

## Effect of foliar application of amino acids on some physiological processes of oil rapeseed (*Brassica Napus L.*) under late-season drought stress conditions

Esmail Fayaz<sup>1</sup> , Ali Sorooshzadeh<sup>2\*</sup> , Ali Heidarzadeh<sup>3</sup> 

1. Masters student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran.
3. Ph.D. Graduate of Agronomy, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran.

**Citation:** Fayaz, E., Sorooshzadeh, A., Heidarzadeh, A. (2024). Effect of foliar application of amino acids on some physiological processes of oil rapeseed (*Brassica Napus L.*) under late-season drought stress conditions. *Plant Productions*, 47(1), 65-83

### Abstract

#### Introduction

Oil rapeseed (*Brassica napus L.*) stands out as a precious oilseed plant cultivated globally, ranking as the third major source of oil production. The cultivation of this plant is expanding due to its notable nutritional and economic advantages. However, the arid and semi-arid climate of Iran poses a challenge to rapeseed cultivation, particularly with the occurrence of water deficit stress towards the end of the season. Various strategies are employed to mitigate the adverse effects of drought stress and enhance plant tolerance. One effective method involves the application of biological stimulants, such as amino acids. These compounds can stimulate plant growth and development, under optimal conditions and stress. Amino acids play direct and indirect roles in physiological metabolism, facilitating nutrient exchange and structural activities. This includes the augmentation of photosynthetic pigment concentration, enhancement of photosynthesis rate, and increased protein synthesis, particularly under stress conditions. In consideration of the significance of oil and the role of rapeseed in oil production, along with the challenges posed by drought stress during the reproductive growth stages of rapeseed, this study was conducted to examine the impact of foliar application of amino acids on the physiological parameters of oil rapeseed under conditions of irrigation interruption at the end of the season.

#### Materials and methods

This experiment was conducted to investigate the effect of foliar spraying of amino acids on the physiological characteristics and chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic pigments of oil rapeseed under withholding irrigation at the end of the season (reproductive growth stage) as factorial design based on randomized complete blocks with three replications in the research farm of the Faculty of Agriculture of Tarbiat Modares University, during the 2022-2023 growing season. The investigated factors were three levels of irrigation (full irrigation

---

\* **Corresponding Author:** Ali Sorooshzadeh  
**E-mail:** soroosh@modares.ac.ir



during the season, withholding irrigation from 50% flowering stage, withholding irrigation from pod forming) and five levels of foliar spraying (no foliar spraying, zero foliar spraying (distilled water), one, two and three grams of amino acids per liter) in stem elongation, flower-bud emergence, and flowering stages. The experimental plots included four planting rows and three meters in length. In the field, one week after the last foliar spraying, photosynthetic and transpiration rates and various fluorescence parameters were measured using a portable gas exchange and Mini-PAM device, respectively. Moreover, pigments (including chlorophyll a, b and carotenoid) in the fresh plant samples were determined in the laboratory. After ensuring the normality of the residual of data, statistical analysis was performed using SAS software (version 4.9.) to compare the average data. The LSD test was used at the five percent level.

### Results

Physiological and biochemical traits were adversely impacted by water deficit stress, as evidenced by the withholding of irrigation. This stress condition significantly decreased various characteristics, including maximum photosystem efficiency, photosynthesis rate, stomatal conductance, transpiration rate, and levels of photosynthetic pigments. However, applying amino acids via foliar spray mitigated the adverse effects of drought stress. The results indicated that the photosynthesis rate, stomatal conductance, transpiration rate, intercellular CO<sub>2</sub> concentration, intercellular CO<sub>2</sub>/ambient CO<sub>2</sub> ratio, photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoids), and chlorophyll fluorescence parameters were significantly influenced by the interaction between drought stress and foliar application of amino acids. The results indicated that the foliar application of two grams of amino acids per liter significantly increased various physiological parameters compared to the control group. Specifically, it resulted in a 22% enhancement in the photosynthesis rate, an 80% improvement in stomatal conductance, a 30% elevation in transpiration rate, a 40% rise in chlorophyll b, and a 27% increase in carotenoid levels. Conversely, the foliar spraying of one gram of amino acids per liter yielded the highest levels of chlorophyll a and the maximum quantum efficiency of photosystem II. These values were 20% and 5.5%, respectively, different from those observed in the control group. Also, the highest grain yield was obtained under withholding irrigation from 50% flowering stage (1440 kg ha<sup>-1</sup>), withholding irrigation from 50% flowering stage (2346 kg ha<sup>-1</sup>) and full irrigation during the season (4514 kg ha<sup>-1</sup>) with foliar application of 2 grams of amino acid per liter.

### Conclusion

Based on the findings, the most favourable impact of foliar application of amino acids on the investigated traits was observed at a concentration of two grams per liter of water. Notably, the enhancement of these traits has a direct correlation with seed yield. Consequently, considering the substantial influence of these traits on the improvement of seed yield (22.4% and 61.4% under full irrigation and irrigation interruption conditions, respectively), the recommendation is to employ foliar spraying of two grams of amino acids per liter. This application is suggested to enhance rapeseed's physiological and biochemical characteristic across all three irrigation regimes, including full irrigation and interruption of irrigation from the flowering and budding stages.

**Keywords:** Chlorophyll, Photosynthesis, Quantum efficiency of photosystem, Stomatal conductance

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۳، ۱۴۷(۱)، ۶۵-۸۳

<https://plantproduction.scu.ac.ir/>

ISSN (P): 2588-543X; ISSN (E): 2588-5979

Doi: 10.22055/ppd.2024.45873.2138

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹



تولیدات گیاهی

مقاله پژوهشی

## تأثیر محلول پاشی اسیدهای آمینه در شرایط تنش کم آبی آخر فصل بر برخی از فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه کلزا (*Brassica Napus L.*)

اسماعیل فیاض<sup>۱</sup> ID، علی سروش زاده<sup>۲\*</sup> ID، علی حیدرزاده<sup>۳</sup> ID

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- دانشیار، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳- دانش آموخته دکتری، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

### چکیده

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی اسیدهای آمینه روی پارامترهای فیزیولوژیک کلزا در شرایط قطع آبیاری آخر فصل (مرحله رشد زایشی) انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل (دو عاملی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در دانشگاه تربیت مدرس اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل سه سطح آبیاری (آبیاری کامل در طول فصل زراعی، قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گلدهی، قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی) و پنج سطح محلول پاشی (بدون محلول پاشی، محلول پاشی به ترتیب صفر (آب مقطر)، یک، دو و سه گرم اسیدهای آمینه در یک لیتر آب) در سه مرحله رشد (رشد طولی ساقه (رشد نه میانگه به طور آشکار)، مرحله ظهور گل آذین (محصول شدن جوانه‌های گل توسط برگ‌ها) و مرحله گلدهی بود. اثرات تیمارها یک هفته بعد از آخرین محلول پاشی، بر صفات مختلف شامل: رنگدانه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b و کاروتنوئید، سرعت فتوسنتز، میزان تعرق، غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای و هدایت روزنه‌ای، شاخص‌های مختلف فلورسانس اندازه گیری شدند. نتایج نشان داد برهمکنش تنش کم آبی و محلول پاشی روی سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، میزان تعرق، غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای و نسبت آن به دی‌اکسید کربن محیط، رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید) و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل تأثیر معناداری گذاشت. در بررسی همبستگی بین صفات مشخص گردید کاروتنوئید تنها با صفات غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای ( $r = 0.84^{**}$ ) و نسبت آن به دی‌اکسید کربن محیط ( $r = 0.88^{**}$ ) و همچنین فلورسانس کمینه ( $r = 0.84^{**}$ ) همبستگی مثبت و معنادار دارد. کلروفیل a و b بالاترین همبستگی مثبت و معنادار را با شاخص فلورسانس بیشینه ( $r = 0.94^{**}$ ) داشتند. شاخص‌های فلورسانس کلروفیل بالاترین همبستگی مثبت و معنادار را با صفات سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، میزان تعرق و کلروفیل‌ها داشتند با این وجود فلورسانس کمینه تنها با صفات مرتبط با تبادل دی‌اکسید کربن و کاروتنوئید همبستگی مثبت و معنادار ایجاد نمود. عملکرد دانه بیشترین همبستگی مثبت را با سرعت فتوسنتز ( $r = 0.89^{**}$ ) و میزان تعرق ( $r = 0.91^{**}$ ) دارد. براساس

\* نویسنده مسئول: علی سروش زاده

رایانامه: soroosh@modares.ac.ir

نتایج اعمال تیمار دو گرم اسیدهای آمینه در لیتر در شرایط آبیاری کامل صفات سرعت فتوسنتز را ۲۲ درصد، هدایت روزنه‌ای را ۸۰ درصد، میزان تعرق را ۳۰ درصد، کلروفیل b را ۴۰ درصد و کاروتنوئید را ۲۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. از طرف دیگر با محلول پاشی یک گرم اسیدهای آمینه در لیتر در شرایط قطع آبیاری از گل‌دهی بیشترین میزان کلروفیل a و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II به دست آمد که با تیمار شاهد (بدون محلول پاشی) اختلاف ۲۰ و ۵/۵ درصدی داشتند. همچنین بالاترین عملکرد دانه در تیمار قطع آبیاری از گل‌دهی (۱۴۴۰ کیلوگرم در هکتار)، قطع آبیاری از خورجین دهی (۲۳۴۶ کیلوگرم در هکتار) و آبیاری کامل (۴۵۱۴ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد برگی دوگرم اسید آمینه در لیتر حاصل شد.

