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

M. Mokari[1*], A. H. Ghaderi and J. Alaei

نسخه پیش از انتشار

Abstract

?

Keywords: ?

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 content 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. K_c is the ratio of crop evapotranspiration (ETc) 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

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

of this study was to determination of ETc and crop coefficient of camelina in greenhouse conditions. The distinctive aspect of this research in compared to the same researches conducted in the past was to determination of ETc 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 level including 0.7, 4, 8 and 12 dS m^{-1} were used. The experiment was carried out as factorial (with three factors including salinity, irrigation water and growth stage) in a form of completely randomized design with three replicates. For computing of ET_c and crop coefficient 36 pots were used as a weighing micro lysimeter. Soil moisture status in micro lysimeter was followed through weighting. Before each irrigation event, lysimeters and their content were weighted and then water content needed to reach the soil moisture to field capacity, was calculated. Estimating of ET_0 in greenhouse conditions was done by planting grass in 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 under normal conditions (no salinity and drought stress). In all of the irrigation treatments, ET_c decreased by increasing the irrigation water salinity. ET_c decreased by 9, 21 and 32% respectively, in W_0S_1, W_0S_2 and W_0S_3 treatments compared to normal conditions. The results also indicated that quadruple distinct growth stages were identified in the seasonal changes in K_c. In the first stage (initial), the $K_{c\ ini}$ 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 maximum values were occurred when the plants reached maximum cover, which coincided with the initial mid-season stage. In the third stage (mid-season), the $K_{c\ mid}$ values were high and more or less constant, and 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 growing period denominated $K_{c\ end}$. In this study, the average crop coefficient values for camelina in normal conditions were determined to be 0.45 during the initial stage, 1.35 during the mid-season, and 0.5 during the late season stage. Camelina crop coefficient at the initial, development, middle and final growth stage of W_2S_3 treatment dectreased by 44, 60, 64 and 54% respectively compered to W_0S_0 treatment.

Conclusions: The findings of this research revealed that by increasing irrigation water salinity to 4, 8 and 12 dS m^{-1} crop evapotranspiration (ET_c) decreased to 223, 193 and 166 mm respectively. On the other hand, 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 to decrease in quality and quantity of groundwater resources in most regions of Iran especially in Kashmar plain, it could be suggested that the crop coefficient of camelina was determined under 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. and 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. Manage. 132, 1–9.
4. Zubr, J. 2003. Qvalitative variation of *Camelina sativa* seed from different locations. Ind. Crops. Prod. 17(3), 161–169.

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

مهدی مکاری[1*]، امیرحسین قادری و جواد علایی

چکیده

به‌منظور تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی کاملینا در مراحل مختلف رشد در شرایط نرمال (بدون کمبود آب و شوری) و غیرنرمال (تحت تنش شوری و خشکی)، آزمایش گلدانی به‌صورت فاکتوریل (با سه فاکتور شوری، آبیاری و مرحله رشد) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و سه تیمار آبیاری شامل W_0، W_1 و W_2 که به‌ترتیب ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی و چهار سطح شوری S_0، S_1، S_2 و S_3 که به‌ترتیب ۰/۷، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بودند، در گلخانه‌ای با پوشش پلاستیکی انجام شد. نتایج نشان داد که مقدار کل تبخیر-تعرق کاملینا طی ۶۱ روز دوره رشد در گلخانه 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 و (بدون تنش شوری)، متوسط ضریب گیاهی در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی رشد به‌ترتیب ۰/۴۵، ۰/۹، ۱/۳۵ و ۰/۵ به‌دست آمد. ضریب گیاهی کاملینا در مرحله اولیه، توسعه، میانی و انتهایی رشد در تیمار W_2S_3 نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۴۴، ۶۰، ۶۴ و ۵۴ درصد کاهش یافت. با توجه به کاهش کمی 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.

