J. Soil Plant Interact. 2025; 15(4): 19–35. https://doi.org/10.47176/jspi.15.4.21371

Journal of Soil and Plant Interactions

Journal homepage: https://jspi.iut.ac.ir/

ISSN: 2783-5014 EISSN: 2783-5286

Research Article

Determination of Evapotranspiration and Crop Coefficient of Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) Under Deficit Irrigation With Different Salinity Levels by Using Lysimeter in Greenhouse

Mahdi Mokari*, Amir Hossein Ghaderi and Javad Alaei

Department of Water Engineering, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran
* Corresponding author, Email: m.mokari@kashmar.ac.ir

(Received: 16 June 2024; Revised: 22 October 2024; Accepted: 30 October 2024)

Abstract

In order to determine the evapotranspiration and crop coefficient of camelina in different growth stages under normal (i.e. without water shortage and salinity) and stressful conditions (i.e. under drought and salinity stress), a pot experiment was conducted as factorial in the form of completely randomized design with three replications. Three irrigation treatments including 100 (W_1), 75 (W_2) and 50% (W_3) water requirements and four salinity levels including 0.7 (S_1), 4 (S_2), 8 (S_3) and 12 dS m^{-1} (S_4) were used in greenhouse with plastic cover. The results showed that cumulative evapotranspiration of camelina during growth stage (i.e., 61 days) was 245 mm in the greenhouse. By increasing irrigation water salinity, camelina evapotranspiration decreased by 9, 21 and 32% in W_0S_1, W_0S_2 and W_0S_3 treatments, respectively, when compared to control (W_0S_0). Under irrigation with fresh water and without salinity stress, crop coefficient was identified 0.45, 0.9, 1.35 and 0.5 for initial, development, mid and final growth stages, respectively. Increasing irrigation water salinity from 0.7 to 12 dS m^{-1} and decreasing irrigation water by 50%, decreased camelina crop coefficient by 33 and 46% respectively, into quadruple growth stages. Due to the quantitative and qualitative reduction of underground water resources in the forbidden plain of Kashmir, it is suggested to modify the plant coefficient of camelina in relation to irrigation water salinity and water scarcity.

Keywords: Evapotranspiration, Drought stress, Salinity stress, Greenhouse, Growth stages.

Background and Objective: Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) is an oilseed crop that is currently being commercially produced as a feedstock for biodiesel in semi-arid areas (Hunsaker et al., 2011). Camelina seed consists of about 43% oil in dry matter. The contents of unsaturated fatty acids in the oil are 30–40% linoleic acid and 15% oleic acid (Zubr, 2003). Crop evapotranspiration (ET_c) and precipitation are major factors that control the water requirements of crops. Quantification of ET_c for a type of crop in any region and season is necessary for proper design of irrigation systems, crop water balance studies and seasonal irrigation water management (Okechukwu and Mbajiorgu, 2020). The most common method for computing ET_c is through the crop coefficient (K_c) approach. The K_c is the ratio of crop evapotranspiration (ET_c) to reference evapotranspiration (ET_0) (Shukla et al., 2014). Considering that ET_c and crop coefficient are necessary for estimating of crop water requirement and improvement of irrigation scheduling in any region, the objective of this study was to determine the ETc and crop coefficient of camelina in greenhouse conditions. The novelty aspect of this research in comparison with the past researches was to determine the ET_c and crop coefficient of camelina by applying saline water and deficit irrigation during the experiment.

Methods: Three irrigation treatments including W_0, W_1 and W_2 (providing 100, 75 and 50% crop water requirement, respectively) and four salinity levels of irrigation water including S0, S1, S2 and S3 (0.7, 4, 8 and 12 dS m^{-1}, respectively) were used. The experiment was carried out as factorial (with three factors including salinity, irrigation

Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by IUT Press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

water and growth stage) in a form of completely randomized design with three replicates. For determining the ET_c and crop coefficient, 36 pots were used as weighing microlysimeters. Soil moisture status in the microlysimeters was monitored through weighting. Before each irrigation event, lysimeters and their content were weighted and then water content needed to reach the soil water content to field capacity, was calculated. The ET_0 in greenhouse conditions was estimated by planting grass in the two same pots.

Results: In all treatments, daily variations of ET_c during the growth period showed that by initiating the development stage, ET_c increased rapidly, at midseason stage reached to maximum value and then decreased at the end of growth stage. The accumulated ET_c for camelina during the growth season was 245 mm in the normal conditions (i.e., no salinity and drought stress). In all of the irrigation treatments, ET_c decreased by increasing the irrigation water salinity. The ET_c decreased by 9, 21 and 32% respectively, in W_0S_1, W_0S_2 and W_0S_3 treatments compared to the normal conditions. The results also indicated that quadruple distinct growth stages were identified for the seasonal changes in K_c. In the first stage (initial), the $K_{c\text{-}ini}$ values had a higher dispersion due to the effect of soil evaporation, when the ground cover values were low. In the second stage (crop development), the daily K_c values increased and the maximum values were observed when the plants reached maximum cover coincided with the initial mid-season stages. In the third stage (mid-season), the $K_{c\text{-}mid}$ values were high and more or less constant. In the fourth stage (late season), as leaves began to age and senescence, there was a continuous decrease in daily camelina K_c until it reached to a lower value at the end of the growth period denominated $K_{c\text{-}end}$. In this study, the average crop coefficient values for camelina in normal conditions were determined to be 0.45, 1.35 and 0.50 during the initial stage, mid-season, and late season stages, recpevtively. Camelina crop coefficient at the initial, development, middle and final growth stages for the W_2S_3 treatment decreased by 44, 60, 64 and 54%, respectively, compared to the W_0S_0 treatment.

Conclusions: The findings revealed that by increasing irrigation water salinity to 4, 8 and 12 dS m^{-1}, ET_c decreased to 223, 193 and 166 mm, respectively. Besides, by increasing water irrigation salinity to 12 dS m^{-1} (without drought stress), crop coefficient at initial stage, development stage, midseason and late season decreased to 0.35, 0.6, 0.85 and 0.32, respectively. Considering the decrease in quality and quantity of groundwater resources in most regions of Iran especially in Kashmar plain, it is suggested to determine the crop coefficient of camelina under different drought and salinity conditions.

References:

1. 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. Irrig. Sci. 29, 27–43.
2. 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. Irrig. Drain. 69(4), 743–755.
3. 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. Agric. Water Manag. 132, 1–9.
4. Zubr, J., 2003. Qualitative variation of *Camelina sativa* seed from different locations. Ind. Crops Prod. 17(3), 161–169.

How to Cite: Mokari, M., Ghaderi, A.H., Alaei, J., 2025. Determination of evapotranspiration and crop coefficient of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) under deficit irrigation with different salinity levels by using lysimeter in greenhouse. J. Soil Plant Interact. 15(4), 19–35 (In Persian). https://doi.org/10.47176/jspi.15.4.21371

روابط خاک و گیاه ۱۴۰۳؛ (۴)۱۵: ۳۵-۱۹، https://doi.org/10.47176/jspi.15.4.21371

روابط خاک و گیاه

صفحه خانگی فصلنامه: https://jspi.iut.ac.ir/

شاپا: ۵۰۱۴-۲۷۸۳ شاپا الکترونیکی: ۵۲۸۶-۲۷۸۳

مقاله پژوهشی

تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی کاملینا (*Camelina sativa* L. Crantz) در شرایط کم‌آبیاری و سطوح مختلف شوری با استفاده از لایسیمتر در گلخانه

مهدی مکاری*، امیرحسین قادری و جواد علایی

گروه علوم و مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.mokari@kashmar.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۲۷؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۸/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۹)

چکیده

به‌منظور تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی کاملینا در مراحل مختلف رشد در شرایط بدون تنش (بدون کمبود آب و شوری) و تنش (تحت تنش شوری و خشکی)، آزمایش گلدانی به‌صورت فاکتوریل (با سه فاکتور آبیاری، شوری و مرحله رشد) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ای با پوشش پلاستیکی انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل W_0، W_1 و W_2 به‌ترتیب ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی و تیمارهای شوری آب شامل S_0، S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب ۰/۷، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بودند. نتایج نشان داد که مقدار کل تبخیر-تعرق کاملینا طی ۶۱ روز دوره رشد در گلخانه برابر ۲۴۵ میلی‌متر بود. با افزایش شوری آب آبیاری، تبخیر-تعرق دوره مذکور در تیمارهای W_0S_1، W_0S_2 و W_0S_3 نسبت به تیمار شاهد (W_0S_0) به‌ترتیب ۹، ۲۱ و ۳۲ درصد کاهش یافت. در شرایط آبیاری کامل (۱۰۰٪ نیاز آبی) با آب غیرشور (بدون تنش شوری)، مقادیر میانگین ضریب گیاهی در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی دوره رشد به‌ترتیب برابر ۰/۴۵، ۰/۹، ۱/۳۵ و ۰/۵ به‌دست آمد. ضریب گیاهی کاملینا در مراحل اولیه، توسعه، میانی و انتهایی رشد در تیمار W_2S_3 نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب به‌میزان ۴۴، ۶۰، ۶۴ و ۵۴ درصد کاهش یافت. با توجه به کاهش کمّی و کیفی منابع آب زیرزمینی در دشت ممنوعه بحرانی کاشمر، پیشنهاد می‌شود ضریب گیاهی کاملینا نسبت به شوری آب آبیاری و کم‌آبی، اصلاح گردد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر-تعرق، تنش خشکی، تنش شوری، گلخانه، مراحل رشد.

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۴ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

تبخیر-تعرق گیاه که از ویژگی‌های فیزیولوژیک، مرحله رشد و فنولوژی آن تأثیر می‌پذیرد، از عوامل اصلی کنترل‌کننده 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، پژوهش‌های بیلان آبی محصول و مدیریت آب آبیاری فصلی ضروری به نظر می‌رسد (Okechukwu and Mbajiorgu, 2020). معمول‌ترین روش محاسبه تبخیر-تعرق گیاه، استفاده از ضریب گیاهی است (Shukla et al., 2014). ضریب گیاهی (K_c) نسبت تبخیر-تعرق یک گیاه در طول یک فاصله زمانی مشخص به تبخیر-تعرق گیاه مرجع در همان فاصله زمانی بوده و تعیین آن به-منظور 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 و 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 اهمیت دارد 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 روی منحنی ضریب گیاهی به چهار مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی تقسیم می‌شوند (Doorenbos and Pruitt, 1977).

پژوهشگران 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 که با استفاده از لایسیمتر وزنی در آلباسیته در مرکز اسپانیا انجام شد بیش‌ترین مقدار ضریب گیاهی برای آفتابگردان در مرحله میانی رشد به‌ترتیب برابر ۱/۱۷ برای سال اول و برابر ۱/۲۱ برای سال دوم گزارش شد. هم‌چنین مقدار تبخیر-تعرق گیاه برای سال-های اول و دوم به‌ترتیب برابر ۶۱۹ و ۵۷۶ میلی‌متر تخمین زده شد (Lopez-Urrea et al., 2014). تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای، توسط دو لایسیمتر کوچک در گلخانه-ای پژوهشی در شمال تهران اندازه‌گیری شدند. تبخیر-تعرق خیار در طول دوره رشد چهار ماهه برابر ۲۷۳/۲ میلی‌متر و میانگین مقادیر ضریب گیاهی در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی رشد به‌ترتیب برابر ۰/۱۴، ۰/۷۸، ۱ و ۰/۸۶ به‌دست آمد (Fathalian and Nouri-Emamzadei., 2013). در پژوهشی که به‌منظور تعیین تبخیر-تعرق واقعی و ضریب گیاهی برنج در طی سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ در مؤسسه ملی تحقیقات برنج در شرق هند انجام شد مقدار تبخیر-تعرق واقعی در طی فصل خشک به‌ترتیب برای دو سال مذکور برابر ۲/۸۶ و ۳/۳۲ میلی-متر در روز برآورد شد. هم‌چنین در این پژوهش مقادیر ضریب گیاهی برنج در مراحل چهارگانه رشد (ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی) به‌ترتیب برابر ۰/۳۲، ۰/۵۲، ۰/۷۶ و ۰/۸۸ تخمین زده شد (Chatterjee et al., 2021). نتایج آزمایش‌های لایسیمتر برای تعیین کل آب مصرفی و ضریب گیاهی نیشکر در پیناما میانمار نشان داد که مقادیر ضریب گیاهی نیشکر در مراحل اولیه، توسعه، میانی و انتهایی رشد به‌ترتیب برابر ۰/۵۳، ۰/۸۱، ۱/۲۵ و ۱/۲۷ و مقدار کل آب مصرفی آن در طول فصل رشد برابر ۱۳۶۹ میلی‌متر به‌دست آمد (Win et al., 2014). پژوهشی به‌منظور تعیین ضریب گیاهی دوجزئی فلفل دلمه‌ای و هندوانه در منطقه نیمه‌گرمسیری فلوریدا با استفاده از لایسیمترهای زهکش‌دار بزرگ با ابعاد ۱/۳۷ × ۳/۶۵ × ۴/۸۷ متر انجام شد. مقادیر ضریب گیاهی پایه برای مراحل اولیه، میانی و انتهایی فصل رشد فلفل دلمه به‌ترتیب برابر ۰/۱۲، ۰/۶۸ و ۰/۷۷ و برای هندوانه به‌ترتیب برابر ۰/۰۵، ۰/۹۶ و ۰/۶۶ گزارش شد (Shrestha and Shukla., 2014). برای اندازه‌گیری تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی پیاز، پژوهشی با استفاده از لایسیمتر وزنی در مزرعه‌ای واقع در آلباسیته در مرکز اسپانیا انجام شد. نتایج نشان داد ضریب گیاهی پیاز در شرایط استفاده از آبیاری بارانی در

مراحل اولیه، میانی و انتهایی رشد به‌ترتیب برابر ۰/۶۵، ۱/۲ و ۰/۷۵ بود که با مقادیر ارائه‌شده در نشریه فائو ۵۶ مشابهت داشت (Lopez-Urrea et al., 2009). در پژوهشی دیگر تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی هندوانه در شرایط استفاده از خاک‌پوش پلاستیکی و استفاده از روش آبیاری قطره‌ای در منطقه نیمه-گرمسیری فلوریدا اندازه‌گیری شد. مقدار تبخیر-تعرق گیاه در طول فصل رشد برابر ۲۷۸ میلی‌متر و ضریب گیاهی برای مراحل اولیه، میانی و انتهایی فصل رشد به‌ترتیب برابر ۰/۶۵، ۱/۰۱ و ۰/۷۱ گزارش شد (Shukla et al., 2014). به‌منظور تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی سیب‌زمینی، پژوهشی در طی سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ در مرکز تحقیقات و ترویج کشاورزی آبی واقع در دانشگاه ایالتی واشنگتن انجام شد. نتایج نشان داد میانگین تبخیر-تعرق گیاه در مرحله میانی برابر ۷/۲۲ میلی‌متر در روز بود. از طرفی مقادیر ضریب گیاهی سیب‌زمینی در مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی رشد به‌ترتیب برابر ۰/۴، ۰/۹۵ و ۰/۵۷ گزارش شد (Gonzalez et al., 2023). در منطقه نیمه‌خشک ایران (مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی شهرستان کرمانشاه)، پژوهشی به‌منظور تعیین ضریب گیاهی گشنیز انجام شد. در این پژوهش برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل از معادله پنمن-مانتیث و برای اندازه‌گیری تبخیر-تعرق واقعی از معادله بیلان آبی استفاده شد. در نهایت طی دو سال، آزمایش مقادیر ضریب گیاهی گشنیز در مراحل اولیه، توسعه، میانی و انتهایی به‌ترتیب ۰/۶۶، ۱/۱۹، ۱/۳۶ و ۰/۹۸ به‌دست آمد (Ghamarnia et al., 2013).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند شهرستان کاشمر، منابع تأمین آب آبیاری به دلیل تداوم خشک‌سالی‌های اخیر و افزایش تقاضا برای مصرف آب در مناطق شهری، کاهش یافته است. بنابراین این ضروری است گیاهانی با نیاز آبی کم‌تر و طول دوره رشد کوتاه‌تر مانند کاملینا برای کاشت در این مناطق معرفی گردند. کاملینا با نام علمی *Camelina sativa* L. به خانواده چلپائیان (*Brassicaceae*) تعلق دارد که به نام کتان کاذب نیز شناخته شده، در حال حاضر به‌صورت تجاری تولید می‌شود و به‌عنوان ماده اولیه سوخت‌های زیستی در مناطق نیمه‌خشک از آن استفاده می‌شود (Hunsaker et al., 2011). کاملینا گیاهی یک‌ساله با تیپ رشدی زمستانه یا تابستانه و ارتفاع آن بین ۳۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر متغیر است. سطح زیر کشت کاملینا در کشور در سال ۱۴۰۲ حدود ۲۰ هزار هکتار بوده است. دانه‌های کاملینا معمولاً بیش از ۴۰ درصد روغن دارند (Zubr, 1997) و از اسیدهای چرب غیراشباعی تشکیل شده که شامل ۳۰ تا ۴۰٪ اسید لینولئیک و ۱۵٪ اسید الئیک هستند. علاوه بر سوخت‌های زیستی، کاملینا به‌عنوان منبعی برای چندین فرآورده زیست-صنعتی دیگر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zubr, 2003). هم‌چنین این محصول دانه روغنی منبعی برای تأمین غذای انسان‌ها و جانوران نیز به‌شمار می‌رود. برخی صفات زراعی مهم مانند طول دوره رشد کوتاه (۸۵ تا ۱۰۰ روز)، مقاومت به گرما و خشکی و نیاز کودی کم‌تر به نیتروژن، کاملینا را از سایر گیاهان دانه روغنی دیگر مانند کلزا، سویا و آفتابگردان متمایز ساخته است (Budin et al., 1995). حد آستانه تحمل به شوری کاملینا سه دسی‌زیمنس بر متر و مقدار آب مصرفی و عملکرد دانه آن در شرایط مطلوب به-ترتیب برابر ۵۳۰ میلی‌متر و ۲۲۵۶ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Gholamian et al., 2018).

با توجه به این‌که در منابع مختلف، مقداری برای ضریب گیاهی کاملینا در گلخانه گزارش نشده و علی‌رغم سازگاری بسیار خوب این گیاه با نیاز آبی کم و ارزشمند با شرایط اقلیمی شهرستان کاشمر، هنوز پژوهشی در مورد تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی کاملینا در این منطقه انجام نشده است. در پژوهش حاضر سعی شد تا اولاً تبخیر-تعرق واقعی کاملینا در شرایط آبیاری کافی و کم‌آبیاری همراه با شوری در گلخانه اندازه‌گیری شده و ثانیاً با اندازه‌گیری تبخیر-تعرق گیاه مرجع در شرایط گلخانه، اقدام به تعیین ضریب گیاهی کاملینا در شرایط آبیاری کافی و کم‌آبیاری همراه با شوری شود. در پژوهش‌های پیشین، داده‌های اندازه‌گیری‌شده تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی کاملینا در شرایط گلخانه و آبیاری با آب شور

جدول ۱. تقویم زراعی محصولات مورد بررسی

Table 1. Crop calendar of studied plants

گیاه Plant	تاریخ کاشت Planting date	تاریخ شروع آزمایش Starting date of experiment	تاریخ پایان آزمایش Finishing date of experiment	نوع رقم Type of variety
کاملینا Camelina	2022/01/05	2022/01/21	2022/03/22	سهیل Soheil
چمن Grass	2021/12/10	2022/01/21	2022/03/22	باربارا Barbara

وجود نداشت. لازم به ذکر است که نبود مقادیر ضریب گیاهی کاملینا در گزارش‌های فائو ۵۶ نیز دلیلی دیگر بر ضرورت انجام پژوهش حاضر بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه‌ای با پوشش پلاستیکی واقع در مرکز آموزش عالی کاشمر به مدت ۶۱ روز از تاریخ ۱۴۰۰/۱۱/۰۱ تا ۱۴۰۱/۰۱/۰۲ 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. میانگین بارندگی سالانه منطقه ۱۹۲/۱ میلی‌متر است. در جدول (۱)، تاریخ کاشت، تاریخ شروع و اتمام آزمایش و رقم گیاهان مورد بررسی ارائه شده است.

برای کشت گیاه، از خاکی با نسبت ۲۵ درصد پیت ماس (به‌منظور تقویت حاصلخیزی و بهبود تهویه خاک)، ۲۵ درصد ماسه (برای سبک کردن بافت خاک) و ۵۰ درصد خاک مزرعه پژوهشی استفاده شد. رطوبت گنجایش گلدانی خاک به روش گلدانی اندازه‌گیری شد. در این روش خاک تمام ۳۶ گلدان اشباع شد و به مدت ۴۸ ساعت رها شد تا آب ثقلی آن‌ها خارج شود و رطوبت خاک گلدان‌ها به گنجایش گلدانی نزدیک شود. سپس برای تعیین رطوبت گنجایش گلدانی (CC)، نمونه‌ای از خاک مرطوب هر گلدان تهیه شده و برای اندازه‌گیری رطوبت آن به روش وزنی به آزمایشگاه منتقل شد. میانگین مقدار رطوبت گنجایش گلدانی برابر ۱۳/۵ درصد حجمی به‌دست آمد (Ebrahimi et al., 2018).

پیش از کاشت و پس از افزودن پیت ماس و ماسه، نمونه‌برداری از خاک گلدان‌ها انجام شد و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. مقادیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین در پایان آزمایش، در تمامی تیمارهای شوری نمونه خاک از لایه توسعه ریشه برای تعیین رسانایی الکتریکی عصاره اشباع خاک برداشت شد.

به دلیل اهمیت کسر آبشویی (LF) در آبیاری با آب شور، در ادامه این پژوهش اقدام به تعیین این کمّیت 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 آزمایشی با رابطه زیر محاسبه شد:

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

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

$$LF = 0.3274X^{-1.63} \quad (۲)$$

نتایج تجزیه کیفیت آب شیرین و آب شور چاه‌های عمیق مورد استفاده در پژوهش حاضر در جدول (۳) ارائه شده است.

برای کشت گیاه از گلدان‌هایی به ارتفاع ۳۰ و قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. ابتدا بذور کاملینا در سینی کاشت، کشت شده و پس از گذشت تقریباً دو هفته که نشاها چهار برگی شدند، نشاها به گلدان‌ها انتقال داده شد. بر اساس تراکم کاشت

جدول ۲. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌ها

Table 2. Some physical and chemical properties of the pot soil

بافت خاک Soil texture	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent (%)	سدیم Na^+ (mg kg^{-1})	پتاسیم K^+ (mg kg^{-1})	فسفر P (mg kg^{-1})	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	نسبت جذب سدیم Sodium adsorption ratio	رسانایی الکتریکی Electrical conductivity (dS m^{-1})	واکنش pH
لوم شنی Sandy loam	71	17	12	14.6	202.9	173.5	2.9	0.03	1.42	5.89	1.34	7.49

جدول ۳. برخی از ویژگی‌های شیمیایی آب شیرین و آب شور (چاه عمیق)

Table 3. Some chemical properties of fresh water and saline water (deep well)

منبع آبی Water supply	رسانایی الکتریکی Electrical conductivity (dS m^{-1})	واکنش pH	پتاسیم K^+	سدیم Na^+	منیزیم Mg^{+2}	کلسیم Ca^{+2}	سولفات SO_4^{-2}	کلر Cl^-	بی‌کربنات HCO_3^-	نسبت جذب سدیم Sodium adsorption ratio
			meq l$^-$							
آب شیرین Fresh water	0.63	7.24	0.038	1.3	4.6	3.3	0	4.87	4.3	0.65
آب شور Saline water	13.8	7.25	0.48	108.0	25.6	14.4	27.4	117.5	3.6	24.15

جدول ۴. رسانایی الکتریکی (EC)، واکنش (pH) و نسبت جذب سدیم (SAR) تیمارهای آب شور

Table 4. Electrical conductivity (EC), reaction (pH) and sodium adsorption ratio (SAR) for saline water treatments

کد تیمار آب شور Saline water treatment code	EC (dS m^{-1})	pH	SAR
S_1	4.19	7.7	10.83
S_2	8.23	7.7	19.04
S_3	11.89	7.29	18.01

۳۳ بوته در مترمربع (Asadi et al., 2018)، در هر گلدان ۳ بوته کاشته شد. برای استقرار کامل بوته‌ها در گلدان‌ها، آبیاری بوته‌ها با آب شیرین به مدت دو هفته به‌طور یکسان انجام شدند و پس از آن تیمارهای آزمایشی اعمال شدند. در این پژوهش 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، آبیاری و مرحله رشد) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار استفاده شد. آماده‌سازی آب آبیاری با شوری‌های حدود ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در شروع آزمایش به این صورت انجام شد که آب چاه عمیق با شوری ۱۳/۸۲ دسی‌زیمنس بر متر که ویژگی‌های کیفی آن به‌طور کامل در جدول (۳) ارائه شده است، با یک نسبت مشخصی با آب شیرین مخلوط شده (برای مثال نسبت ۱:۱ یا ۱: ۱/۵ یا ۱:۲ و ...) و رسانایی الکتریکی آب حاصل از اختلاط آب شور و شیرین با EC متر اندازه‌گیری می‌شد. تغییر نسبت اختلاط آب شور و آب شیرین تا آن جا ادامه می‌یافت که شوری آب حاصل از اختلاط این دو تقریباً به مقدار EC تیمار مورد نظر نزدیک شود. مقادیر SAR تیمارهای شوری که از اختلاط آب شور و شیرین به‌دست آمدند به‌همراه رسانایی الکتریکی (EC) و pH آن‌ها در جدول (۴) ارائه شد.

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

برای محاسبه میزان تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی کاملینا، از گلدان‌ها به‌عنوان یک لایسیمتر کوچک وزنی استفاده شد. استفاده از لایسیمتر یا لایسیمترهای کوچک پُراستفاده‌ترین روش تعیین نیاز آبی گیاهان بوده و ضریب گیاهی به‌دست آمده با این روش، قابل اعتماد است (Xu et al., 2018). وزن خاک خشک‌شده درون تمام گلدان‌ها (W_d)، تقریباً برابر ۸/۵ کیلوگرم بود. توزین گلدان‌ها با محتویات آن (W_t) به‌صورت روزانه رأس ساعت ۹ صبح توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم انجام می‌شد. وزن آب مورد نیاز روزانه (W_w) برای رساندن رطوبت خاک به حد رطوبتی گنجایش مزرعه‌ای (θ_{fc}) در آن روز با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شده و آبیاری انجام می‌شد (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 گنجایش مزرعه‌ای (٪)، W_t وزن لایسیمتر و محتویات آن پیش از آبیاری روزانه و W_{ty} وزن لایسیمتر و محتویات آن پس از آبیاری و خروج زه‌آب در روز پیشین است. وزن‌ها همگی بر حسب کیلوگرم لحاظ شده‌اند.

حدود سه تا چهار ساعت پس از انجام آبیاری، زمانی که

خروجی احتمالی زه‌آب از پایین 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 می‌شد. توزین مجدد مجموعه در این مرحله (W_{ty}) برای برآورد مقدار آب مورد نیاز تا رساندن رطوبت خاک به گنجایش مزرعه‌ای 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 شد:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (۴)$$

در این رابطه، K_c ضریب گیاهی بین دو مقطع زمانی متوالی، ET_c و ET_o به‌ترتیب میزان تبخیر-تعرق گیاه کاملینا و گیاه مرجع در گلخانه در مقطع زمانی مورد نظر می‌باشند. طول مراحل رشد چهارگانه گیاه بر اساس مساحت سطح زمین پوشیده‌شده توسط گیاه تعیین شد (Kato and Kamichika, 2006). برای انجام محاسبات و رسم شکل‌ها به‌ترتیب از نرم‌افزارهای Excel و SigmaPlot استفاده شد. همچنین آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها با نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

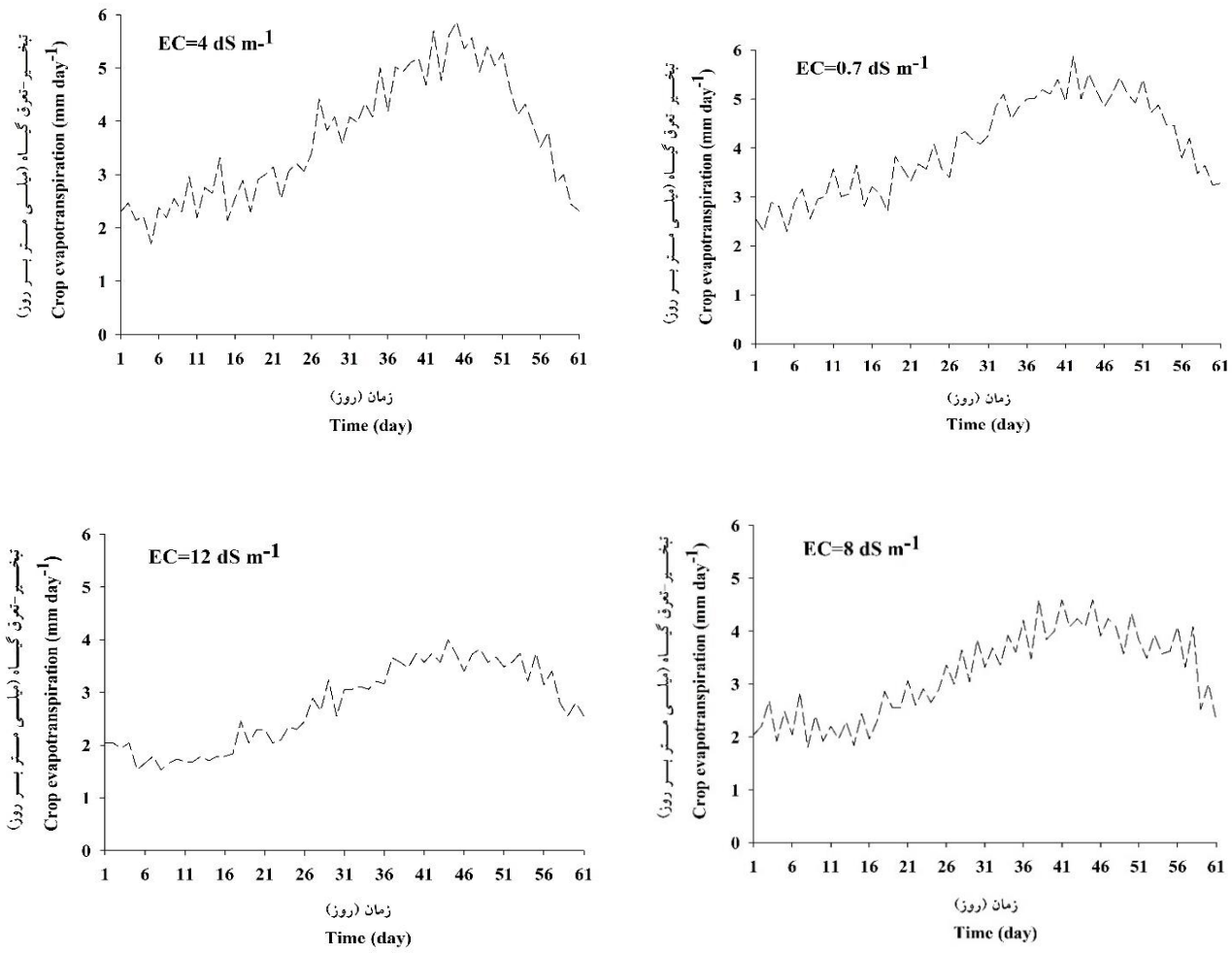
بیشینه، کمینه و میانگین دمای گلخانه به‌ترتیب برابر ۳۲/۴، ۸/۷ و ۲۰/۷ درجه سلسیوس در طی دوره آزمایش بودند و میانگین رطوبت نسبی هوا برابر ۴۹/۶ درصد بود. تحت این شرایط مقادیر ET_o برای چهار مرحله رشد کاملینا به‌ترتیب برابر ۶۱، ۱۰۵، ۵۷/۵ و ۹۱ و برای کل مدت آزمایش (فصل رشد) برابر ۳۱۴/۵ میلی‌متر به‌دست آمد. در شکل (۱) تغییرات روزانه تبخیر-تعرق اندازه‌گیری‌شده توسط لایسیمترهای کوچک در سطوح مختلف شوری با آبیاری ۱۰۰٪ نیاز آبی ارائه شده است. با توجه به شکل (۱)، مقدار تبخیر-تعرق کاملینا در شرایط آبیاری با آب غیرشور ($EC=0.7\ dS\ m^{-1}$) در طول فصل رشد بین ۲/۳ تا ۵/۸ میلی‌متر متغیر بود.

بیش‌ترین مقدار تبخیر-تعرق کاملینا برای تیمار S_0W_0 در مرحله توسعه و به اندازه ۵/۸ میلی‌متر بر روز و کم‌ترین مقدار آن در مرحله ابتدایی رشد و به اندازه ۲/۳ میلی‌متر در روز بود که با نتایج به‌دست‌آمده توسط Silva et al. (2021) هم‌خوانی دارد. این پژوهشگران بیش‌ترین مقدار تبخیر-تعرق نخود را در مرحله توسعه و به مقدار ۵/۴ میلی‌متر در روز گزارش کردند. از طرفی با توجه به شکل (۱)، مشاهده 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 انتهایی رشد، کاهش می‌یابد (Lopez-Urrea et al., 2020). در پژوهشی تبخیر-تعرق اندازه‌گیری‌شده توسط میکرولایسیمترها برای گیاه کاملینا، در مرحله توسعه روند افزایشی و پس از آن روند کاهشی داشت (Lovelli et al., 2005) که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. استفاده از میکرولایسیمترهای وزنی دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری تبخیر-تعرق کاملینا در گلخانه است. (Evett et al., 2015).

نتایج تجزیه واریانس تبخیر-تعرق کاملینا در جدول (۵) نشان می‌دهد که هم اثر اصلی تیمارها (مرحله رشد، آبیاری و شوری) و هم آثار برهمکنش دوگانه و سه‌گانه آن‌ها بر تبخیر-تعرق کاملینا در سطح احتمال یک درصد ($p < 0.01$) معنی‌دار است.

مقادیر تبخیر-تعرق کاملینا برای مراحل جداگانه رشد و کل فصل رشد در تیمارهای آب آبیاری و سطوح مختلف شوری در جدول (۶) ارائه شده است.

با توجه به جدول (۶) مشخص می‌شود که بیش‌ترین مقدار تبخیر-تعرق کاملینا در طول فصل رشد مربوط به تیمار W_0S_0 (برابر ۲۴۵ میلی‌متر) و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار W_2S_3 (برابر ۸۹ میلی‌متر) بود. نیاز آبی فصلی کاملینا در پژوهش‌های انجام‌شده در خارج از کشور (French et al., 2009; Hunsaker et al., 2013; George et al., 2018 and Neupane et al., 2020)



شکل ۱. مقادیر اندازه‌گیری‌شده تبخیر-تعرق کاملینا در گلخانه برای چهار تیمار شوری با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی

Fig. 1. Measured evapotranspiration of camelina in greenhouse for four salinity treatments by providing 100 percent water requirement

به‌ترتیب برابر ۳۷۸، ۴۸۰ ، ۴۶۸ و ۲۵۰ میلی‌متر گزارش شد که در مقایسه با نیاز آبی کاملینا در پژوهش حاضر (یعنی ۲۴۵ میلی‌متر) به‌ترتیب به اندازه ۵۴، ۹۵، ۹۱ و ۲ درصد بیش‌تر بود. در پژوهش‌های درون کشور که در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی، در گلخانه پژوهشی دانشگاه رازی در کرمانشاه و در مزرعه پژوهشی بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد، مقدار نیاز آبی کاملینا در طول فصل رشد به‌ترتیب برابر ۵۵۰، ۵۳۰ و ۲۳۰ میلی‌متر گزارش شد (Talebnejad Frooghi, 2016; Gholamian et al., 2018 and et al., 2021). علت اختلاف مقادیر نیاز آبی کاملینا در برخی از پژوهش‌های داخل و خارج از کشور را می‌توان به متفاوت بودن شرایط آب و هوایی، طول دوره رشد و کشت این گیاه در مزرعه یا گلخانه مربوط دانست. علت آب مصرفی کم‌تر توسط کاملینا در پژوهش جاری به تبخیر کم‌تر به دلیل پوشانده‌شدن سطح خاک گلدان‌ها با لایه نازک سنگریزه و کوتاه‌تربودن فصل رشد است. از طرفی با توجه این که در گلخانه مورد استفاده در پژوهش حاضر از تهویه طبیعی استفاده می‌شد، با کامل‌شدن پوشش گیاهی به دلیل تعرق گیاه و ایجاد مقاومت در برابر تبادل هوا، میزان رطوبت در فضای گلخانه افزایش یافت که منجر به کاهش تبخیر-تعرق و در نتیجه نیاز آبی گیاه شد. در تمام

جدول ۵. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای تبخیر- تعرق کاملینا تحت اثر سه تیمار تنش شوری، کم‌آبی و مرحله رشد

Table 5. Variance analysis of camelina evapotranspiration as affected by salinity stress, water deficit and growth stage

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares	فیشر F
مرحله رشد Growth stage	3	21354.46	375023.6**
آبیاری Irrigation	2	8736.43	153427.72**
شوری Salinity	3	1141.9	20054.01**
مرحله رشد × آبیاری Irrigation × Growth stage	6	415.9	7304.03**
مرحله رشد × شوری Salinity × Growth stage	9	314.04	5515.25**
شوری × آبیاری Irrigation × Salinity	6	99.95	1755.34**
مرحله رشد × آبیاری × شوری Salinity × Irrigation × Growth stage	18	388.16	6816.92**
خطا Error	96	0.057	-
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	0.64	-

** بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

** stands for significant effect at 1% probability level.

تیمارهای آبیاری با افزایش شوری آب آبیاری، تبخیر-تعرق فصلی کاملینا کاهش یافت. میزان کاهش تبخیر-تعرق فصلی کاملینا در تیمارهای W_0S_1، W_0S_2 و W_0S_3 نسبت به تیمار شاهد (W_0S_0) به‌ترتیب برابر ۹، ۲۱ و ۳۲ درصد بود. در پژوهشی در شرایط گلخانه‌ای در کرمانشاه، با استفاده از معادله بیلان آب، نیاز آبی کاملینا در شرایط میانگین دمایی ۲۸/۹ درجه سلسیوس و طول دوره رشد ۱۱۵ روز، برابر ۵۳۰ میلی‌متر برآورد شد (Gholamian et al., 2018).

در مرحله تشکیل محصول بیش‌ترین نیاز آبی کاملینا در مقایسه با سایر مراحل به‌دست آمد. کم‌ترین مقدار نیاز آبی کاملینا در مرحله استقرار گیاه مشاهده شد. در پژوهشی مشابه در مورد پیاز، نتایج به‌دست‌آمده با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی داشت (Lopez-Urrea et al., 2009). آن‌ها در پژوهش خود بیش‌ترین مقدار نیاز آبی پیاز را در مرحله توسعه و کم‌ترین مقدار آن را در مرحله استقرار گیاه گزارش نمودند. در شرایط بدون تنش شوری و کم‌آبی، نیاز آبی کاملینا برای مراحل استقرار، توسعه، تشکیل محصول و رسیدگی به‌ترتیب برابر ۲۱/۴۵، ۶۴/۳۲، ۹۸/۳۸ و ۶۱/۰۴ میلی‌متر بودند. بیش‌ترین مقدار تبخیر-تعرق کاملینا در طی مرحله تشکیل محصول و به مقدار ۹۸/۳۸ میلی‌متر مشاهده شد. با کاهش مقدار آب آبیاری در تیمارهای کم‌آبیاری، تبخیر-تعرق کاملینا کاهش یافت. مشابه با نتایج پژوهش حاضر، کاهش تبخیر-تعرق گیاه با کاهش

جدول۶. مقادیر تبخیر-تعرق کاملینا برای مراحل جداگانه رشد و کل فصل رشد در تیمارهای آبیاری و سطوح مختلف شوری

Table 6. Camelina evapotranspiration values for the individual growth stages and the total growth season for irrigation treatments in different salinity levels

کل فصل رشد Total growth season	مرحله رسیدگی Ripening	مرحله تشکیل محصول Yield formation	مرحله توسعه Development	مرحله استقرار Establishment	تیمار Treatments
		تبخیر-تعرق (میلی‌متر) Evapotranspiration (mm)			
245.19[a]	61.04[b]	98.38[a]	64.32[a]	21.45[b]	W_0S_0
223.21[b]	50.6[d]	88.36[c]	64.01[a]	20.24[c]	W_0S_1
193.71[c]	66.56[a]	64.42[g]	29.69[b]	33.04[a]	W_0S_2
166.79[d]	31.53[f]	93.91[b]	25.12[c]	16.22[d]	W_0S_3
164.31[e]	57.83[c]	84.69[d]	11.44[j]	10.34[h]	W_1S_0
142.51[f]	41.58[e]	66.7[f]	24.22[d]	10.01[hi]	W_1S_1
133.97[g]	23.97[i]	76.1[e]	19.84[e]	14.06[e]	W_1S_2
112.53[h]	22.1[k]	61.03[h]	13.25[g]	16.14[d]	W_1S_3
116.68[i]	29.73[g]	66.52[f]	10.83[k]	9.6[i]	W_2S_0
106.16[j]	24.2[h]	54.75[j]	14.04[f]	13.16[f]	W_2S_1
90.81[k]	12.03[l]	55.09[i]	12.44[i]	11.24[g]	W_2S_2
89.24[l]	23.27[j]	45.01[k]	12.89[h]	8.07[j]	W_2S_3

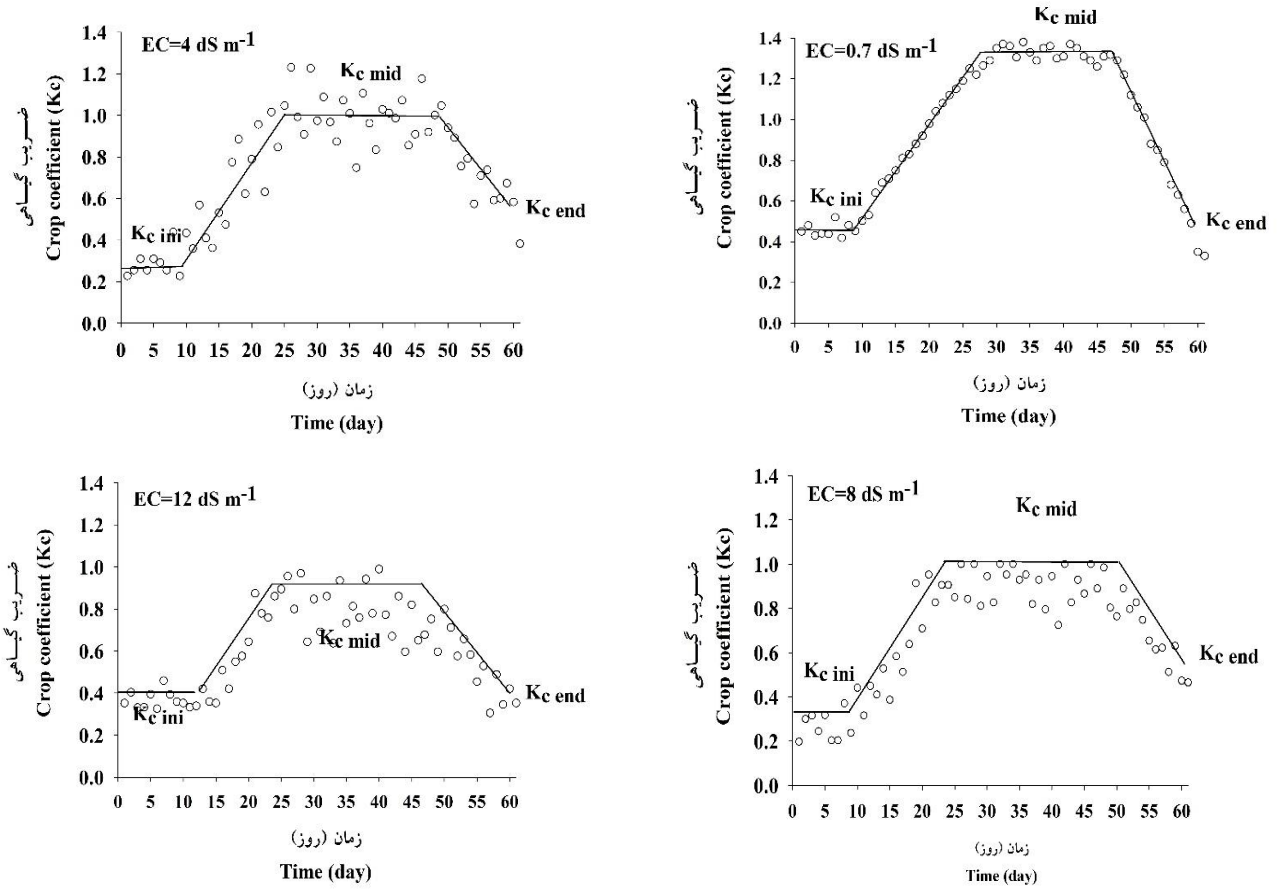
میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند (آزمون دانکن).

In each column, means with similar letter are not significantly different at 5% probability level (Duncan's test).

مقدار آب آبیاری گزارش شده است (Gong et al., 2020). تبخیر-تعرق کاملینا در شرایط آبیاری کامل برابر ۲۴۵ میلی‌متر و در شرایط بدون کم‌آبیاری برای تیمارهای W_1S_0 و W_2S_0 به‌ترتیب برابر ۱۶۴ و ۱۱۶ میلی‌متر بود.

در شکل (۲) نمودار تغییرات ضریب گیاهی در طول دوره رشد برای سطوح مختلف شوری در شرایط بدون کم‌آبی نشان داده شده است. مشاهده 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 بوده و مقادیر آن نسبتاً کم است (شکل ۲). دلیل مقادیر کم ضریب گیاهی در مرحله رشد را می‌توان به اثر تبخیر از سطح خاک پس 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 یافته 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 زیاد و کمی بیش‌تر یا کم‌تر از یک مقدار ثابت هستند و در مرحله پایانی مقادیر ضریب گیاهی به‌صورت روزانه کاهش می‌یابند (شکل ۲). دلیل کاهش مقادیر K_c در مراحل انتهایی رشد، مسن‌شدن و پیری برگ‌ها است (Lopez-Urrea et al., 2020). هم‌چنین بررسی تغییرات ضریب گیاهی در تیمارهای تنش شوری و خشکی (نتایج ارائه نشده است) 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 کاملینا با افزایش تنش آبی و شوری است. برای تمام تیمارهای آزمایشی، بیش‌ترین مقدار ضریب گیاهی در مرحله میانی به‌دست آمد. در پژوهشی مشابه نیز ضریب گیاهی کاملینا در مرحله میانی بیش‌ترین مقدار را داشت (Hunsaker et al., 2011). کاهش ضریب گیاهی در مرحله انتهایی رشد به دلیل کاهش فعالیت برگ‌ها است (Gong et al., 2020). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که بیش‌ترین مقدار ضریب گیاهی برای کلزا در مرحله میانی رشد و در



شکل ۲. منحنی‌های تغییرات ضریب گیاهی کاملینا در برابر زمان در گلخانه برای چهار تیمار شوری با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی

Fig. 2. Camelina crop coefficient vs. time curve in greenhouse for four salinity treatments by providing 100 percent water requirement

دامنه ۱/۱۵ تا ۱/۲۴ به‌دست آمد (Lopez-Urrea et al., 2020) که با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش هم‌خوانی داشت. ضریب گیاهی در مرحله اولیه معمولاً کم‌تر از ۰/۴ است اما برای شرایطی که آبیاری متواتر 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 آزمایشی کم‌تر از ۰/۴ به‌دست آمد.

در جدول (۷) طول مراحل چهارگانه رشد گیاه و ضریب گیاهی برای تیمارهای مختلف آزمایش ارائه شده است. مشاهده می‌شود که مقادیر ضریب گیاهی کاملینا در شرایط بدون کمبود آب و شوری، در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی رشد به‌ترتیب برابر ۰/۴۵، ۰/۹، ۱/۳۵ و ۰/۵ 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 پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی شهرستان کرمانشاه انجام شد مقادیر ضریب گیاهی کاملینا در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی رشد به‌ترتیب برابر ۰/۹۴، ۱/۱۱، ۱/۳۱ و ۰/۶۷ گزارش شد (Frooghi, 2016). در پژوهش‌های دیگر، مقادیر ضریب گیاهی کاملینا در مراحل میانی و انتهایی به‌ترتیب برابر ۱/۲ و ۰/۵۴ گزارش شده است (Hunsaker et al., 2011). در پژوهشی دیگر مقادیر ضریب گیاهی کاملینا در مراحل میانی و انتهایی به‌ترتیب برابر ۱/۱۲ و ۰/۴۷ گزارش شده است (Pereira et al., 2021). دلیل تفاوت در مقادیر ضریب گیاهی در پژوهش‌های مختلف را می‌توان به

جدول ۷. طول مرحله رشد و ضریب گیاهی کاملینا در مراحل چهارگانه رشد برای سطوح مختلف شوری در تیمارهای ۱۰۰ و ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی گیاه

Table 7. Growth stage length and crop coefficient of camelina at quadruple growth stages under different salinity levels of irrigation water at 100 and 50 percents of providing crop water requirement

سطوح شوری Salinity levels	مرحله رشد فنولوژیکی گیاه Phenological plant growth stage	تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی 100% water requirement treatment		تیمار ۵۰٪ نیاز آبی 50% water requirement treatment	
		طول مراحل فنولوژیکی در گلخانه (روز) Phenological phases lengths in greenhouse (day)	ضریب گیاهی Crop coefficient (K_c)	طول مراحل فنولوژیکی در گلخانه (روز) Phenological phases lengths in greenhouse (day)	ضریب گیاهی Crop coefficient (K_c)
شوری ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر S_0	اولیه Initial	9	0.45	10	0.28
	توسعه Development	21	0.90	10	0.49
	میانی Middle	18	1.35	29	0.70
	انتهایی End	13	0.50	12	0.26
شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر S_1	اولیه Initial	8	0.25	11	0.32
	توسعه Development	19	0.62	11	0.48
	میانی Middle	20	1.00	26	0.65
	انتهایی End	14	0.55	13	0.33
شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر S_2	اولیه Initial	9	0.25	8	0.28
	توسعه Development	13	0.57	14	0.39
	میانی Middle	29	0.90	26	0.50
	انتهایی End	10	0.45	13	0.15
شوری۱۲ دسی‌زیمنس بر متر S_3	اولیه Initial	15	0.35	9	0.25
	توسعه Development	11	0.60	11	0.36
	میانی Middle	17	0.85	31	0.48
	انتهایی End	18	0.32	10	0.23

شرایط آب و هوایی، طول فصل رشد، رقم گیاه و شرایط تولید محصول (گلخانه یا مزرعه) مربوط دانست (Lopez-Urrea et al., 2020). دلیل ضریب گیاهی زیاد در شرایط بدون کمبود آب و غیرشور در مقایسه با شرایط تنش توأمان شوری و کم‌آبی را می‌توان به مصرف آب بیش‌تر در شرایط بدون تنش و ناشی از مطلوب‌بودن پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای زیاد نسبت به شرایط تحت تنش شوری و کم‌آبی دانست (Wang et al., 2020). طول مدت استقرار، توسعه، تشکیل محصول و رسیدگی برای شرایط بدون تنش (تیمار شاهد) به‌ترتیب برابر ۹، ۲۱، ۱۸ و ۱۳ روز بودند (جدول ۷). با توجه به جدول (۷) مشاهده می‌شود که در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، افزایش شوری آب آبیاری از ۸ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش طول دوره اولیه رشد از ۹ به ۱۵ روز شد. هم‌چنین افزایش توأمان تنش شوری و خشکی باعث کاهش ضریب گیاهی کاملینا در تمام مراحل رشد نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۷). افزایش شوری آب آبیاری به تنهایی باعث کاهش ۳۳/۷۵ درصدی میانگین ضریب گیاهی فصلی کاملینا در طول دوره رشد در تیمار W_0S_3 نسبت به تیمار شاهد شد. هم‌چنین کاهش آب آبیاری از ۱۰۰ به ۵۰ درصد نیاز آبی باعث کاهش ۴۶/۲۵ درصدی میانگین ضریب گیاهی فصلی کاملینا در طول فصل رشد شد. به عبارتی سهم کاهش آب آبیاری نسبت به افزایش شوری آن در کاهش میانگین ضریب گیاهی فصلی کاملینا بیش‌تر بود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی کاملینا در شرایط بدون تنش (بدون کمبود آب و شوری) و شرایط اعمال تنش شوری و خشکی بر گیاه در گلخانه به‌دست آمدند. تبخیر-تعرق کاملینا در طول دوره رشد و در شرایط آبیاری با آب غیرشور برابر ۲۴۵ میلی‌متر برآورد شد. با افزایش شوری آب آبیاری به مقادیر ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، مقادیر تبخیر-تعرق این گیاه به‌ترتیب به ۲۲۳، ۱۹۳ و ۱۶۶ 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 بیش از ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و عدم تعیین و گزارش ضریب گیاهی کاملینا در این منطقه، محاسبه تبخیر-تعرق کاملینا بر اساس ضرایب گیاهی ارائه‌شده در منابع موجود که در شرایط بدون کم‌آبی و تنش شوری به‌دست آمدند منجر به برآورد بیش‌تر تبخیر-تعرق کاملینا نسبت به شرایط موجود می‌شود. بنابراین ضروری به نظر می‌رسد مقادیر ضریب گیاهی کاملینا در مراحل مختلف رشد بر اساس شوری آب منطقه اصلاح شود. در پژوهش حاضر، مقادیر ضریب گیاهی کاملینا در شرایط آبیاری با آب غیرشور و بدون تنش آبی، در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به‌ترتیب برابر ۰/۴۵، ۰/۹، ۱/۳۵ و ۰/۵ به‌دست آمدند. در شرایط استفاده از آب آبیاری با شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و بدون تنش آبی، این ضرایب به‌ترتیب به مقادیر ۰/۳۵، ۰/۶، ۰/۸۵ و ۰/۳۲ کاهش پیدا کردند. از این رو 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 برای مدیریت مناسب و کارآمد منابع آب، پیشنهاد می‌شود ضریب گیاهی کاملینا در شرایط کم‌آبی و شوری آب آبیاری برای هر منطقه تعیین گردد.

تشکر و سپاسگزاری

از معاونت آموزشی و پژوهشی مرکز آموزش عالی کاشمر برای حمایت مالی از این طرح پژوهشی (با شماره قرارداد ۷۹۹/۱۴۰۳/۲۹۳/ق) تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

References منابع مورد استفاده

1. 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.
2. Asadi, M., Nasiri, Y., Kahrizi, D., 2018. The effect of planting date and density on the yield and yield components of camelina (*Camelina sativa* L.) in Maragheh. 3th National Conference on Organic Implantation and Proliferation Medicinal Plants, July 11, Orumieh. (In Persian)
3. Budin, J.T., Breene, W.M., Putnam, D.H., 1995. Some compositional properties of camelina (*Camelina sativa* L.Crantz) seeds and oils. J. Am. Chem. Soc. 72(3), 309–315. https://doi.org/10.1007/BF02541088.
4. Chatterjee, S., Stoy, P., Debnath, M., Kumar Nayak, A., Kumar Swain, C., Tripathi, R., Chatterjee, D., Sagarika Mahapatra, S., Talib, A., Pathak, H., 2021. Actual evapotranspiration and crop coefficients for tropical lowland rice (*Oryza sativa* L.) in eastern India. Theor. Appl. Climatol. 146, 155–171. https://doi.org/10.1007/s00704-021-03710-0.
5. Doorenbos, J., Pruitt, W.O. 1977. Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 24. FAO. Rome, Italy.
6. 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 Irrig. Manag. 8(1), 1–11. (In Persian with English abstract)
7. 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. Trans. ASABE. 58, 163–179. https://doi.org/10.13031/trans.58.11159.
8. Fathalian, F., Nouri-Emamzadei, M.R., 2013. Determination of evapotranspiration and crop coefficient of cucumber by using microlysimeter in greenhouse conditions. J. Soil Plant Interact. 3(4), 125–134. https://doi.org/20.1001.1.20089082.1391.3.4.8.2. (In Persian with English abstract)
9. French, A.N., Hunsaker, D., Thorp, K., Clarke, T., 2009. Evapotranspiration over a camelina crop at Maricopa, Arizona. Ind. Crops Prod. 29(2), 289–300. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.06.001.
10. 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, Iran.
11. 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. Irrig. Sci. 38, 365–371. https://doi.org/10.1007/s00271-020-00678-z.
12. Ghamarnia, H., Jafarizade, M., Meri, E., Gobadei, M.A., 2013. Lysimetric determination of *Coriandrum sativum* L. water requirement and single and dual crop coefficients in a semiarid climate. Irrig. Drain. Eng. 139(6), 447–455. https://doi.org/10.1061/ASCE.1943-4774.0000561.
13. Gholamian, S.M., Ghamarnia, H., Kahrizy, D., 2018. Effects of saline water on camelina (*Camelina sativa* L.) yield in greenhouse condition. Water Irrig. Manag. 7(2), 333–348. https://doi.org/10.22059/jwim.2018.248556.582. (In Persian with English abstract)
14. 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. Agric. Water Manag. 235, 106154. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106154.
15. Gonzalez, F., Pavek, M.J., Holden, Z.J., Garza, R., 2023. Evaluating potato evapotranspiration and crop coefficients in the Columbia Basin of Washington state. Agric. Water Manag. 286, 108371. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108371.
16. 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. Irrig. Sci. 29, 27–43. https://doi.org/10.1007/s00271-010-0213-9.
17. Hunsaker, D.J., French, A.N., Thorp, K.R., 2013. Camelina water use and seed yield response to irrigation scheduling in an arid environment. Irrig. Sci. 31, 911–929. https://doi.org/10.1007/s00271-012-0368-7.
18. Kato, T., Kamichika, M., 2006. Determination of crop coefficient for evapotranspiration in a sparse sorghum field. Irrig. Drain. 55, 165–175. https://doi.org/10.1002/ird.225.
19. Lopez-Urrea, R., Montoro, A., Trout, T.J., 2014. Consumptive water use and crop coefficients of irrigated sunflower. Irrig. Sci. 32, 99–109. https://doi.org/10.1007/s00271-013-0418-9.
20. 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. Agric. Water Manag. 239, 106260. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106260.
21. Lopez-Urrea, R., Santa Olalla, F.M., Montoro, A., Lopez-Fuster, P., 2009. Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (*Allium cepa* L.) under semiarid conditions. Agric. Water Manag. 96, 1031–1039. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.02.004.

22. Lovelli, S., Pizza, S., Caponio, T., Rivelli, A.R., Perniola, M., 2005. Lysimetric determination of muskmelon crop coefficients cultivated under plastic mulches. Agric. Water Manag. 72, 147–159. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.09.009.
23. Martin, D.L., Gilly, J.R., 1993. Irrigation water requirements. In: Dickey, G.L. (Ed.), National Engineering Handbook,. 210-vi-NEH,, United States, pp. 1–302.
24. Neupane, D., Solomon, J.K., Mclennon, E., Davison, J., and Lawry, T., 2020. Camelina production parameters response to different irrigation regimes. Ind. Crops Prod. 148, 112286. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112286.
25. 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. Irrig. Drain. 69(4), 743–755. https://doi.org/10.1002/ird.2447.
26. Orgaz, F., Fernandez, M.D., Bonachela, S., Gallardo, M., Fereres, E., 2005. Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse. Agric. Water Manag. 72(2), 81–96. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.09.010.
27. 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. Agric. Water Manag. 243, 106466. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106466.
28. Saeidi, R., Ramezani Etedali, H., Sotoodehnia, A. Kaviani, A., Nazari, B., 2021. Salinity and fertility stresses modify K_s and readily available water coefficients in maize (case study: Qazvin region). Irrig. Sci. 29, 299–313. https://doi.org/10.1007/s00271-020-00711-1.
29. Shrestha, N.K., Shukla, S., 2014. Basal crop coefficients for vine and erect crops with plastic mulch in a sub-tropical region. Agric. Water Manag. 143, 29–37. https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.011.
30. 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. Agric. Water Manag. 132, 1–9. https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2013.09.019.
31. Silva, G.H., 2020. Biodegradable mulch of recycled paper reduces water consumption and crop coefficient of pak choi (*Brassica chinensis* L.). Scientia. Hortic. 267, 109315. https://doi.org/10.1016/j.scientia.2020.109315.
32. Silva, K.F., Moraes, D.H., Mesquita, M., Oliveira, H.F., Nascimento, W.M., Battisti, R., Flores, R.A., 2021. Water requirement and crop coefficient of three chickpea cultivars for the edaphoclimatic conditions of the Brazilian savannah biome. Irrig. Sci. 39, 607–616. https://doi.org/10.1007/s00271-021-00737-z.
33. 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. Agric. Water Manag. 236, 106164. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106164.
34. Win, S.K., Zamora, O.B., Thein, S., 2014. Determination of the water requirement and K_c values of sugarcane at different crop growth stages by lysimetric method. Sugar Tech. 16(3), 286–294. https://doi.org/10.1007/s12355-013-0282-1.
35. 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. Agric. Water Manag. 208, 1–6. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.040.
36. Zubr, J., 1997. Oil-seed crop: *Camelina sativa*. Ind. Crops Prod. 6(2), 113–119. https://doi.org/10.1016/s0926-6690(96)00203-8.
37. Zubr, J., 2003. Qualitative variation of *Camelina sativa* seed from different locations. Ind. Crops Prod. 17(3), 161–169. https://doi.org/10.1016/S0926-6690(02)00091-2.