کلمات کلیدی: فتوسنتز، کارایی فتوسیستم، کلروفیل، هدایت روزنه‌ای

### مقدمه

کلزا با نام علمی *Brassica napus* L. بارزترین گیاهان دانه روغنی مورد کشت در جهان است (Wu et al., 2018). زراعت این گیاه به‌عنوان سومین منبع تولیدکننده روغن (Chen et al., 2020) به دلیل مزیت‌های غذایی و اقتصادی در حال گسترش است (Naveed et al., 2020). از طرفی، کشت این محصول در مناطقی که اقلیم خشک و نیمه‌خشک دارند، تحت تأثیر تنش کم‌آبی در انتهای فصل قرار دارد (Feiziasl et al., 2022). طبق گزارش محققان گل‌دهی و خورجین‌دهی از حساس‌ترین مراحل رشد کلزا به کمبود آب می‌باشند (Mir et al., 2022; Feizabadi et al., 2021; Farahani et al., 2020).

کمبود آب از طریق کاهش آماس سلول‌های گیاهی موجب بروز اثرات منفی بر فعالیت‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه می‌شود (Liang et al., 2018; Rashtbari et al., 2020). تنش کم‌آبی روی فرآیندهای مختلفی نظیر فتوسنتز، تعرق، تجمع و انتقال مواد تأثیر منفی دارد (Bakhshi, 2021). طبق گزارشی قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی موجب افزایش مقاومت روزنه‌ای (کاهش تعرق) به میزان ۵۷ درصد نسبت به آبیاری کامل و کاهش مقدار کلروفیل به میزان ۷۴ درصد در برگ ارقام مختلف کلزا می‌شود (Khayat Moghadam et al., 2021). تنش شدید طول دوره رشد زایشی را کاهش داده (Hal, 1921) و در طول مراحل گل‌دهی و رسیدگی منجر

به کاهش قابل توجهی در عملکرد می‌شود (Stoker and Carter, 1984). تحقیقات نشان داد تنش کم‌آبی از طریق تأثیر منفی خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی (رنگدانه‌ها، سرعت خالص فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای و سرعت تعرق) به طور قابل توجهی باعث اختلال فعالیت‌های فیزیولوژیک در گیاه کلزا می‌شود (Waraich et al., 2020; Khan et al., 2020). این اختلال در فرایند رشد گیاه موجب کاهش خصوصیات رشدی گیاه می‌شود و نتیجه آن کاهش عملکرد دانه می‌باشد (Payendeh et al., 2020). در تحقیقات مختلف تأثیر تنش خشکی بر مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل بررسی شد و کاهش شاخص‌های مختلف فلورسانس نظیر Fv/Fm (حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II) گزارش شده است (Hajizadeh et al., 2022; Izadi et al., 2021).

روش‌های گوناگونی برای کاهش اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی و افزایش تحمل گیاهان وجود دارد. یکی از این روش‌ها، کاربرد محرک‌های زیستی که موجب تحریک رشد و توسعه گیاهی در شرایط بهینه و تنش می‌باشند (Ronga et al., 2019). اسیدهای آمینه نقش مستقیم و غیرمستقیم در فعالیت‌های فیزیولوژیک (Kahlel and Sultan, 2019) متابولیسمی، مبادلاتی و ساختاری (Aminifard et al., 2020) نظیر پیش‌ساز هورمون‌ها (Calvo et al., 2014; Teixeira et al., 2018)، افزایش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی، میزان فتوسنتز، سنتز

۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه، ۷۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه، ۱۶ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۲۷۵ متر از سطح دریا اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل سه سطح آبیاری (آبیاری کامل (شاهد) در طول فصل زراعی، قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گلدهی، قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی) و پنج سطح محلول پاشی (بدون محلول پاشی (شاهد)، محلول پاشی به ترتیب صفر (آب مقطر)، یک، دو و سه گرم اسیدهای آمینه در یک لیتر) در سه مرحله رشد (رشد طولی ساقه (رشد نه میانگرمه به طور آشکار)، مرحله ظهور گل آذین (محصور شدن جوانه‌های گل توسط برگ‌ها) و مرحله گلدهی شاخص BBCH-scale<sup>1</sup> باز شدن ده درصد از گل‌های روی شاخه اصلی و طویل شدن شاخه اصلی)) به ترتیب با کدهای ۳۹، ۵۰ و ۶۱ از شاخص BBCH-scale بود. ترکیب مورد استفاده در این تحقیق، اسید آمینه تجاری پرو آمین محصول کشور اسپانیا (شامل سرین ۱۱/۳۲٪، پرولین ۹/۷۸٪، گلايسين ۹/۴۸٪، اسید گلو تامیک ۹/۴۸٪، آسپارتیک اسید ۶/۲۲٪، لوسین ۵/۴۰٪، آرژنین ۵/۲۹٪، والین ۴/۷۶٪، فنیل آلانین ۴/۲۸٪، ترونین ۴/۲۰٪، آلانین ۴/۱۵٪، ایزولوسین ۳/۰۵٪، لایسین ۱/۴۸٪، هیستیدین ۱/۴۶٪، سیستین ۱/۱۶٪، تیروزین ۰/۷۰٪) و متیونین (۰/۶۰٪) می‌باشد. کرت‌های آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت و به طول سه متر در نظر گرفته شد. کشت به صورت دستی و در عمق ۲-۱ سانتی متری با تراکم ۶۰ بوته در مترمربع (فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی متر و روی ردیف ۵ سانتی متر) انجام شد. برای جلوگیری از نشت آب فاصله بین کرت‌ها دو متر در نظر گرفته شد. آبیاری با نوارهای تیپ و زمان آبیاری به صورت عرف منطقه انجام شد. نیاز کودی گیاه در طی اجرای تحقیق با توجه به خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه (جدول ۱) تأمین شد.

پروتئین (Sanikhani et al., 2020) و وضعیت نیتروژن (Radkowski, 2018) گیاه در شرایط تنش دارند. گزارش شده است که با اعمال تنش کمبود آب در گندم (*Triticum aestivum*)، سرعت جذب خالص دی‌اکسید کربن، هدایت روزنه‌ای کاهش و سرعت تعرق افزایش می‌یابد؛ اما با محلول پاشی متیونین در این شرایط تمام ویژگی‌های تبادل گاز بهبود یافت (Maqsood et al., 2022). در تحقیقات دیگر نیز افزایش سرعت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در گیاهان کلم (*Brassica oleracea*) و برنج (*Oryza sativa*) در شرایط تنش با کاربرد اسید آمینه آسپارتین گزارش شده است (Lee et al., 2017; Rizwan et al., 2017). تأثیر محسوس محلول پاشی اسیدهای آمینه بر خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاهان مختلف نظیر عدس (*Lens culinaris Medik*) و سیر (*Allium Sativum L.*) نیز گزارش شده است (Heidarzadeh et al., 2021; Heidarzadeh et al., 2023; Heidarzadeh & Modarres-Sanavy, 2021).

بر اساس گزارش جهاد کشاورزی، کلزا با سطح برداشت ۱۵۳/۵ هزار هکتار و میزان تولید ۲۹۰/۸ تن رتبه اول در بین دانه‌های روغنی را در کشور دارا می‌باشد و مقام سوم را در تأمین روغن نباتی جهان به خود اختصاص داده است (Wu et al., 2018). با توجه به اهمیت تولید روغن در کشور و نقش مهم گیاه کلزا (بالا بودن درصد روغن) در این زمینه و همچنین مشکلات کم آبی مناطق خشک و نیمه خشک کشور در مراحل رشد زایشی کلزا به دلیل کمبود میزان بارندگی در این مقطع از سال، محدود بودن منابع آبی و اختصاص آب به زراعت‌های بهاره و تابستانه، این تحقیق به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی اسیدهای آمینه روی پارامترهای فیزیولوژیک کلزا در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی انجام شد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی -

1- Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical industry

**Table 1. Physical and chemical properties of the soil experimental location**

Depth (cm)	Texture	Clay (%)	Sand (%)	Silt (%)	OC (%)	EC (dS/m)	T.N.V	pH	K (ppm)	P (ppm)	N (%)	OM
0-30	Sandy-Loam	15.5	71	13.5	0.858	1.398	4.5	7.91	173	15.5	0.065	1.476
30-60	Sandy-Loam	19	68.5	12.5	0.702	1.372	6.5	7.97	93	22.5	0.069	1.207

OC: کربن آلی، EC: شوری، T.N.V: آهک، OM: ماده آلی

گل دهی و خورجین دهی حاصل شد. محلول پاشی اسید آمینه در شرایط تنش و شاهد موجب بهبود سرعت فتوسنتز برگ شد. بیشترین میزان فتوسنتز برای سطوح آبیاری کامل (۱۲/۲۷ میکرومول دی اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه)، قطع از خورجین دهی (۹/۹۶ میکرومول دی اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه) و برای تیمار قطع از گل دهی (۷/۴۲ میکرومول دی اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه) با اعمال دو گرم اسید آمینه در لیتر آب به دست آمد (جدول ۳). گزارش هایی مبنی بر تأثیر منفی تنش کم آبی بر سرعت فتوسنتز در گیاه کلزا، از طریق محدودسازی رشد برگ ها، غلظت کلروفیل، غلظت پروتئین های محلول برگ (Praba *et al.*, 2009)، سرعت تعرق، هدایت روزنه ای و جذب دی اکسید کربن منتشر شده است (Khan *et al.*, 2020; Waraich *et al.*, 2019; Ahmar *et al.*, 2020). بهبود سرعت فتوسنتز در برنج در شرایط تنش کم آبی از طریق کاربرد اسیدهای آمینه گزارش شده است (Tisarum *et al.*, 2019). اسیدهای آمینه از طریق تأثیرگذاری بر میزان سنتز پروتئین گیاه (Davies, 2010)، رنگیزه های فتوسنتزی (Tony and Norio, 2012) و ثبات غشاء، محتوای نسبی آب را حفظ می کند و تولید رادیکال های آزاد را کاهش و فعالیت آنزیم ها را افزایش می دهد، بنابراین سلول های گیاهی را در برابر آسیب اکسیداتیو تحت شرایط کمبود آب محافظت می کند و در نتیجه میزان فتوسنتز را افزایش می دهند (Mehak *et al.*, 2018; Merwad *et al.*, 2021). بررسی همبستگی صفات نشان داد سرعت فتوسنتز با هدایت روزنه ای، میزان تعرق، عملکرد دانه و پارامترهای فلورسانس کلروفیل و کلروفیل a و b همبستگی مثبتی دارد و

بر اساس جدول آنالیز خاک، کود نیتروژنه (۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) در دو مرحله کاشت و شروع ساقه دهی و کود پتاسیم (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) موردنیاز از منبع سولفات پتاسیم در هنگام کاشت به خاک اضافه شد و همچنین به دلیل مقدار مناسب فسفر خاک، از دادن کود فسفر خودداری شد.