مقدمه

تبخیر- تعرق گیاه که از ویژگی‌های فیزیولوژیکی، 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، مطالعات بیلان آبی محصول و مدیریت آب آبیاری فصلی ضروری به نظر می‌رسد (Okechukwu and Mbajiorgu, 2020). معمول‌ترین روش محاسبه تبخیر-تعرق گیاه، استفاده از روش ضریب گیاهی است (Shukla et al., 2014). ضریب گیاهی (K_c) نسبت تبخیر-

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

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

نسخه پیش از انتشار

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 که با استفاده از لایسی‌متر وزنی در آلباسیته در مرکز اسپانیا انجام شد بیش‌ترین مقدار ضریب گیاهی برای آفتابگردان در مرحله میانی رشد به‌ترتیب ۱/۱۷ برای سال اول و ۱/۲۱ برای سال دوم گزارش گردید. هم‌چنین مقدار تبخیر-تعرق گیاه برای سال اول ۶۱۹ میلی‌متر و برای سال دوم ۵۷۶ میلی‌متر تخمین زده شد (Lopez-Urrea et al., 2014). تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای، توسط دو لایسی‌متر کوچک در گلخانه‌ای تحقیقاتی در شمال تهران اندازه‌گیری شدند. تبخیر-تعرق خیار در طول دوره رشد چهار ماهه برابر ۲۷۳/۲ میلی‌متر و میانگین مقادیر ضریب گیاهی در مرحله ابتدایی توسعه، میانی و انتهایی رشد به‌ترتیب 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 ۲/۸۶ و ۳/۳۲ میلی‌متر در روز برآورد گردید. هم‌چنین در این مطالعه ضریب گیاهی برنج در مراحل چهارگانه رشد (مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی) به‌ترتیب ۰/۳۲، ۰/۵۲، ۰/۷۶ و ۰/۸۸ تخمین زده شد (Chatterjee et al., 2021). نتایج آزمایشات لایسی‌متری برای تعیین کل آب مصرفی و ضریب گیاهی نیشکر در پیناما میانمار نشان داد که ضریب گیاهی نیشکر در مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد به‌ترتیب ۰/۵۳، ۰/۸۱، ۱/۲۵ و ۱/۲۷ و مقدار کل آب مصرفی آن در طول فصل رشد ۱۳۶۹ میلی‌متر به‌دست آمد (Win et al., 2014). در پژوهشی که به‌منظور تعیین ضریب گیاهی دوجزئی فلفل دلمه و هندولنه در منطقه نیمه‌گرمسیری فلوریدا با استفاده از لایسی‌مترهای زهکش‌دار بزرگ با ابعاد ۱/۳۷ × ۳/۶۵ × ۴/۸۷ متر انجام شد ضریب گیاهی پایه برای مرحله اولیه، میانی و انتهایی فصل رشد فلفل دلمه به‌ترتیب ۰/۱۲، ۰/۶۸ و ۰/۷۷ و برای هندوانه به‌ترتیب ۰/۰۵، ۰/۹۶ و ۰/۶۶ گزارش گردید (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 ۰/۶۵، ۱/۲ و ۰/۷۵ بود که با مقادیر ارائه شده در نشریه فائو ۵۶ مشابهت داشت (Lopez-Urrea et al., 2009). در پژوهشی دیگر تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی هندوانه در شرایط استفاده از مالچ پلاستیکی و استفاده از روش آبیاری قطره‌ای در منطقه نیمه‌گرمسیری فلوریدا اندازه‌گیری شد. مقدار تبخیر-تعرق گیاه در طول فصل رشد ۲۷۸ میلی‌متر و ضریب گیاهی برای مراحل اولیه، میانی و انتهایی فصل رشد به‌ترتیب ۰/۶۵، ۱/۰۱ و ۰/۷۱ گزارش گردید (Shukla et al., 2014). به‌منظور تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی سیب‌زمینی، مطالعه‌ای در طی سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ در مرکز تحقیقات و ترویج

نسخه پیش از انتشار

کشاورزی آبی واقع در دانشگاه ایالتی واشنگتن انجام شد. نتایج نشان داد تبخیر-تعرق گیاه در مرحله میانی به‌طور متوسط ۷/۲۲ میلی‌متر بر روز بود. از طرفی مقدار ضریب گیاهی سیب زمینی در مرحله ابتدایی، میانی و انتهایی رشد به‌ترتیب ۰/۴، ۰/۹۵ و ۰/۵۷ گزارش گردید (Gonzalez et al., 2023). در منطقه نیمه‌خشک ایران (مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی شهرستان کرمانشاه)، پژوهشی به‌منظور تعیین ضریب گیاهی گشنیز صورت گرفت. 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 پایانی به‌ترتیب ۰/۶۶، ۱/۱۹، ۱/۳۶ و ۰/۹۸ به‌دست آمد (Ghamarnia et al., 2013).

