

Original article

Effect of urea foliar application on yield and yield components of camelina (*Camelina sativa* L.) under different irrigation regimes

Kimia Momeni-Shijani¹, Seyed Ali Mohammad Modarres-Sanavy^{2*}, Ali Heidarzadeh³,
Amir Mohammad Abedi¹

1. Master's degree graduated, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2. Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3. PhD graduated, Department of Agronomy, Faculty of Agronomy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received 27 April 2024; Revised 22 June 2024; Accepted 29 June 2024

Extended abstract

Introduction

One of the challenges facing the world today, despite the considerable growth in food production over the past half century, is how to address the issue of providing food for a population of approximately nine billion in the twenty-first century. In Iran, due to population growth and changes in dietary habits, the consumption of vegetable oils has significantly increased over the past four decades. Considering the shortage of edible oil in the country and the high level of oil imports threatening the food security of the society, the necessity of assessing the resources and comprehensive planning for the development of oilseed cultivation and attention to new oil sources is more emphasized than ever.

Materials and methods

This experiment was conducted in a randomized complete block design with split-split plot arrangements in three replications. The main factor consisted of different irrigation regimes at the plant flowering stage at four levels (severe water scarcity: cessation of irrigation until the plant-available moisture in the root zone reaches 20%, then irrigation to the agricultural capacity limit. Moderate water scarcity: cessation of irrigation when the plant-available moisture in the root zone reaches 40%, then irrigation to the agricultural capacity limit. Mild water scarcity: cessation of irrigation when the plant-available moisture in the root zone reaches 60%, then irrigation to the agricultural capacity limit. Optimal irrigation (without stress): cessation of irrigation when the plant-available moisture in the root zone reaches 80%, then irrigation to the agricultural capacity limit). The subsidiary factor included the application of nitrogen fertilizer from urea source as foliar spray at six levels (1%, 2%, 3%, 4%, distilled water foliar spray, and no foliar spray).

Results and discussion

Based on the results obtained, it can be concluded that plant height and straw yield showed the highest values under optimal irrigation conditions, while these values decreased under mild and moderate water scarcity conditions. The highest leaf area was observed in urea fertilizer foliar spray treatments at 2%, 3%, and 4% concentrations under optimal irrigation conditions, and in the 4% urea fertilizer foliar spray treatment under mild water scarcity conditions. The highest yield was observed in the optimal irrigation treatment. However, under mild water scarcity conditions, a reduction in seed yield compared to optimal irrigation was observed. The use of urea fertilizer foliar spray also increased seed yield compared to the control (no foliar spray), especially at 2% and 3% concentrations. The total chlorophyll content of leaves

* Corresponding author: Seyed Ali Mohammad Modarres-Sanavy; E-Mail: modaresa@modares.ac.ir



was highest under optimal irrigation conditions. According to the results, under mild, moderate, and severe water stress, total chlorophyll content decreased by 10.19%, 21.40%, and 52.71%, respectively, compared to the control with optimal irrigation. Additionally, urea foliar spray resulted in increased plant height, straw yield, seed yield, biological yield, harvest index, and total chlorophyll content, with the 2% concentration showing the highest increase in some traits. Drought stress leads to disrupted flowering, incomplete grain filling, and ultimately reduced crop yield. Water deficit conditions during the flowering stage increase pollen abortion. Additionally, during pollen fertilization, reduced photosynthesis intensity, increased abscisic acid hormone levels, and decreased loading of photosynthetic materials occur, ultimately causing flower and pod shedding and reduced yield. These results indicate that urea foliar spray can lead to significant improvements in physiological and yield traits of camelina plants under drought stress conditions. Therefore, based on the results of this experiment, optimal irrigation treatment and 2% urea fertilizer foliar spray are recommended as the best treatments. Additionally, mild water scarcity and urea fertilizer foliar spray at a concentration of 2% are recommended due to their desirable yield.

Conclusion

Based on the results obtained from this experiment, the treatment of adequate irrigation and 2% urea foliar spray is introduced as the best treatment. Additionally, mild deficit irrigation and urea foliar spray with a concentration of 2% are recommended due to their desirable yield.

Keywords: Biological yield, Carotenoids, Chlorophyll, Harvest index, Nitrogen foliar application

اثر کاربرد برگی کود اوره بر عملکرد و اجزای عملکرد کاملینا (*Camelina sativa* L.) در رژیم‌های مختلف آبیاری

کیمیا مومنی شیبجانی^۱، سید علی محمد مدرس ثانوی^{۲*}، علی حیدرزاده^۳، امیرمحمد عابدی^۱

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲. استاد تمام گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳. دانش‌آموخته دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت عملکرد بیولوژیک کارتونوید کلروفیل محلول پاشی نیتروژن	به منظور ارزیابی کاربرد برگی کود اوره روی عملکرد و اجزای عملکرد کاملینا در رژیم‌های مختلف آبیاری، این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده، در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عوامل بررسی شده شامل رژیم‌های آبیاری (آبیاری مطلوب، تنش آبی ملایم، تنش آبی متوسط و تنش آبی شدید به ترتیب آبیاری بعد از تخلیه ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آب قابل استفاده) به عنوان عامل اصلی و عامل فرعی شامل کاربرد کود نیتروژن از منبع اوره به صورت محلول پاشی در شش سطح (۱٪، ۲٪، ۳٪، ۴٪ و محلول پاشی آب مقطر و عدم محلول پاشی) بود. نتایج این پژوهش مشخص کرد که ارتفاع بوته و عملکرد کاه در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین مقادیر را نشان دادند، در حالی که در شرایط تنش آبی ملایم، متوسط و شدید، این مقادیر کاهش یافت. در شرایط تنش آبی ملایم، متوسط و شدید، به ترتیب ۱۰/۰۰، ۱۵/۰۰ و ۱۷/۵۰ درصد کاهش وزن هزار دانه نسبت به آبیاری مطلوب مشاهده شد. عملکرد دانه در شرایط تنش آبیاری ملایم، متوسط و شدید نسبت به شاهد (آبیاری مطلوب) به ترتیب ۱۲/۸۳، ۲۹/۰۵ و ۴۷/۵۲ درصد کاهش داشت. همچنین، محلول پاشی ۲ درصد اوره بالاترین عملکرد کاه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را ثبت کرد. از طرفی، محلول پاشی اوره ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) به ترتیب ۱۸/۲۳، ۲۷/۹۵، ۱۶/۳۰ و ۱۱/۷۴ درصد عملکرد دانه را افزایش داد. در شرایط تنش آبی ملایم، متوسط و شدید، کلروفیل کل نسبت به آبیاری مطلوب به ترتیب ۱۹/۱۰، ۴۰/۲۱ و ۵۲/۷۱ درصد کاهش یافت. نتایج نشان داد که محلول پاشی اوره می‌تواند بهبودهای قابل توجهی در خصوصیات فیزیولوژیک و عملکردی کاملینا در شرایط تنش کم آبی و عدم تنش ایجاد کند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹ تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۴ ۵۷۵-۵۹۱ (۴) ۱۸	

مقدمه

ضرورت سنجش امکان و برنامه‌ریزی برای توسعه کشت دانه‌های روغنی و توجه به منابع روغنی جدید بیش از پیش مورد تأکید است (Karimpour Golsephidi and Azadmard-Damirchi, 2018). روغن‌های نباتی معمولاً از دانه‌های گیاهی مانند سویا، آفتابگردان، پنبه دانه، بادام زمینی و کلزا به دست می‌آیند. این گیاهان نسبت به کاملینا نیاز آبی بالایی دارند و گهگاه با محدودیت‌هایی از جمله جنبه‌های مختلف کشت و شرایط اقلیمی مواجه هستند. برای افزایش تولید دانه‌های روغنی در کشور و خودکفایی در تولید روغن،

یکی از چالش‌های پیش روی جهان امروز، به رغم رشد قابل توجهی که در تولید مواد غذایی طی نیم قرن گذشته صورت گرفته، چگونگی مواجهه با مسئله تأمین غذای مورد نیاز جمعیت حدود نهمیلیاردی قرن بیست و یک است (Sakhavatifar et al., 2018). در ایران به خاطر افزایش رشد جمعیت و تغییرات رژیم غذایی مردم، از چهار دهه گذشته مصرف روغن‌های گیاهی به طرز چشمگیری افزایش یافته است. با توجه به نیاز به روغن خوراکی در کشور و میزان بالای واردات روغن که امنیت غذایی جامعه را تهدید می‌کند،

میزان بهینه سطح برگ لازم است، تنش خشکی باعث کاهش رشد برگ‌ها و در نتیجه کاهش سطح برگ‌ها در گیاه می‌گردد (Bahreyninejad et al., 2013). کم‌آبیاری عملکرد و اجزای عملکرد دانه را در مقایسه با آبیاری معمولی در دو محصول کلزا و کاملینا به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد (Waraich et al., 2020). گزارش شده است که تنش خشکی عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت را در ارقام کاملینا نسبت به آبیاری معمولی بشدت کاهش داد (Ahmad et al., 2018).