اثرات تیمارها یک هفته بعد از آخرین محلول پاشی، بر صفات مختلف شامل: رنگدانه های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b و کاروتنوئید (Richardson *et al.*, 2002)، همچنین صفات سرعت فتوسنتز، میزان تعرق، غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه ای و هدایت روزنه ای (توسط دستگاه اندازه گیری تبادل گازی قابل حمل ساخت شرکت Li-COR، شاخص های مختلف فلورسانس با دستگاه قابل حمل Mini-PAM در مزرعه روی برگ های جوان و کامل اندازه گیری شدند.

آنالیز آماری داده های اندازه گیری شده توسط نرم افزار SAS ۹/۴ انجام شد. از نرمال بودن داده ها، قبل از آنالیز اطمینان حاصل شد. از رویه GLM به منظور تجزیه واریانس و از آزمون LSD در سطح پنج درصد برای مقایسه میانگین صفات استفاده شد. شکل ها با استفاده از نرم افزار Excell ترسیم شدند.

## نتایج

### سرعت فتوسنتز

طبق نتایج تجزیه واریانس این صفت از برهمکنش قطع آبیاری و محلول پاشی در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۲). بدین صورت که کاهش معنادار سرعت فتوسنتز با اعمال قطع آبیاری از مراحل

بیشترین آن با  $F_v/F_m$  ( $r = 0.96^{**}$ ) ثبت شد (جدول ۸). با توجه به نقش مستقیم صفات تبادل روزنه‌ای، این همبستگی دور از انتظار نبود. رنگدانه‌ها و پارامترهای فلورسانس در فرایند فتوسنتز،

**Table 2. Analysis of variance physiological traits of oil rapeseed affected by withholding irrigation and foliar spraying**

S.O.V	d.f	MS				
		Photosynthesis rate	Conductance to H <sub>2</sub> O	Sub stomatal CO <sub>2</sub> concentration	Sub stomatal CO <sub>2</sub> /ambient CO <sub>2</sub>	Transpiration rate
Block	2	0.43 <sup>ns</sup>	0.0005 <sup>ns</sup>	24.5 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	0.006 <sup>ns</sup>
Irrigation (I)	2	128.8 <sup>**</sup>	0.011 <sup>**</sup>	12257.3 <sup>**</sup>	0.16 <sup>**</sup>	2 <sup>**</sup>
Foliar Spraying (F)	4	32.3 <sup>**</sup>	0.0041 <sup>**</sup>	182.4 <sup>**</sup>	0.025 <sup>**</sup>	0.2 <sup>**</sup>
I×F	8	3.3 <sup>**</sup>	0.0006 <sup>*</sup>	429.9 <sup>*</sup>	0.007 <sup>*</sup>	0.05 <sup>**</sup>
Error	28	1	0.0002	167.3	0.002	0.008
CV (%)		13.34	17.17	6.81	9.08	11.50

I: تیمار قطع آبیاری، F: تیمار محلول پاشی، IF: برهمکنش آبیاری و محلول پاشی، ns: عدم اختلاف معنی دار، \*\*: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪، \*: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪.

**Table 3. Mean comparison of physiological traits of oil rapeseed affected by withholding irrigation and foliar spraying**

Treatments		Photosynthesis rate ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Conductance to H <sub>2</sub> O ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Sub stomatal CO <sub>2</sub> concentration ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ )	Sub stomatal CO <sub>2</sub> /ambient CO <sub>2</sub>	Transpiration rate ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
Irrigation	Foliar Spraying					
I1	F1	10.04bc	0.085ed	155.1gh	0.347g	1.02cd
	F2	9b-d	0.119bc	146.7h	0.470h	1.32a
	F3	10.59ab	0.130ab	157.2gh	0.463f	1.21a
	F4	12.27a	0.153a	170.9fg	0.497ef	1.33a
	F5	12.06a	0.109b-d	184.4d-f	0.565c-e	1.16bc
I2	F1	3.35hi	0.042g	183.4d-f	0.520d-f	0.40hi
	F2	3.93hi	0.055fg	171.8e-g	0.485ef	0.36i
	F3	6.58ef	0.087de	186.83d-f	0.587cd	0.68fg
	F4	9.96bc	0.120bc	200.9cd	0.637c	0.88de
	F5	8.47cd	0.103cd	192.03d-f	0.604cd	0.75ef
I3	F1	2.57i	0.047g	192wd	0.624a-d	0.32i
	F2	4.69gh	0.061e-g	204cd	0.642c	0.47hi
	F3	6e-g	0.075ef	232.9ab	0.747a	0.76ef
	F4	7.42de	0.074ef	252.6a	0.732ab	0.68f
	F5	5.64fg	0.063e-g	216.8bc	0.645bc	0.52gh
LSD		1.67	0.02	21.63	0.08	0.15

I1: آبیاری کامل، I2: قطع آبیاری از ۵۰ در خورجین دهی، I3: قطع آبیاری از ۵۰ درصد گل دهی، F1: بدون محلول پاشی، F2: محلول پاشی با آب مقطر، F3: محلول پاشی با یک گرم اسید آمینه در لیتر آب، F4: محلول پاشی با دو گرم اسید آمینه در لیتر آب، F5: محلول پاشی با سه گرم اسید آمینه در لیتر آب. حروف مشترک در هر ستون، نشان از عدم اختلاف معنادار می‌باشد.

### غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه‌ای و نسبت CO<sub>2</sub> زیر روزنه‌ای به CO<sub>2</sub> محیط

هر دو صفت در سطح احتمال پنج درصد از برهمکنش قطع آبیاری و محلول پاشی تأثیر پذیرفتند و اعمال تنش کم آبی موجب افزایش معنادار غلظت کربن دی اکسید در فضای اتاقک زیر روزنه‌ای و نسبت CO<sub>2</sub> زیر روزنه‌ای به CO<sub>2</sub> محیط گردید (جدول ۲). بیشترین غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه‌ای (۲۵۲/۶ میکرو مول بر مول دی اکسید کربن) و نسبت CO<sub>2</sub> زیر روزنه‌ای به CO<sub>2</sub> محیط (۰/۷۴۷ میکرو مول بر مول دی اکسید کربن) در قطع آبیاری از مرحله گل دهی به ترتیب با محلول پاشی دو و یک گرم اسید آمینه در لیتر آب حاصل شد و کمترین غلظت CO<sub>2</sub> زیر روزنه‌ای (۱۴۶/۷ میکرو مول بر مول دی اکسید کربن) و نسبت CO<sub>2</sub> زیر روزنه‌ای به CO<sub>2</sub> محیط (۰/۳۴۷ میکرو مول بر مول دی اکسید کربن) به ترتیب از تیمار صفر گرم اسید آمینه (آب مقطر) و شاهد در شرایط آبیاری کامل به دست آمد که اختلاف معنادار با یکدیگر داشتند (جدول ۳). در گزارش‌های مختلف اثر تنش خشکی روی کلزا بررسی کردند و نتایج نشان داد که تنش کم آبی منجر به افزایش قابل توجه غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای می‌شود (Habibi, 2014; Xu et al., 2022). در پژوهشی در شرایط تنش کم آبی آسیب وارده شده به عوامل بیوشیمیایی تثبیت کننده دی اکسید کربن سبب شد که آسمیلایسون دی اکسید کربن کاهش و در نتیجه غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای افزایش یابد (Golchin et al., 2018; Zhang et al., 2022). افزایش میزان دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای در اثر آسیب به دستگاه فتوسنتزی و افزایش تنفس در شرایط تنش، موجب افزایش نسبت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای به دی اکسید کربن محیط می‌شود (Carmo-Silva et al., 2017). با توجه به نتایج همبستگی (جدول ۸) و ثبت همبستگی منفی بین صفات تبادل گازی و فتوسنتز با این دو صفت، می‌توان افزایش گاز دی اکسید کربن در فضای

