University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

Investigating the Morpho-Physiological Traits, Yield, and Seed Quality of Three Accessions of Camelina under Water Stress Conditions

Azita Yari [1], Nusratullah Abbasi [2]✉, Somayeh Hajinia [3]

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
2. Corresponding Author, Department of Agronomy and Plant Breeding Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. Email: n.abbasi@ilam.ac.ir.
3. Department of Agronomy and Plant Breeding Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: July 12, 2023
Received in revised form: November 19, 2023
Accepted: November 27, 2023
Published online: June 21, 2024

Keywords:
Camelina,
irrigation,
oil,
photosynthetic pigments,
photosynthesis rate,
yield.

ABSTRACT

Drought stress is one of the most important factors that reduce the yield of crops in arid and semi-arid regions, including the climatic conditions of Iran. The experiment was conducted as factorial based on completely randomized design with three replications in the research greenhouse of Ilam University in 2020. The experimental factors included irrigation at three levels (100, 60, and 30% of field capacity) and three accessions of camelina (Kermanshah, Sabzevar, and Shahrekord). The results showed that under the irrigation conditions of 30%, seed yield, biological yield, harvest index, plant height, number of capsules per plant, number of seeds per capsule, relative leaf water content, photosynthesis rate, transpiration rate, stomatal conductance and total chlorophyll respectively 69.4, 53.8, 33.9, 44.1, 72.9, 25.6, 43.8, 72.0, 62.9, 56.7, and 61.1% reduction compared to optimal irrigation they found There was no difference observed between the three populations investigated in different irrigation conditions in terms of the investigated traits. In addition, the results showed that the highest amount of camellia seed oil (39%) was obtained in Kermanshah massif under favorable irrigation conditions; which decreased by 40.8% under severe stress of dehydration. In general, it is possible to use camelina Kermanshah under conditions of moderate water stress for oil production.

Cite this article: Yari, A., Abbasi, N., & Hajinia, S. (2024). Investigating the morpho-physiological traits, yield and seed quality of three accessions of camelina under water stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *55*(2), 89-104. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.361897.655017.

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2023.361897.655017

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

بررسی خصوصیات مورفو– فیزیولوژیک، عملکرد و کیفیت دانه سه توده کاملینا تحت شرایط تنش کم‌آبی

آزیتا یاری[۱] | نصرت‌اله عباسی[۲]✉ | سمیه حاجی‌نیا[۳]

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: n.abbasi@ilam.ac.ir
۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:
آبیاری،
رنگیزه‌های فتوسنتزی،
روغن،
سرعت فتوسنتز،
عملکرد،
کاملینا.

چکیده

تنش خشکی از مهمترین عوامل کاهنده عملکرد گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله شرایط آب و هوایی کشور ایران می‌باشد. این پژوهش با هدف مطالعه خصوصیات زراعی و فیزیولوژیکی سه توده کاملینا تحت شرایط تنش کم‌آبی در آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ایلام در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل آبیاری در سه سطح (۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و سه توده کاملینا (کرمانشاه، سبزوار، و شهرکرد) بود. نتایج نشان داد که تحت شرایط آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت، ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، محتوای نسبی آب برگ، سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق، هدایت روزنه‌ای و کلروفیل کل به‌ترتیب ۶۹/۴، ۵۳/۸، ۳۳/۹، ۴۴/۱، ۷۲/۹، ۲۵/۶، ۴۳/۸، ۷۲/۰، ۶۲/۹، ۵۶/۷، و ۶۱/۱ درصد در مقایسه با آبیاری مطلوب کاهش یافتند. بین سه توده بررسی‌شده در شرایط آبیاری مختلف از نظر صفات بررسی‌شده تفاوتی مشاهده نشد. همچنین نتایج نشان داد بیشترین مقدار روغن دانه کاملینا (۳۹ درصد) در توده کرمانشاه تحت شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد که تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی ۴۰/۸ درصد کاهش یافت. به‌طور کلی، می‌توان از کاملینا توده کرمانشاه تحت شرایط تنش متوسط کم‌آبی برای تولید روغن بهره برد.

استناد: یاری، آ.، عباسی، ن.، و حاجی‌نیا، س. (۱۴۰۳). بررسی خصوصیات مورفو– فیزیولوژیک، عملکرد و کیفیت دانه سه توده کاملینا تحت شرایط تنش کم‌آبی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۲)، ۸۹-۱۰۴. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.361897.655017

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان

۱. مقدمه

یکی از مهمترین تنش‌های محیطی محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی در سراسر جهان، تنش خشکی است که بر رشد و نمو گیاه اثرات نامطلوبی دارد (Lum *et al*., 2014). تنش کم‌آبی، عملکرد و کیفیت محصول گیاهان زراعی را از طریق تغییر در رشد، فعالیت‌های فیزیولوژیکی و متابولیکی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Jian-yong *et al*., 2017). گیاهان نیز بسته به نوع ژنوتیپ، مدت تنش و شدت تنش کم‌آبی، از طریق تغییرات نموی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی، واکنش‌های مختلفی به تنش خشکی نشان می‌دهند (Shahrabi Farahani *et al*., 2014). کاهش مقدار رطوبت نسبی برگ و بسته‌شدن روزنه‌ها اولین تأثیر تنش کم‌آبی در گیاهان بوده که باعث کاهش ورود دی‌اکسید کربن به داخل سلول‌های مزوفیل و کاهش سرعت فتوسنتز خالص شده که در نهایت منجر به کاهش تولید محصول در گیاه می‌شود (Armand *et al*., 2015). تحت تنش کم‌آبی، فتوسنتز از اولین فرآیندهایی است که تحت تأثیر قرار می‌گیرد؛ با کاهش مقدار آب قابل دسترس، سرعت فتوسنتز کاهش می‌یابد که عامل اصلی تعیین‌کننده توان تولید گیاهان زراعی و تولید ماده خشک است (Taiz & Zeiger, 2002). عدم کارایی دستگاه فتوسنتزی و آسیب‌دیدن آن در اثر تنش کم‌آبی به مصرف‌نشدن دی‌اکسید کربن و افزایش غلظت آن منجر می‌شود (Ashraf & Harris, 2013). تغییر در سرعت فتوسنتز موجب صدمه به غشای سلول‌های مزوفیل، کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و آسیب به ساخت و انتقال مواد پرورده می‌شود که در نتیجه کاهش عملکرد را در پی دارد (Abdoli & Saeidi, 2013).

با توجه به اینکه بخش وسیعی از مساحت ایران از نظر اقلیمی جزء مناطق نیمه‌خشک و خشک محسوب می‌شود، بنابراین یکی از مهمترین تنش‌های غیر زیستی در این منطقه تنش کم‌آبی است و بهترین راهکار برای جلوگیری از کاهش عملکرد گیاهان زراعی کشت گیاهان متحمل به خشکی است (Vega-Galves *et al*., 2010). بهترین سناریو در این راستا، معرفی یک گیاه زراعی متحمل به تنش‌های غیر زیستی با پتانسیل صنعتی بالا در مناطق خشک است.

کاملینا (*Camelina sativa* L.) گیاهی روغنی یک‌ساله، بومی شمال اروپا و متعلق به خانواده شب‌بو (*Brassicaceae*) است که با عنوان کتان‌کاذب نیز (false flax) شناخته شده است. طول دوره زندگی این گیاه کوتاه (۸۵ تا ۱۰۰ روز) بوده و دارای سامانه ریشه‌ای کم‌عمق است. این گیاه با مناطق نیمه‌خشک سازگاری خوبی دارد، اما افزایش دما و شروع گرما در فصل تابستان می‌تواند عملکرد دانه آن را تحت تأثیر قرار دهد (Hasani Balyani *et al*., 2020). دانه‌های این گیاه کوچک و دارای سطح زبر است که بالاترین درصد روغن (۳۵ تا ۴۵ درصد) و بیشترین کارایی مصرف آب نسبت به سایر دانه‌های روغنی مانند کلزا را دارد (Hasani Balyani *et al*., 2020). کاملینا قادر به رشد در اقلیم‌ها و خاک‌های مختلف است و نسبت به سایر گیاهان دانه روغنی نیاز کمی به آب، کود و آفت‌کش دارد (Moser, 2010). همچنین، پژوهش‌های بسیاری سازگاری بالای کاملینا نسبت به شرایط نامساعد محیطی مانند تنش‌های دمایی، خشکی (Waraich *et al*., 2020)، شوری (Morales *et al*., 2017) و کمبود غذایی (Sintim *et al*., 2016) را گزارش کرده‌اند. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعهٔ Waraich *et al*. (2020) نشان داد که با افزایش شدت تنش کم‌آبی صفات رشدی گیاه کاملینا مانند شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، عملکرد روغن و اجزای آن و صفات مرتبط با کیفیت محصول مانند درصد پروتئین و روغن دانه کلزا و کاملینا به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند، اما عملکرد، مقدار پروتئین دانه و کیفیت روغن کاملینا در مقایسه با کلزا بیشتر بود که نشان‌دهنده تحمل بیشتر آن در مقایسه با کلزا تحت شرایط تنش کم‌آبی است.