در مناطق خشک و نیمه‌خشکی 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 ضرورت احساس می‌گردد که 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 می‌شود و 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 می‌شود 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 حیوانات نیز به‌شمار می‌رود. برخی صفات زراعی مهم مانند طول دوره رشد کوتاه (یعنی 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 به‌ترتیب 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 است و علی‌رغم سازگاری بسیار خوب این گیاه کم‌آب طلب و ارزشمند با شرایط اقلیمی شهرستان کاشمر، هنوز مطالعه خاصی در خصوص تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی کاملینا در این منطقه انجام نشده است، در پژوهش حاضر سعی گردید تا اولاً تبخیر-تعرق واقعی کاملینا در شرایط آبیاری کافی و کم‌آبیاری همراه با شوری در گلخانه اندازه‌گیری شود 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 گردد. خلأ مطالعات گذشته، عدم اندازه‌گیری تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی کاملینا در شرایط گلخانه و آبیاری با آب شور بود. لازم به ذکر است که گزارش نشدن مقادیر ضریب گیاهی کاملینا توسط فائو ۵۶ نیز دلیلی دیگر بر ضرورت انجام پژوهش حاضر بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه‌ای با پوشش پلاستیکی در محل 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. متوسط بارندگی سالانه

جدول ۱. تقویم زراعی محصولات مورد مطالعه

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

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 (%)	کل آهک خاک Total lime of soil (%)	سدیم Na^+ (mg kg^{-1})	پتاسیم K^+ (mg kg^{-1})	فسفر P (mg kg^{-1})	نیتروژن N (%)	کربن آلی O.C (%)	نسبت جذب سدیم SAR	رسانایی الکتریکی EC (dS m^{-1})	واکنش خاک pH
لومی شنی Sandy loam	71	17	12	14.6	202.91	173.52	2.9	0.03	1.42	5.89	1.34	7.49

منطقه ۱۹۲/۱ میلی‌متر می‌باشد. در جدول (۱)، تاریخ کاشت، تاریخ شروع و اتمام آزمایش و رقم محصولات مورد مطالعه ارائه شده است.

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 (۲) 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.

به 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).

$$LF = 0.3274X^{-1.63} \quad (۲)$$

نسخه پیش از انتشار

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	رسانایی الکتریکی	واکنش خاک	پتاسیم	سدیم	منیزیم	کلسیم	سولفات	کلر	بی‌کربنات	نسبت جذب سدیم
Water supply	EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	K^+	Na^+	Mg^{+2}	Ca^{+2}	$So4^{-2}$	Cl^-	HCo_3^-	SAR
			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	13.82	7.25	0.48	107.97	25.6	14.4	27.35	117.5	3.6	24.15

نتایج آنالیز 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 ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. ابتدا بذور کاملینا 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 ۳۳ بوته در مترمربع (Asadi et al., 2018)، در هر گلدان ۳ 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. 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، 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 دسی‌زیمنس 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. البته در ابتدا این کار با زحمت زیادی همراه بود اما بعد از مشخص شدن نسبت‌های اختلاط برای تیمارهای شوری مختلف، در ادامه آزمایش تهیه آب با شوری‌های مورد نظر دیگر چندان دشوار نبود. مقدار SAR تیمارهای شوری که از اختلاط آب شور و شیرین به‌دست آمدند به‌همراه رسانایی الکتریکی 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 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 این‌که شرایط مناسب و بدون تنش برای تبخیر- تعرق مهیا گردد.

نسخه پیش از انتشار

جدول ۴. رسانایی الکتریکی، واکنش خاک و نسبت جذب سدیم تیمارهای آب شور

Table 4. Electrical conductivity, pH and SAR for saline water treatments

کد تیمار آب شور Saline water treatment code	رسانایی الکتریکی Electrical conductivity (dS m-1)	واکنش خاک pH	نسبت جذب سدیم 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

برای محاسبه میزان تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی کاملینا، 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 ۸/۵ 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):

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

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 می‌گردید. 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.