نتایج نشان داد که این صفت در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر برهمکنش آبیاری و محلول پاشی قرار گرفت (جدول ۲). هدایت روزنه‌ای در اثر قطع آبیاری از مراحل گل دهی و خورجین دهی نسب به شاهد به طور معناداری کاهش یافت با این حال کاربرد برگی اسیدهای آمینه موجب کاهش اثرات منفی تنش شد و استفاده از این ترکیب با غلظت دو گرم در لیتر، هدایت روزنه‌ای را در تیمار قطع آبیاری از گل دهی (۵۷ درصد)، خورجین دهی (۱۸۵ درصد) و آبیاری کامل (۸۰ درصد) نسب به تیمار محلول پاشی شاهد افزایش داد (جدول ۳). نتایج مطالعات متعدد بیانگر تأثیر کاهنده تنش کم آبی بر هدایت روزنه‌ای گیاه کلزا می‌باشد و اعمال تنش در مراحل رشد زایشی موجب کاهش قابل توجه هدایت روزنه‌ای می‌شود (Xu et al., 2022; Wang et al., 2005; Dai et al., 2020). کاهش این صفت را وابسته به مقدار تجمع اسید آسزیک در شرایط تنش کم آبی ذکر کردند که از طریق تأثیر بر سلول‌های نگهبان روزنه (کانال‌های یونی و انتقال یون پتاسیم به خارج از سلول و در نهایت کاهش تورژسانس سلولی) این عمل انجام می‌شود (Cornish & Zeevaart, 1985). بسته شدن روزنه یکی از اولین واکنش‌های گیاهی در شرایط تنش کم آبی است که با هدایت روزنه‌ای برگ همراه است (Grant, 2012). در آزمایشی محلول پاشی اسیدهای آمینه روی گیاه سویا موجب بهبود تبادلات گازی گیاه به ویژه هدایت روزنه‌ای شد (Peña Calzada et al., 2022). افزایش رسانایی روزنه در اثر تأثیر مثبت اسیدهای آمینه بر باز شدن آن‌ها می‌تواند علت افزایش هدایت روزنه‌ای در اثر کاربرد این مواد باشد (Alfosea-Simón et al., 2021). هدایت روزنه‌ای بالاترین همبستگی را با سرعت فتوسنتز ( $r = 0.91^{**}$ ) و میزان تعرق ( $r = 0.91^{**}$ ) نشان داد. همچنین با پارامترهای فلورسانس کلروفیل به جز F0 نیز همبستگی مثبت و معنادار داشت (جدول ۸).



### پارامترهای فلورسانس کلروفیل

بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد برهمکنش تیمارهای قطع آبیاری و محلول پاشی بر میزان فلورسانس کمینه ( $F_0$ )، فلورسانس بیشینه ( $F_m$ )، حداکثر کارایی فتوشیمیایی ( $Y$ ) در سطح احتمال پنج درصد و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II ( $F_v / F_m$ ) و فلورسانس متغیر ( $F_v$ ) در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۴). با اعمال تنش کم آبی پارامترهای  $F_v / F_m$ ،  $F_v$ ،  $F_m$  و  $Y$  روند کاهشی داشتند و تنها  $F_0$  در اثر تنش کم آبی روند صعودی را طی کرد. کاربرد اسیدهای آمینه موجب کاهش تأثیر منفی تنش بر فلورسانس کلروفیل شد؛ به نحوی کاربرد دو گرم اسید آمینه موجب افزایش  $F_v / F_m$  و  $F_v$  ۳۳ و ۲۳ درصد شاخص  $F_v / F_m$  به ترتیب در آبیاری کامل، قطع آبیاری از خورجین دهی و قطع آبیاری از گل دهی نسبت به شاهد شد. افزایش در روند سایر پارامترها در اثر کاربرد اسیدهای آمینه مشاهده شد و محلول پاشی اسید آمینه در شاخص فلورسانس -متغیر: ۲۵ و ۱۹ درصد، حداکثر کارایی فتوشیمیایی: ۱۸ و ۳۷ درصد و فلورسانس بیشینه: ۱۰ و ۱۲ درصد در شرایط قطع آبیاری از خورجین دهی و گل دهی موجب بهبود این صفات نسبت به عدم محلول پاشی شد (جدول ۵). تنش کم آبی بازده فتوسنتزی را کاهش می‌دهد یا اتلاف انرژی اضافی را از طریق گرما افزایش می‌دهد و این اثرات ممکن است منجر به تغییر در پارامترهای فلورسانس شود (Efeoğlu *et al.*, 2009). نتایج تحقیقی در راستای نتایج این پژوهش نشان داد در گیاه کلزای پاییزه فلورسانس کمینه به طور معناداری در مقایسه با شرایط آبیاری کامل افزایش یافت؛ به طوری که کمترین میزان فلورسانس کمینه در شرایط آبیاری کامل و بیشترین آن در شرایط قطع آبیاری به دست آمد (Rostami Hir *et al.*, 2023). افزایش فلورسانس کمینه در شرایط تنش نشان‌دهنده تخریب مرکز واکنش فتوسیستم II، دگرگونی ساختار و تغییر در رنگدانه‌های فتوسیستم II است (Havaux, 1999). احمدی و

بین سلولی به افزایش تنفس نسبت داد. گزارش‌های مختلفی در این زمینه مبنی بر افزایش میزان این صفات در اثر کاربرد اسیدهای آمینه را در گیاهان سویا و گندم به ثبت رسیده است (Repke *et al.*, 2022; Maqsood *et al.*, 2022). افزایش هدایت روزنه‌ای و باز شدن روزنه‌ها به عنوان عامل اسموتیک سیتوپلاسم دلیلی بر افزایش تبادلات گازی در اثر مصرف اسیدهای آمینه عنوان شده است (Ali *et al.*, 2007; Forde and Lea, 2007). این دو ویژگی تبادل گازی با اغلب صفات مورد بررسی همبستگی منفی و بدون معنادار داشتند ولی بین این دو همبستگی مثبت و معنادار ( $r=0.92^{**}$ ) و همچنین با کاروتنوئید و  $F_0$  نیز همبستگی مثبت وجود داشت (جدول ۸).

### میزان تعرق

نتایج مقایسه میانگین نشان داد برهمکنش سطوح مختلف آبیاری با محلول پاشی بر میزان تعرق در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۲). محلول پاشی اسیدهای آمینه با غلظت یک گرم در لیتر آب در شرایط قطع آبیاری از گلدهی ۱۳۶ درصد، و دو گرم در لیتر در خورجین دهی و آبیاری کامل به ترتیب ۱۲۰ و ۳۰ درصد میزان تعرق را افزایش داد (جدول ۳). مطالعه (Waraich *et al.*, 2020) نشان داد که تحت کاربرد محدود آب، سرعت تعرق در کلزا کاهش یافت. این کاهش در میزان تعرق برگ به دلیل بسته شدن روزنه‌ها می‌باشد که این نتیجه‌گیری توسط گزارش‌های قبلی نیز تأیید شده است (Kim *et al.*, 2010; Golchin *et al.*, 2022; She *et al.*, 2019). در آزمایشی محلول پاشی اسیدهای آمینه روی گیاه سویا (*Glycine max*) در موجب بهبود تبادلات گازی گیاه و به دنبال آن میزان تعرق شد (Peña *et al.*, 2022). این صفت همبستگی مثبت و بالایی با سرعت فتوسنتز ( $r=0.92^{**}$ )، هدایت روزنه‌ای ( $r=0.91^{**}$ ) و حداکثر کارایی فتوسیستم II ( $r=0.94^{**}$ ) نشان داد (جدول ۸).

طریق اندازه گیری فلورسانس کلروفیل ارزیابی شده است اشاره کرده اند ( Fabbrin *et al.*, 2013; Roder *et al.*, 2018). این احتمالاً به دلیل ارتباط بین ظرفیت فتوسنتزی و غلظت نیتروژن برگ است که اسیدهای آمینه در افزایش غلظت نیتروژن برگ دخیل هستند (Franzoni *et al.*, 2021). طبق نتایج مطالعاتی (Tisarum *et al.*, 2019) تنش خشکی موجب کاهش شاخص های مختلف فلورسانس در گیاه برنج شد با این وجود کاربرد اسید آمینه گلیسین بتائین موجب کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر این شاخص شد. نتایج تحقیقی دیگر بیانگر افزایش پارامترهای فلورسانس کلروفیل ژنوتیپ های مختلف گندم با محلول پاشی پرولین می باشد (Noreen *et al.*, 2018). شاخص های فلورسانس کلروفیل بالاترین همبستگی مثبت و معنادار را با صفات سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه ای، میزان تعرق و کلروفیل ها داشتند با این وجود فلورسانس کمینه تنها با صفات مرتبط با تبادل دی اکسید کربن و کاروتنوئید همبستگی مثبت و معنادار ایجاد نمود (جدول ۸).

همکاران گزارش کردند که حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) در شرایط خشکی در گیاه کلزا کاهش یافت (Ahmadi *et al.*, 2022). میزان عملکرد کوانتومی نشان دهنده ظرفیت انتقال الکترون در فتوسیستم II است بنابراین کاهش عملکرد کوانتومی نشانه کاهش میزان حفاظت نوری بوده و دلیلی است بر اینکه تنش کم آبی بر کارایی فتوسنتزی اثر داشته است (Nouriyani and Jafarinia, 2023). عملکرد کوانتومی تحت اثر کم آبی در اثر تخریب مراکز واکنش فتوسیستم II کاهش می یابد ( Afshar Mohamadian *et al.*, 2018) که با نتایج تحقیق حاضر در رابطه با کاهش عملکرد کوانتومی تحت تنش کم آبی مطابقت داشت. ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون در شرایط تنش کم آبی کاهش می یابد و در نتیجه حداکثر فلورسانس افزایش می یابد که نتیجه آن افزایش فلورسانس متغیر خواهد بود (Ghasemi *et al.*, 2022). مطالعات متعددی به تأثیر مثبت کاربرد اسیدهای آمینه به ویژه اسید گلو تامیک بر فعالیت فتوسنتزی و عملکرد برگ که از

**Table 4. Analysis of variance Chlorophyll fluorescence parameters of oil rapeseed affected by withholding irrigation and foliar spraying**

S.O.V	d.f	MS				
		Fv/Fm (Maximum Quantum Efficiency of PSII)	F <sub>0</sub> (Minimum fluorescence)	Fm (Maximum fluorescence)	Y (Effective photochemical quantum yield of photosystem II)	Fv (Variable fluorescence)
Block	2	0.0005 <sup>ns</sup>	550.15 <sup>ns</sup>	1719.2 <sup>ns</sup>	5620*	55281.8 <sup>ns</sup>
Irrigation (I)	2	0.14**	127142**	1185131.3**	91544.3**	788903.5**
Foliar Spraying (F)	4	0.026**	13575.3**	259272.8**	25502.2**	241958.2**
I×F	8	0.0053**	3808.2*	113904.6*	5373.9*	78366.4**
Error	28	0.0016	1262.7	41483.9	2272.5	33521.3
CV (%)		5.72	5.55	5.72	6.28	6.74

I: تیمار قطع آبیاری، F: تیمار محلول پاشی، IF: برهمکنش آبیاری و محلول پاشی، ns: عدم اختلاف معنی دار، \*\*: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪، \*: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪.