Amiri-Darban *et al*. (2020) طی آزمایشی گزارش کردند که عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن دانه کاملینا در شرایط قطع آبیاری از مرحله کپسول‌دهی به‌ترتیب ۴۶، ۸/۵ و ۵۱/۲ درصد و از مرحله گلدهی ۵۱، ۱۸/۷ و ۸۷/۷ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش یافتند. Moradbeigi *et al*. (2019) در بررسی اثر تنش خشکی روی کلزا مشاهده کردند که تعداد کپسول در بوته، محتوای کلروفیل، میزان اولئیک‌اسید و لینولئیک‌اسید کاهش، ولی میزان اسید چرب اروسیک و اسیدپالمیتیک افزایش یافت. همچنین در اولین مطالعه ارائه‌شده از تحقیقات کاملینا در کشور ایران Kahrizi *et al*. (2015) گزارش کردند که کاملینا می‌تواند گزینه مناسبی برای توسعه کشت آن در دیمزارهای کشور باشد.

شناسایی اثرات تنش‌های کم‌آبی بر فیزیولوژی گیاهان، برای آگاهی از سازوکار مقاومت و بقای آنها به‌منظور افزایش تحمل در برابر تنش ضرورت دارد. با توجه به اهمیت گیاه کاملینا در تغذیه انسان و جدیدبودن این گیاه و قابلیت‌های فراوان از جمله کیفیت

بسیار بالای دانه آن از نظر روغن، تحمل بالا به خشکی و سایر تنش‌ها، این پژوهش با هدف تأثیر تنش کم‌آبی بر خصوصیات کمی و کیفی سه توده کاملینا اجرا شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

به‌منظور بررسی خصوصیات مورفو- فیزیولوژیکی، عملکرد و کیفیت دانه ارقام کاملینا تحت شرایط تنش کم‌آبی، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل آبیاری در سه سطح (۱۰۰، ۶۰، و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و سه توده گیاه کاملینا (کرمانشاه، شهرکرد و شیراز) بودند.

ارقام کاملینا شهرکرد و سبزوار از مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان‌های شهرکرد، سبزوار و کرمانشاه از شرکت بیستون شفا (Bisetonshafa) تهیه شد. برای کشت از گلدان‌های با ارتفاع و قطر دهانه به‌ترتیب ۲۵ در ۲۵ سانتی‌متر با ظرفیت ۱۰ کیلوگرم خاک در گلدان استفاده شد. خاک گلدان مخلوطی از خاک زراعی مزرعه و ماسه بادی با نسبت ۲:۱ بود. کشت در تاریخ ۲۵ آبان سال ۱۳۹۹ صورت گرفت. برای کاشت ابتدا تعداد ۲۰ عدد بذر در هر گلدان کشت و بلافاصله پس از سبز شدن گیاهچه به هشت بوته در گلدان تنک شدند.

تا مرحله سبز شدن گیاهچه و استقرار آنها، آبیاری تمام گلدان‌ها بر اساس ظرفیت زراعی صورت گرفت. پس از مرحله روزت، اقدام به اعمال تنش کم‌آبی شد. ظرفیت زراعی برای بیان نگهداری آب در خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای انجام آبیاری ابتدا ظرفیت زراعی خاک گلدان تعیین شد. برای تعیین ظرفیت آب گلدانی، خاک مورد نظر در داخل گلدان پلاستیکی زهکش‌دار ریخته شد و آبیاری گلدان به‌صورت کامل و در حد اشباع انجام شد. پس از خارج‌شدن کامل آب ثقلی، نمونه خاکی از گلدان گرفته شد. نمونه برداشت‌شده بلافاصله توزین شد (وزن مرطوب خاک). سپس نمونه به آون الکتریکی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت منتقل و بدین‌وسیله وزن خاک خشک نیز مشخص شد. درصد رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی از معادله ۱ محاسبه شد.

$$FC\ (\%) = \frac{FW\text{-}DW}{DW} \times 100$$ معادله (۱)

در این معادله، FC: ظرفیت زراعی، FW: وزن خاک مرطوب و DW وزن خاک خشک است. میزان ظرفیت زراعی خاک معادل ۲۷ درصد بود که با توجه به وزن خاک گلدان‌ها (۱۰ کیلوگرم) میزان آب مورد نیاز برای ۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب ۲۴۳۰، ۱۶۲۰، و ۸۱۰ میلی‌لیتر به‌دست آمد. با در نظر گرفتن وزن گلدان‌ها و شن ته گلدان که به‌عنوان زهکش (۳۰۰ گرم) استفاده شده بود، وزن گلدان‌ها برای اعمال سطوح تنش کم‌آبی به‌ترتیب ۱۲۷۳۰، ۱۱۹۲۰، و ۱۱۱۱۰ گرم محاسبه شد. برای اعمال تنش، سه گلدان به‌عنوان مرجع در نظر گرفته شد که کاملاً مشابه گلدان‌های اصلی بودند. با وزن‌کردن روزانه گلدان‌ها و افزودن آب مصرفی در هر تیمار (میزان کاهش وزن گلدان‌ها)، تیمارهای تنش خشکی اعمال شد. ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به عنوان آبیاری مطلوب، ۶۰ درصد تنش به‌عنوان تنش متوسط و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان تنش شدید در نظر گرفته شد.

در طول دوره رشد کاملینا دمای حداقل و حداکثر گلخانه ۱۸ و ۲۹ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی، ۶۰ درصد بود. اندازه‌گیری خصوصیات فیزیولوژیکی در مرحله گلدهی انجام شد. برای تعیین سرعت فتوسنتزی در واحد سطح (میکرومول دی‌اکسید کربن در متر مربع در ثانیه)، میزان تعرق (میلی‌مول آب در متر مربع در ثانیه)، هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول دی‌اکسید کربن در متر مربع در ثانیه) و غلظت دی‌اکسید کربن زیرروزنه‌ای (میکرومول بر متر مربع در ثانیه) از تحلیل‌گر گاز مادون قرمز قابل حمل مدل LCA-4 ADC IRGA, Modle; LCA, ADC BiosientificLTD Hoddeston, UK؛ ساخت شرکت Hoddesdon انگلستان) استفاده شد. برای اندازه‌گیری متغیرهای مربوط به تبادلات گازی، دو نمونه از هر گلدان به‌صورت تصادفی مشخص و پس از گذاشتن در بین سنسورهای حساس پرومتر و پس از ۳۰ ثانیه قرار دادن برگ درون سنسور، داده‌های مربوطه ثبت شد. اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۰ تا ۱۲ صبح در شرایط نور انجام شد.

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب از برگ‌های توسعه‌یافته به‌طور تصادفی نمونه‌برداری شد. برگ‌های جدا شده از هر بوته سریعاً توزین شده و سپس در آب مقطر به‌مدت چهار ساعت در دمای آزمایشگاه برای رسیدن به آماس کامل قرار گرفتند و پس از این مدت وزن اشباع آنها اندازه‌گیری شد. نهایتاً برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد و محتوای نسبی آب طبق معادله ۲ محاسبه شد (Ritchie & Nguyen, 1990).

معادله (۲) $$RWC=\frac{\text{وزن خشک}-\text{وزن تر}}{\text{وزن خشک}-\text{وزن اشباع}} \times ۱۰۰$$

شاخص پایداری غشاء از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت برگ‌ها ارزیابی شد. برای این منظور نمونه‌های برگی به فالکون آب مقطر با حجم ۳۰ میلی‌لیتر منتقل و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس میزان هدایت الکتریکی آب مقطر همراه نمونه به‌عنوان نشت اولیه اندازه‌گیری شد. نشت ثانویه نیز از طریق اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها پس از حرارت‌دادن آنها در بن‌ماری به‌مدت یک ساعت و در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. شاخص پایداری غشاء از طریق معادله ۳ محاسبه شد (Lutts *et al*., 1996).

معادله (۳) $$\text{شاخص پایداری غشا} = \frac{\text{نشت ثانویه}}{\text{نشت اولیه}} \times ۱۰۰$$

برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی مطابق روش Arnon (1967) از استون ۸۰ درصد استفاده شد. ابتدا ۰/۵ گرم برگ در ۱۰ میلی‌لیتر استون ساییده و به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. سپس فاز رویی جدا و یک میلی‌لیتر از آن برداشته و با نه میلی‌لیتر استون رقیق شد. سپس میزان جذب نور در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ در دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. در نهایت با استفاده از معادله‌های ۴ تا ۷، میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به‌دست آمد.

معادله (۴) $$Chl\ a= (19.3\times A663) – (0.63\times A\ 645)\ V/100W$$

معادله (۵) $$Chl\ b= (19.3\times A645) – (3.6\times A\ 663)\ V/100W$$

معادله (۶) $$Chl= Chl\ a+ Chl\ b$$

معادله (۷) $$Car= (100 \times A470) – 3.27\ (Chl\ a) – 104\ (Chl\ b)/227$$

در این معادلات، V حجم استون، A جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر و W وزن تر نمونه بر حسب گرم است. در پایان فصل رشد، اقدام به برداشت نمونه‌ها از هر گلدان شد و صفات تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع بوته توسط متر، قطر ساقه توسط کولیس دیجیتالی، وزن صد دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری شدند.

قبل از انجام تجزیه واریانس، نرمال‌بودن توزیع داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS var 9.4 با استفاده از آزمون‌های شاپیرو- والک و کولموگراف- اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه واریانس آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با Excel انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد. تجزیه رگرسیون به روش گام‌به‌گام و تجزیه مسیر برای درصد روغن با نرم‌افزار SAS انجام شد.

۳. نتایج پژوهش و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری بر سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، غلظت دی‌اکسید کربن زیرروزنه‌ای، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها، دمای برگ، سرعت تعرق، مقدار رطوبت نسبی برگ، نشت یونی، سطح برگ، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع بوته و قطر ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نشت یونی، سطح برگ و غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای بین ارقام کاملینا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثرات متقابل فاکتورهای آزمایش (آبیاری× ارقام) بر سطح برگ، نشت یونی و غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات آبیاری و نوع ارقام بر پارامترهای مورفو- فیزیولوژیکی کاملینا.

Traits	Mean squares				Coefficient of variation
	Irrigation	accessions	Irrigation× accessions	Error	
Df	2	2	4	18	(%)
Photosynthetic rate	65.251**	0.196^{ns}	0.783^{ns}	1.203	23.88
Stomatal conductance	0.4196**	0.0022^{ns}	0.0003^{ns}	0.0082	21.9
Intercellular CO_2 concentration	28062**	4069**	3580**	331	3.7
Chlorophyll a	2.0757**	0.0015^{ns}	0.0011^{ns}	0.0064	7.8
Chlorophyll b	0.3895**	0.0004^{ns}	0.0011^{ns}	0.0047	14.7
Chlorophyll total	4.2616**	0.0018^{ns}	0.0024^{ns}	0.0163	8.54
Carotenoid	10.328**	0.011^{ns}	0.016^{ns}	0.024	6.5
Transpiration rate	21.982**	0.702^{ns}	0.177^{ns}	0.447	20.06
Leaf temperature	33.667**	0.255^{ns}	0.196^{ns}	1.007	3.3
Relative water content	2785.6**	0.7^{ns}	9.1^{ns}	19.3	7.4
Leaf ion leakage	3800.2**	79.4**	25.3**	5.8	7.3
Leaf area	7157**	159*	191**	34	6.8
Number of stem	15.398**	0.175^{ns}	0.856^{ns}	0.583	13.4
Plant height	2746**	12^{ns}	6^{ns}	22	7.9
Stem diameter	0.3155**	0.0030^{ns}	0.0017^{ns}	0.0045	3.8

* ,**, and ^{ns} are significant at $p\leq 0.05$ and $p\leq 0.01$ and not significant, respectively.

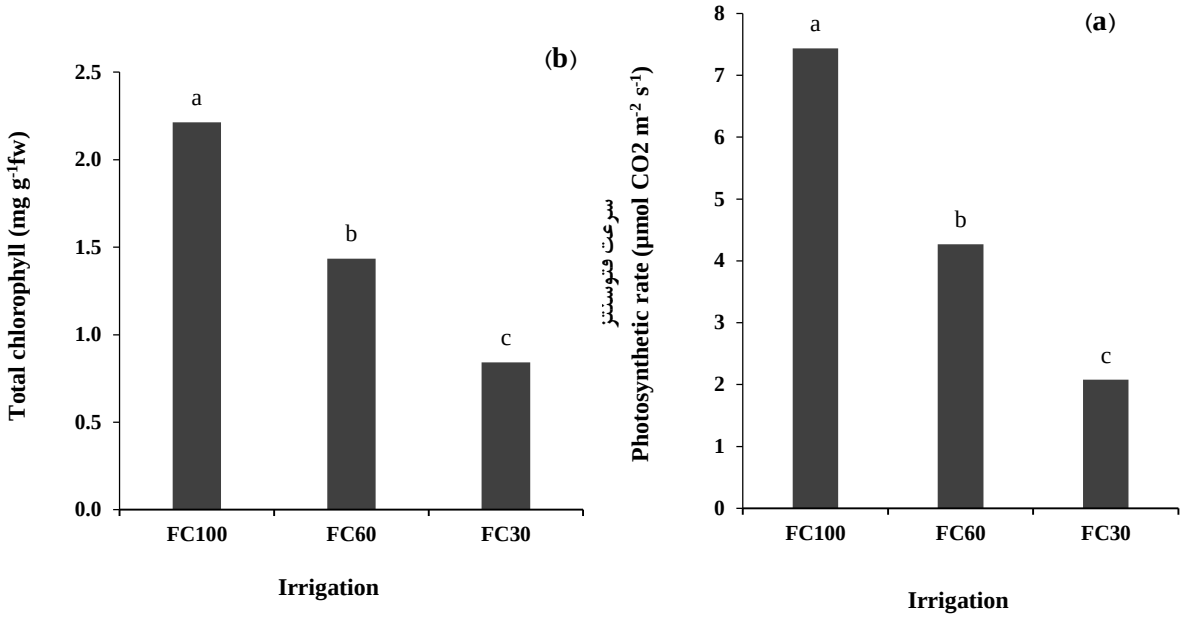
بیشترین مقدار سرعت فتوسنتز (۷/۴۳ میکرومول دی‌اکسید کربن در متر مربع در ثانیه) تحت شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و کمترین مقدار آن (۲/۰۸ میکرومول دی‌اکسید کربن در متر مربع در ثانیه) تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌دست آمد (شکل ۱-الف). تنش متوسط و تنش شدید کم‌آبی مقدار هدایت روزنه‌ای به‌ترتیب ۴۶/۷ و ۵۶/۷ درصد در مقایسه با آبیاری مطلوب کاهش داد. تنش کم‌آبی دمای برگ را افزایش داد و مقدار افزایش دمای برگ تحت شرایط تنش متوسط و تنش شدید کم‌آبی در مقایسه با آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۱۱/۳ و ۱۲/۱ درصد بود. تنش کم‌آبی مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ کاملینا را کاهش داد. تنش متوسط و تنش شدید کم‌آبی به‌ترتیب مقدار کلروفیل a را ۳۵/۹ و ۶۲/۱ درصد، مقدار کلروفیل b را ۳۲/۳ و ۶۰/۳ درصد، مقدار کلروفیل کل را ۳۴/۷ و ۶۱/۱ درصد و مقدار کاروتنوئیدها را ۳۴/۸ و ۶۱/۹ درصد در مقایسه با آبیاری مطلوب کاهش دادند (جدول ۲ و شکل ۱-ب).

تحت تنش متوسط و شدید کم‌آبی تعداد شاخه فرعی در بوته کاملینا به‌ترتیب ۲۹/۴ و ۶۶/۲ درصد، ارتفاع بوته به‌ترتیب ۲۸ و ۴۴/۱ درصد و قطر ساقه کاملینا به‌ترتیب ۹/۷ و ۱۹/۴ درصد کاهش یافت. تنش متوسط کم‌آبی تأثیری بر شاخص برداشت کاملینا نداشت، ولی تنش شدید کم‌آبی شاخص برداشت را در مقایسه با آبیاری مطلوب ۳۳/۹ درصد کاهش داد (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسه میانگین اثرات سطوح آبیاری و نوع توده بر خصوصیات مورفو- فیزیولوژیکی کاملینا.

Irrigation (FC %)	Stomatal conductance (m mol H_2O m^{-2} s^{-1})	Leaf temperature (°C)	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoid	Number of stem	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Harvest index (%)
			-------(mg g^{-1}fw) -------						
100	0.66^{a}	28.53^{b}	1.53^{a}	0.68^{a}	3.45^{a}	3.94^{a}	78.19^{a}	1.96^{a}	32.63^{a}
60	0.32^{b}	31.77^{a}	0.98^{b}	0.46^{b}	2.28^{b}	2.78^{b}	56.26^{c}	1.77^{b}	32.08^{a}
30	0.26^{b}	31.99^{a}	0.58^{c}	0.27^{c}	1.36^{c}	1.33^{c}	43.67^{d}	1.58^{c}	21.57^{b}
accessions									
Kermanshah ,	0.43^{a}	30.64^{a}	1.02^{a}	0.47^{a}	2.34^{a}	2.68^{a}	58.33^{a}	1.79^{a}	29.20^{a}
Sabzevar	0.40^{a}	30.69^{a}	1.04^{a}	0.46^{a}	2.39^{a}	2.83^{a}	59.17^{a}	1.75^{a}	28.49^{a}
Shahrekord	0.41^{a}	30.96^{a}	1.04^{a}	0.47^{a}	2.41^{a}	2.55^{a}	60.61^{a}	1.77^{a}	28.59^{a}

Means with common letters in each column do not have significant differences based on Duncan's multiple range test at the 5 percent probability level.



شکل ۱. تأثیر آبیاری بر سرعت فتوسنتز برگ (الف) و مقدار کلروفیل کل برگ کاملینا (ب) در سه سطح (۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی).

سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق تحت شرایط تنش کم‌آبی کاهش یافتند (جدول ۲). کاهش میزان فتوسنتز در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند ناشی از اثرات روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای باشد. به‌عبارتی، فتوسنتز از دو طریق تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار می‌گیرد، اول آنکه بسته‌شدن روزنه‌ها دسترسی کلروپلاست را به دی‌اکسید کربن محدود می‌کند، دوم آنکه پایین‌بودن پتانسیل آب اثرات مستقیمی بر ساختمان اجزای دخیل در فتوسنتز دارد. عموماً پذیرفته شده است که محدودیت روزنه‌ای عامل اصلی تعیین‌کننده کاهش فتوسنتز در شرایط تنش کم‌آبی است (Cornic, 2000). تنش کم‌آبی از طریق کاهش انتشار دی‌اکسید کربن در فضای بین سلولی، توسط هر دو سازوکار روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Ben Abdallah *et al*., 2017). اثر تنش کم‌آبی بر سرعت فتوسنتز توسط Hosseinian *et al*. روی مرزه نیز گزارش شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

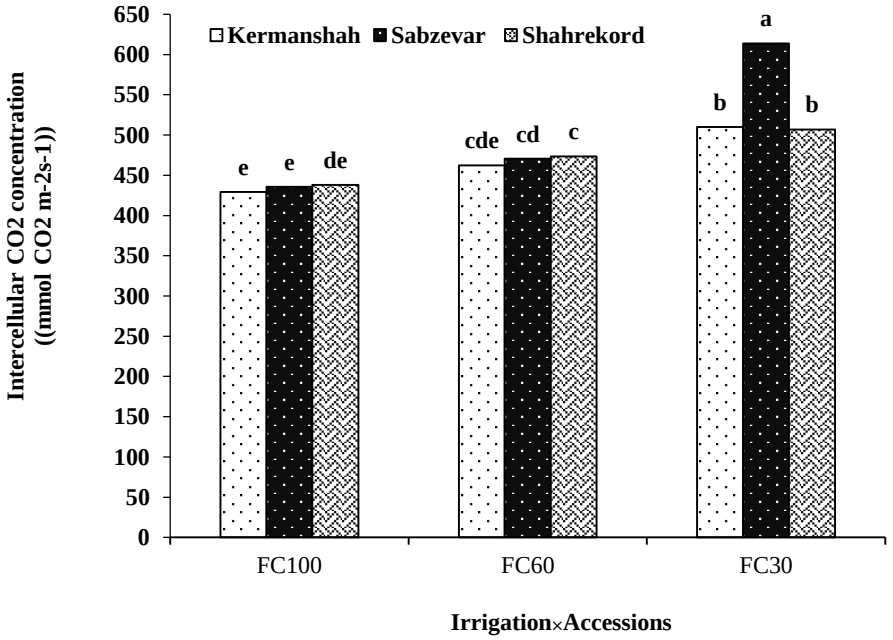
تنش کم‌آبی موجب کاهش مقدار کلروفیل برگ کاملینا شد (جدول ۲). Anjum *et al*. (2011) گزارش کردند که در شرایط تنش کم‌آبی، افزایش تولید رادیکال‌های آزاد باعث توقف تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود. در شرایط تنش کم‌آبی به‌علت اختلال در فعالیت آنزیم‌های درگیر در سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاهش ساخت رنگدانه‌ها و افزایش تخریب رنگیزه‌ها مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ کاهش می‌یابد. افزایش میزان فعالیت آنزیم کلروفیلاز باعث کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود که بیان آن تحت شرایط تنش کم‌آبی القا می‌شود. از دیگر عوامل درگیر در کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌توان به افزایش گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از تنش اکسیداتیو به‌عنوان تنش ثانویه اشاره کرد (Yang *et al*., 2016). محتوای کاروتنوئید برگ کاملینا در شرایط تنش کم‌آبی همانند کلروفیل برگ کاهش یافت (جدول ۲). کاروتنوئیدها در فرآیند فتوسنتز به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی هستند. کاروتنوئیدها انرژی زیاد طول‌موج‌های کوتاه را گرفته و اکسیژن یکتایی را به سه‌تایی تبدیل می‌کنند و با گرفتن رادیکال‌های اکسیژن تولیدشده، نقش آنتی‌اکسیدانی خود را ایفا می‌کنند (Inze & Van Montagu, 1995). این نتایج با دستاورد آزمایش انجام‌شده توسط Khayat Moghadam *et al*. (2021) مبنی بر کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ کلزا تحت شرایط تنش کم‌آبی مطابقت دارد.

یکی از راهکارهای گیاهان در مقابله با تحمل کم‌آبی، کاهش سرعت تعرق است (Wikbergi & Ogreni, 2007). تعرق سازوکار خنک‌کننده‌ای در گیاه دارد؛ به‌طوری‌که روزنه‌ها در شرایط رطوبتی مطلوب باز هستند و همزمان فتوسنتز و تعرق انجام می‌شود. این

امر سبب خنک‌شدن گیاه و تولید ماده خشک می‌شود. در شرایط محدودیت آب، گیاه با بستن روزنه‌های خود آب کمتری از طریق تعرق از دست می‌دهد و دمای گیاه افزایش می‌یابد؛ در چنین شرایطی میزان فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد (Zhang *et al*., 2007).

تأثیر تنش کم‌آبی بر غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای در ارقام مختلف کاملینا افزایشی بود. تحت شرایط آبیاری مطلوب بین ارقام کاملینا تفاوت معنی‌داری از نظر این صفت وجود نداشت؛ اما تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی بیشترین مقدار دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای در توده سبزوار مشاهده شد و ارقام کرمانشاه و شهرکرد تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (شکل ۲).

غلظت دی‌اکسید کربن زیرروزنه‌ای بالا بیانگر این مطلب است که دی‌اکسید کربن وارد شده به برگ به‌خوبی در فرآیند فتوسنتز در شرایط تنش مورد استفاده قرار نگرفته است (Anyia & Herzog 2004). Parthasarathi *et al.* (2012) گزارش کردند که غلظت دی‌اکسیدکربن زیرروزنه‌ای در ذرت در تراکم بالا و آبیاری معمول، کمتر از تراکم نرمال و کم‌آبیاری بود. تجمع دی‌اکسید کربن در برگ در شرایط تنش، نشان‌دهنده عدم توانایی گیاه در فرآوری دی‌اکسید کربن علی‌رغم عبور آن از مقاومت روزنه‌ای است (Armand *et al*., 2015).



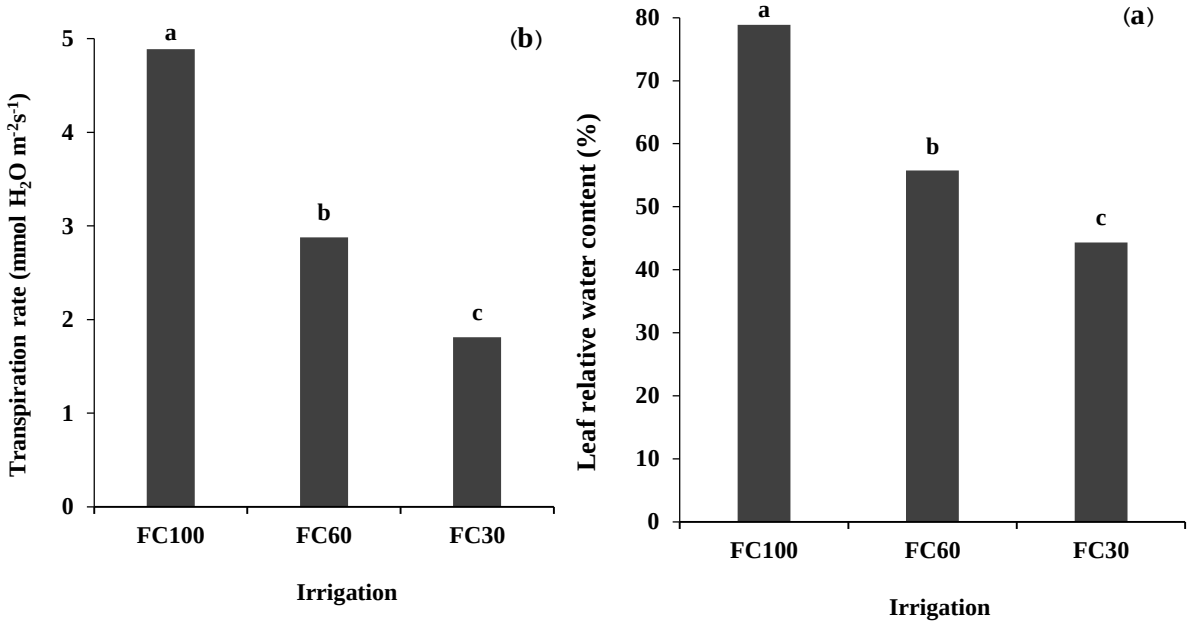
شکل ۲. تأثیر آبیاری بر غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای سه توده کاملینا. سه سطح (۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی).

بیشترین مقدار رطوبت نسبی برگ تحت شرایط آبیاری مطلوب (۷۸/۸ درصد) حاصل شد. تنش متوسط و تنش شدید کم‌آبی مقدار رطوبت نسبی برگ را به‌ترتیب ۲۹/۳ و ۴۳/۸ درصد در مقایسه با آبیاری مطلوب کاهش داد (شکل ۳–الف). بیشترین سرعت تعرق تحت شرایط آبیاری مطلوب (۴/۸۹ میلی‌مول آب در متر مربع در ثانیه) حاصل شد. تنش متوسط و تنش شدید کم‌آبی سرعت تعرق ر به‌ترتیب ۴۱/۱ و ۶۲/۹ درصد در مقایسه با آبیاری مطلوب کاهش داد (شکل ۳–ب).

از آنجایی‌که واکنش اولیه همه گیاهان به کاهش شدید آب، بستن روزنه‌ها به‌منظور جلوگیری از اتلاف آب است، احتمال می‌رود گیاه با بستن روزنه‌ها و کاهش تعرق، از کاهش آب سلول‌های برگ و دیگر اندام‌ها ممانعت به‌عمل آورده و در نتیجه این عمل، دمای برگ افزایش پیدا کند (Abdoli & Saeidi, 2013). Andlibi & Nori (2014) نیز طی یک بررسی محدودیت تعرق در اثر کمبود آب را به عنوان عامل افزایش دمای برگ و همچنین دمای تاج‌پوشش گیاه گزارش کردند.

محتوای نسبی آب برگ معرف خوبی از وضعیت آب گیاه است. به‌نظر می‌رسد که هر چه میزان آب اندام‌های گیاهی بیشتر باشد، گیاه کمتر در شرایط نامساعد محیطی و تولید رادیکال‌های آزاد قرار می‌گیرد؛ اما با کاهش محتوای نسبی آب در برگ‌ها، متابولیسم سلولی تغییر یافته، فتوسنتز کاهش و تنفس افزایش می‌یابد (Talukdar, 2013)؛ زیرا تنش کم‌آبی، با تأثیر بر آماس سلولی

و در نتیجه باز و بسته‌شدن روزنه‌ها، فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و تعرق را تحت تأثیر قرار داده و بر رشد گیاه اثر منفی می‌گذارد (Madeh Khaksar *et al*., 2014). بر اساس نتایج این آزمایش تنش کم‌آبی باعث کاهش میزان آب برگ کاملینا شد که با نتایج مطالعه تنش کم‌آبی روی کلزا (Khayat Moghadam *et al*., 2021) مطابقت دارد. کاهش محتوای نسبی آب برگ در اثر افزایش شدت کم‌آبی در بسیاری از گیاهان گزارش شده است (Ghafari *et al*., 2021).

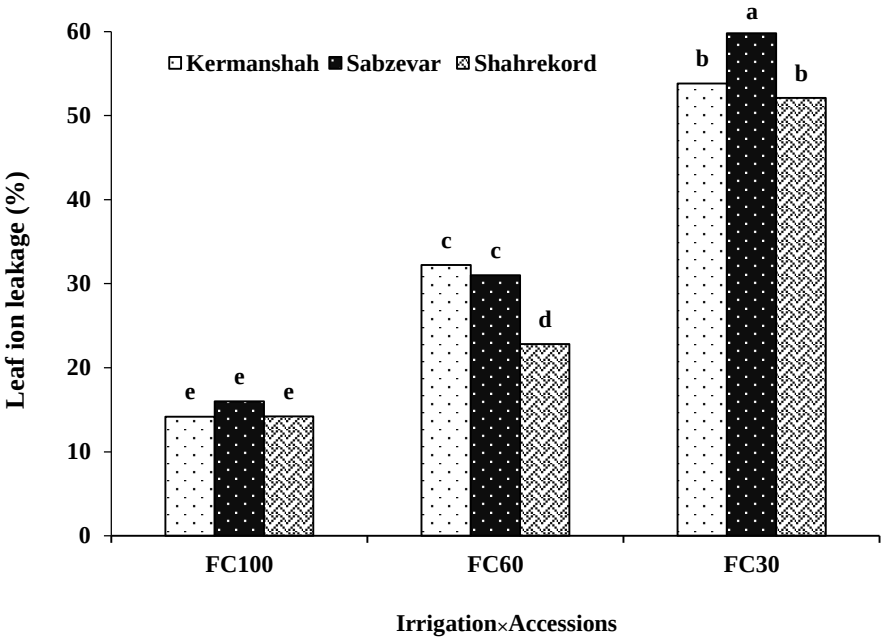


شکل ۳. تأثیر آبیاری بر مقدار رطوبت نسبی برگ (الف) و سرعت تعرق کاملینا (ب). سه سطح (۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد) ظرفیت زراعی.

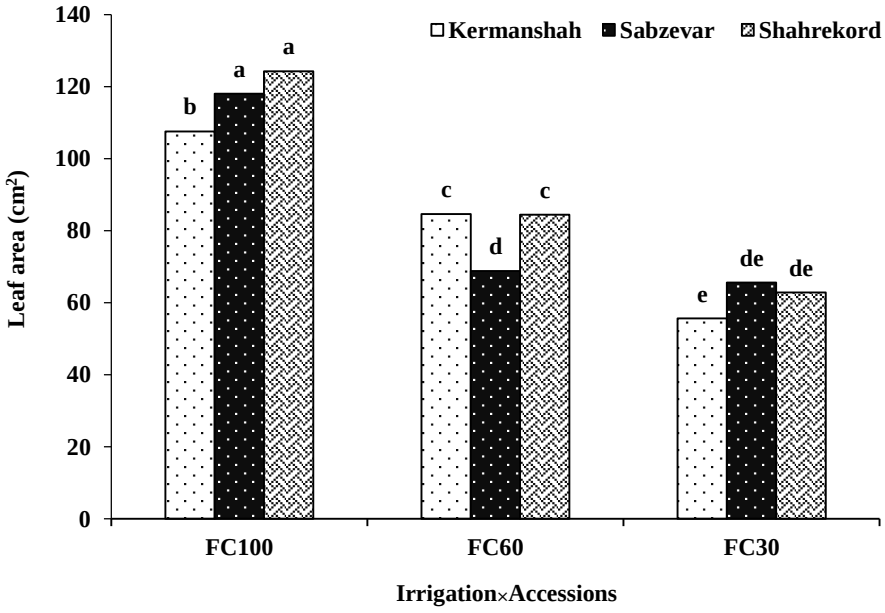
تحت شرایط آبیاری مطلوب بین ارقام کاملینا از نظر نشت یونی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و کمترین مقدار نشت یونی را به خود اختصاص دادند. بیشترین مقدار نشت یونی (۵۹/۸ درصد) در توده سبزوار تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی به‌دست آمد (شکل ۴). تنش کم‌آبی مانع از تکامل غشای سلولی می‌شود و میزان نشت الکترولیت از غشای سلولی تحت تنش کم‌آبی افزایش می‌یابد. یکی از آسیب‌های تنش کم‌آبی خسارت به غشا و رهاسازی یون‌ها از سلول به فضای بین‌سلولی است. این پدیده نتیجه تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که به پراکسیداسیون لیپیدها، نفوذپذیری غشا و خسارت به سلول منجر می‌شود. پلی‌آمین‌ها به‌عنوان محافظی برای غشای پلاسمایی در برابر تنش‌های محیطی عمل کرده که با حفظ پایداری غشا موجب کاهش هدایت الکتریکی می‌شوند (Todorova *et al*., 2015). در این بررسی میزان نشت یونی برگ تحت تنش شدید کم‌آبی در مقایسه با شاهد افزایشی معنی‌داری نشان داد. ارقام شهرکرد و سبزوار تحت شرایط آبیاری مطلوب بیشترین مقدار سطح برگ (۱۲۴ و ۱۱۸ سانتی‌متر مربع) را به خود اختصاص دادند. تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی بین ارقام کاملینا از نظر سطح برگ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و کمترین مقدار این صفت تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی مشاهده شد (شکل ۵).

گیاه در شرایط تنش کم‌آبی با کاهش تعداد و کوچکتر کردن برگ، سطح فتوسنتزکننده خود را کاهش می‌دهد و متعاقب کاهش سطح برگ، ظرفیت فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد (Khalil *et al*., 2010). از آن‌جایی‌که اولین تأثیر کمبود رطوبت بر رشد گیاه، کاهش سطح برگ و در نهایت کاهش رشد آن است؛ کاهش شاخص سطح برگ در اثر تنش کم‌آبی، کاملاً منطقی به‌نظر می‌رسد. کاهش رشد برگ در اثر کمبود آب ممکن است نوعی پاسخ سازشی در نظر گرفته شود، به‌طوری‌که با کاهش سطح برگ در نهایت میزان تعرق به ازای هر گیاه کاهش می‌یابد. به‌طور کلی، کاهش تولید، رشد و افزایش پیری برگ‌ها در شرایط کم‌آبی، شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد (Caker, 2004). کاهش ارتفاع بوته به‌موازات افزایش تنش کم‌آبی را می‌توان به کاهش تورژسانس و از بین‌رفتن آب موجود در پروتوپلاسم نسبت داد که این امر سبب کم‌شدن محتوای نسبی آب برگ و در نهایت کاهش رشد و

تقسیم سلولی می‌شود (Rahaman Hera *et al*., 2018). نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر با نتایج مطالعهٔ Amiri *et al*. (2020) مبنی بر کاهش ارتفاع بوته تحت شرایط تنش کم‌آبی مطابقت دارد.



شکل ٤. تأثیر آبیاری بر نشت یونی سه توده کاملینا در سه سطح (۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد) ظرفیت زراعی.



شکل ۵. تأثیر سطوح آبیاری بر سطح برگ سه توده کاملینا. سه سطح (۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد) ظرفیت زراعی.

نتایج مندرج در جدول ۳ نشان‌دهنده معنی‌دار بودن تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، شاخص برداشت و مقدار روغن تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و توده کاملینا بود. مقدار روغن در بین

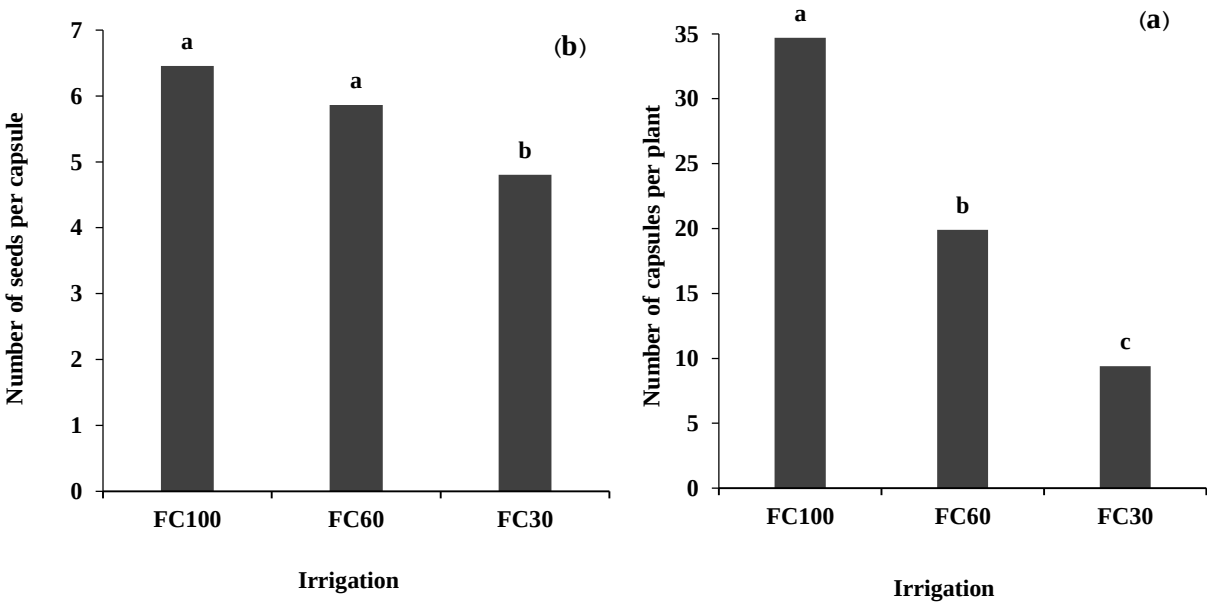
ارقام کاملینا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل تیمارها بر درصد روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات سطوح آبیاری و نوع توده بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه کاملینا.

Source of variation	df	Number of capsules per plant	Number of seeds per capsule	weight of 1000 seeds	Biological yield	Grain yield	Harvest index	Oil content
Irrigation	2	1453.6^{**}	6.314^{**}	0.0009^{ns}	8.533^{**}	1.413^{**}	349.5^{**}	389.86^{**}
accessions	2	1.3^{ns}	0.097^{ns}	0.0014^{ns}	0.006^{ns}	0.001^{ns}	1.31^{ns}	4.02^{ns}
Irrigation× accessions	4	2.6^{ns}	0.037^{ns}	0.0004^{ns}	0.014^{ns}	0.002^{ns}	13.95^{ns}	16.86^{**}
Error	18	8.5	0.412	0.0017	0.058	0.027	36.75	1.61
Coefficient of variation (%)	-	13.7	11.2	4.1	9.8	22.8	21.1	4.32

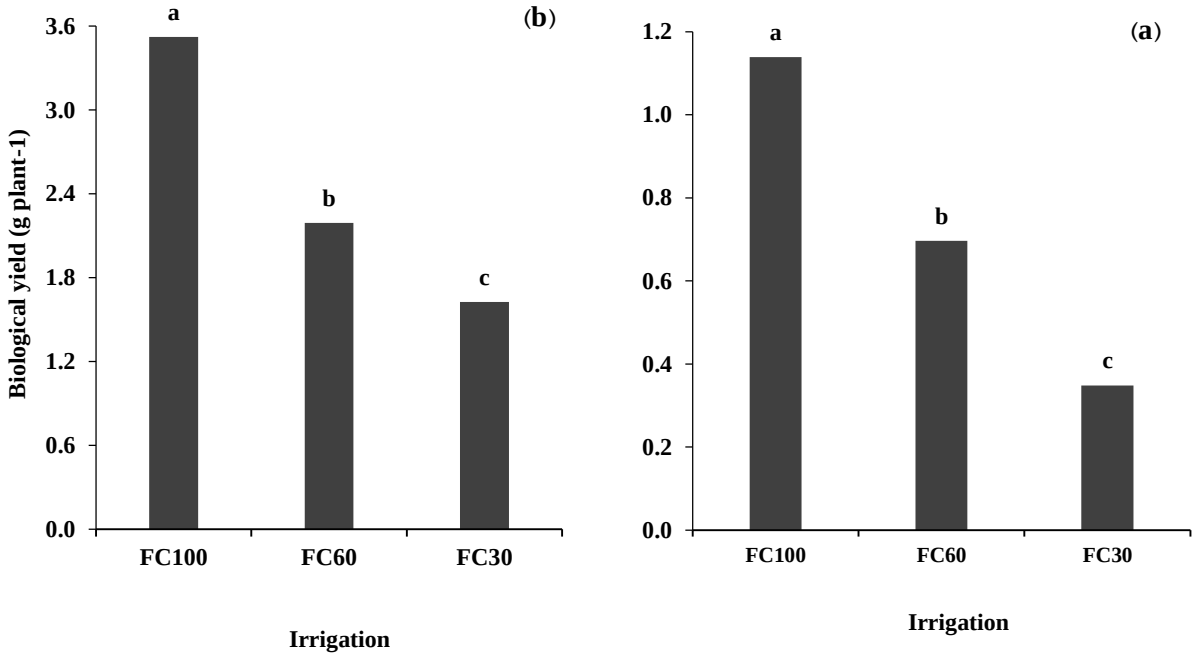
* ,**, and ^{ns} are significant at $p\leq 0.05$ and $p\leq 0.01$ and not significant, respectively.

آبیاری مطلوب بیشترین تعداد کپسول در بوته را به خود اختصاص داد. تنش متوسط و تنش شدید کم‌آبی تعداد کپسول در بوته را در مقایسه با آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۴۲/۶ و ۷۲/۹ درصد کاهش داد. تعداد دانه در کپسول فقط تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی کاهش یافت و مقدار کاهش آن ۲۵/۶ درصد بود (شکل ۶-الف و ب).



شکل ٦. تأثیر سطوح آبیاری بر تعداد کپسول در بوته (الف)، تعداد دانه در کپسول کاملینا (ب) در سه سطح (۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد) ظرفیت زراعی.

بیشترین عملکرد دانه (۱/۱۴ گرم در بوته) و عملکرد بیولوژیک (۳/۵۲ گرم در بوته) تحت شرایط آبیاری مطلوب مشاهده شد. تنش متوسط و تنش شدید کم‌آبی عملکرد دانه را به‌ترتیب ۳۸/۸ و ۶۹/۴ درصد کاهش داد. مقدار کاهش عملکرد بیولوژیکی کاملینا تحت شرایط تنش متوسط و شدید کم‌آبی به‌ترتیب ۳۷/۷ و ۵۳/۸ درصد بود (شکل ۷-الف و ب).

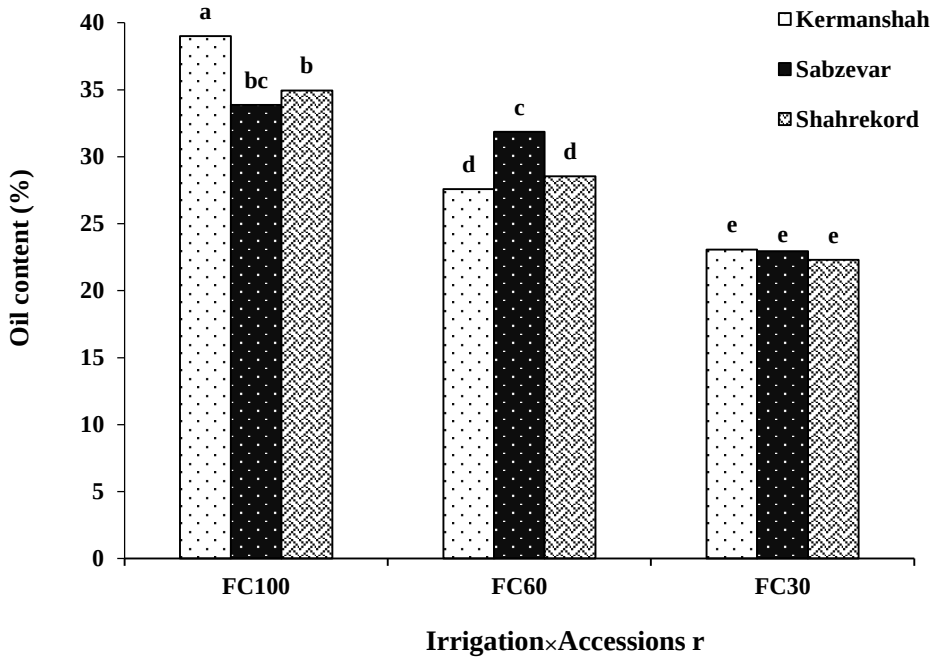


شکل ۷. تأثیر سطوح آبیاری بر عملکرد دانه (الف) و عملکرد بیولوژیک (ب) کاملینا در سه سطح (۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد) ظرفیت زراعی.

کاهش فتوسنتز و ارسال فرآورده‌های فتوسنتزی به کپسول‌ها در اثر تنش کم‌آبی مهمترین عامل کاهش تعداد کپسول در بوته کاملینا تحت شرایط تنش کم‌آبی است. اعمال تنش کم‌آبی در طول دوره رشد گیاه از طریق محدودیت در فراهمی مواد فتوسنتزی بر گرده‌افشانی و باروری گلچه‌ها تأثیر گذاشته و باعث سقط گلچه‌ها و در نهایت کاهش تعداد دانه در کپسول می‌شود (Hasani Balyani *et al*., 2020). بین توده‌ها از لحاظ صفات مورفو–فیزیولوژیکی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. تنش کم‌آبی موجب کاهش قدرت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی و کاهش تعداد دانه در کپسول کاملینا شد (جدول ۳). تنش کم‌آبی موجب کاهش قدرت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی و کاهش تعداد دانه در کپسول کاملینا شد. نتایج Waraich *et al.* (2013) در ارزیابی رشد و عملکرد کاملینا در تیمارهای مختلف تاریخ کشت و آبیاری نشان داد که اعمال تنش خشکی در طول دوره رشد به کاهش شاخص سطح برگ، سرعت رشد نسبی، دوام سطح برگ، سرعت اسیمیلاسیون خالص، و اجزای عملکرد منجر شد.

کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه کاملینا تحت شرایط تنش کم‌آبی نسبت به آبیاری مطلوب کاملاً مشهود است که با یافته‌های Waraich *et al.* (2013) مطابقت داشت. کاهش عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش کم‌آبی به‌علت کاهش شاخص سطح برگ، کاهش کلروفیل، و سرعت فتوسنتز است. کاهش عملکرد بیولوژیک در شرایط کم‌آبی در پژوهش‌های متعددی گزارش شده است (Ghafari *et al*., 2021; Waraich *et al*., 2020). کاهش عملکرد دانه کاملینا در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند به‌علت کاهش تعداد کپسول در بوته و کاهش تعداد دانه در کپسول باشد. یکی از مهمترین دلایل کاهش عملکرد دانه تحت شرایط تنش کم‌آبی، نبود آب کافی برای گیاهان جهت جذب آب و عناصر غذایی است. این موضوع باعث کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، فرآیند فتوسنتز و در نهایت کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای پر شدن دانه در گیاه می‌شود. در توافق با یافته‌های این تحقیق کاهش عملکرد دانه در کاملینا توسط Waraich *et al.* (2020) و Amiri *et al.* (2020) تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است. Jabbari *et al.* (2017) گزارش کردند بیشترین عملکرد دانه کلزا ۲۸۵۶ کیلوگرم در هکتار تحت شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد و با قطع آبیاری در مراحل ساقه‌دهی، گلدهی و خورجین‌دهی عملکرد دانه کلزا به‌ترتیب ۶۲، ۵۱، و ۲۷ درصد در مقایسه با آبیاری مطلوب کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد تنش کم‌آبی در مرحله گلدهی به کوچک‌شدن سطح برگ، تسریع پیری، کاهش شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و کاهش طول دوره پر شدن دانه منجر می‌شود و در نتیجه تجمع ماده خشک و عملکرد دانه در این مرحله کاهش پیدا می‌کند. کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش کم‌آبی به کاهش بیشتر عملکرد اقتصادی در مقایسه با عملکرد بیولوژیک نسبت داده می‌شود (Jian-Yong *et al*., 2017).

تنش کم‌آبی موجب کاهش مقدار روغن کاملینا در ارقام مختلف کاملینا شد. بیشترین مقدار روغن (۳۹ درصد) در توده کرمانشاه تحت شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد. تنش شدید کم‌آبی مقدار روغن ارقام کرمانشاه، سبزوار و شهرکرد به‌ترتیب به‌مقدار ۴۰/۸، ۳۲/۲، و ۳۶/۲ درصد در مقایسه با آبیاری مطلوب کاهش داد (شکل ۸).



شکل ۸. تأثیر سطوح آبیاری بر مقدار روغن سه توده کاملینا. سه سطح (۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی).

تنش کم‌آبی همچنین می‌تواند بر ترکیب روغن بذر تأثیر بگذارد و باعث کاهش درصد روغن شود که برای کیفیت و عملکرد روغن مضر است که به‌دلیل کاهش فتوسنتز و انتقال مجدد مواد می‌باشد (Shirani Rad & Zandi, 2012). کاهش روغن با اعمال تنش کم‌آبی در کلزا نیز به اثبات رسیده است (Khayat Moghadam *et al*., 2021). یکی از دلایل کاهش درصد روغن در اثر تنش کم‌آبی کاهش میزان کلروفیل، در نتیجه‌ی کاهش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه است. از آنجایی که انرژی لازم برای ساختن روغن بسیار بیشتر از انرژی لازم برای ساختن کربوهیدرات‌ها است، گیاه در هنگام کاهش مواد فتوسنتزی میزان کمتری از این مواد را به سنتز روغن اختصاص می‌دهد و باعث کاهش درصد روغن در بذر در شرایط وجود تنش‌های محیطی می‌شود (Joshan *et al*., 2019). Parsa Motlagh *et al*. (2021) در گلرنگ نشان دادند قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا رسیدگی، درصد روغن نسبت به تیمار بدون تنش را ۴۲ درصد کاهش داد و به‌ترتیب بیشترین و کمترین درصد روغن به توده‌های زرقان و سینا تعلق داشت. بنابراین به‌نظر می‌رسد درصد روغن در شرایط تنش کم‌آبی به‌علت عدم انتقال مواد غذایی منجر به کاهش اندازه و کیفیت بذر گیاه نسبت به شرایط بدون تنش شده و درصد روغن کاهش می‌یابد.

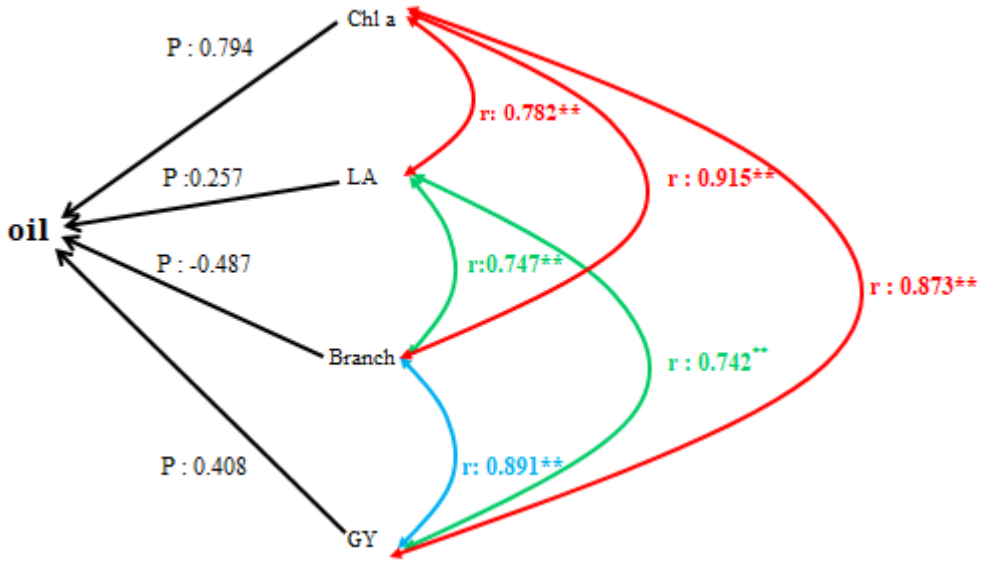
نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای درصد روغن به عنوان متغیر وابسته نشان داد کلروفیل a اولین صفتی بود که وارد مدل رگرسیونی شد و به تنهایی ۸۳ درصد از تغییرات درصد روغن کاملینا را توجیه کرد. تعداد ساقه فرعی در بوته که حدود سه درصد از تغییرات کل را توجیه کرد، به‌عنوان متغیر دوم به مدل اضافه شد و سطح برگ و عملکرد دانه به‌عنوان متغیرهای سوم و چهارم وارد مدل شدند که در مجموع ۹۱ درصد از تغییرات درصد روغن توسط این چهار صفت توجیه شد (جدول ۴).

نتایج حاصل از تجزیه مسیر برای درصد روغن به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات نشان داد که کلروفیل a بیشترین اثر مستقیم و مثبت (۰/۷۹۴) بر درصد روغن داشت (شکل ۹). عملکرد دانه در مرحله دوم به‌صورت مستقیم بر درصد روغن تأثیر مثبت (۰/۴۰۸) داشت. اثرات مستقیم سطح برگ بر درصد روغن، به‌صورت مستقیم مثبت (۰/۲۵۷) بود. اثرات مستقیم تعداد ساقه فرعی بر درصد

روغن کاملینا منفی (۰/۴۸۷-) بود. بین عملکرد دانه، سطح برگ، تعداد ساقه فرعی در بوته و درصد روغن همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۹).

جدول ٤. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای درصد روغن به عنوان متغیر وابسته و سایر صفات ارزیابی‌شده به‌عنوان متغیرهای مستقل.

Step	Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Partial R-Square	Model R-Square	F Value
	Intercept	20.05	1.63			
1	Chlorophyll a	13.65	2.72	0.83	0.83	124.49**
2	Number of stem	-0.14	0.04	0.03	0.89	5.29*
3	Leaf area	1.18	0.45	0.03	0.86	5.35*
4	Grain yield	5.86	2.45	0.02	0.91	5.71*



شکل ۹. تجزیه مسیر برای مقدار روغن.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به سطح گسترده دیم‌زارها در ایران و وابستگی شدید در تأمین روغن و کنجاله مصرفی به خارج از کشور (بیش از ۹۰ درصد)، انتخاب ارقام متحمل به تنش خشکی جهت توسعه کشت کاملینا دارای اهمیت است. نتایج نشان داد بیشترین مقدار روغن دانه کاملینا (۳۹ درصد) در توده کرمانشاه تحت شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد. به‌طور کلی می‌توان از کاملینا رقم کرمانشاه تحت شرایط تنش متوسط کم‌آبی برای تولید روغن بهره برد.

۵. منابع

Abdoli, M., & Saeidi, M. (2013). Evaluation of water deficiency at the post anthesis and source limitation during grain filling on grain yield, yield formation, some morphological and phenological traits and gas exchange of bread wheat cultivar. *Albanian Journal of Agriculture Sciences*, *12*(2), 255-265.

Amiri, D.N., Nourmohammadi, G., Shiranim, R.A.H., Mirhadi, S.M.J., & Majidi, H.I. (2020). Investigating the effect of ammonium sulfate and potassium sulfate application on seed and oil yields of camelina (*Camelina sativa* L.) under late-season drought stress, *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *30*(2), 239-251. (In Persian).

Andalibi, B., & Nouri, F. (2014). Effect of cycocel on photosynthetic activity and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, *6*(22), 91-104. (In Persian).

Anyia, A.O., & Herzog, H. (2004). Water use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. *European Journal of Agronomy*, *20*, 327-339.

Armand, N., Amiri, H., & Ismaili, A. (2015). Interaction of methanol spray and water deficit stress on photosynthesis & biochemical characteristics of *Phaseolus vulgaris* (L.) cv. Sadry. *Photochemistry and Photobiology*, *92*(1), 201-219.

Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, 112-121.

Ashraf, M., & Harris, P.J.C. (2013). Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, *51*(2), 163-190.

Ben Abdallah, M., Methennia, K., Nouairib, I., Zarrouka, M., & Ben Youssef, N. (2017). Drought priming improves subsequent more severe drought in a drought-sensitive cultivar of olive cv. Chetoui. *Scientia Horticulturae*, *221*, 43-52.

Caker, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, *89*, 1-16.

Cornic, G. (2000). Drought stress inhibits photosynthesis by decreased stomatal aperture not by affecting ATP synthesis. *Trends in Plant Science*, *5*(5), 187-188.

Ghafari, S., Tavakoli, A., Yousefi, A.R., Nikbakht, J., & Salek Mearaji, H. (2021). Effect of different irrigation regimes on gas exchanges and agronomy traits related to yield in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(1), 63-74. (In Persian).

Ghanbari, A.A. (2013). Investigation of developmental stages and phenology of common bean genotypes under normal irrigation and water defcit condition. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)*, *107*, 190-199. (In Persian).

Hasani Balyani, M., Tadayon, M.R., & Fadaei Tehrani, A.A. (2020). Evaluation of some growth and yield traits of *Camelina sativa* (L.) under the influence of biological and chemical fertilizers. *Journal of Crop Production and Processing*, *10*(1), 39-51. (In Persian).

Hosseinian, S.H., Saeedinia, M., & Beiranvand, F. (2020). Investigation of the drought stress on some photosynthetic and morphological indicators of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *13*(4), 1115-1124. (In Persian).

Inze, D., & Van Montagu, M. (1995). Oxidative stress in plants. *Current Opinion in Biotechnology*, *6*(2), 153-158.

Jabbari, H., Khosh Kholgh Sima, N.A., & Shirani Rad, A.H. (2017). Changes in the oil fatty acids composition of rapeseed cultivars under drought stress conditions. *Applied Field Crops Research*, *30*(3), 66-81.

Jian-Yong, W., You-Cai, X., Feng-Min, L., Kadambot, H.M., & Neil, C.T. (2017). Effects of drought stress on morpho-physiological traits, biochemical characteristics, yield, and yield components in different ploidy wheat: A meta-analysis. *Advance in Agronomy*, *134*, 139-173.

Joshan, Y., Sani, B., Jabbari, H., Mozafari, H., & Moaveni, P. (2019). Effect of drought stress on oil content and fatty acids composition of some safflower genotypes. *Plant, Soil and Environment*, *65*, 563-567.

Kahrizi, D., Rostami, A.H., & Akbarabadi, A. (2015). Feasibility cultivation of camelina (*Camelina sativa*) as medicinal-oil plant in rainfed conditions in Kermanshah-Iran's first report. *Journal of Medicinal Plants and By-Products*, *2*, 215-217.

Khalid, A., Khalid, A., Teixeira, S., & Weiming, C. (2010). Water deficit and polyethylene glycol 6000 affects morphological and biochemical characters of *Pelargonium odoratissimum* (L.). *Scientia Horticulturae*, *125*, 159-166.

Khayat Moghadam, M.S., Gholami, A., ShiraniRad, A.H., BaradaranFiroozabadi, M., & Abbasdokht, H. (2021). The effect of potassium silicate and late-season drought stress on the physiological characters of canola. *Journal of Crops Improvement*, *23*(4), 776-761. (In Persian).

Lum, M.S., Hanafi, M.M., Rafii, Y.M., & Akmar, A.S.N. (2014). Effect of drought stress on growth, proline and antioxidant enzyme activities of upland rice. *Journal of Animal & Plant Sciences*, *24*, 1487-1493.

Lutts, S., Kint, J.M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity. *Variation of Botany*, *78*, 389-398.

Madeh Khaksar, A., Naderi, A., Ayeneh Band, A., & Lack, S. (2014). Simultaneous effect of deficit irrigation and irrigation-off on physiological traits related with yield of maize s.c 704. *Journal of Crop Production Research*, *6*, 63-79. (In Persian).

Moradbeigi, L., Gholami, A., Shirani Rad, A.H., Abbasdokht, H., & Asghari, H.R. (2019). Effect of drought stress and delay cultivation on grain yield, oil yield and fatty acids composition in canola. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *29*(2), 135-151. (In Persian).

Morales, D., Potlakayala, S., Soliman, M., Daramola, J., Weeden, H., Jones, A., Kovak, E., Lowry, E., Patel, P., & Puthiyaparambil, J. (2017). Effect of biochemical and physiological response to salt stress in *Camelina sativa*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *48*(7), 716-729.

Moser, B.R., & Vaughn, S.F. (2010). Evaluation of alkyl esters from *Camelina sativa* oil as biodiesel and as blend components in ultra-low-sulfur diesel fuel. *Bioresource Technology*, *101*(2), 646-653.

Parsa Motlagh, B., Mirmiran, S.M., Fateminick, F., & Mahmoudi, M. (2021). Evaluation of drought stress on unsaturated fatty acids and some physiological traits of four safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in Jiroft. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(3), 619-627. (In Persian).

Parthasarathi, T., Vanitha, K., & Velu, G. (2012). Physiological impacts of soil moisture stress and plant population on leaf gas exchange and radiation use of maize. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, *5*, 377-385.

Rahaman Hera, M.H., Hossain, M., & Alok Kumar Paul, A.K. (2018). Effect of foliar zinc spray on growth and yield of heat tolerant wheat under water stress. *International Journal of Biological and Environmental Engineering*, *1*, 10-16.

Ritchie, S.W., & Nguyen, H.T. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, *30*, 105-111.

Shahrabi Farahani, B., Farahmandfar, E., Hassanlo, T., Shirani Rad, A.H., & Tabatabaee, S.A. (2014). Evaluation of drought tolerance in rapeseed varieties based on physiological and agronomical characteristics at Yazd region. *Electronic Journal of Crop Production*, *6*(4), 77-97. (In Persian).

Shakeel, A.A., Xiao-yu, X., Long-chang, W., Muhammad, F.S., Chen, M., & Wang, L. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, *6*(9), 2026-2032.

Shirani Rad, A.H., & Zandi, P. (2012). The effect of drought stress on qualitative and quantitative traits of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Agriculture*, *99*, 47-54. (In Persian).

Sintim, H.Y., Zheljazkov, V.D., Obour, A.K., Garcia y Garcia, A., & Foulke, T.K. (2016). Evaluating agronomic responses of camelina to seeding date under rain-fed conditions. *Agronomy Journal*, *108*(1), 349-357.

Taiz, E., & Zeiger, L. (2002). Plant physiology, Third edition. Jhon Wiely. New York.

Talukdar, D. (2013). Selenium priming selectively ameliorates weed–induced phytotoxicity by modulating antioxidant defense components in lentil (*Lens culinaris* Medik.) and grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *Annual Research & Review in Biology*, *3*, 195-212.

Todorova, D., Katerova, Z., Alexieva, V., & Sergiev, I. (2015). Polyamines-possibilities for application to increase plant tolerance and adaptation capacity to stress. *Genetics and Plant Physiology*, *5*, 123-144.

Vega-Galvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martinez, E.A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) an ancient Andean grain: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *90*, 2541-2547.

Waraich, E.A., Ahmad, R., Ahmad, Z., Barutcular, C., Erman, M., Cig, F., Saneoka, H., & Ozturk, F. (2020). Comparative study of growth, physiology and yield attributes of camelina (*Camelina sativa* L.) and canola (*Brassica napus* L.) under different irrigation regimes. *Pakistan Journal of Botany*, *52*(5), 1537-1544.

Waraich, E.A., Ahmed, Z., Ahmad, R., Ashraf, M.Y., Naeem, M.S., & Rengel, Z. (2013). *'Camelina sativa*', a climate proof crop, has high nutritive value and multiple-uses: A review. *Australian Journal of Crop Science*, *7*(10), 1551.

Wikberg, J., & Ogren, E. (2007). Variation in drought resistance, drought acclimation and water conservation in four willow cultivars used for biomass production. *Tree Physiology*, *27*(9), 1339-1346.

Yang, A., Akhtar, S.S., Amjad, M., Iqbal, S., & Jacobsen, S.E. (2016). Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *202*, 445-453.

Zhang, W.Z., Han, Y.D., & Du, H.J. (2007). Relationship between canopy temperature at flowering stage and soil water content, yield components in rice. *Rice Science*, *14*(1), 67-70.

Zlatev, Z., & Lidon, F.C. (2012). An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, *24*, 57-72.