عملکرد و کیفیت گیاهانی که تحت شرایط تنش‌های محیطی قرار گرفته‌اند، با تغذیه عناصر غذایی معدنی و تنظیم‌کننده‌های رشد بهبود پیدا می‌کند (Nabati et al., 2008). آب مهم‌ترین منبعی است که باعث تغییر در تولید ماده خشک و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود. میزان کارایی مصرف آب به شکل غیرمستقیم تحت تأثیر مصرف نیتروژن از طریق تأثیر بر رشد و توسعه کانوپی گیاه قرار می‌گیرد (Khalil et al., 2018). نیتروژن، عنصری بنیادی در مولکول‌های زیستی است که نقشی اساسی در رشد و عملکرد گیاهان ایفا می‌کند، به همین دلیل، به‌عنوان مهم‌ترین ماده مغذی در تولیدات زراعی شناخته شده است (Nahar and Pan, 2015). تغذیه برگ‌ی روشی است که برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و مخاطرات زیست‌محیطی آن‌ها به کار می‌رود، به‌ویژه در دورانی که سیاست بهینه‌سازی مصرف کود در سراسر جهان موردتوجه قرار می‌گیرد. با استفاده از تغذیه برگ‌ی، عناصر مغذی به‌سرعت برای گیاه تأمین می‌شوند. در این روش، عناصر غذایی به‌طور مستقیم به شاخه و برگ یا میوه‌ها عرضه می‌شود (Malakouti and Tehranzadeh, 1999). از طریق محلول‌پاشی، برگ‌ها می‌توانند منابع نیتروژنی معدنی و آلی را جذب کنند. منافذ ریز سطح برگ، قادر به جذب اوره، آمونیوم و نیترات می‌باشند؛ زیرا این منافذ با مولکول‌هایی با بار منفی پوشیده شده‌اند. از این‌رو، جذب کاتیون‌هایی مثل آمونیوم، سریع‌تر از جذب آنیون‌هایی مثل نیترات انجام می‌شود، به همین علت جذب مولکول‌های کوچک و بدون بار مثل اوره نیز سریع انجام می‌گیرد (Witte et al., 2002). استفاده از کود نیتروژن به‌صورت محلول‌پاشی منجر به کاهش هزینه‌ها و کاهش نیتروژن موجود در آب‌های زیرزمینی می‌شود. (Bi and Scagel, 2007). هنگامی که گیاهان کمبود نیتروژن دارند، اندازه برگ‌ها بسیار کوچک‌تر از حد طبیعی می‌شود و سطح برگ کاهش می‌یابد. عنصر

تحقیقات بیشتری در زمینه توسعه کشت گیاهان روغنی جدید با سازگاری با شرایط اقلیمی کشور ضروری است (Abedi et al., 2023).

گیاه کاملینا (*Camelina sativa*) به‌عنوان یک محصول جدید و امیدوارکننده برای تولید روغن شناخته شده است. این گیاه کم‌نهاده، قادر به تحمل دمای پایین در طول دوره شد، مقاوم در برابر تنش خشکی و دارای دوره رشد کوتاه (۸۰ تا ۱۰۰ روز) است (Ghorbani et al., 2020; Soorni et al., 2021). کاملینا در مقایسه با سایر گیاهان خانواده خردل روغن (حدود ۴۰ درصد) و پروتئین (حدود ۳۰ درصد) بالاتری دارد (Vollmann and Eynck, 2015). این گیاه به دلیل دارا بودن ترکیبات مناسب اسیدهای چرب غیراشباع اسید اولئیک (امگا ۹)، اسید لینولئیک (امگا ۶)، اسید آلفالینولنیک (امگا ۳) و میزان کم اسیدهای چرب اشباع، یکی از باکیفیت‌ترین روغن‌های خوراکی محسوب می‌شود. کنجاله کاملینا نیز به‌عنوان یکی از منابع مهم در تغذیه دام و طیور در نظر گرفته می‌شود (Francki et al., 2010). بسته به شرایط رشدی گیاه، حاصلخیزی خاک، نوع خاک و رطوبت قابل‌دسترس، معمولاً ۵۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۱۰ تا ۲۵ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۱۵ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر برای رشد و تولید کاملینا موردنیاز است (Obour et al., 2015).

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی تعیین‌کننده رشد و تولیدمثل گیاهان است. دسترسی به آب برای تولید محصولات کشاورزی یک چالش رو به رشد در سطح جهانی است و در درازمدت پیامدهای مهم برای تولید کشاورزی پایدار دارد (Distefano and Kelly, 2017). خشکی منجر به خروج آب از سیتوپلاسم به سمت فضای بیرون سلول و به دنبال آن تغییراتی در سطح سلول در گیاه اتفاق می‌افتد. این تغییرات شامل تغییر حجم سیتوپلاسم و واکوئل، از دست رفتن فشار تورژسانس در سلول، تغییر سیالیت غشاء، تغییر ترکیب غشاها و تغییرات اسمزی سلول می‌باشند. این تغییرات باعث تخریب ساختار کلی غشا، خاصیت انتخابی غشا و در نهایت از بین رفتن سلول می‌گردد (Wang et al., 2018). به‌طورکلی، تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک ریشه و ساقه می‌گردد. کاهش وزن ریشه و ساقه را می‌توان به کاهش تولید آسیمیلات‌های فتوسنتز نسبت داد. کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی به علت بسته شدن روزنه‌ها و کاهش سطح برگ‌ها رخ می‌دهد. برای فتوسنتز و تولید ماده خشک،

منبع اوره به‌صورت محلول‌پاشی در شش سطح (۱/، ۲/، ۳/، ۴/ و محلول‌پاشی آب مقطر و عدم محلول‌پاشی) بود. شخم زمین بعد از آبیاری و گاو رو شدن به‌وسیله گاوآهن برگردان‌دار و ماله در اوایل اسفندماه انجام شد. بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی، مقدار کود برای هر سه عنصر NPK محاسبه شد. بر این اساس ۱۹۱/۹۳ کیلوگرم در هکتار کود اوره و به جهت جلوگیری از آبهویی در سه مرحله به ساقه رفتن، گلدهی و میوه دهی به‌صورت سرک به خاک اضافه شد با توجه به آزمایش خاک و غنی بودن خاک مزرعه از فسفر و پتاسیم، نیازی به کودپاشی زمین در زمان تهیه بستر نبود. هر کرت آزمایشی مشتمل بر ۴ خط کاشت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر و طول سه متر بود. فاصله بین کرت‌ها برابر با ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کشت به‌صورت خطی و بدون در نظر گرفتن فاصله روی ردیف و در عمق ۱ تا ۲ سانتی‌متری خاک انجام شد. پس از آماده‌سازی زمین و مشخص شدن خطوط کاشت، بذور در مزرعه در تاریخ دهم اسفندماه سال ۱۳۹۹ به‌صورت مستقیم مورد کشت قرار گرفتند. بذر گیاه کاملینا رقم سهیل از شرکت بیستون شفا کرمانشاه تهیه شد.

تراکم نهایی در هر مترمربع حدود ۲۰۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. تنک کردن بوته‌ها به‌منظور رسیدن به تراکم موردنظر در مرحله دوبرگی انجام شد. وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی در طول فصل زراعی انجام شد. آبیاری به‌صورت قطره‌ای و با استفاده از نوارهای آبیاری انجام شد. اعمال تیمار رژیم‌های آبیاری در ده درصد گلدهی (BBCH scale; 601) شروع شده و تا مرحله رسیدگی (BBCH scale; 809) ادامه داشت. میزان پتانسیل رطوبتی خاک با توجه به درصد رطوبت حجمی (اعداد به‌دست‌آمده از TDR) در زمان تنش با دستگاه TDR اندازه‌گیری و محاسبه شد. محلول‌پاشی برگی (غلظت‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد) با استفاده از کود اوره و آب مقطر تهیه و محلول‌پاشی شد. عملیات محلول‌پاشی در دو مرحله، یکی در اوایل دوره گلدهی (هم‌زمان با اعمال رژیم آبیاری) در ۱۰ اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۰ و دیگری ۱۰ روز پس‌از آن (در مرحله آغاز غلاف‌دهی BBCH scale; 609) انجام شد. برای محلول‌پاشی از سم‌پاش بادی پستی با فشار متناوب به حجم ۱۰ لیتر استفاده شد. نازل سم‌پاش از نوع مارپیچی با طرح پاشش مخروط توپر و میزان پاشش ۰/۱ لیتر در مترمربع (هزار لیتر در هکتار) بود.

نیتروژن به علت تحریک بیوسنتز سیتوکینین و انتقال آن از ریشه به بخش‌های هوایی گیاه باعث افزایش تقسیمات سلولی و در نتیجه افزایش ارتفاع و سطح برگ می‌شود (Marschner, 1995). محلول‌پاشی اوره باعث افزایش عملکرد دانه از طریق تأثیر مثبت بر برخی از اجزای عملکرد می‌شود. نیتروژن سبب رشد رویشی و زایشی گیاه می‌شود و از طرفی منجر به افزایش تعداد خورجین، سطح برگ، تعداد دانه و میزان پروتئین می‌گردد. به این ترتیب محلول‌پاشی برگی کود اوره با تأثیر بر اجزای عملکرد، عملکرد را افزایش می‌دهد (Khayyabadi et al., 2012). محلول‌پاشی نیتروژن از منبع اوره با غلظت ۵ تا ۱۰ در هزار باعث افزایش عملکرد دانه در گیاهان زراعی می‌شود (Salardini, 1999).

بنابراین، با توجه به موارد فوق این پژوهش با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی کود اوره بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.) در رژیم‌های مختلف آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، واقع در کیلومتر ۱۷ اتوبان تهران-کرج انجام شد. منطقه مورد تحقیق در موقعیت طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷۴ دقیقه شرقی قرار گرفته است. ارتفاع از سطح دریا ۱۲۱۵ متر، رژیم آب و هوایی نیمه‌خشک و میانگین بارندگی سالانه ۲۸۳ میلی‌متر است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل رژیم‌های مختلف آبیاری در چهار سطح (تنش آبی شدید: قطع آبیاری تا زمانی که رطوبت قابل‌استفاده گیاه در منطقه ریشه به ۲۰٪ برسد و سپس آبیاری تا حد ظرفیت زراعی. تنش آبی متوسط: قطع آبیاری تا زمانی که رطوبت قابل‌استفاده گیاه در منطقه ریشه به ۴۰٪ برسد و سپس آبیاری تا حد ظرفیت زراعی. تنش آبی ملایم: قطع آبیاری تا زمانی که رطوبت قابل‌استفاده گیاه در منطقه ریشه به ۶۰٪ برسد و سپس آبیاری تا حد ظرفیت زراعی. آبیاری مطلوب (بدون تنش): قطع آبیاری تا زمانی که رطوبت قابل‌استفاده گیاه در منطقه ریشه به ۸۰٪ برسد و سپس آبیاری تا حد ظرفیت زراعی) و عامل فرعی شامل کاربرد کود نیتروژن از

جدول ۱. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1. Soil Characteristics of the Experimental Site											
عمق خاک Soil depth	بافت خاک Soil texture	ماده				هدایت					
		آلی OM	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	اسیدیته pH	الکتریکی EC	آلی OC	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay
cm		%	-----ppm-----		%		dS/m	-----%-----			
0-30	loamy sand	1.04	187	4.14	0.05	7.95	0.75	0.55	72.5	16.0	11.5
0-60	loamy sand	1.97	147	4.12	0.02	8	0.74	0.21	77.0	14.0	9.0

مقایسه میانگین اصلی آزمون LSD در سطح پنج درصد بکار برده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی اوره بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). ارتفاع بوته در رژیم‌های آبیاری مطلوب، تنش آبی متوسط و تنش آبی ملایم اختلاف معنی‌دار نداشت و گیاه حداکثر ارتفاع را در آبیاری مطلوب به دست آورد (جدول ۵). ارتفاع بوته در شرایط تنش آبی ملایم، متوسط و شدید نسبت به شاهد (آبیاری مطلوب) به ترتیب ۲/۲۷، ۱۰/۸۲ و ۱۵/۲۰ درصد کاهش داشت (جدول ۵).

صفات اندازه‌گیری شده شامل؛ ارتفاع، سطح برگ بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجینک در بوته، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد کاه بود. به‌منظور اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک، پس از اعمال آخرین تیمارهای کود اوره و ظهور علائم تنش، نمونه‌های برگ (سومین برگ از بالا) برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. برای ارزیابی صفات مورفولوژیک، در انتهای فصل رشد با در نظر گرفتن اثر حاشیه، ۱۰ گیاه که نماینده هر کرت بودند به‌طور تصادفی انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری کلروفیل و کارتنوئید از روش آرنون (Arnon, 1976) استفاده شد. به‌منظور تجزیه آماری و مقایسه میانگین از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ استفاده شد. برای تجزیه واریانس از روش مدل خطی عمومی (GLM) استفاده شد. برای

جدول ۲. آنالیز واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیک و اجزای عملکرد

Table 2. Variance analysis (Mean of squares) of morphological traits and yield components of camelina.

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	ارتفاع Height	سطح برگ Leaf area	وزن هزار دانه Weight of thousand grains	تعداد خورجین در	تعداد دانه در
						بوته Number of silique per plant	خورجین Number grain per silique
Block	بلوک	2	39.67	2.60	0.00	5.78	0.80
Irrigation regimes (I)	رژیم‌های آبیاری	3	134.66**	96.38**	0.15**	850.31**	1.93
Error(a)	خطای کرت اصلی	6	38.51	0.43	0.01	137.61	0.72
Foliar application (F)	محلول‌پاشی	5	37.82*	8.82**	0.01	20.01	0.15
I*F	آبیاری × محلول‌پاشی	15	4.81	3.63*	0.00	38.38	0.44
Error(b)	خطای کرت فرعی	40	12.65	1.29	0.01	52.34	0.97
CV(%)	ضریب تغییرات		9.41	18.24	9.88	23.41	7.84

بدون علامت، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد
no sign, * and ** show not significant and significant at 5% and 1% level, respectively

جدول ۳. آنالیز واریانس (میانگین مربعات) صفات عملکردی کاملینا.

Table 3. Variance analysis (Mean of squares) of yield traits

شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک	عملکرد کاه	عملکرد دانه	درجه آزادی	منابع تغییرات
Harvest index	Biological yield	Straw yield	Grain yield	df	S.O.V
5.64	54055.39	36340.54	5428.74	2	بلوک
80.61**	1917144.24**	868637.38**	208321.20**	3	رژیم‌های آبیاری
36.07	175237.74	148168.63	8241.22	6	خطای کرت اصلی
4.20	337183.59**	208364.69**	16556.71*	5	محلول پاشی
11.14	18890.57	18382.06	1582.37	15	آبیاری × محلول پاشی
9.63	53247.12	36817.56	5571.98	40	خطای کرت فرعی
13.00	13.08	14.31	17.63		ضریب تغییرات
					CV (%)

بدون علامت، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد
no sign, * and ** show not significant and significant at 5% and 1% level, respectively

حداکثر ارتفاع در محلول پاشی اوره ۴٪ به دست آمد (جدول ۶). محلول پاشی اوره ۲، ۳ و ۴ درصد نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) به ترتیب ۶/۱۲، ۸/۳۱ و ۱۲/۱۴ درصد ارتفاع بوته را افزایش داد (جدول ۶). تحت تنش شدید آب، طولی شدن سلول‌های گیاهان می‌تواند به دلیل اختلال در جریان آب از آوندهای چوب به سلول‌های در حال طولی شدن متوقف شود. این اختلال می‌تواند منجر به مختل شدن فرآیند میتوز، طولی و ضخیم شدن سلول و در نتیجه، کاهش رشد از جمله ارتفاع ساقه شود. (Anjum et al., 2011). ارتفاع بوته مرزه تابستانی تحت تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین کاهش در تنش کم‌آبی شدید (آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) مشاهده شد. همچنین مشاهده شد که با افزایش تنش آبی، ارتفاع بوته کاهش یافت (Valadabadi et al., 2022). در مطالعه‌ای با افزایش فواصل آبیاری ارتفاع بوته کلزا کاهش یافت (Azari et al., 2019) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. در شرایط تنش خشکی، جریان آب در اطراف سلول‌های در حال رشد کاهش می‌یابد و در نتیجه، طولی شدن این سلول‌ها متوقف می‌شود (Sadeghipour and Aghaei, 2012). در شرایط کمبود آب ترشح هورمون سیتوکینین از ریشه کاهش یافته، در نتیجه باعث کاهش تقسیم سلول‌ها و ارتفاع گیاه می‌شود (Lalinia et al., 2012). از آنجایی که کمبود عناصر غذایی یکی از عوامل اصلی

جدول ۴. آنالیز واریانس (میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیک
Table 4. Variance analysis (Mean of squares) of physiological traits

کارتنوئید	کلروفیل کل	درجه آزادی	منابع تغییرات
Carotenoids	Total chlorophyll	df	S.O.V
7.56	1.70	2	بلوک
1230.17**	66.93**	3	رژیم‌های آبیاری
10.31	1.15	6	خطای کرت اصلی
17.96	8.41**	5	محلول پاشی
5.48	0.99	15	آبیاری × محلول پاشی
9.21	0.81	40	خطای کرت فرعی
9.87	14.61		ضریب تغییرات
			CV (%)

بدون علامت، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد
no sign, * and ** show not significant and significant at 5% and 1% level, respectively

همچنین نتایج نشان داد که در رژیم‌های محلول پاشی اوره ۲، ۳ و ۴ درصد، ارتفاع بوته اختلاف معنی‌دار نداشت و

در تعیین اندازه ارتفاع بوته است، استفاده از کود نیتروژن باعث افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی شده و از طریق تأثیر بر تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها، رشد ریشه و تحریک رشد گیاه، سبب افزایش ارتفاع بوته‌ها می‌شود (Baghbani-Arani et al., 2017).

ارتفاع بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری با سطح برگ ($r=0/83^{**}$)، وزن هزار دانه ($r=0/86^{**}$)، عملکرد دانه ($r=0/76^{**}$)، عملکرد کاه ($r=0/70^{**}$)، عملکرد بیولوژیک ($r=0/73^{**}$)، شاخص برداشت ($r=0/51^{**}$)، تعداد خورجین در بوته ($r=0/60^{**}$)، کلروفیل کل ($r=0/83^{**}$) و کارتنوئید ($r=0/75^{**}$) داشت (جدول ۸).