**Table 5. Mean comparison of Chlorophyll fluorescence parameters of oil rapeseed affected by withholding irrigation and foliar spraying**

Treatments		Fv/Fm (Maximum photochemical quantum yield of photosystem II)	F <sub>0</sub> (Minimum fluorescence)	Fm (Maximum fluorescence)	Y (Effective photochemical quantum yield of photosystem II)	Fv (Variable fluorescence)
Irrigation	Spraying					
I1	F1	0.789ab	507i	3701b-d	808.67a-d	2802.3b-e
	F2	0.811a	526.5hi	3345e-h	797.33a-d	2741.7c-f
	F3	0.797ab	584.3f-h	3887ab	803a-d	2956a-c
	F4	0.820a	601.65e-g	4107a	851a	3069ab
	F5	0.832a	633.4d-f	4049a	858.3a	3248a
I2	F1	0.587gh	587.6fg	3444.7e-h	710ef	2404.7g
	F2	0.593f-h	552g-i	3582b-e	733.3d-f	2501e-g
	F3	0.698cd	612ef	3440.3d-g	804ab	2604d-g
	F4	0.781ab	652de	3801.3a-c	841ab	3021ac
	F5	0.741bc	612.7ef	3701a-c	817a-c	2813b-d
I3	F1	0.534h	712.7bc	3098h	553h	2350g
	F2	0.557h	725.67bc	3199.7f-h	615gh	2430.7g
	F3	0.658d-f	761.33b	3499c-f	763b-e	2800b-e
	F4	0.692c-e	829.33a	33407e-h	753c-f	2503.7e-g
	F5	0.628e-g	690.3cd	3157.32gh	677fg	2474fg
LSD		0.06	59.43	340.65	79.73	306.21

I1: آبیاری کامل، I2: قطع آبیاری از ۵۰ در خورجین دهی، I3: قطع آبیاری از ۵۰ درصد گل دهی، F1: بدون محلول پاشی، F2: محلول پاشی با آب مقطر، F3: محلول پاشی با یک گرم اسید آمینه در لیتر آب، F4: محلول پاشی با دو گرم اسید آمینه در لیتر آب، F5: محلول پاشی با سه گرم اسید آمینه در لیتر آب. حروف مشترک در هر ستون، نشان از عدم اختلاف معنادار می باشد

### کلروفیل های a و b

(*al.*, 2021). بازدارندگی بیوسنتز رنگدانه ها، تخریب قابل توجه رنگدانه ها و بهم ریختگی غشاهای تیلاکوئید در شرایط تنش خشکی عاملی برای کاهش میزان کلروفیل عنوان شده است (Singer *et al.*, 2016; Chegeni *et al.*, 2016). گزارش شده است که اسیدهای آمینه پیش ماده اصلی برای تشکیل بافت و سنتز کلروفیل هستند (Fischer *et al.*, 1998). طبق نتایج تحقیقی کاربرد محلول پاشی اسید آمینه موجب بهبود محتوای کلروفیل a و b و کلروفیل کل می شود (Heidarzadeh *et al.*, 2021). اسیدهای آمینه به دلیل نقشی که در انتقال و ذخیره نیتروژن دارد سبب افزایش کلروفیل شده است (Jahani *et al.*, 2018). این دو رنگدانه بالاترین همبستگی مثبت و معنادار را با شاخص فلورسانس بیشینه ( $r=0.94^{**}$ ) داشتند.

طبق نتایج تجزیه واریانس رنگدانه های کلروفیل a و کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد از برهمکنش آبیاری و محلول پاشی تأثیر گرفتند (جدول ۶). در این تحقیق محلول پاشی اسیدهای آمینه در شرایط قطع آبیاری و شاهد موجب افزایش میزان رنگدانه های فتوسنتزی شد. بیشترین میزان کلروفیل a (۲/۰۳ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) و کلروفیل b (۰/۸۰۳ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) با آبیاری کامل و دو گرم اسید آمینه در لیتر آب به دست آمد و با کمترین میزان که در سطح سوم آبیاری (قطع از گل دهی) و با اعمال تیمار شاهد و آب مقطر به دست آمده بود، به ترتیب اختلاف ۵۵ و ۵۰ درصد داشتند (جدول ۷). در تحقیقی اثر تنش خشکی را بر ویژگی های فیزیولوژیک گیاه کلزا بررسی کردند که نتایج نشان داد کم آبی، محتوای کلروفیل را کاهش می دهد (Zhu *et*

**Table 6. Analysis of variance -photosynthetic pigment of oil rapeseed affected by withholding irrigation and foliar spraying**

S.O.V	d.f	MS			
		Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoid	Grain yield
Block	2	0.009 <sup>ns</sup>	0.006 <sup>*</sup>	0.0005 <sup>ns</sup>	78696 <sup>ns</sup>
Irrigation (I)	2	0.66 <sup>**</sup>	0.2 <sup>**</sup>	0.1 <sup>**</sup>	32560610.5 <sup>**</sup>
Foliar Spraying (F)	4	0.2 <sup>**</sup>	0.05 <sup>**</sup>	0.075 <sup>**</sup>	1140041.5 <sup>**</sup>
I×F	8	0.04 <sup>**</sup>	0.01 <sup>**</sup>	0.005 <sup>**</sup>	81381.2 <sup>*</sup>
Error	28	0.007	0.001	0.001	26640
CV (%)	—	5.39	7.32	6.52	7.35

I: تیمار قطع آبیاری، F: تیمار محلول پاشی، IF: برهمکنش آبیاری و محلول پاشی، ns: عدم اختلاف معنی دار، \*\*: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪، \*: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪.

**Table 7. Mean comparison of -photosynthetic pigment of oil rapeseed affected by withholding irrigation and foliar spraying**

Treatments		Chlorophyll a (mg g <sup>-1</sup> FW <sup>-1</sup> )	Chlorophyll b (mg g <sup>-1</sup> FW <sup>-1</sup> )	Carotenoid (mg g <sup>-1</sup> FW <sup>-1</sup> )
Irrigation	Spraying			
I1	F1	1.68d	0.570de	0.397k
	F2	1.43fh	0.475f-h	0.470j
	F3	1.65d	0.664bc	0.527ij
	F4	1.95ab	0.803a	0.7007b-d
	F5	2.03a	0.732b	0.631fg
I2	F1	1.5e-g	0.529ef	0.530ij
	F2	1.56d-f	0.529ef	0.542hi
	F3	1.61de	0.600cd	0.606gh
	F4	1.83bc	0.701b	0.746a-c
	F5	1.70cd	0.586de	0.681c-f
I3	F1	1.29ij	0.404i	0.667d-g
	F2	1.19j	0.418hi	0.635e-g
	F3	1.47e-g	0.501fg	0.758ab
	F4	1.42g-i	0.451gh	0.812a
	F5	1.33h-j	0.429hi	0.701b-e
LSD		0.14	0.06	0.14

I1: آبیاری کامل، I2: قطع آبیاری از ۵۰ در خورجین دهی، I3: قطع آبیاری از ۵۰ درصد گل دهی، F1: بدون محلول پاشی، F2: محلول پاشی با آب مقطر، F3: محلول پاشی با یک گرم اسید آمینه در لیتر آب، F4: محلول پاشی با دو گرم اسید آمینه در لیتر آب، F5: محلول پاشی با سه گرم اسید آمینه در لیتر آب. حروف مشترک در هر ستون، نشان از عدم اختلاف معنادار می باشد

### کاروتنوئید

(۰/۸۱۲ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) در قطع آبیاری از گل دهی و با محلول پاشی دو گرم اسید آمینه حاصل شد (جدول ۷). در تحقیقات مختلف نتایج حاکی از افزایش محتوای کاروتنوئید در شرایط تنش کم آبی می باشد (Bahador and Tadayon, 2020; Barzegari et al., 2021). محققان افزایش میزان کاروتنوئید را به نقش تنش در افزایش متابولیت های ثانویه که سبب افزایش غلظت کاروتنوئید می شود، نسبت دادند (Tavakkol Afshari et al., 2023; Maddah )

جدول تجزیه واریانس نشان داد برهمکنش قطع آبیاری و محلول پاشی روی کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد تأثیر معناداری داشت (جدول ۶). بر این اساس کمترین میزان کاروتنوئید (۰/۳۹۷ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) در شرایط آبیاری کامل و از تیمار بدون محلول پاشی به دست آمد و اختلاف ۷۸ درصد با تیمار برتر این سطح آبیاری یعنی محلول پاشی دو گرم اسید آمینه در لیتر داشت. بالاترین میزان کاروتنوئید

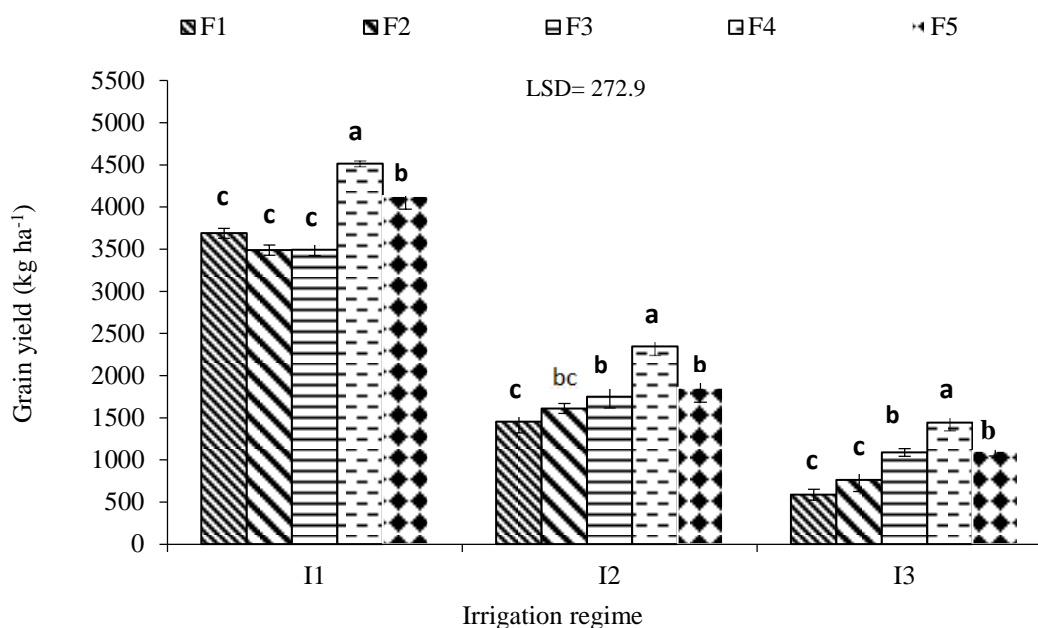
۱۴۴۰ کیلوگرم در هکتار- عملکرد دانه حاصل شد. همچنین در هر سه سطح آبیاری کم‌ترین میزان عملکرد دانه از تیمار شاهد و محلول‌پاشی آب مقطر ثبت شد (شکل ۱). در تحقیق مشابه به دلیل حساس بودن کلزا به تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی، نتایج همسو با این پژوهش بود (Rostami Hir *et al.*, 2021). کاهش عملکرد دانه ناشی از تأثیر منفی کمبود آب بر انتقال فتوآسمیلات‌ها به بخش‌های زایشی گیاه و در نتیجه کاهش تشکیل خورجین و اندازه دانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه در طول دوره مراحل رشد زایشی (مرحله گل‌دهی و رشد خورجین‌ها) عنوان شده است (Khalili & Hamze, 2019). افزایش عملکرد دانه کلزا با کاربرد برگی اسیدهای آمینه در تحقیقی گزارش شده است (Passandideh *et al.*, 2022). محققان بیان کردند افزایش عملکرد دانه حاصل از محلول‌پاشی اسیدهای آمینه را به دلیل نقش مستقیم این ترکیبات در فعالیت‌های متابولیکی نظیر انتقال فتوآسمیلات‌ها، فتوسنتز، سنتز هورمون‌ها و پروتئین‌ها که در نهایت موجب بهبود فاز زایشی و افزایش عملکرد دانه می‌باشد (Heidarzadeh *et al.*, 2021; Davari *et al.*, 2021) نتایج همبستگی (جدول ۸) نشان داد بیشترین همبستگی مثبت را با سرعت فتوسنتز ( $r^* = 0.89$ )،  $r =$  و میزان تعرق ( $r^* = 0.91$ ) دارد. نقش مستقیم سطح برگ در تولیدات فتوسنتزی و افزایش میزان رشد و عملکرد در تصدیق این همبستگی دخیل است.

(and Farhangian Kashani, 2011). طبق گزارش - های تنش کم‌آبی مسیرهای بیوشیمیایی در سلول‌های گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Idhan *et al.*, 2018). بر این اساس بیشترین میزان کاروتنوئید در گیاهان متحمل به تنش خشکی گزارش می‌شود (Mathobo *et al.*, 2017). در گزارشی کاربرد اسید آمینه تریپتوفان موجب افزایش کاروتنوئیدها در گیاه کلزا به میزان ۳۸/۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد شده است (Dawood and Sadak, 2014). اسیدهای آمینه از طریق جلوگیری از تولید اتیلن و جلوگیری از تخریب این رنگدانه‌ها با مهار آنزیم پراکسیداز موجب بهبود غلظت این ترکیبات می‌شوند (Saremi *et al.*, 2020). در بررسی همبستگی بین صفات مشخص گردید کاروتنوئید تنها با صفات غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزه‌ای ( $r = 0.84^{**}$ ) و نسبت آن به دی‌اکسید کربن محیط ( $r = 0.88^{**}$ ) و همچنین فلورسانس کمینه ( $r = 0.84^{**}$ ) همبستگی مثبت و معنادار دارد (جدول ۸).

### عملکرد دانه

برهمکنش آبیاری و محلول‌پاشی بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنادار بود (جدول ۶). افزایش شدت تنش کم‌آبی موجب کاهش عملکرد دانه شد. بر اساس مقایسه میانگین‌ها در هر سه سطح آبیاری بالاترین عملکرد دانه با کاربرد دو گرم اسید آمینه در لیتر آب به دست آمد، بدین صورت که در شرایط آبیاری کامل - ۴۵۱۴ کیلوگرم در هکتار-، قطع آبیاری از خورجین‌دهی - ۲۳۴۶ کیلوگرم در هکتار- و قطع آبیاری از گل‌دهی -

فیاض و همکاران: تأثیر محلول پاشی اسیدهای آمینه...



**Figure 1. Mean comparison of grain yield of oil rapeseed affected by withholding irrigation and foliar spraying**

I1: آبیاری کامل، I2: قطع آبیاری از ۵۰ درصد گل دهی، I3: قطع آبیاری از ۵۰ درصد گل دهی، F1: بدون محلول پاشی، F2: محلول پاشی با آب مقطر، F3: محلول پاشی با یک گرم اسید آمینه در لیتر آب، F4: محلول پاشی با دو گرم اسید آمینه در لیتر آب، F5: محلول پاشی با سه گرم اسید آمینه در لیتر آب. آحروف مشترک در هر ستون، نشان از عدم اختلاف معنادار می باشد

**Table 8. Correlation coefficients between the investigated traits of oil rapeseed**

Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Photosynthesis rate	1													
2. Conductance to H <sub>2</sub> O	0.91**	1												
3. Sub stomatal CO <sub>2</sub> concentration	-0.33	-0.39	1											
4. Intercellular CO <sub>2</sub> /ambient CO <sub>2</sub>	-0.34	-0.29	0.92**	1										
5. Transpiration rate	0.92**	0.91**	-0.47	-0.42	1									
6. F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>	0.96**	0.89**	-0.40	-0.40	0.94**	1								
7. F <sub>o</sub>	-0.30	-0.33	0.93**	0.92**	-0.39	-0.42	1							
8. F <sub>m</sub>	0.83**	0.77**	-0.37	-0.37	0.70**	0.78**	-0.39	1						
9. Y	0.84**	0.77**	-0.29	-0.31	0.77**	0.90**	-0.42	0.83**	1					
10. F <sub>v</sub>	0.91**	0.85**	-0.29	-0.23	0.83**	0.88**	-0.28	0.90**	0.83**	1				
11. Chlorophyll a	0.79**	0.70**	-0.34	-0.34	0.64**	0.77**	-0.41	0.94**	0.85**	0.88**	1			
12. Chlorophyll b	0.79**	0.78**	-0.37	-0.35	0.66**	0.74**	-0.41	0.94**	0.81**	0.86**	0.95**	1		
13. Carotenoid	-0.04	0.01	0.84**	0.88**	-0.20	-0.15	0.84**	-0.04	-0.07	0.02	-0.02	-0.0	1	
12. Grain yield	0.89**	0.81**	-0.63*	-0.65**	0.91**	0.89**	-0.59*	0.80**	0.77**	0.81**	0.78**	0.77**	-0.37	1

صفات مؤثر در رشد و نمو و عملکرد گیاه نظیر پارامترهای مختلف فلورسانس کلروفیل، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، میزان تعرق، رنگیزه‌های فتوسنتزی و در نهایت عملکرد دانه می‌شود و در نتیجه کمترین میزان

### نتیجه گیری

در این تحقیق تمامی صفات فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد دانه مورد بررسی تحت تأثیر تنش کم آبی (قطع آبیاری) قرار گرفتند و این عامل موجب کاهش معنادار

تایید در پژوهش‌های بعدی، به منظور کاهش تأثیر منفی تنش کم‌آبی در مراحل رشد زایشی کلزا بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مؤثر در رشد و نمو و عملکرد این گیاه، کاربرد برگ‌گی اسیدهای آمینه با غلظت دو گرم در لیتر آب توصیه می‌شود.

### سپاس‌گزاری

از دانشگاه تربیت مدرس به دلیل تأمین هزینه‌های اجرای این مقاله حاصل از پایان نامه‌ی قدردانی می‌شود.

این صفات با اعمال قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی حاصل شد. با این حال کاربرد برگ‌گی اسیدهای آمینه در غلظت‌های مختلف موجب کاهش تأثیر منفی تنش کم‌آبی بر این صفات شد. در اغلب صفات مورد بررسی غلظت دو گرم اسید آمینه در لیتر بیشترین تأثیر مثبت بر صفات را داشت و بالاترین میزان فتوسنتز، حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، تبادلات گازی، رنگدانه فتوسنتزی و عملکرد دانه از این تیمار حاصل شد. با توجه به نتایج حاصله از این آزمایش و در صورت

### References

- Afshar Mohamadian, M., Omidipour, M., & Jamal Omid, F. (2018). Effect of different drought stress levels on chlorophyll fluorescence indices of two bean cultivars. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 31(3): 511-525. [In Persian]
- Ahmadi, H., Abbasi, A., Taleei, A., Mohammadi, V., & Pueyo, J.J. (2022). Antioxidant response and calcium-Dependent Protein Kinases Involvement in Canola (*Brassica napus* L.) Tolerance to Drought. *Agronomy*, 12(1): 125.
- Ahmar, S., Liaqat, N., Hussain, M., Salim, M.A., Shabbir, M.A., Ali, M.Y., Noushahi, H.A., Bilal, M., Atta, B., & Rizwan, M. (2019). Effect of abiotic stresses on Brassica species and role of transgenic breeding for adaptation. *Asian Journal of Research in Crop Science*, 3(1): 1-10.
- Alfosea-Simón, M., Simón-Grao, S., Zavala-Gonzalez, E.A., Cámara-Zapata, J.M., Simón, I., Martínez-Nicolás, J.J., Lidón, V., & García-Sánchez, F. (2021). Physiological, nutritional and metabolomic responses of tomato plants after the foliar application of amino acids Aspartic acid, Glutamic Acid and Alanine. *Frontiers in plant science*, 11: 581234.
- Ali, Q., Ashraf, M. & Athar, H.U.R. (2007). Exogenously applied proline at different growth stages enhances growth of two maize cultivars grown under water deficit conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 39(4): 1133-1144.
- Aminifard, M.H., Gholami, M., Bayat, H. & Moradinezhad, F. (2020). Effect of Fulvic Acid and Amino Acid Application on Physiological Characteristics, Growth and Yield of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) as a Medicinal Plant. *Journal of Agroecology*, 12(3): 373-388. [In Persian]
- Bahador, M. & Tadayon, M.R. (2020). Investigating of zeolite role in modifying the effect of drought stress in hemp, Antioxidant enzymes and oil content. *Industrial crops and products*, 144: 112042. [In Persian]
- Bakhshi, B. (2021). Heat and drought stress response and related management strategies in oilseed rape. *Agrotechniques in Industrial Crops*, 1(4): 170-181.
- Barzegari, Z., Ghasemian, A., Raeesi Sadati, S.Y., Asadi, A., Razavi, S.M., & Jahanbakhsh, S. (2021). Effect of nano-chelated potassium solution on some physiological and morphological characteristics of wheat under drought stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 52(4): 101-114. [In Persian]
- Calvo, P., Nelson, L. & Kloepper, J.W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and soil*, 383: 3-41.
- Carmo-Silva, E., Andralojc, P.J., Scales, J.C., Driever, S.M., Mead, A., Lawson, T., Raines, C.A. & Parry, M.A. (2017). Phenotyping of field-grown wheat in the UK highlights contribution of light response of photosynthesis and flag leaf longevity to grain yield. *Journal of Experimental Botany*, 68(13): 3473-3486.

- Chegeni, F.A., Perin, G., Gupta, K.B.S.S., Simionato, D., Morosinotto, T. & Pandit, A. (2016). Protein and lipid dynamics in photosynthetic thylakoid membranes investigated by in-situ solid-state NMR. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1857(12): 1849-1859.
- Chen, L., F. Ren, H. Zhong, W. Jiang & X. Li. (2020). Identification and expression analysis of genes in response to high -salinity and drought stresses in *Brassica napus*. *Acta Biochimica et Biophysica Sinica*, 42(2):154 -164.
- Cornish, K & Zeevaart, J.A.D. (1985). Movement of abscisic acid into the apoplast in response to water stress in (*Xanthium strumarium* L.). *Plant Physiol*, 78: 623-626.
- Dai, L., Li, J., Harmens, H., Zheng, X., & Zhang, C. (2020). Melatonin enhances drought resistance by regulating leaf stomatal behaviour, root growth and catalase activity in two contrasting rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 149: 86-95.
- Davies P.J. (2010). The plant hormones, Their nature, occurrence, and functions. In, Davies P.J. (ed.), *Plant Hormones, Biosynthesis, Signal Transduction and Action!* 3rd Edition. Dordrecht, *Springer Science + Business Media B.V*, 1–15.
- Dawood, M.G., & Sadak, M.S. (2014). Physiological role of glycinebetaine in alleviating the deleterious effects of drought stress on canola plants (*Brassica napus* L.). *Middle East Journal of Agriculture Research*, 3(4): 943-954.
- Efeoglu, B., Ekmekçi, Y.A.S.E.M.I.N., & Çiçek, N.U.R.A.N. (2009). Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. *South African journal of botany*, 75(1): 34-42.
- Fabbrin, E.D.S., Mógor, Á.F., Margoti, G., Fowler, J.G. & Bettoni, M.M. (2013). Purple chicory/Palla Rossa'seedlings growth according to the foliar application of L-glutamic acid. *Scientia Agraria*, 14(3): 91-94.
- Farahani, S., Shahsavari, N., & Mohammadi Arasteh, M. (2020). Effect of potassium sulfate on the physiological characteristics of canola cultivars in late season drought stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 43: 1217-1228.
- Feizabadi, A., Noormohammadi, G., & Fatehi, F. (2021). Changes in growth, physiology, and fatty acid profile of rapeseed cultivars treated with vermicompost under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21: 200-208.
- Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Sadeghzadeh, B. & Shalmani, M.M. (2022). Water deficit index to evaluate water stress status and drought tolerance of rainfed barley genotypes in cold semi-arid area of Iran. *Agricultural Water Management*, 262: 107395.
- Fischer, W.N., André, B., Rentsch, D., Krolkiewicz, S., Tegeder, M., Breitzkreuz, K., & Frommer, W.B. (1998). Amino acid transport in plants. *Trends in Plant Science*, 3(5): 188-195.
- Forde, B.G. & Lea, P.J. (2007). Glutamate in plants: metabolism, regulation, and signalling. *Journal of experimental botany*, 58(9): 2339-2358.
- Franzoni, G., Cocetta, G. & Ferrante, A. (2021). Effect of glutamic acid foliar applications on lettuce under water stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27(5): 1059-1072.
- Ghasemi, M., Toorchi, M., Aharizad, S., & Khorshid, A. (2022). Evaluation of physiological indices of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(3): 77-91.[In Persian]
- Golchin, L., Tavakoli, A., & Mohsenifard, E. (2022). Effect of cytokinin application on photosynthesis, gas exchange and seed yield of safflower (*Carthamus tinctorius*) under drought stress condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(1): 149-160. [In Persian]
- Grant, O.M. (2012). Understanding and exploiting the impact of drought stress on plant physiology, in *Abiotic Stress Responses in Plants*. eds P. Ahmad and M.N.V. Prasad, *Springer*, New York, 89–104.
- Habibi, G. (2014). Silicon supplementation improves drought tolerance in canola plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 61(6): 784-791.
- Hajizadeh, H.S., Azizi, S., Rasouli, F. & Okatan, V. (2022). Modulation of physiological and biochemical traits of two genotypes of *Rosa damascena* Mill. by SiO<sub>2</sub>-NPs under In vitro drought stress. *BMC Plant Biology*, 22(1): 538.



- Hall, A.E. (1992). Breeding for heat tolerance. *Plant Breed Reviews*, 10(2): 129-168.
- Havaux, M., & Niyogi, K.K., (1999). The violoxanthin cycle protects plants from photooxidative damage by more than one mechanism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96: 8762-8767.
- Heidarzadeh, A., & Modarres-Sanavy, S. A. M. (2023). Effect of Amino Acids Combination on the Quantitative and Qualitative Characteristics of Garlic (*Allium Sativum* L.), *Plant Productions*, 46(2). [In Persian]
- Heidarzadeh, A., & Modarres-Sanavy, S.A.M., (2021). Effects of Application and Type of Amino Acids on the Activity of Antioxidant Enzymes, Proline Content and Seed yield of Lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Plant Productions*, 44(3): 381-394. [In Persian]
- Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., & Ebrahimi Esborezi, H. (2021). Effect of priming and foliar application of different amino acids on yield and yield components of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in late sowing. *Iranian Journal Pulses Research*, 12(1): 88-99. [In Persian]
- Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., & Ebrahimi Esborezi, H., (2021). Effect of priming and foliar application of different amino acids on yield and yield components of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in late sowing. *Iranian Journal Pulses Research*, 12(1),88-99.[In Persian]
- Izadi, Y., Modarres Sanavy, S.A.M. & Tahmasebi Sarvestani, Z. (2021). The effect of Nano Fe and Mn chelated foliar application on mung bean yield and some of the quantitative characteristics under water deficit stress condition. *Applied Research in Field Crops*, 33 (4): 19-39.[In Persian].
- Jahani, R., Hassani, A., & Samadi, A. (2018). Effect of foliar application of urea, aspartic acid and glutamic acid on growth, physiological and biochemical characteristics of Anise hyssop (*Agastache foeniculum*). *Applied Soil Research*, 5(2): 95-107.[In Persian]
- Kahlel, A.M.S. & Sultan, F.I. (2019). Response of four potato cultivars to soil application with organic and amino (2021). acid compounds. *Research On Crops*, 20(1): 101-108.
- Khan, M.N., Khan, Z., Luo, T., Liu, J., Rizwan, M., Zhang, J., Xu, Z., Wu, H., & Hu, L. (2020). Seed priming with gibberellic acid and melatonin in rapeseed, consequences for improving yield and seed quality under drought and non-stress conditions. *Industrial Crops and Products*, 156: 112850.
- Khayat Moghadam, M.S., Gholami, A., Shirani Rad, A.H., BaradaranFiroozabadi, M. & Abbasdokht, H. The effect of Potassium Silicate and Late-Season Drought Stress on the Physiological Characters of Canola. *Journal of Crops Improvement*, 23(4): 776-761.
- Kim, T.H., Böhmer, M., Hu, H., Nishimura, N., & Schroeder, J.I. (2010). Guard cell signal transduction network, advances in understanding abscisic acid, CO<sub>2</sub>, and Ca<sup>2+</sup> signaling. *Annual review of plant biology*, 61(1): 561-591.
- Lee, H. J., Kim, J. S., Lee, S. G., Kim, S. K., Mun, B., & Choi, C. S. (2017). Glutamic acid foliar application enhances antioxidant enzyme activities in kimchi cabbages leaves treated with low air temperature. *Horticultural Science and Technology*, 35: 700–706.
- Liang, D., Ni, Z., Xia, H., Xie, Y., Lv, X., Wang, J., Lin, L., Deng, Q., & Luo, X. (2018). Exogenous melatonin promotes biomass accumulation and photosynthesis of kiwifruit seedlings under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 246: 34-43.
- Maddah, S.M., & Farhangian Kashani, S. (2011). Investigation of growth and chlorophyll concentration. *Crop Physiology Journal*, 3: 89- 102. [In Persian]
- Maqsood, M.F., Shahbaz, M., Kanwal, S., Kaleem, M., Shah, S.M.R., Luqman, M., Iftikhar, I., Zulfiqar, U., Tariq, A., Naveed, S.A. & Inayat, N. (2022). Methionine Promotes the Growth and Yield of Wheat under Water Deficit Conditions by Regulating the Antioxidant Enzymes, *Reactive Oxygen Species, and Ions*. *Life*, 12(7): 969.
- Maqsood, M.F., Shahbaz, M., Kanwal, S., Kaleem, M., Shah, S.M.R., Luqman, M., Iftikhar, I., Zulfiqar, U., Tariq, A., Naveed, S.A. & Inayat, N. (2022). Methionine Promotes the Growth and Yield of Wheat under Water Deficit Conditions by Regulating the Antioxidant Enzymes Reactive Oxygen Species and Ions. *Life*, 12(7): 969.

- Mathobo, R., Marais, D., & Steyn, J.M. (2017). The effect of drought stress on yield, leaf gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultural Water Management*, 180: 118-125.
- Mehak, G., Akram, N.A., Ashraf, M., Kaushik, P., El-Sheikh, M.A., & Ahmad, P. (2021). Methionine-induced regulation of growth, secondary metabolites and oxidative defense system in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants subjected to water deficit stress. *Plos one*, 16(12): e0259585.
- Merwad, A.-R.M.A.; Desoky, E.-S.M., & Rady, M.M. (2018). Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. *Scientia Horticulturae*, 228: 132–144.
- Mir, Y., Daneshvar, M. & Ismaili, A. (2022). Effect of foliar application of salicylic acid and micronutrients on photosynthetic activities and canola seed yield under dehydration stress. *Sci. J. Crop Physiol*, 13(50): 119-134. [In Persian]
- Naveed, M., H. Sajid, A. Mustafa, B. Niamat, Z. Ahmad, M. Yaseen, M. Kamran, M. Rafique, S. Ahmar & J.T. Chen. (2020). Alleviation of salinity -induced oxidative stress, improvement in growth, physiology and mineral nutrition of canola (*Brassica napus* L.) through calcium -fortified composted animal manure. *Sustain*, 12: 1 -17.
- Noreen, S., Akhter, M.S., Yaamin, T. & Arfan, M. (2018). The ameliorative effects of exogenously applied proline on physiological and biochemical parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.) crop under copper stress condition. *Journal of Plant Interactions*, 13(1): 221-230.
- Nouriyani, H., & Jafarinia, S.H. (2023). Evaluation of some physiological, biochemical traits and yield of three rye cultivars under water deficit stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 16(2): 419-431. [In Persian]
- Payنده, Kh., Mujaddam, M., & Droudgar, N. (2020). Study of quality and yield of rapeseed seed Hayola 401 with composite fertilizers of iron, zinc and manganese under irrigation stress. *Journal of Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 13: 109-119. [In Persian]
- Peña Calzada, K., Olivera Vicedo, D., Habermann, E., Calero Hurtado, A., Lupino Gratão, P., De Mello Prado, R., Lata-Tenesaca, L.F., Martinez, C.A., Ajila Celi, G.E., & Rodríguez, J.C. (2022). Exogenous application of amino acids mitigates the deleterious effects of salt stress on soybean plants. *Agronomy*. 12(9): 2014.
- Praba, M.L., Cairns, J.E., Babu, R.C., & Lafitte, H.R. (2009). Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 195(1): 30-46.
- Radkowski, A. (2018). Influence of foliar fertilization with amino acid preparations on morphological traits and seed yield of timothy. *Plant, Soil and Environment*, 64(5): 209-213.
- Rashtbari, M., Hossein Ali, A. & Ghorchiani, M. (2020). Effect of vermicompost and municipal solid waste compost on growth and yield of canola under drought stress conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(17): 2215-2222.
- Repke, R.A., Silva, D.M.R., dos Santos, J.C.C. & de Almeida Silva, M. (2022). Alleviation of Drought Stress in Soybean by Applying a Biostimulant Based on Amino Acids and Macro-and Micronutrients. *Agronomy*. 12(10): 2244.
- Richardson, A.D., Duigan, S.P. & Berlyn, G.P., (2002). An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New phytologist*. 153(1): 185-194.
- Rizwan, M., Ali, S., Zaheer Akbar, M., Shakoob, M.B., Mahmood, A., Ishaque, W. & Hussain, A. (2017). Foliar application of aspartic acid lowers cadmium uptake and Cd-induced oxidative stress in rice under Cd stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(27): 21938-21947.
- Röder, C., Móggor, Á.F., Szilagyi-Zecchin, V.J., Gemin, L.G. & Móggor, G. (2018). Potato yield and metabolic changes by use of biofertilizer containing L-glutamic acid. *Comunicata Scientiae*, 9(2): 211-218.
- Ronga, D., Biazzi, E., Parati, K., Carminati, D., Carminati, E. & Tava, A. (2019). Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy*, 9(4): 192.

- Rostami Hir, M., Sheikhzadeh, P., Khomari, S., & Zare, N. (2023). Evaluation of photosynthetic and biochemical characteristics of oilseed rape under drought stress and MoO<sub>3</sub> nanoparticles application. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 16(2): 349-367. [In Persian]
- Sanikhani, M., Akbari, A. & Kheiry, A. (2020). Effect of phenylalanine and tryptophan on morphological and physiological characteristics in colocynth (*Citrullus colocynthis* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 9(35): 317-328. [In Persian]
- Saremi, S., Gholipoor, M., Abbasdokht, H., Naghdi Badi, H., Mehrafarin, A. & Asghari, H.R. (2020). The morphophysiological responses of *Physalis alkekengi* to foliar applications of amino acids under drought stress conditions. *Horticultural Plants Nutrition*, 3(2): 71-86.
- Shi, L., Wang, Z., & Kim, W.S. (2019). Effect of drought stress on shoot growth and physiological response in the cut rose 'charming black' at different developmental stages. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 60: 1-8.
- Singer, S.D., Zou, J. & Weselake, R.J. (2016). Abiotic factors influence plant storage lipid accumulation and composition. *Plant Science*, 243: 1-9.
- Stoker, R. & Carter, K. E. (1984). Effect of irrigation and nitrogen on yield and quality of oilseed rape. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, 12(3): 219-224.
- Syamsia, Idhan, A., Noerfitriyani, Nadir, M., Reta & Kadir, M. (2018). Paddy chlorophyll concentrations in drought stress condition and endophytic fungi application. In IOP conference series: earth and environmental science. IOP Publishing, 156: 012040.
- Tavakkol Afshari, M., Nezami, A., Ahmadi-Lahijani, M.J., Nabati, J., & Karimzadeh Soureshjani, H.A. (2023). Effect of planting date and irrigation deficiency on the physiological, biochemical, and yield component of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in Mashhad. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 16(2): 403-418. [In Persian]
- Teixeira, W. F., Fagan, E. B., Soares, L. H., Soares, J. N., Reichardt, K., & Neto, D. D. (2018). Seed and foliar application of amino acids improve variables of nitrogen metabolism and productivity in soybean crop. *Frontiers in Plant Science*, 9: 396.
- Tisarum, R., Theerawitaya, C., Samphumphung, T., Takabe, T., & Cha-um, S. (2019). Exogenous foliar application of glycine betaine to alleviate water deficit tolerance in two Indica rice genotypes under greenhouse conditions. *Agronomy*, 9(3): 138.
- Tony, H.H., & Norio, M. (2012). Glycinebetaine, an effective protectant against abiotic stress in plants. *CE press*, 3: 17-23.
- Wang, Y., Ying, J., Kuzma, M., Chalifou, M., Sample, A., McArthur, C., Uchacz, T., Sarvas, C., Wan, J., Dennis, D.T., McCourt, P., & Huang, Y. (2005). Molecular tailoring of farnesylation for plant drought tolerance and yield protection. *Plant Journal*, 43(3): 413-424.
- Waraich, E.A., Rashid, F., Ahmad, Z., Ahmad, R., & Ahmad, M. (2020). Foliar applied potassium stimulate drought tolerance in canola under water deficit conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 43(13): 1923-1934.
- Wu, W., Ma, B.L. & Whalen, J.K. (2018). Enhancing rapeseed tolerance to heat and drought stresses in a changing climate: perspectives for stress adaptation from root system architecture. *Advances in agronomy*, 151: 87-157.
- Xu, Q.Q., Sami, A., Zhang, H., Jin, X.Z., Zheng, W.Y., Zhu, Z.Y., Wu, L.L., Lei, Y.H., Chen, Z.P., Li, Y., & Yu, Y. (2022). Combine influence of low temperature and drought on different varieties of rapeseed (*Brassica napus* L.). *South African Journal of Botany*, 147: 400-414.
- Zhang, Y., Chen, Q. & Tang, H. (2018). Variation on photosynthetic performance in kiwifruit seedling during drought stress and rewatering. In 2018 International Workshop on Bioinformatics, Biochemistry, Biomedical Sciences. *Atlantis Press*, 56-59.
- Zhu, J., Cai, D., Wang, J., Cao, J., Wen, