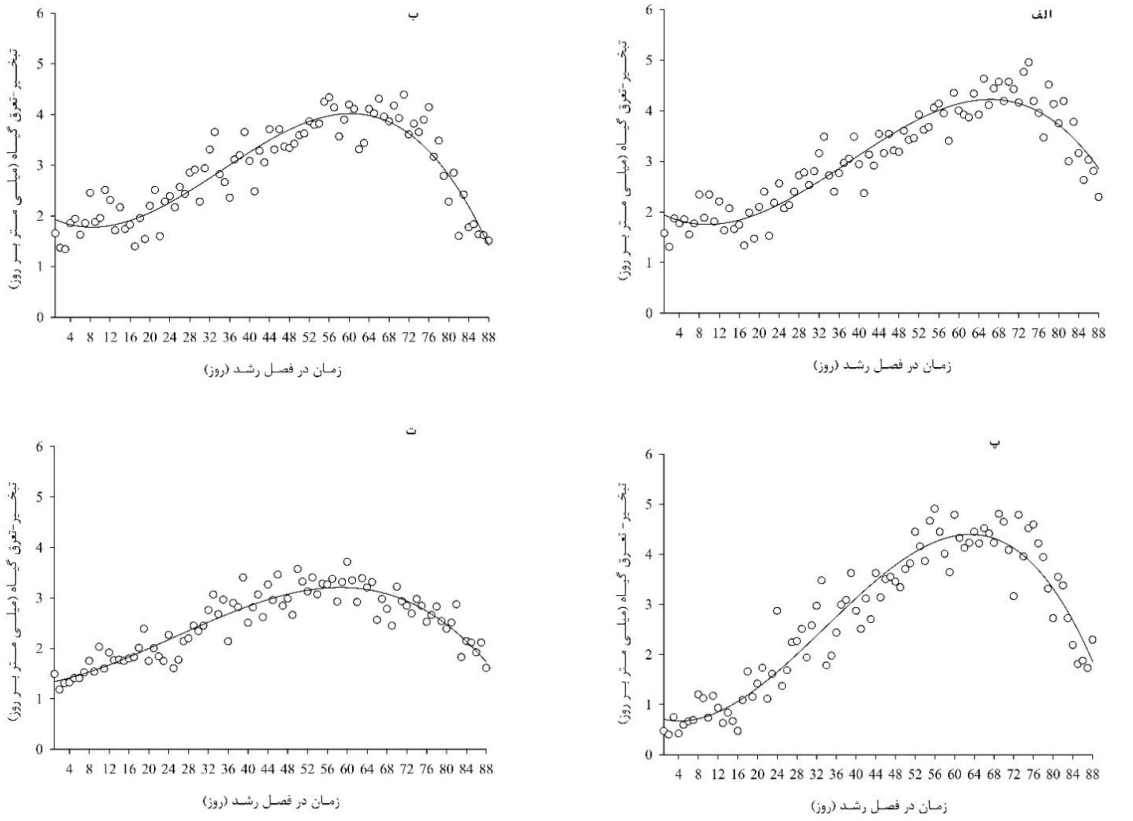
نتایج و بحث

بیشینه، کمینه و متوسط دمای گلخانه به‌ترتیب ۳۲/۴، ۸/۷ و ۲۰/۷ درجه سانتی‌گراد در طی دوره آزمایش بودند و متوسط رطوبت نسبی هوا ۴۹/۶ درصد بود. برای این شرایط دمایی و رطوبتی درون گلخانه، مقدار تبخیر-تعرق گلرنگ در شرایط

بدون کمبود آب و شوری در طول دوره آزمایش روزانه از ۱/۳۱ تا ۴/۹۵ میلی‌متر متغیر بود. تبخیر-تعرق گلرنگ در طول فصل رشد و در شرایط بدون کمبود آب و شوری ۲۶۹/۷ میلی‌متر به‌دست آمد. در پژوهشی تافته و همکاران (Tafteh et al., 2023) تبخیر-تعرق گلرنگ در طول فصل رشد و در شرایط بدون کمبود آب و شوری را ۶۳۲/۷ میلی‌متر گزارش نمودند که در مقایسه با تبخیر-تعرق فصلی گلرنگ در پژوهش حاضر بیش‌تر بود. بیژن‌زاده و همکاران (Bijanzadeh et al., 2022) نیز کل آب مصرفی گلرنگ رقم گلدشت را در شرایط آبیاری کامل، ۵۷۰/۳ میلی‌متر گزارش نمودند. علت پایین بودن آب مصرف شده توسط گلرنگ در مطالعه جاری به تبخیر کم‌تر به دلیل پوشانده شدن سطح خاک گلدان‌ها از لایه نازک سنگریزه و کوتاه‌تر بودن فصل رشد مربوط می‌شد. از طرفی با توجه این که در گلخانه مورد مطالعه در پژوهش حاضر از تهویه طبیعی استفاده می‌شد، با کامل شدن پوشش گیاهی به دلیل تعرق گیاه و ایجاد مقاومت در مقابل تبادل هوا، میزان رطوبت در داخل گلخانه افزایش یافت به‌طوری که این پدیده منجر به کاهش تبخیر-تعرق و در نتیجه نیاز آبی گیاه شد.

در شکل (۱) تغییرات روزانه تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسی‌مترهای کوچک در سطوح مختلف شوری با آبیاری ۱۰۰٪ نیاز آبی ارائه شده است. با توجه به شکل (۱) مشخص می‌شود که ET_c با شروع مرحله توسعه گیاه به سرعت افزایش پیدا می‌کند که دلیل آن افزایش سطح پوشش گیاهی در این مرحله است. در مرحله میانی ET_c به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد و سپس در مرحله پایانی رشد، کاهش می‌یابد (Lopez-Urrea et al., 2020). در پژوهشی تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده توسط میکرولایسی‌مترها برای گیاه گلرنگ، در مرحله توسعه روند افزایشی و بعد از آن روند کاهشی را نشان داد که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی داشت (Kar et al., 2007). علی رغم تغییرات روزانه تبخیر-تعرق در گلخانه، استفاده از میکرولایسیمترهای وزنی دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری مستقیم تبخیر-تعرق گیاه به شمار می‌روند و تغییرات روزانه ایجاد شده در تبخیر-تعرق گیاه در این روش به دلیل عوامل جوی غیرقابل کنترل صورت می‌پذیرد (Evett et al., 2015).

نتایج تجزیه واریانس تبخیر-تعرق گلرنگ در جدول (۴) نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مرحله رشد، آبیاری، شوری و اثر متقابل آن‌ها بر تبخیر-تعرق گلرنگ در سطح احتمال یک درصد ($P<0.01$) معنی‌دار بود.



شکل ۱. منحنی تغییرات تبخیر-تعرق گلرنگ در گلخانه در طول فصل رشد برای تیمارهای شوری الف) ۰/۷، ب) ۴، پ) ۸ و ت) ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری

جدول۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تبخیر- تعرق گلرنگ تحت تنش شوری و کم‌آبی در مراحل مختلف رشد

منبع تغییر	درجه آزادی	تبخیر-تعرق گیاه
مرحله رشد	۳	۹۲۳۴۲/۰۳ **
آبیاری	۲	۱۲۲۶۳/۳۸ **
شوری	۳	۶۳۲/۹۴ **
مرحله رشد × آبیاری	۶	۳۲۵۵/۴۵ **
مرحله رشد × شوری	۹	۴۸۲/۵۷ **
شوری × آبیاری	۶	۱۸/۵۳ **
مرحله رشد × آبیاری × شوری	۱۸	۱۲۵/۰۶ **
خطا	۹۶	۰/۲۳۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱/۰۷

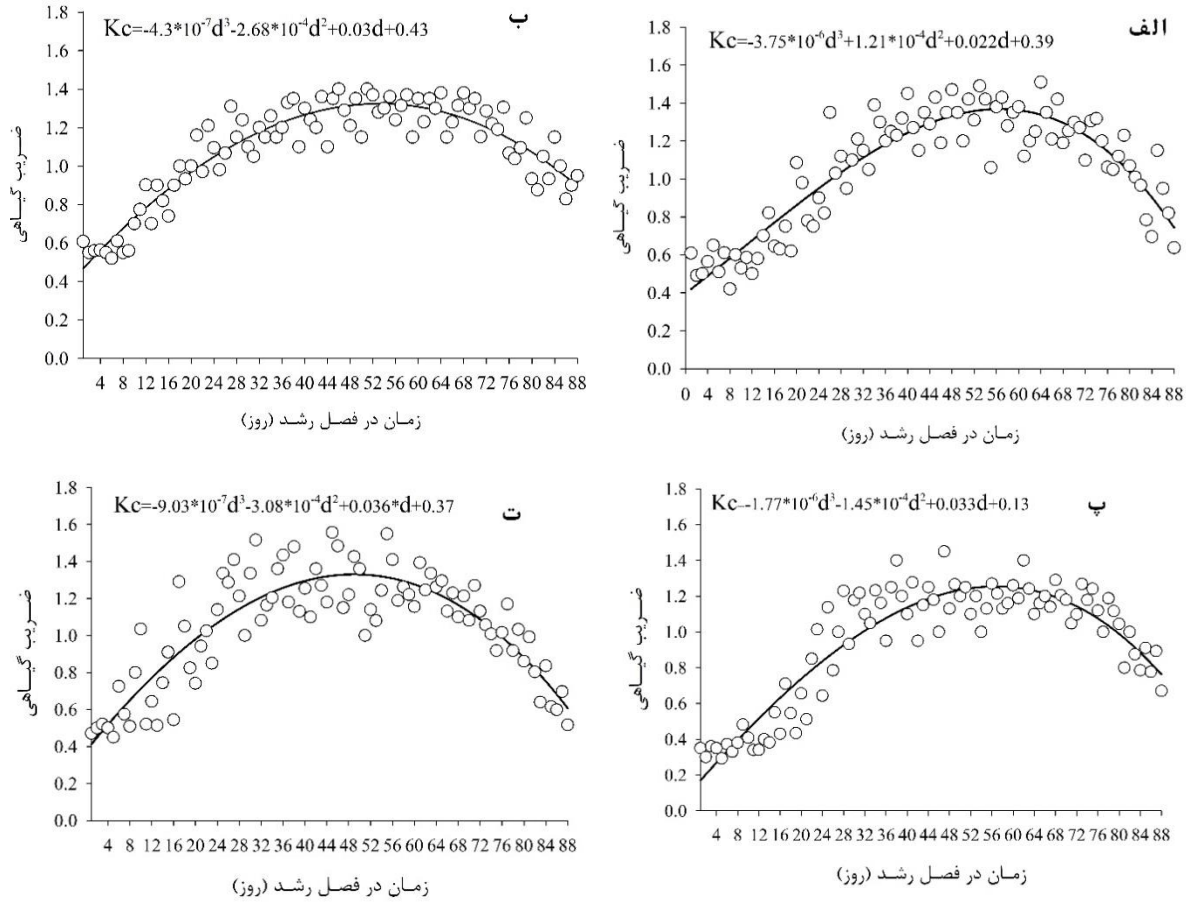
** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد (P<0.01)

مقادیر تبخیر-تعرق گلرنگ برای مراحل جداگانه رشد و کل فصل رشد در تیمارهای آب آبیاری و سطوح مختلف شوری در جدول (۵) ارائه شده است. بیش‌ترین مقدار تبخیر-تعرق گلرنگ مربوط به تیمار W_0S_0 و به اندازه ۲۶۹/۵ میلی‌متر و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار W_2S_3 و به اندازه ۱۰۲/۲ میلی‌متر بود. در تمام تیمارهای آبیاری با افزایش شوری آب آبیاری، تبخیر-تعرق فصلی گلرنگ کاهش یافت. میزان کاهش تبخیر-تعرق فصلی گلرنگ در تیمارهای W_0S_1، W_0S_2 و W_0S_3 نسبت به تیمار شاهد (W_0S_0) به ترتیب ۵/۶۷، ۱۰/۰۹ و ۱۸/۷۳ درصد بود. افزایش تنش خشکی نیز کاهش تبخیر-تعرق گلرنگ را به همراه داشت. تافته و همکاران (Tafteh et al., 2023) در مطالعه خود کاهش تبخیر-تعرق گلرنگ با افزایش تنش خشکی را گزارش کردند که با یافته‌های پژوهش حاضر همسو بود. در مرحله میانی بیش‌ترین نیاز آبی گلرنگ در مقایسه با سایر مراحل به‌دست آمد. کم‌ترین مقدار نیاز آبی گلرنگ در مرحله اولیه رشد گیاه اتفاق افتاد. در شرایط بدون تنش شوری و کم‌آبی، نیاز آبی گلرنگ برای مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد به ترتیب ۱۸/۲، ۲۶/۶، ۱۸۰ و ۴۴/۷ میلی‌متر بودند. بیش‌ترین مقدار تبخیر-تعرق گلرنگ در طی مرحله میانی و به مقدار ۱۸۰ میلی‌متر اتفاق افتاد. با کاهش مقدار آب آبیاری در تیمارهای کم‌آبیاری، تبخیر-تعرق گلرنگ کاهش یافت. مشابه با نتایج پژوهش حاضر، کاهش تبخیر-تعرق گیاه با کاهش مقدار آب آبیاری گزارش شده است (Gong et al., 2020). تبخیر-تعرق فصلی گلرنگ در شرایط آبیاری کامل ۲۶۹/۵ میلی‌متر و در شرایط فقط کم‌آبیاری برای تیمارهای W_1S_0 و W_2S_0 به ترتیب ۱۹۸/۷ و ۱۳۳ میلی‌متر بود.

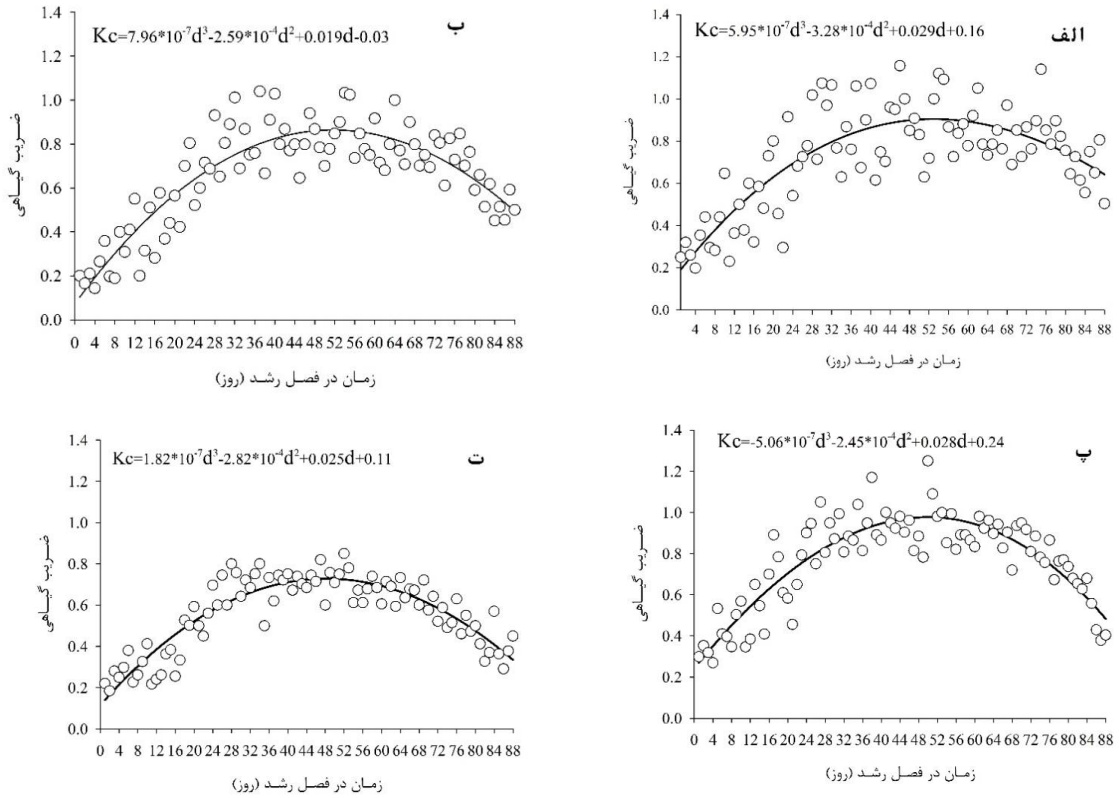
در شکل‌های (۲) تا (۴) نمودار تغییرات ضریب گیاهی در طول دوره رشد برای سطوح مختلف شوری در شرایط بدون کم‌آبی و کم‌آبیاری با ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آب آبیاری نشان داده شده است. با توجه به شکل (۲) مشخص می‌شود که در طول دوره رشد، چهار مرحله مجزا برای ضریب گیاهی قابل تشخیص است. در مرحله اولیه مقادیر ضریب گیاهی کمی بیش‌تر یا کم‌تر از یک مقدار ثابت هستند و مقادیر آن نسبتاً پایین است. دلیل پایین بودن مقادیر ضریب گیاهی در مرحله رشد را می‌توان به اثر تبخیر از سطح خاک بعد از آبیاری یا بارندگی و درصد کم پوشش گیاهی در سطح زمین مربوط دانست (Lopez-Urrea et al., 2020). در مرحله توسعه مقادیر ضریب گیاهی افزایش پیدا می‌کنند و مقارن با مرحله رشد زایشی که گیاه دارای بیش‌ترین پوشش در سطح زمین است، به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسند. در مرحله میانی مقادیر ضریب گیاهی بالا و کمی بیش‌تر یا کم‌تر از یک مقدار ثابت هستند و در مرحله پایانی مقادیر ضریب گیاهی به‌صورت روزانه کاهش می‌یابند. دلیل کاهش مقادیر K_c در مراحل پایانی رشد، مسن شدن و پیری برگ‌ها می‌باشد (Lopez-Urrea et al., 2020). هم‌چنین بررسی تغییرات ضریب گیاهی در تیمارهای تنش شوری و خشکی نشان داد که با افزایش تنش آبی و شوری، ضریب گیاهی در مراحل اولیه، میانی و توسعه کاهش می‌یابد. این الگوی کاهشی به دلیل کاهش تبخیر-تعرق گلرنگ با افزایش تنش آبی و شوری اتفاق می‌افتد. برای تمام تیمارهای آزمایش، بیش‌ترین مقدار ضریب گیاهی در مرحله میانی به‌دست آمد. در پژوهشی مشابه نیز ضریب گیاهی کاملینا در مرحله میانی بیش-ترین مقدار را داشت (Hunsaker et al., 2011). کاهش ضریب گیاهی در مرحله پایانی رشد به دلیل کاهش فعالیت برگ‌ها می‌باشد (Gong et al., 2020). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که بیش‌ترین مقدار ضریب گیاهی برای کلزا در مرحله میانی رشد و به مقدار ۱/۱۵ تا ۱/۲۴ به دست آمد (Lopez-Urrea et al., 2020) که با نتایج به دست آمده در این پژوهش هم‌خوانی داشت. ضریب گیاهی در مرحله اولیه معمولاً کم‌تر ۰/۴ است اما برای شرایطی که آبیاری با تکرار بالا انجام شود، ممکن است به بیش‌تر از ۱/۲ هم برسد (Allen et al., 1998). در این پژوهش نیز ضریب گیاهی در مرحله اولیه در بیش‌تر تیمارهای آزمایش در شرایط تنش شوری و خشکی کم‌تر از ۰/۴ به‌دست آمد (شکل‌های ۳ و ۴).

جدول۵. مقادیر تبخیر-تعرق گلرنگ برای مراحل جداگانه رشد و کل فصل رشد برای تیمارهای آبیاری در سطوح مختلف شوری

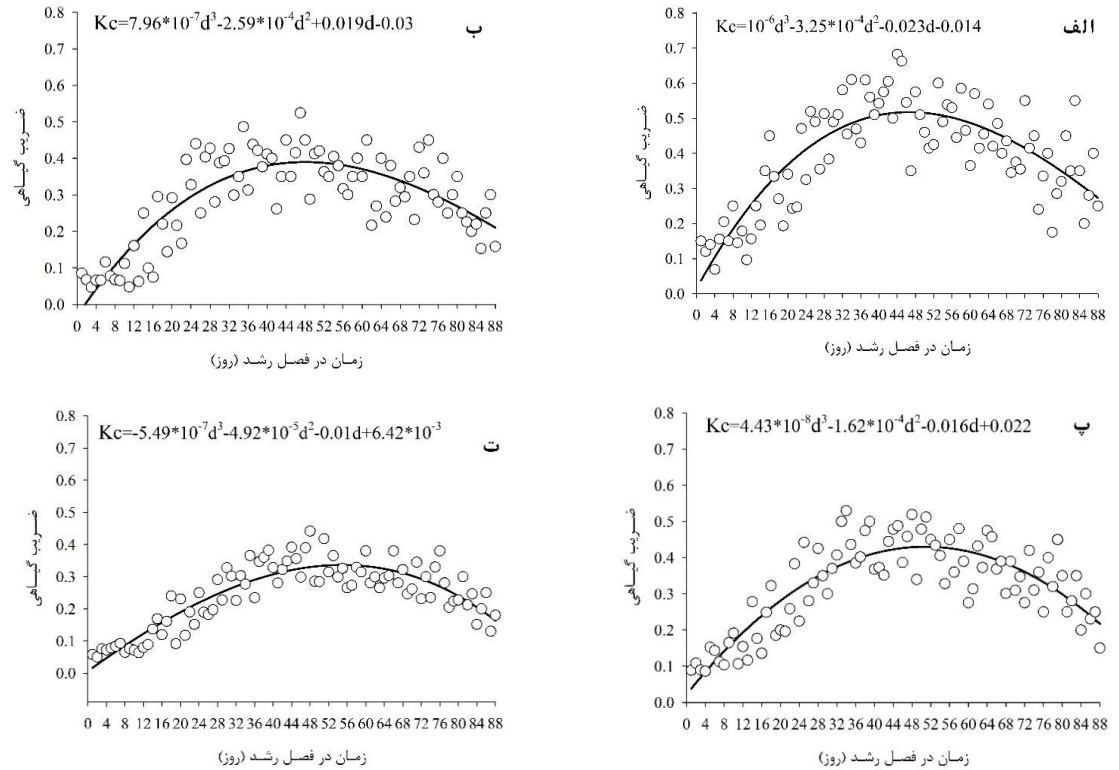
تیمار	اولیه	توسعه	میانی	پایانی	کل فصل رشد
	تبخیر-تعرق گیاه (میلی‌متر)				
W_0S_0	۱۸/۲	۲۶/۶	۱۸۰	۴۴/۷	۲۶۹/۵
W_0S_1	۱۴	۳۴/۱	۱۶۷/۵	۳۸/۶	۲۵۴/۲
W_0S_2	۹/۱	۲۷/۲	۱۷۲/۳	۳۳/۷	۲۴۲/۳
W_0S_3	۱۸/۴	۳۵/۳	۱۲۹/۳	۳۵/۸	۲۱۹
W_1S_0	۱۰/۸	۲۳/۱	۱۳۱/۲	۳۳/۶	۱۹۸/۷
W_1S_1	۵/۸	۲۴/۳	۱۲۹	۲۷/۶	۱۸۶/۷
W_1S_2	۱۲/۵	۲۷/۱	۱۰۶	۲۶/۳	۱۷۲
W_1S_3	۸/۲	۲۲/۷	۱۰۱/۵	۳۰	۱۶۲/۴
W_2S_0	۵	۱۴/۷	۹۲	۲۱/۳	۱۳۳
W_2S_1	۳/۶	۱۹/۶	۸۴/۴	۱۴/۱	۱۲۱/۷
W_2S_2	۷/۱	۱۹/۱	۷۹/۲	۹	۱۱۴/۴
W_2S_3	۵/۲	۱۶/۳	۷۳/۲	۷/۵	۱۰۲/۲



شکل ۲. منحنی ضریب گیاهی گلرنگ در گلخانه برای تیمارهای شوری الف) ۰/۷، ب) ۴، پ) ۸ و ت) ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط تأمین ۱۰۰درصد نیاز آبیاری



شکل ۳. منحنی ضریب گیاهی گلرنگ در گلخانه برای تیمارهای شوری الف) ۰/۷، ب) ۴، پ) ۸ و ت) ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط تأمین ۷۵ درصد نیاز آبیاری



شکل ۴. منحنی ضریب گیاهی گلرنگ در گلخانه برای تیمارهای شوری الف) ۰/۷، ب) ۴، پ) ۸ و ت) ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبیاری

جدول ۶. طول مرحله رشد و ضریب گیاهی گلرنگ در مراحل چهارگانه رشد برای سطوح مختلف شوری در شرایط تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری

سطوح شوری	مرحله رشد فنولوژیکی گیاه	۱۰۰ درصد نیاز آبیاری		۷۵ درصد نیاز آبیاری		۵۰ درصد نیاز آبیاری	
		طول مرحله رشد فنولوژیکی مشاهده شده در گلخانه	ضریب گیاهی	طول مرحله رشد فنولوژیکی مشاهده شده در گلخانه	ضریب گیاهی	طول مرحله رشد فنولوژیکی مشاهده شده در گلخانه	ضریب گیاهی
۰/۷	اولیه	۱۰	۰/۵۵	۱۲	۰/۲۷	۱۰	۰/۱۴
	توسعه	۱۴	۰/۹	۱۶	۰/۵۷	۱۵	۰/۳۲
	میانی	۵۱	۱/۲۶	۴۶	۰/۸۷	۴۶	۰/۵
	پایانی	۱۳	۰/۸۵	۱۴	۰/۵	۱۷	۰/۲۲
۴	اولیه	۸	۰/۵۵	۹	۰/۲	۱۱	۰/۰۷
	توسعه	۱۷	۰/۸۹	۱۹	۰/۴۷	۱۹	۰/۲۱
	میانی	۴۸	۱/۲۳	۴۶	۰/۷۵	۴۸	۰/۳۶
	پایانی	۱۵	۰/۸۵	۱۴	۰/۴۸	۱۰	۰/۱۸
۸	اولیه	۱۲	۰/۳۵	۹	۰/۲۹	۱۱	۱
	توسعه	۱۸	۰/۷۵	۱۷	۰/۵۶	۱۷	۰/۷
	میانی	۴۶	۱/۱۵	۴۷	۰/۸۴	۴۸	۰/۴
	پایانی	۱۲	۰/۷	۱۵	۰/۵۳	۱۲	۰/۲۳
۱۲	اولیه	۱۲	۰/۵۱	۹	۰/۲۵	۱۲	۰/۰۷
	توسعه	۱۸	۰/۸۵	۱۵	۰/۴۵	۱۷	۰/۱۸
	میانی	۴۳	۱/۲	۴۵	۰/۶۶	۴۹	۰/۳
	پایانی	۱۵	۰/۵۴	۱۹	۰/۳۴	۱۰	۰/۱۳

در جدول (۶) طول مراحل چهارگانه رشد گیاه و ضریب گیاهی برای تیمارهای مختلف آزمایش ارائه شده است. با توجه به جدول (۶) مشخص می‌شود که مقدار ضریب گیاهی گلرنگ در شرایط بدون کمبود آب و شوری، در مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی رشد به ترتیب ۰/۵۵، ۰/۹، ۱/۲۶ و ۰/۸۵ است. در پژوهشی که به‌منظور تعیین ضریب گیاهی کاملینا در منطقه خشک و نیمه‌خشک و در شرایط آب و هوایی کرمانشاه با استفاده از لایسی‌متر در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی شهرستان کرمانشاه انجام شد مقدار ضریب گیاهی کاملینا در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی رشد به ترتیب ۰/۹۴، ۱/۱۱، ۱/۳۱ و ۰/۶۷ گزارش شد (Frooghi, 2016). در پژوهش‌های دیگر، مقدار ضریب گیاهی کاملینا در مرحله میانی و پایانی به ترتیب ۱/۲ و ۰/۵۴ گزارش شده است (Hunsaker et al., 2011). در پژوهشی دیگر مقدار ضریب گیاهی کاملینا در مرحله میانی و پایانی به ترتیب ۱/۱۲ و ۰/۴۷ گزارش شده است (Pereira et al., 2021). دلیل اختلاف در مقادیر ضریب گیاهی در پژوهش‌های مختلف را می‌توان به شرایط آب و هوایی، طول فصل رشد، رقم گیاه و شرایط تولید محصول (گلخانه یا مزرعه) مربوط دانست (Lopez-Urrea et al., 2020). دلیل بالا بودن ضریب گیاهی در شرایط بدون کمبود آب و شوری (نرمال) در مقایسه با شرایط تحت تنش شوری و کم‌آبی را می‌توان به بالا بودن مصرف آب در شرایط نرمال و ناشی از مطلوب بودن پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای بالا نسبت به شرایط تحت تنش شوری و کم‌آبی دانست (Wang et al., 2020). طول مدت مرحله رشد اولیه، توسعه، میانی و رسیدگی برای شرایط نرمال (تیمار شاهد) به ترتیب ۱۰، ۱۴، ۵۱ و ۱۳ روز بودند (جدول ۶). با توجه به جدول (۶) مشخص می‌شود که در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، افزایش شوری آب آبیاری از ۴ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش طول دوره اولیه رشد از ۸ به ۱۲ روز گردید. هم‌چنین افزایش توأمان تنش شوری و خشکی باعث کاهش ضریب گیاهی گلرنگ در تمام مراحل رشد نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۶).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی گلرنگ در شرایط نرمال (بدون کمبود آب و شوری) و شرایط اعمال تنش شوری و خشکی بر گیاه در گلخانه به‌دست آمدند. تبخیر-تعرق گلرنگ در طول دوره رشد و در شرایط آبیاری با آب غیرشور ۲۶۹/۵ میلی‌متر برآورد گردید. با افزایش شوری آب آبیاری به ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، تبخیر-تعرق این گیاه به ترتیب به ۲۵۴، ۲۴۲ و ۲۱۹ میلی‌متر کاهش یافت. تنش شوری و خشکی باعث کاهش ضریب گیاهی در مراحل چهارگانه رشد گردید. بنابراین با توجه به کیفیت پایین منابع آب زیرزمینی در دشت کاشمر (شوری بالای ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و عدم تعیین و گزارش ضریب گیاهی گلرنگ در این منطقه، محاسبه تبخیر-تعرق گلرنگ بر اساس ضرایب گیاهی ارائه شده در منابع موجود که در شرایط بدون کم‌آبی و تنش شوری به‌دست آمدند منجر به برآورد بیش‌تر تبخیر-تعرق گلرنگ نسبت به شرایط

موجود می‌گردد. لذا ضروری به نظر می‌رسد که ضریب گیاهی گلرنگ در مراحل مختلف رشد بر اساس شوری آب منطقه اصلاح شود. در مطالعه حاضر، ضریب گیاهی گلرنگ در شرایط آبیاری با آب غیرشور و بدون تنش آبی، در مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی به ترتیب ۰/۵۵، ۰/۹، ۱/۲۶ و ۰/۸۵ به‌دست آمدند. در شرایط استفاده از آب آبیاری با شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و بدون تنش آبی این ضرایب به ترتیب به ۰/۵۱، ۰/۸۵، ۱/۲ و ۰/۵۴ کاهش پیدا کردند. لذا با توجه به کاهش کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی و شور شدن آن‌ها در اکثر مناطق کشور و با عنایت به ضرورت تعیین دقیق نیاز آبی گیاهان در شرایط مزرعه و گلخانه جهت مدیریت صحیح و کارآمد منابع آب، پیشنهاد می‌گردد که ضریب گیاهی گلرنگ در شرایط کم‌آبی و شوری آب آبیاری برای هر منطقه تعیین گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود واجب دانسته تا از مرکز آموزش عالی کاشمر در جهت فراهم نمودن امکانات پژوهشی در راستای انجام هزینه‌های طرح پژوهشی به شماره قرارداد ۷۹۹/۱۴۰۳/۲۹۳/ق تشکر نمایند.

Reference:

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome, Italy.

Ayers, R. S., & Westcott, D. W. (1985). Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage paper, No. 29, Rev. 1, FAO, Rome

Bijanzadeh, E., Moosavi, S.M., & Bahadori, F. (2022). Quantifying water stress of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars by crop water stress index under different irrigation regimes. Heliyon, e09010.

Doorenbos, J., & Pruitt, W.O. (1977). Crop water requirements. Irrigation. and Drainage. Paper 24. FAO. Rome, Italy.

Ebrahimi, M., Rezaverdinejad, V., Besharat, S., & Abdi, M. (2018). A study of evapotranspiration as well as crop coefficient in *Ocimum basilicum* L. growth process in greenhouse. Water And Irrigation Management, 8(1), 1-11. [In Persian]

Evett, S., Howell, T., Schneider, A.D., Copeland, K.S., Dusek, D.A., Brauer, D., Tolk, J.A., Marek, G.W., Marek, T.M., & Gowda, P.H. (2015). The bushland weighing lysimeters: a quarter century of crop et investigations to advance sustainable irrigation. ASABE, 58, 163-179.

Fathalian, F., & Nouri-Emamzadei, M.R. (2013). Determination of evapotranspiration and crop coefficient of cucumber by using microlysimeter in greenhouse conditions. Journal of Soil and Plant Interactions, 3(4), 125-134.

Frooghi, I. (2016). Estimation of water requirement, crop coefficients and other parameters of camelina and canola using drained lysimeter for arid and semi-arid region. [MSc Thesis, Kermanshah Razi University].

Gao, Z., Wang, Y., Tian, G., Zhao, Y., Li, C., Cao, Q., Han, R., Shi, Z., & He, M. (2020). Plant height and its relationship with yield in wheat under different irrigation regime. Irrigation Science, 38, 365-371.

Ghavamsaeidi Noghabi, S., Khashei Siuki, A., Hammami, H., Shahidi, A., & Yaghoobzadeh, M. (2020). Determination of evapotranspiration and crop coefficient of saffron (Crocus sativus L.) by using lysimetric method in the dry-desert climate of Birjand. Journal of Saffron Research, 8(1), 161-172.

Gong, X., Qiu, R., Sun, J., Ge, J., Li, Y., & Wang, S. (2020). Evapotranspiration and crop coefficient of tomato grown in a solar greenhouse under full and deficit irrigation. Agricultural Water Management, 235,106154.

Hunsaker, D.J., French, A.N., Clarke, T.R., & El-Shikha, D.M. (2011). Water use, crop coefficients, and irrigation management criteria for camelina production in arid regions. Irrigation Science, 29, 27-43.

Kar, G., Kumar, A., & Martha, M. (2007). Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. Agricultural Water Management, 87, 73-82.

Kato, T., & Kamichika, M. (2006). Determination of crop coefficient for evapotranspiration in a sparse sorghum field. Irrigation and Drainage, 55, 165-175.

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].

Khoshnam, A., & Mamnoie, E. (2021). Effect of water stress and plant density on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in south Kerman. Environmental Stresses in Crop Sciences, 14(1), 39-46. [In Persian]

Liu, Y., & Luo, Y. (2010). A consolidated evaluation of the FAO-56 dual crop coefficient approach using the lysimeter data in the North China Plain. Agricultural Water Management, 97(1), 31-40.

Lopez-Urrea, R., Montoro, A., & Trout, T.J. (2014). Consumptive water uses and crop coefficients of irrigated sunflower. Irrigation Science, 32, 99-109.

Lopez-Urrea, R., Sanchez, J.M., Cruz, F.L., Gonzalez-Piqueras, J., & Chavez, J.L. (2020). Evapotranspiration and crop coefficients from lysimeter measurements for sprinkler-irrigated canola. Agricultural Water Management, 239,106260.

Lovelli, S., Pizza, S., Caponio, T., Rivelli, A.R., & Perniola, M. (2005). Lysimetric determination of muskmelon crop coefficients cultivated under plastic mulches. Agricultural Water Management, 72, 147-159.

Mohtashami, F., Tadayon, M.R., & Roshandel, P. (2018). Evaluation of the effect of deficit irrigation regimes on grain yield and yield components of safflower genotypes. Crop Improvement, 20(2), 547-561.

Okechukwu, M.E., & Mbajiorgu, C.C. (2020). Determination of crop coefficients and spatial distribution of evapotranspiration and net irrigation requirement for three commonly cultivated crops in South-East Nigeria. Irrigation and Drainage, 69(4), 743-755.

Pereira, L.S., Parades, P., Hunsaker, D.J., Lopez-Urrea, R., & Mohammadi Shad, Z. (2021). Standard single and basal crop coefficients for field crops. Updates and advances to the FAO56 crop water requirements method. Agricultural Water Management. 243, 106466

Rezaverdinejad, V., Shabanian, M., Besharat, S., & Hasani, A. (2017). Determination of crop water requirement, crop coefficient and water use efficiency of greenhouse-grown cucumber and tomato (Case study: Urmia region). Journal of Soil and Plant Interactions, 8(3), 27-40.

Saeidi, R., Ramezani Etedali, H., Sotoodehnia, A. Kaviani, A., & Nazari, B. (2021). Salinity and fertility stresses modify Ks and readily available water coefficients in maize (case study: Qazvin region). Irrigation Science, 29, 299-313.

Sepaskhah, A.R., & Andam, M. (2001). Crop coefficient of seasame in a semi-arid region of I.R. Iran. Agricultural Water Management, 49, 51-63.

Shahrokhnia, M.H., & Sepaskhah, A.R. (2017). Safflower model for simulation of growth and yield under various irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization. International Journal of Plant Production, 11(1), 167-192.

Shukla, S., Shrestha, N.K., Jaber, F.H., Srivastava, S., Obreza, T.A., & Boman, B.J. (2014). Evapotranspiration and crop coefficient for watermelon grown under plastic mulched conditions in sub-tropical Florida. Agricultural Water Management, 132, 1-9.

Silva, G.H. (2020). Biodegradable mulch of recycled paper reduces water consumption and crop coefficient of pak choi. Scientia Horticulture. 267, 109315.

Tafteh, A., Sepehri Sadeghiyan, S., Egdernejad, A., Gohari, A., & Shahinrokhsar, P. (2023). Investigating performance, water productivity, growth degree day index (GDD) and evaluating yield response factor of safflower plant under deficit irrigation treatments. Water and Soil Resources Conservation, 13(3), 99-110.

Wang, Y., Cai, H., Yu, L., Peng, X., Xu, J., & Wang, X. (2020). Evapotranspiration partitioning and crop coefficient of maize in dry semi-humid climate regime. Agricultural Water Management, 236,106164.

Xu, G., Xue, X., Wang, P., Yang, Z., Yuan, W., Liu, X., & Lou, C. (2018). A lysimeter study for the effects of different canopy sizes on evapotranspiration and crop coefficient of summer maize. Agricultural Water Management, 208, 1-6.