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی رژیم‌های آبیاری روی صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه کاملینا.

Table 5. Mean comparison of the main effect of irrigation regimes on morphological characteristics and yield of camelina.

رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	ارتفاع Height	وزن هزار دانه Weight of thousand grains	تعداد خورجین در بوته Number of silique per plant	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد کاه Straw yield
%AW ¹	cm	g	-	kg.ha ⁻¹	
20	40a.1±56.40	1.20±0.04a	37.11±3.31a	534.66±32.53a	1585.12±145.51a
40	07ab.3±46.39	1.08±0.07b	33.31±1.76a	466.07±33.98ab	1436.71±65.50ab
60	91ab.1±17.36	1.02±0.04bc	31.72±5.05a	379.34±25.35b	1205.29±99.70b
80	91b.0±83.34	0.99±0.01c	21.11±2.29b	280.56±28.62c	1075.61±61.19c

۱. AW: رطوبت قابل استفاده.

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح ۵٪، آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

1. AW: Available Water.

The means with same letters in each column do not have a significant difference in the probability level 5% error in the LSD test.

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی محلول‌پاشی برگی کود اوره روی صفات کاملینا.

Table 6. Mean comparison of the main effect of urea foliar application on camelina.

محلول‌پاشی Foliar application	ارتفاع Height	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد کاه Straw yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	کلروفیل کل Total chlorophyll
	cm	kg.ha ⁻¹			mg.g ⁻¹ F.W
No foliar	36.08±1.14c	373.08±1.14c	1178.15±40.16d	1552.12±38.99d	5.31±0.29d
Distilled water	36.17±2.18bc	393.30±34.23bc	1263.77±64.75cd	1657.07±92.43cd	5.32±0.54d
1%	36.71±1.25bc	442.16±9.82ab	1376.49±106.61bc	1818.65±111.81bc	5.97±0.57d
2%	38.29±2.48a-c	478.50±89.11a	1541.17±186.34a	2019.67±221.32a	7.37±0.48a
3%	39.08±2.20ab	434.93±25.19a-c	1423.16±116.26ab	1858.09±134.68ab	6.92±0.31ab
4%	40.46±2.00a	417.89±20.50a-c	1262.29±67.72cd	1680.18±79.83b-d	6.18±0.42bc

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح ۵٪، آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

The means with same letters in each column do not have a significant difference in the probability level 5% error in the LSD test.

۴٪ و در شرایط تنش آبیاری ملایم در تیمار محلول‌پاشی کود اوره ۴٪ به دست آمد (شکل ۱). همچنین نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب، محلول‌پاشی اوره ۲، ۳ و ۴ درصد به ترتیب سبب افزایش ۶۸/۵۶، ۶۰/۶۶ و ۵۲/۷۶ درصد نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی) و در شرایط تنش آبی ملایم، محلول‌پاشی کود اوره ۴٪ سبب افزایش ۳۴/۹۳ درصد نسبت

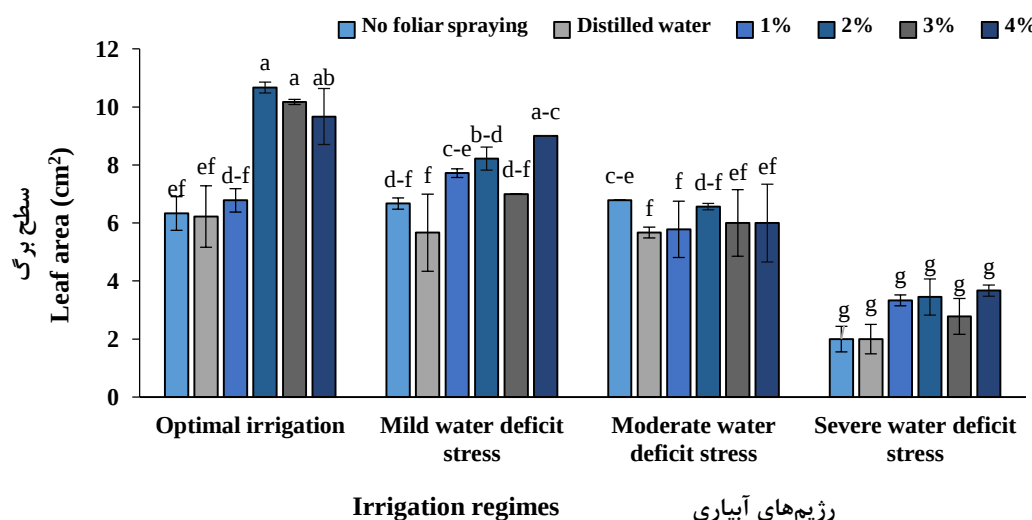
سطح برگ در بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری و کودی و اثر متقابل آن‌ها بر سطح برگ در بوته کاملینا در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین سطح برگ در بوته در شرایط آبیاری مطلوب و تیمار محلول‌پاشی کود اوره ۲، ۳ و

که مقدار و تراکم نیتروژن، بر تعداد و اندازه برگ‌های تولیدشده در گیاه تأثیر مستقیمی دارد (Sajedi and Ardekani, 2008). گزارش شده است که محلول‌پاشی نیتروژن یک درصد در کلزا در زمان ساقه رفتن و قبل از گلدهی باعث می‌شود که گیاه به دلیل عدم هدر رفت نیتروژن و تأمین آن در زمان تولید برگ، توانایی استفاده بهینه از محلول‌پاشی نیتروژن برای تولید برگ، افزایش سطح فتوسنتز و حفظ سبزیگی را داشته باشد (Tousi Kehal et al., 2013).

رابطه همبستگی مثبت و معنی‌دار بین سطح برگ و ارتفاع بوته ($r=0.83^{**}$)، وزن هزار دانه ($r=-0.48^*$)، عملکرد دانه ($r=0.88^{**}$)، عملکرد کاه ($r=0.76^{**}$)، عملکرد بیولوژیک ($r=0.81^{**}$)، شاخص برداشت ($r=0.71^{**}$)، تعداد خورجین در بوته ($r=0.80^{**}$)، کلروفیل کل ($r=0.85^{**}$) و کارتنوئید ($r=0.75^{**}$) وجود داشت (جدول ۸).

به شاهد شد. در شرایط تنش آبی متوسط، عدم محلول‌پاشی با ۶/۷۸ سانتیمتر مربع و در شرایط تنش آبی شدید محلول‌پاشی کود اوره با غلظت ۴ درصد بالاترین سطح برگ را نشان دادند (شکل ۱). در شرایط کمبود آب، تقسیم سلولی و تجمع ماده خشک، به دلیل بسته شدن روزنه‌ها، کاهش می‌یابد (Almoguera et al., 2012). هر گونه کمبود آب باعث کاهش فرآیندهای آماس سلولی، کاهش تقسیم و توسعه سلولی، به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها می‌شود. به همین دلیل، اولین تأثیر قابل‌مشاهده کم‌آبی بر روی گیاه ممکن است از طریق کوچک‌تر شدن اندازه برگ‌ها تشخیص داده شود. (Beyki and Khashei, 2019). در مطالعه‌ای با افزایش تنش آبی میزان شاخص سطح برگ در گیاه سویا کاهش یافت که با تحقیق حاضر همخوانی دارد (Behtari et al., 2005). انتخاب میزان مناسب کود نیتروژن می‌تواند به دستیابی به یک ترکیب متعادل از شاخص‌های رشد در گیاهان سایه‌پذیر کمک کند و بهبود عملکرد را تسهیل نماید. درواقع، ثابت شده



شکل ۱. اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی کود اوره بر سطح برگ تک بوته کاملینا.

Fig 1. Interaction between irrigation regimes and urea foliar application on leaf area of camelina.

۱۵/۰۰ و ۱۷/۵۰ درصد نسبت به شاهد با آبیاری مطلوب کاهش داشت (جدول ۵). تنش در مرحله زایشی ممکن است باعث کاهش حرکت مواد ذخیره‌ای به سمت دانه‌ها، به دلیل محدودیت آب و یا کاهش فعالیت فتوسنتزی جاری در برگ‌ها باعث کاهش وزن هزار دانه گردد. (Chaves et al., 2002). آبیاری در مرحله پر شدن دانه‌ها، شرایط مناسبی را برای ادامه فعالیت فتوسنتزی و تولید مواد فتوسنتزی و همچنین انتقال

وزن هزار دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری بر وزن هزار دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد، اما اثر محلول‌پاشی کود اوره معنی‌دار نشد (جدول ۲). وزن هزار دانه در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین مقدار را نشان داد. بر اساس نتایج، در شرایط تنش آبیاری ملایم، متوسط و شدید، وزن هزار دانه به ترتیب ۱۰/۰۰،

کنترل عوامل مختلفی است و عامل اصلی در این رابطه پتانسیل ژنتیکی ارقام است (Singh et al., 2001). صفت تعداد دانه در خورجین به‌صورت ژنتیکی تعیین می‌شود و کمتر تحت تأثیر شرایط محیطی نیز قرار دارد. تعداد دانه‌های موجود در هر خورجین نقش مهمی در عملکرد نهایی دانه ایفا می‌کند و می‌تواند تأثیر مستقیمی بر عملکرد نهایی دانه داشته باشد (Yazdani et al., 2007; Aminifar et al., 2013). نتایج به‌دست‌آمده با نتایج آراسته و فرنیا (Arasteh and Farnia, 2013) روی گیاه کلزا مطابقت دارد. تعداد دانه در خورجین با هیچ‌یک از صفات دیگر همبستگی معنی‌دار نداشت (جدول ۸).

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری در سطح احتمال ۱٪ و محلول‌پاشی اوره در سطح احتمال ۵٪ بر عملکرد دانه معنی‌دار شدند (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه در آبیاری مطلوب مشاهده شد. عملکرد دانه در شرایط تنش آبیاری ملایم، متوسط و شدید نسبت به شاهد (آبیاری مطلوب) به ترتیب ۱۲/۸۳، ۲۹/۰۵ و ۴۷/۵۲ درصد کاهش داشت (جدول ۵). همچنین نتایج نشان داد حداکثر عملکرد در محلول‌پاشی اوره ۲٪ به دست آمد که با سایر تیمارهای محلول‌پاشی اوره تفاوت معنی‌داری نداشت. محلول‌پاشی اوره ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی) به ترتیب ۱۸/۲۳، ۲۷/۹۵، ۱۶/۳۰ و ۱۱/۷۴ درصد عملکرد دانه را افزایش داد (جدول ۶). تنش خشکی منجر به اختلال در گلدهی، پر شدن ناکامل دانه‌ها و در نتیجه کاهش عملکرد گیاه می‌شود. شرایط کمبود آب در مرحله گلدهی، سقط‌جین در دانه‌گردها را افزایش می‌دهد. همچنین در مرحله تلقیح دانه‌گرده، کاهش شدت فتوسنتز، افزایش هورمون آبسزیک اسید و کاهش بارگیری مواد فتوسنتزی اتفاق می‌افتد که در نهایت باعث ریزش گل‌ها، خورجین‌ها و کاهش عملکرد می‌شود (Zadehbagheri et al., 2012). بیشترین عملکرد دانه کاملینا در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد و میزان عملکرد دانه با قطع آبیاری در محله گلدهی و خورجین‌دهی کاهش یافت (Amiri-Darban et al., 2020). محلول‌پاشی نیتروژن در شرایط رطوبت مناسب بر عملکرد دانه کلزا تأثیر معنی‌دار و مثبتی داشت (Salahi Farahi and Faraji, 2010). کاربرد نیتروژن همراه با شرایط مطلوب رطوبتی، سبب بهبود در رشد

مواد به دانه‌ها برای پر کردن آن‌ها، فراهم می‌کند که این عمل باعث بهبود وزن دانه می‌شود (Davies et al., 1999). رابطه همبستگی مثبت و معنی‌دار بین وزن هزار دانه و ارتفاع ($r=0.86^{**}$)، سطح برگ ($r=0.78^{**}$)، عملکرد دانه ($r=0.78^{**}$)، عملکرد کاه ($r=0.75^{**}$)، عملکرد بیولوژیک ($r=0.77^{**}$)، شاخص برداشت ($r=0.47^{**}$)، تعداد خورجین در بوته ($r=0.63^{**}$)، کلروفیل کل ($r=0.82^{**}$) و کارتنوئید ($r=0.86^{**}$) وجود داشت (جدول ۸).

تعداد خورجین در بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری بر تعداد خورجین در بوته در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد، اما اثر محلول‌پاشی کود اوره معنی‌دار نشد (جدول ۲). تعداد خورجین در بوته در تیمارهای آبیاری مطلوب، تنش آبی ملایم و تنش آبی متوسط یکسان بود. بیشترین تعداد خورجین در بوته در آبیاری مطلوب مشاهده شد. تعداد خورجین در بوته با تنش آبی ملایم، متوسط و تنش آبی شدید نسبت به شاهد (آبیاری مطلوب) به ترتیب ۱۰/۲۴، ۱۴/۵۲ و ۴۳/۱۱ درصد کاهش داشت (جدول ۵). یکی از دلایل اصلی کاهش تعداد خورجین در بوته، کاهش توسعه شاخه‌های جانبی است که ناشی از افزایش مواد بازدارنده رشد، به‌ویژه آبسزیک اسید، در شرایط تنش است (Pandey et al., 2010). در مرحله گلدهی، تنش خشکی می‌تواند باعث ریزش گل‌ها شود که در نتیجه منجر به کاهش تعداد خورجین می‌گردد. تنش خشکی شدید در اوایل گسترش خورجین‌ها، رشد آن‌ها را کاهش داده و در نتیجه باعث کاهش تعداد خورجین می‌شود. (Liu et al., 2004). تعداد خورجین در بوته رابطه همبستگی مثبت و معنی‌داری با ارتفاع ($r=0.60^{**}$)، سطح برگ ($r=0.80^{**}$)، وزن هزار دانه ($r=0.63^{**}$)، عملکرد دانه ($r=0.80^{**}$)، عملکرد کاه ($r=0.69^{**}$)، عملکرد بیولوژیک ($r=0.74^{**}$)، شاخص برداشت ($r=0.57^{**}$)، کلروفیل کل ($r=0.73^{**}$) و کارتنوئید ($r=0.79^{**}$) داشت (جدول ۸).

تعداد دانه در خورجین

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر تیمارهای موردبررسی بر تعداد دانه در خورجین معنی‌دار نشد (جدول ۲). هیچ‌گونه همبستگی معنی‌داری بین این صفت و سایر صفات مشاهده نشد. حداکثر تولید دانه در غلاف تحت

عملکرد کاه همبستگی مثبت و معنی‌داری با ارتفاع $(r=0.70^{**})$ ، سطح برگ $(r=0.76^{**})$ ، وزن هزار دانه $(r=0.75^{**})$ ، عملکرد دانه $(r=0.90^{**})$ ، عملکرد بیولوژیک $(r=0.99^{**})$ ، تعداد خورجین در بوته $(r=0.69^{**})$ ، کلروفیل کل $(r=0.91^{**})$ و کارتنوئید $(r=0.86^{**})$ داشت (جدول ۸).

عملکرد بیولوژیک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی اوره بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). تفاوت معنی‌داری بین عملکرد بیولوژیک در تیمارهای آبیاری مطلوب و تنش آبی ملایم وجود نداشت. بیشترین عملکرد بیولوژیک در آبیاری مطلوب مشاهده شد. عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش آبی ملایم، متوسط و شدید نسبت به شاهد (آبیاری مطلوب)، به ترتیب ۱۰/۲۴، ۲۵/۲۵ و ۳۰/۰۲ درصد کاهش داشت (جدول ۷). همچنین نتایج نشان داد حداکثر عملکرد در محلول‌پاشی اوره ۲٪ به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار محلول‌پاشی اوره ۳ درصد نداشت. محلول‌پاشی اوره ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی) به ترتیب ۱۷/۱۷، ۳۰/۱۲، ۱۹/۷۱ و ۸/۲۵ درصد عملکرد بیولوژیک را افزایش داد (جدول ۶). کاهش عملکرد بیولوژیک در دوره‌های تنش ناشی از خشک‌سالی ممکن است به کاهش سطح ویژه برگ، کاهش اجزای عملکرد و متعاقباً کاهش کارایی منبع (برگ‌ها و سطوح فتوسنتز) نسبت داده شود. افزایش تولید ماده خشک در گیاهان در شرایط آبیاری مناسب ممکن است به دلیل گسترش بیشتر سطح برگ و همچنین دوام سطح برگ آن باشد. این افزایش تولید ماده خشک ممکن است به‌وسیله ایجاد یک منبع فیزیولوژیک کارآمد برای بهره‌گیری حداکثر از نور دریافتی، بهبود یابد (Lak et al., 2007). کمبود نیتروژن به‌طور قابل توجهی رشد گیاه را کاهش می‌دهد و اصلاح این کمبود در واکنش‌های ظاهری و رشد گیاه به‌طور واضح مشاهده می‌شود (Hay and Porter, 2006). در مورد کلزا، افزایش غلظت محلول‌پاشی نیتروژن به ۱٪ منجر به افزایش معنی‌دار در برداشت این گیاه می‌شود (Tousi Kehal et al., 2013). به‌علاوه، مطالعات روی سویا نشان می‌دهند که افزایش محلول‌پاشی نیتروژن بهبود قابل توجهی در عملکرد بیولوژیک این گیاه ایجاد می‌کند (Touhidi and Khosravifar, 2016).

و به‌طور کلی افزایش عملکرد دانه در گیاه گلرنگ شد که این نتایج با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد (Soleimanifard et al., 2022).

عملکرد دانه رابطه همبستگی مثبت و معنی‌داری با ارتفاع $(r=0.76^{**})$ ، سطح برگ $(r=0.88^{**})$ ، وزن هزار دانه $(r=0.78^{**})$ ، عملکرد کاه $(r=0.90^{**})$ ، عملکرد بیولوژیک $(r=0.95^{**})$ ، شاخص برداشت $(r=0.74^{**})$ ، تعداد خورجین در بوته $(r=0.80^{**})$ ، کلروفیل کل $(r=0.91^{**})$ و کارتنوئید $(r=0.92^{**})$ داشت (جدول ۸).

عملکرد کاه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی اوره بر عملکرد کاه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین عملکرد کاه در آبیاری مطلوب مشاهده شد. عملکرد کاه در شرایط تنش آبیاری ملایم، متوسط و تنش آبیاری شدید نسبت به شاهد (آبیاری مطلوب) به ترتیب ۹/۳۶، ۲۳/۹۶ و ۳۲/۱۴ درصد کاهش داشت (جدول ۵). همچنین نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای محلول‌پاشی اوره ۲ و ۳ درصد در رابطه با عملکرد کاه وجود نداشت و حداکثر عملکرد در محلول‌پاشی اوره ۲٪ به دست آمد. محلول‌پاشی اوره ۲ و ۳ درصد نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی) به ترتیب ۳۰/۸۱ و ۲۰/۸۰ درصد عملکرد کاه را افزایش داد (جدول ۶). کمبود شدید آب منجر به کاهش سطح برگ و کاهش رشد و ماده‌ی خشک گیاه می‌شود. تنش آبیاری ملایم در اوایل فرآیند رشد رویشی می‌تواند تولید ماده خشک را به میزان کمی کاهش دهد، اما ادامه تنش تا اواخر مرحله رشد، به‌ویژه در مرحله زایشی، می‌تواند میزان عملکرد ماده خشک را کاهش دهد (Pandey et al., 2000). با استفاده از محلول‌پاشی اوره در زمان گلدهی، نیتروژن موردنیاز گیاه تأمین شده و سرعت فتوسنتز برگ‌ها افزایش می‌یابد که به‌عبارت دیگر، فرآیند تولید ماده خشک نیز افزایش می‌یابد (Koocheki and Sarmadnia, 2005). با افزایش غلظت محلول‌پاشی نیتروژن عملکرد علوفه تر، وزن خشک ساقه و عملکرد کاه، نسبت به شاهد، روی دو گیاه ذرت و سورگوم افزایش معنی‌داری پیدا کرد اما در بین غلظت‌های ۵ و ۷/۵ در هزار نیتروژن اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد که نتایج به‌دست‌آمده با نتایج فوق مطابقت دارد (Kheirabadi et al., 2012).

باشد، افزایش شدت تنش خشکی باعث کاهش شاخص برداشت می‌شود. شاخص برداشت، نشانگر کارایی انتقال مواد فتوسنتزی تولیدشده در گیاه به دانه است. (Naderi 2005, Darbaghshahi et al., 2005). محدودیت آبی با کاهش محصول دانه موجب افت شاخص برداشت در کلزا شد، این نتیجه نشانگر حساسیت بالای محصول دانه نسبت به محصول بیولوژیکی به کمبود آب در این گیاه است. گزارش شده است که افزایش فواصل آبیاری سبب کاهش معنی‌دار شاخص برداشت کلزا شد (Azari et al., 2019). با وقوع تنش خشکی، شاخص برداشت در گلرنگ کاهش داشت (Hosseini et al., 2019) که با نتایج فوق مطابقت دارد. شاخص برداشت رابطه همبستگی مثبت و معنی‌داری با ارتفاع ($r=0/51^{**}$)، سطح برگ ($r=0/71^{**}$)، وزن هزار دانه ($r=0/47^{**}$)، عملکرد دانه ($r=0/74^{**}$)، عملکرد بیولوژیک ($r=0/51^{**}$)، تعداد خورجین در بوته ($r=0/57^{**}$)، کلروفیل کل ($r=0/52^{**}$) و کارتنوئید ($r=0/57^{**}$) داشت (جدول ۸).

عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و معنی‌داری با ارتفاع ($r=0/73^{**}$)، سطح برگ ($r=0/81^{**}$)، وزن هزار دانه ($r=0/77^{**}$)، عملکرد دانه ($r=0/95^{**}$)، عملکرد کاه ($r=0/99^{**}$)، شاخص برداشت ($r=0/51^{**}$)، تعداد خورجین در بوته ($r=0/74^{**}$)، کلروفیل کل ($r=0/93^{**}$) و کارتنوئید ($r=0/90^{**}$) داشت (جدول ۸).

شاخص برداشت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری بر شاخص برداشت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). شاخص برداشت در تیمارهای تنش آبی ملایم، متوسط و شدید یکسان بود و از نظر آماری در یک گروه قرار گرفت. بیشترین مقدار این صفت (۲۵/۳۶ درصد) در آبیاری مطلوب مشاهده شد (جدول ۷). تغییرات در شاخص برداشت بیشتر از هر چیزی به عملکرد دانه وابسته است. اگر تنش خشکی بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشته

جدول ۷. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی رژیم‌های آبیاری روی صفات عملکردی و فیزیولوژیک کاملینا.

Table 7. Mean comparison of the main effect of irrigation regimes on yield and physiological traits of camelina.

رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئید Carotenoids
%AW	Kg.ha ⁻¹	%	-----mg.g ⁻¹ FW-----	
20	2119.79±168.48a	25.36±1.79a	7.22±0.60a	40.83±1.26a
40	1902.79±75.7ab	24.55±1.74b	5.83±0.20b	33.25±0.58b
60	1584.63±118.02bc	23.82±1.31b	4.32±0.37c	26.43±0.77c
80	1356.17±73.2c	20.74±2.06b	3.34±0.50d	21.48±1.74d

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح ۵٪، آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

The means with same letters in each column do not have a significant difference in the probability level 5% error in the LSD test.

۱۲/۴۲، ۳۸/۷۹، ۳۰/۳۲ و ۱۶/۳۸ درصد کلروفیل کل را افزایش داد (جدول ۶). کلروفیل کل در کاملینا در شرایط تنش خشکی شدید و متوسط کاهش یافت (Nazam 2018, Alsalmi and Sepehri, 2018). گزارش شده است که کلروفیل برگ کلزا از مرحله خورجین‌دهی در شرایط قطع آبیاری نسبت به شرایط آبیاری کامل کاهش می‌یابد (-Eyni 2019, Nargeseh et al., 2019). در مطالعه‌ای تنش خشکی سبب کاهش غلظت کلروفیل کل در گلرنگ شد (Hosseini et al., 2019) که با نتایج فوق مطابقت دارد. همچنین علت کاهش مقدار رنگیزه‌ها تحت تأثیر تنش خشکی، تغییر مسیر متابولیسم نیتروژن در ساخت ترکیب‌هایی نظیر پرولین است که برای تنظیم اسمزی استفاده می‌شوند. بین غلظت نیتروژن

کلروفیل کل

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی اوره بر کلروفیل کل برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۴). میزان کلروفیل کل برگ در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین مقدار را نشان داد. بر اساس نتایج، در تنش آبی ملایم، متوسط و شدید کلروفیل کل به ترتیب ۱۹/۱۰، ۴۰/۲۱ و ۵۲/۷۱ درصد نسبت به شاهد با آبیاری مطلوب کاهش داشت (جدول ۷). همچنین نتایج نشان داد در محلول‌پاشی اوره ۲ و ۳ درصد، محتوای کلروفیل کل از نظر آماری یکسان بود و حداکثر کلروفیل کل در محلول‌پاشی اوره ۲٪ به دست آمد. محلول‌پاشی اوره ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی) به ترتیب

شرایط عدم استفاده از کود نیتروژن، شد (Robertson and Holland, 2004; Özer et al., 1999).

محتوای کلروفیل کل همبستگی مثبت و معنی‌داری با ارتفاع ($r=0.83^{**}$)، سطح برگ ($r=0.85^{**}$)، وزن هزار دانه ($r=0.82^{**}$)، عملکرد دانه ($r=0.91^{**}$)، عملکرد بیولوژیک ($r=0.93^{**}$)، شاخص برداشت ($r=0.52^{**}$)، تعداد خورجین در بوته ($r=0.73^{**}$) و کارتنوئید ($r=0.91^{**}$) داشت (جدول ۸).

موجود در برگ‌ها و میزان کلروفیل برگ‌ها همبستگی مثبتی وجود دارد؛ زیرا نیتروژن عنصر اصلی تشکیل‌دهنده کلروفیل در گیاه است که یک عامل کلیدی در فرایند فتوسنتز محسوب می‌شود، همراه با افزایش غلظت محلول‌پاشی اوره در کاملینا میزان کلروفیل کل افزایش پیدا کرد (Zarei et al., 2020). استفاده از نیتروژن باعث افزایش غلظت کلروفیل در برگ می‌شود زیرا نیتروژن از اجزای اساسی ساختار کلروفیل است. در شرایط کشت تأخیری، مصرف کود نیتروژن منجر به افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌های گیاه کلزا نسبت به

جدول ۸. ضرایب همبستگی بین صفات کاملینا

Table 8. Correlation coefficient between camelina traits

Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 ارتفاع	1.00									
2 Height										
3 سطح برگ	0.83**	1.00								
4 Leaf area										
5 وزن هزار دانه	0.86**	0.78**	1.00							
6 Weight of thousand grains										
7 عملکرد دانه	0.76**	0.88**	0.78**	1.00						
8 Grain yield										
9 عملکرد کاه	0.70**	0.76**	0.75**	0.90**	1.00					
10 Straw yield										
11 عملکرد بیولوژیک	0.73**	0.81**	0.77**	0.95**	0.99**	1.00				
12 Biological yield										
13 شاخص برداشت	0.51*	0.71**	0.47*	0.74**	0.40	0.51**	1.00			
14 Harvest index										
15 تعداد خورجین در بوته	0.60**	0.80**	0.63**	0.80**	0.69**	0.74**	0.57**	1.00		
16 Number of silique per plant										
17 تعداد دانه در خورجین	0.09	0.21	-0.40	0.24	0.17	0.19	0.24	0.35	1.00	
18 Number grain per silique										
19 کلروفیل کل	0.83**	0.85**	0.82**	0.91**	0.91**	0.93**	0.52**	0.73**	0.12	1.00
20 Total chlorophyll										
21 کارتنوئید	0.75**	0.75**	0.86**	0.92**	0.86**	0.90**	0.57**	0.79**	0.18	0.91**
22 Carotenoids										

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد و بدون علامت غیر معنی‌دار

* and ** indicate significance at 5% and 1% levels, respectively, and without a sign of non-significance.

و تخریب ساختار آن‌ها باشد. مقدار کارتنوئید با افزایش تنش خشکی در آفتابگردان کاهش داشت (Manivannan et al., 2007). این نتایج با پژوهش قربانلی و همکاران (Ghorbanli et al., 2011) روی کتان همخوانی داشت.

محتوای کارتنوئید همبستگی مثبت و معنی‌داری با ارتفاع ($r=0.75^{**}$)، سطح برگ ($r=0.75^{**}$)، وزن هزار دانه ($r=0.86^{**}$)، عملکرد دانه ($r=0.92^{**}$)، عملکرد بیولوژیک ($r=0.99^{**}$)، شاخص برداشت ($r=0.57^{**}$)، تعداد خورجین در بوته ($r=0.79^{**}$) و کلروفیل کل ($r=0.91^{**}$) داشت (جدول ۸).

کارتنوئید

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری بر میزان کارتنوئید برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۴). میزان کارتنوئید برگ در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین مقدار را نشان داد (جدول ۷). بر اساس نتایج، در تنش آبی ملایم، متوسط و شدید کارتنوئید به ترتیب ۱۸/۵۶، ۳۵/۲۷ و ۴۷/۳۹ درصد نسبت به شاهد با آبیاری مطلوب کاهش داشت (جدول ۷). در طول تنش خشکی، میزان کارتنوئید کاهش یافته که این کاهش می‌تواند به دلیل اکسید شدن کارتنوئید توسط اکسیژن فعال

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از این بود که وقوع تنش کمبود آب بر عملکرد و اجزای عملکرد کاملینا تأثیر منفی دارد. به‌طوری‌که در اغلب صفات موردبررسی، اثر رژیم‌های آبیاری معنی‌دار شده و بیشترین کاهش عملکرد و اجزای عملکرد بین تیمارهای آبیاری، مربوط به تنش کمبود آب شدید بود. محلول‌پاشی اوره ۲٪ باعث بهبود عملکرد دانه و

عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی شد. همچنین، نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در تیمار محلول‌پاشی ۲٪ اوره و در شرایط آبیاری مطلوب به دست آمد. بیشترین سطح برگ در تمام تیمارهای آبیاری در تیمار محلول‌پاشی ۲٪ اوره به دست آمد. با توجه به نتایج این پژوهش، محلول‌پاشی ۲ درصد اوره برای افزایش عملکرد و اجزای عملکرد کاملینا در شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری توصیه می‌شود.

منابع

- Abedi, A. M., Sanavy, S. M., Heidarzadeh, A., 2023. Changes in the percentage and yield of *Camelina sativa* oil with the use of zeolite and wood vinegar under water stress conditions. In: Proceedings of the Third International Conference and the Seventh National Conference on Organic and Conventional Agriculture, Ardabil, Iran. [In Persian with English Summary].
- Ahmed, Z., Liu, J., Waraich, E.A., Yan, Y., Qi, Z., Gui, D., Zhang, Z., 2020. Differential physio-biochemical and yield responses of *Camelina sativa* L. under varying irrigation water regimes in semi-arid climatic conditions. PLoS ONE. 15(12), e0242441. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242441>
- Almoguera, C., Prieto-Dapena, P., Personat, J. M., Tejedor-Cano, J., Lindahl, M., Diaz-Espejo, A., Jordano, J., 2012. Protection of the photosynthetic apparatus from extreme dehydration and oxidative stress in seedlings of transgenic tobacco. PLoS ONE. 7(12), e51443. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051443>
- Aminifar, J., Mohsenabadi, G.R., Beiglooi, M.H., Samazadeh, H.A., 2013. Effect of deficit irrigation on yield, yield components and water productivity of soybean T.215 cultivar. Irrigation and Water Engineering. 3(1), 24–34. [In Persian with English Summary]
- Amiri-Darban, N., Nourmohammadi, G., Shirani Rad, A. H., Mirhadi, S.M.J., Majidi Heravan, 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(4), 239–251. [In Persian with English Summary]
- <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242441>
- Anjum, S.A., Xie, X., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C., Lei, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research. 6(9), 2026–2032. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.027>
- Arasteh, E., Farnia, A., 2013. Investigation of the effect of drought tension and plant density on quality and quantity characteristics of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars in Lorestan climate conditions. Crop Physiology Journal. 5(1), 99–111. [In Persian with English Summary].
- Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in plants. Agronomy Journal. 23(1), 112–121.
- Azari, L., Ghasemi Golazani, K., Shefagh Kolvanagh, J., 2019. The effect of water deficit and foliar application of iron and zinc on field performance of canola (*Brassica napus* L.). MSc dissertation, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran. [In Persian].
- Baghbani-Arani, A., 2017. Quantitative and qualitative assessment of *Trigonella foenum-graecum* under drought stress during the vegetative and reproductive stages in response to zeolite and vermicompost. PhD dissertation, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran. [In Persian].
- Bahreyninejad, B., Razmjoo, J., Mirza, M., 2013. Influence of water stress on morpho-physiological and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. International Journal of Plant Production. 7(1), 151–166. <https://doi.org/10.22034/IJPP.2013.540454>

- Behtari, B., Golazani, K., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Zehtab Salmasi, S., Torchi, M., 2005. Effects of water restriction on oil storage, protein, and grain yield in two soybean cultivars. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran. [In Persian].
- Beyki, A., Khashei, A., 2019. Application of clinoptilolite natural zeolite and irrigation management on yield and yield components of black cumin plant (*Nigella sativa* L.). Journal of Water Research in Agriculture. 33(1), 137–148. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22092/jwra.2019.119120>.
- Bi, G., Scagel, C., 2007. Nitrogen foliar feeding has advantages. Nursery Management and Production. 23(1), 43–46.
- Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maroco, J., Rodrigues, M.L., Ricardo, C.P.P., Osório, M.L., Pinheiro, C., 2002. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. Annals of Botany. 89(7), 907–916. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf105> Davies,
- Davies, S.L., Turner, N.C., Siddique, K.H.M., Leport, L., Plummer, J.A., 1999. Seed growth of desi and kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) in a short-season Mediterranean-type environment. Australian Journal of Experimental Agriculture. 39(2), 181–188. <https://doi.org/10.1071/EA98047>
- Distefano, T., Kelly, S., 2017. Are we in deep water? Water scarcity and its limits to economic growth. Ecological Economics. 142, 130–147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.023>
- Eyni-Nargeseh, H., Aghaalikhani, M., Shirani Rad, A.H., Mokhtassi-Bidgoli, A., Modares Sanavy, S.A.M., 2019. Physiological and agronomic response of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes to late-season drought stress under Karaj climatic conditions. Sustainable Agriculture and Production Science. 29(1), 79–95. [In Persian with English Summary].
- Francki, M., Ghamkhar, K., Croser, J., Aryamanesh, N., Campbell, M., Kon'kova, N., Francis, C., 2010. Camelina (*Camelina sativa* L.) as an alternative oilseed: Molecular and ecogeographic analyses. Genome. 53(7), 558–567. <https://doi.org/10.1139/G10-029>
- Ghorbani, M., Kahrizi, D., Chaghakaboodi, Z., 2020. Evaluation of Camelina sativa doubled haploid lines for the response to water-deficit stress. Journal of Medicinal Plants and By-products. 9(2), 193–199. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2020.123456>
- Ghorbanli, M., Bakhshi Khaniki, Gh., Zakery, A., 2011. Investigation of the effect of drought stress on antioxidant compounds in medicinal plant flax (*Linum usitatissimum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 27(4), 647–658. [In Persian with English Summary].
- Hay, R.K., Porter, J.R., 2006. The Physiology of Crop Yield. Blackwell Publishing. 314p.
- Hosseini, R., Rahnama Ghaefarrokhi, A., Maskarabashi, M., 2019. Investigation of morpho-physiological traits of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars and genotypes under drought stress conditions. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. [In Persian].
- Karimpour Golsephidi, S., Azadmard-Damirchi, S., 2018. Extraction of oil from canola seeds incorporated with olive leaves by cold press and evaluation of its qualitative properties. Food Science and Technology. 17(1), 161–169. [In Persian with English Summary].
- Khalil, N., Fekry, M., Bishr, M., El-Zalabani, S., Salama, O., 2018. Foliar spraying of salicylic acid induced accumulation of phenolics, increased radical scavenging activity, and modified the composition of the essential oil of water-stressed *Thymus vulgaris* L. Plant Physiology and Biochemistry. 123, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.12.006>
- Khayyabadi, H., Shahsoni, S., Gorginik, S., Basafa, M., 2012. Investigating the effect of urea foliar application on the quantitative and qualitative characteristics of corn and forage sorghum. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Iran. [In Persian].
- Koocheki, A., Sarmadnia, G.H., 2005. Physiology of Crop Plants. 400p. [In Persian].
- Lak, S., Naderi, A., Sidat, S. A. E., Ayenahband, A., Nourmohammadi, G., 2007. Effects of water deficiency stress on yield and nitrogen efficiency of grain corn hybrid SC 704 at different nitrogen rates and plant population. 73–76. [In Persian with English Summary].
- Lalinia, A. A., Majnon Hoseini, N., Galostian, N., Esmailzadeh Bahabadi, M., Khameneh, M. M., 2012. Ecophysiological impact of water

- stress on growth and development of mungbean. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 3(12), 599–607.
- Liu, F., Andersen, M. N., Jensen, C. R., 2004. Root signal controls pod growth in drought-stressed soybean during the critical, abortion-sensitive phase of pod development. *Field Crops Research*. 85(2-3), 159–166. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00144-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00144-6)
- Madani, A., Rad, A.S., Pazoki, A., Nourmohammadi, G., Zarghami, R., 2010. Wheat (*Triticum aestivum* L.) grain filling and dry matter partitioning responses to source:sink modifications under postanthesis water and nitrogen deficiency. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 32(1), 145–151. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.6273>
- Madani, A., Vazin, F., Haghighi, Z., 2013. The effect of irrigation and nitrogen topdressing pattern on yield and growth of sunflower. *Helia*. 36(58), 99–110. <https://doi.org/10.2298/HEL1358099M>
- Malakouti, M. J., Tehranzadeh, M.M., 1999. The Role of Micronutrients in Increasing the Yield of Agricultural Products (Micro-Scale Products with Macro-Scale Effects). Tarbiat Modares University Publication. 211p. [In Persian].
- Manivannan, P., Jaleel, C.A., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G. A., Panneerselvam, R., 2007. Growth, biochemical modifications, and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 59(2), 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.05.002>
- Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press Limited. 864p.
- Nabati, D.A., Schmidt, R.E., Khaleghi, E.S., Parrish, D.J., 2008. Assessment of drought stress on physiology growth of *Agrostis palustris* Huds. as affected by plant bioregulators and nutrients. *Asian Journal of Plant Sciences*. 7(8), 717–723. <https://doi.org/10.3923/ajps.2008.717.723>
- Naderi Darbaghshahi, M. R., Noormohammadi, G., Majidi, Gh., Darvish, A., Shirani Rad, F., Ahmadi, A. H., Madani, H., 2005. Investigating the response of summer safflower to different levels of drought stress in Isfahan region. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 7(3), 212–225. [In Persian with English Summary].
- Nahar, K., Pan, W. L., 2014. Urea fertilization: Effects on growth, nutrient uptake, and root development of the biodiesel plant, castor bean (*Ricinus communis* L.). *American Journal of Experimental Agriculture*. 5(4), 320–335. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2015/12956>
- Nazam Alsalmi, M., Sepehri, A., 2018. The effect of calcium chloride on growth and some physiological characteristics of *Camelina sativa* seedlings under water stress and low temperature. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Iran. [In Persian].
- Obour, A. K., Sintim, H. Y., Obeng, E., Jeliaskov, D. V., 2015. Oilseed camelina (*Camelina sativa* L. Crantz): Production systems, prospects, and challenges in the USA Great Plains. *Advances in Plants and Agriculture Research*. 2(2), e00043. <https://doi.org/10.15406/apar.2015.02.00043>
- Özer, H., Oral, E., Doger, Ü., 1999. Relationships between yield and yield components on currently improved spring rapeseed cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 23(6), 603–608.
- Pandey, A. C., Sanjay, S., Yadav, R., 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. *Journal of Experimental Nanoscience*. 5(6), 488–497. <https://doi.org/10.1080/17458080.2010.524669>
- Robertson, M. J., Holland, J. F., 2004. Production risk of canola in the semi-arid subtropics of Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*. 55(5), 525–538. <https://doi.org/10.1071/AR03214>
- Sadeghipour, O., Aghaei, P., 2012. Response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to exogenous application of salicylic acid (SA) under water stress conditions. *Advances in Environmental Biology*. 6(3), 1160–1168.
- Sajedi, N., Ardekani, A., 2008. Effect of different levels of nitrogen, iron and zinc on physiological indices and forage yield of maize (*Zea mays* L.) in Markazi province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(1), 99–110. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v6i1.1180>
- Sakhavatifar, S., Rahimi Karizaki, A., Nakhzari Moghadam, A., Mollashahi, M., 2018. Investigating yield gaps in canola (*Brassica napus* L.) in the eastern part of Golestan

- province, Iran (Case study: Kalaleh-Zavkouh district). MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. [In Persian].
- Salahi Farahi, M., Faraji, A., 2010. Effect of nitrogen foliar application and different levels of irrigation on yield of canola in Gonabad, Iran. *Iranian Journal of Soil Research*. 24(2), 127–134. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijsr.2010.126615>.
- Salardini, A., 1995. Soil Fertility. University of Tehran Press. 441p. [In Persian].
- Singh, M., Patidor, M., Singh, B., 2001. Response of Indian mustard cultivars to different sowing time. *Indian Journal of Agronomy*. 46(2), 292–295.
- Soleimanifard, A., Mojaddam, M., Lack, S., Alavifazel, M., 2022. Effect of Azotobacter and nitrogen fertilizer levels on agro-physiological traits and yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes under different moisture conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*. 15(4), 467–492. [In Persian with English Summary].
- Soorni, J., Kazemitabar, S. K., Kahrizi, D., Dehestani, A., Bagheri, N., 2021. Genetic analysis of freezing tolerance in camelina [*Camelina sativa* (L.) Crantz] by diallel cross of winter and spring biotypes. *Planta*. 253(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03547-7>
- Touhidi, M., Khosravifar, S., 2016. Improvement of soybean (*Glycine max* L.) performance with urea foliar application during growth stages. *Journal of Crop Ecophysiology*. 9(4), 529–540. [In Persian with English Summary].
- Tousi Kehal, P., Esfahani, M., Rabiei, B., Rabiei, M., 2013. Changes in growth and oil yield indices of rapeseed (*Brassica napus* L., cv. Hyola 401) in different concentrations and times of application of supplementary nitrogen fertilizer. *Journal of Crop Production and Processing*. 2(4), 179–190. [In Persian with English Summary].
- Valadabadi, S. A., Yousefi, M., 2022. Effect of zeolite and biofertilizers on the essential oil yield and some physiological characteristics of *Satureja hortensis* L. under water deficit stress. *Journal of Medicinal Plants and By-products*. [In Persian with English Summary].
- Vollmann, J., Eynck, C., 2015. Camelina as a sustainable oilseed crop: Contributions of plant breeding and genetic engineering. *Biotechnology Journal*. 10(4), 525–535. <https://doi.org/10.1002/biot.201400200>
- Wang, Q., Awasthi, M. K., Ren, X., Zhao, J., Li, R., Wang, Z., Wang, M., Chen, H., Zhang, Z., 2018. Combining biochar, zeolite, and wood vinegar for composting of pig manure: The effect on greenhouse gas emission and nitrogen conservation. *Waste Management*. 74, 221–230. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.003>
- Waraich, E. A., Ahmad, R., Ahmad, R., Ahmed, Z.E.E.S.H.A.N., Ahmad, Z., Barutcular, C., Sabagh, A., 2020. Comparative study of growth, physiology, and yield attributes of *Camelina sativa* L. and *Brassica napus* L. under different irrigation regimes. *Pakistan Journal of Botany*. 52(5), 1537–1544. [https://doi.org/10.30848/PJB2020-5\(38\)](https://doi.org/10.30848/PJB2020-5(38))
- Witte, C.P., Tiller, S.A., Taylor, M.A., Davies, H. V., 2002. Leaf urea metabolism in potato: Urease activity profile and patterns of recovery and distribution of ¹⁵N after foliar urea application in wild-type and urease-antisense transgenics. *Plant Physiology*. 128(3), 1129–1136. <https://doi.org/10.1104/pp.010766>
- Yazdani, F., Allahdadi, A., Akbari, Gh. M., Behbahani, M.R., 2007. Effects of super absorbent polymer (Tarawat A 200) and levels of drought stress on soybean yield. [Journal of Agronomy and Horticulture]. 57(1), 167–174. [In Persian with English Summary].
- Zadehbagheri, M., Kamelmanesh, M. M., Javanmardi, S., Sharafzadeh, S., 2012. Effect of drought stress on yield and yield components, relative leaf water content, proline, and potassium ion accumulation in different white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *African Journal of Agricultural Research*. 7(42), 5661–5670. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.1352>
- Zarei, Sh., Hasibi, P., Kahrizi, D., Safi Aldini Ardabili, S. M., 2020. Eco-physiological investigation of the effect of planting time and nitrogen on *Camelina sativa* in Ahvaz climatic conditions and its biodiesel properties. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. [In Persian].