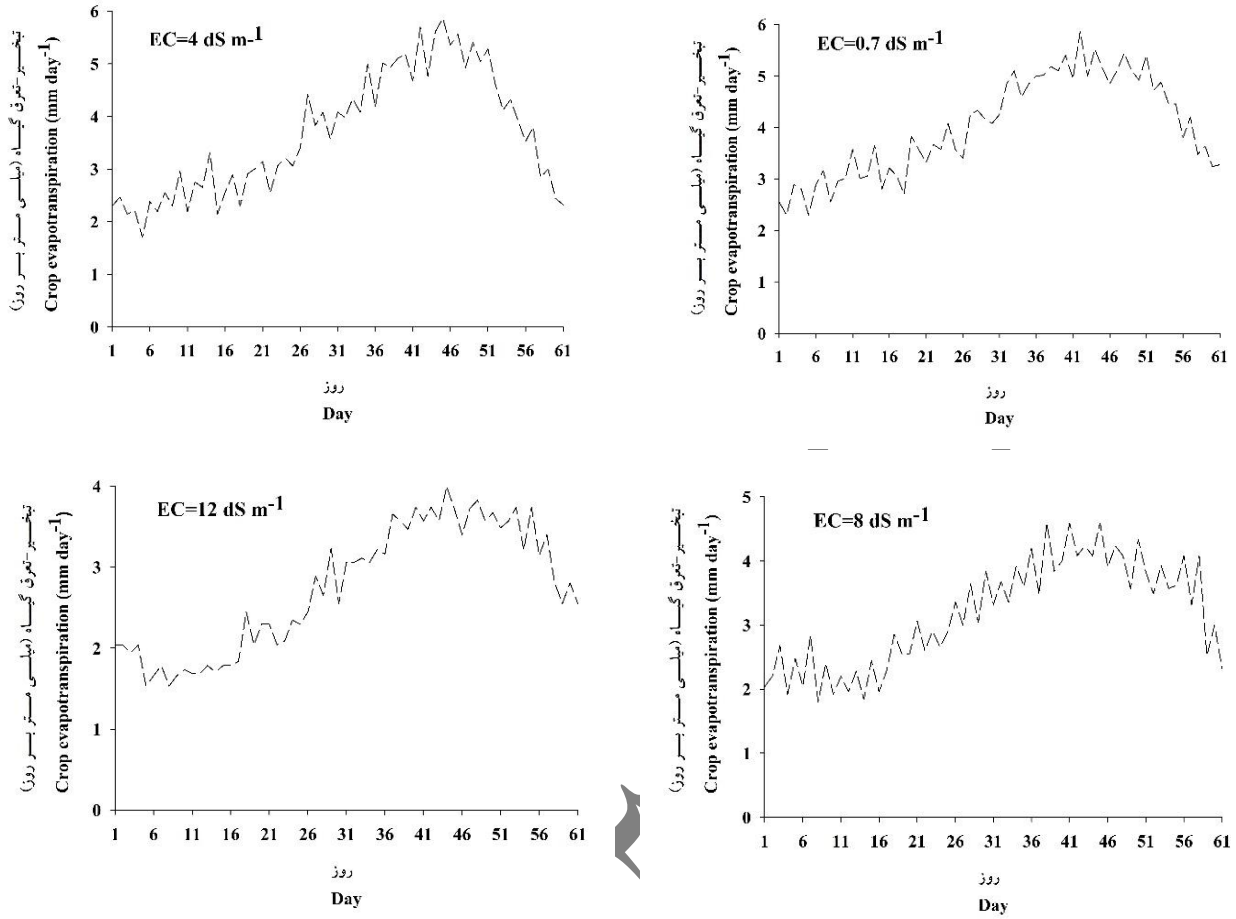
با در نظر گرفتن گیاه چمن به‌عنوان گیاه مرجع ضرایب گیاهی در مراحل چهارگانه رشد و در شرایط بدون تنش شوری و خشکی از رابطه (۴) محاسبه گردید.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \qquad (۴)$$

در این رابطه، K_c ضریب گیاهی بین دو مقطع زمانی متوالی، ET_c و ETo به‌ترتیب میزان تبخیر- تعرق گیاه کاملینا 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 نرم‌افزارهای 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. تحت این شرایط مقادیر ETo برای چهار مرحله رشد کاملینا به‌ترتیب ۶۱، ۱۰۵، ۵۷/۵ و ۹۱ و برای کل مدت آزمایش (فصل رشد) ۳۱۴/۵ میلی‌متر ثبت 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. مطابق 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.



شکل ۱. مقادیر اندازه¬گیری شده 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

بیش‌ترین مقدار تبخیر-تعرق کاملینا برای تیمار S_0W_0 در مرحله توسعه و به اندازه ۵/۸ میلی بر روز و کم‌ترین مقدار آن در مرحله ابتدایی رشد و به لندازه ۲/۳ میلی‌متر در روز بود که با نتایج به‌دست آمده توسط Silva et al., (2021) مطابقت دارد. آن‌ها در مطالعه خود 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) 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 کاملینا، در مرحله توسعه روند افزایشی و بعد از آن روند کاهشی را نشان داد که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی داشت (Lovelli et al., 2005). علی‌رغم تغییرات روزانه تبخیر-تعرق کاملینا در گلخانه، استفاده از میکرولایسیمترهای وزنی دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری مستقیم تبخیر-تعرق گیاه به‌شمار می‌روند و تغییرات روزلنه 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 کاملینا در جدول (۵) نشان می‌دهد که هم اثر اصلی تیمارها (مرحله رشد، آبیاری و

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

Table 5. Variance analysis (MS) of camelina evapotranspiration under salinity stress, water deficit and growth stage

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	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 × Irrigation × Growth stage Salinity	18	388.16	6816.92**
خطا Error	96	0.057	-
ضریب تغییرات Variation coefficient	-	0.64	-

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

** significant at 1% probability level

شـوری) و هم اثر متقابل دو جانبه و سـه جانبه آن‌ها بر تبخیر- تعرق کاملینا در سـطح احتمال یک درصـد (P<0.01) معنی‌دار است.

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

با توجه به جدول (۶) مشـخص می‌شـود که بیش‌ترین مقدار تبخیر-تعرق کاملینا در طول فصل رشد مربوط به تیمار W_0S_0 و به اندازه ۲۴۵ میلی‌متر و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار W_2S_3 و بـه انـدازه ۸۹ میلی‌متر بود. نیـاز آبی فصـلی کـاملینـا در پژوهش‌های انجام شـده در خارج از کشـور (French et al., 2009; Hunsaker et al., 2013; George et al., 2018 and Neupane et al., 2020) بـه‌ترتیـب ۳۷۸، ۴۸۰ ، ۴۶۸ و ۲۵۰ میلی‌متر گزارش شد که در مقایسه با نیاز آبی کاملینا در پژوهش حاضـر (یعنی ۲۴۵ میلی‌متر) به‌ترتیب به اندازه ۵۴، ۹۵، ۹۱ و ۲ درصـد بیش‌تر بود. در پژوهش‌های داخلی کشـور که در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و گلخانه تحقیقاتی دانشگاه رازی در کرمانشاه و در مزرعه تحقیقاتی بخش مهندسی آب دانشکده کشـاورزی دانشـگاه شـیراز انجام شـد، مقدار نیاز آبی کاملینا در طول فصـل رشـد به‌ترتیب ۵۵۰، ۵۳۰ و ۲۳۰ میلی‌متر گزارش شد (Frooghi, 2016; Gholamian et al., 2018 and

نسخه پیش از انتشار

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

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

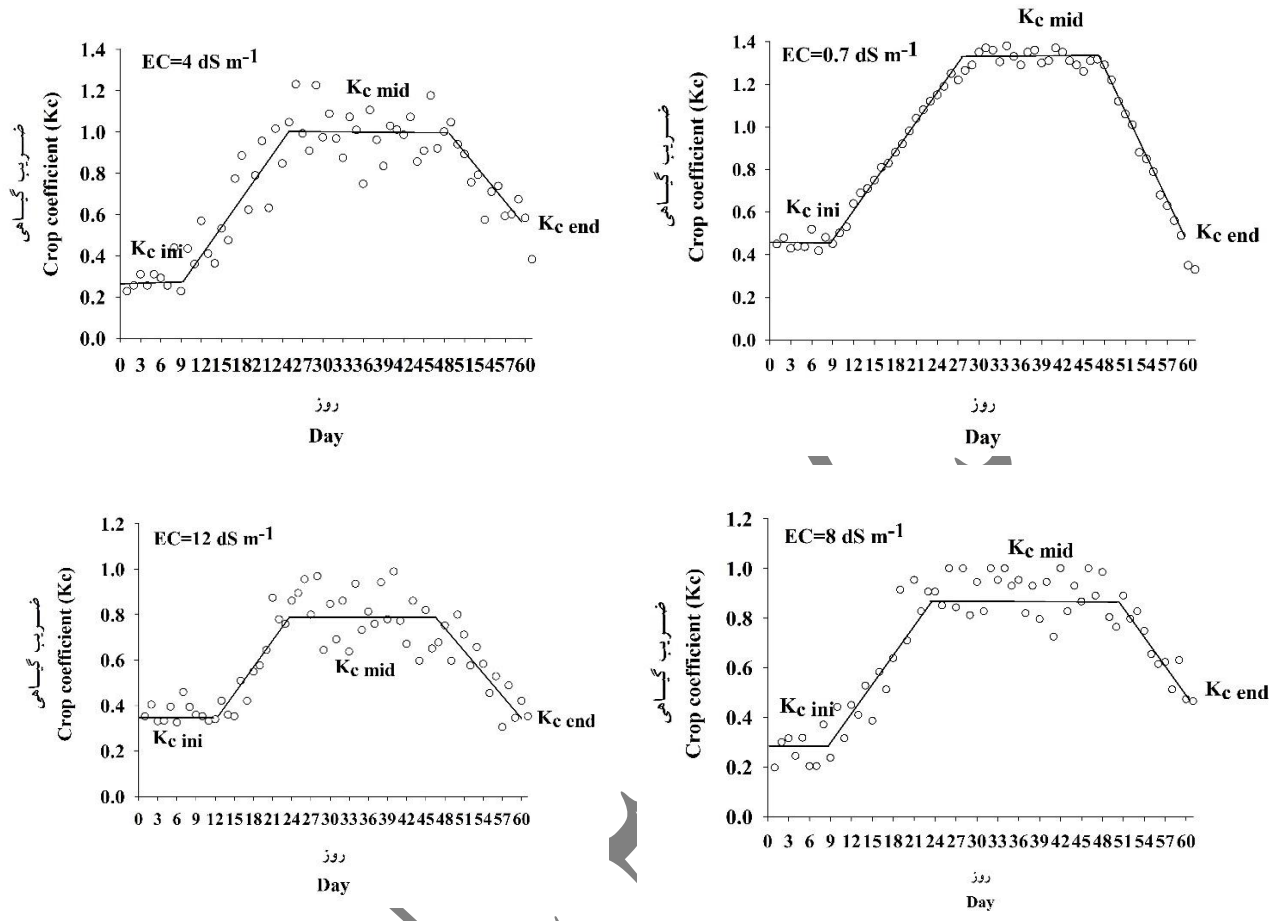
تیمار Treatments	مرحله استقرار Establishment	مرحله توسعه Development	مرحله تشکیل محصول Yield formation	مرحله رسیدگی Ripening	کل فصل رشد Total growing season
		تبخیر–تعرق گیاه (میلی‌متر)			
W_0S_0	21.45^{b}	64.32^{a}	98.38^{a}	61.04^{b}	245.19^{a}
W_0S_1	20.24^{c}	64.01^{a}	88.36^{c}	50.6^{d}	223.21^{b}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

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

Talebnejad et al., 2021). علت اختلاف مقادیر نیاز آبی کاملینا در برخی از مطالعات داخل و خارج از کشور را می‌توان به متفاوت بودن شرایط آب و هوایی و اقلیمی، طول دوره رشد و کشت این گیاه در مزرعه یا گلخانه مربوط دانست. علت پایین بودن آب مصرف شده توسط کاملینا 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 و منجر به کاهش تبخیر–تعرق و در نتیجه نیاز آبی گیاه شد. در تمام 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 ۹، ۲۱ و ۳۲ درصد بود. در یک آزمایش انجام شده در شرایط گلخانه‌ای در کرمانشاه، با استفاده از معادله بیلان آب، نیاز آبی کاملینا در شرایط میانگین دمایی ۲۸/۹ درجه سانتی‌گراد و طول دوره رشد ۱۱۵ روز، ۵۳۰ میلی‌متر برآورد گردید (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 اتفاق افتاد. در پژوهشی مشابه در مورد پیاز، نتایج به‌دست آمده با نتایج مطالعه حاضر مطابقت 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 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 اتفاق افتاد. با کاهش مقدار آب آبیاری در تیمارهای کم‌آبیاری، تبخیر–تعرق کاملینا کاهش یافت. مشابه با نتایج پژوهش حاضر، کاهش تبخیر–تعرق گیاه با کاهش مقدار آب آبیاری گزارش شده است

نسخه پیش از انتشار



شکل ۲. منحنی ضریب گیاهی کاملینا در گلخانه برای چهار تیمار شوری با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی

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

(Gong et al., 2020). تبخیر-تعرق کاملینا در شـــرایط آبیاری کامل ۲۴۵ میلی‌متر و در شـــرایط فقط کم‌آبیاری برای تیمارهای W_1S_0 و W_2S_0 به‌ترتیب ۱۶۴ و ۱۱۶ میلی‌متر بود.

در شـکل (۲) نمودار تغییرات ضـریب گیاهی در طول دوره رشـد برای سطوح مختلف شـوری در شرایط بدون کم‌آبی نشان داده شـده اسـت. با توجه به شـکل (۲) مشـخص می‌شـود که در طول دوره رشـــد، چهار مرحله مجزا برای ضـــریب گیاهی قابل تشـــخیص اســـت. در مرحله اولیه مقادیر ضـــریب گیاهی کمی بیش‌تر یا کم‌تر از یک مقدار ثابت هستند و مقادیر آن نسبتاً پایین اسـت. دلیل پایین بودن مقادیر ضـریب گیاهی در مرحله رشـد را می‌توان به اثر تبخیر از ســـطح خاک بعد از آبیاری یا بارندگی و درصد کم پوشش گیاهی در سطح زمین مربوط دانست (Lopez-Urrea et al., 2020). در مرحله توسـعه مقادیر ضـریب گیاهی افزایش پیدا می‌کنند و مقارن با مرحله رشـــد زایشـــی که گیاه دارای بیش‌ترین پوشش در سطح زمین است، به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسند.

در مرحله میانی مقادیر ضـــریب گیاهی بالا و کمی بیش‌تر یا کم‌تر از یک مقدار ثابت هســـتند و در مرحله پایانی مقادیر ضـــریب گیاهی به‌صـــورت روزانه کاهش می‌یابند. دلیل کاهش مقادیر K_c در مراحل پایانی رشـد، مسـن شـدن و پیری برگ‌ها می‌باشد (Lopez-Urrea et al., 2020). هم‌چنین بررسی تغییرات ضـریب گیاهی در تیمارهای تنش شـوری و خشـکی (نتایج به دلیل محدودیت صفحات مقاله ارائه نشده است) نشان داد که با افزایش تنش آبی و شـــوری، ضـــریب گیاهی در مراحل اولیه،

میانی و توسعه کاهش می‌یابد. این الگوی کاهشی به دلیل کاهش تبخیر–تعرق کاملینا 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 بیش‌ترین 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 به‌دست آمد (Lopez-Urrea et al., 2020) که با نتایج به‌دست 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 کم‌تر از ۰/۴ به‌دست آمد.

در جدول (۷) طول مراحل چهارگانه رشد گیاه و ضریب گیاهی برای تیمارهای مختلف آزمایش ارائه شده است. با توجه به جدول (۷) مشخص می‌شود که مقدار ضریب گیاهی کاملینا در شرایط بدون کمبود آب و شوری، در مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی رشد به‌ترتیب 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 تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی شهرستان کرمانشاه انجام شد مقدار ضریب گیاهی کاملینا در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی رشد به‌ترتیب 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 به‌ترتیب ۱/۲ و ۰/۵۴ گزارش شده است (Hunsaker et al., 2011). در پژوهشی دیگر مقدار ضریب گیاهی کاملینا در مرحله میانی و پایانی به‌ترتیب 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 استقرار، توسعه، تشکیل محصول و رسیدگی برای شرایط نرمال (تیمار شاهد) به‌ترتیب ۹، ۲۱، ۱۸ و ۱۳ روز بودند (جدول ۷). با توجه به جدول (۷) مشخص 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 گردید. 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 متوسط 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 متوسط ضریب گیاهی فصلی کاملینا در طول فصل رشد گردید. به عبارتی سهم کاهش آب آبیاری نسبت به افزایش شوری آن در کاهش متوسط ضریب گیاهی فصلی کاملینا بیش‌تر بود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تبخیر–تعرق و ضریب گیاهی کاملینا در شرایط نرمال (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 ۲۴۵ میلی‌متر برآورد گردید. با افزایش شوری آب آبیاری به ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، 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.

نسخه پیش از انتشار

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 at100 and 50 percent of providing crop water requirement

تیمار ۵۰٪ نیاز آبی 50% water requirement treatment		تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی 100% water requirement treatment		مرحله رشد فنولوژیکی گیاه	سطوح شوری
ضریب گیاهی	طول مرحله فنولوژیکی مشاهده شده در گلخانه (روز)	ضریب گیاهی	طول مرحله فنولوژیکی مشاهده شده در گلخانه (روز)		
Crop coefficient (K_c)	Phonologic phases lengths observed on greenhouse (Day)	Crop coefficient (K_c)	Phonologic phases lengths observed on greenhouse (Day)	Phenological plant growth stage	Salinity levels
0.28	10	0.45	9	اولیه Initial	شوری ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر S_0
0.49	10	0.9	21	توسعه Development	
0.7	29	1.35	18	میانی Middle	
0.26	12	0.5	13	انتهایی End	
0.32	11	0.25	8	اولیه Initial	شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر S_1
0.48	11	0.62	19	توسعه Development	
0.65	26	1	20	میانی Middle	
0.33	13	0.55	14	انتهایی End	
0.28	8	0.25	9	اولیه Initial	شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر S_2
0.39	14	0.57	13	توسعه Development	
0.5	26	0.9	29	میانی Middle	
0.15	13	0.45	10	انتهایی End	
0.25	9	0.35	15	اولیه Initial	شوری۱۲ دسی‌زیمنس بر متر S_3
0.36	11	0.6	11	توسعه Development	
0.48	31	0.85	17	میانی Middle	
0.23	10	0.32	18	انتهایی End	

نسخه پیش از انتشار

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 کاملینا در این منطقه، محاسبه تبخیر-تعرق کاملینا 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 کاملینا نسبت به شرایط موجود می‌گردد. لذا ضروری به نظر می‌رسد که ضریب گیاهی کاملینا در مراحل مختلف رشد بر اساس شوری آب منطقه اصلاح شود. در مطالعه حاضر، ضریب گیاهی کاملینا در شرایط آبیاری با آب غیرشور و بدون تنش آبی، در مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی به‌ترتیب 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 ۰/۳۵، ۰/۶، ۰/۸۵ و ۰/۳۲ 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 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 ۷۹۹/۱۴۰۳/۲۹۳ق) تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع

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

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, 11 July, 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. and Appl. Climatol. 146, 155–171. https://doi.org/10.1007/s00704-021-03710-0.
5. Doorenbos, J., Pruitt, W.O. 1977. Crop water requirements. Irrig. and Drain. 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. Wat. And Irrig. Manage. 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. of Soil and 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

نسخه پیش از انتشار

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. And 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. and Irrig. Manage. 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. Manage. 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. Manage. 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. Manage. 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. Manage. 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. Manage. 72, 147–159. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.09.009.
23. Martin, D.L., Gilly, J.R., 1993. Irrigation water requirements. Part 623, national engineering handbook, chap 2. USDA-SCS, Washington.
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. and 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. Manage. 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. Manage. 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. Manage. 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. Manage. 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. 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. Manage. 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. Manage. 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. Qvalitative 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.

نسخه پیش از انتشار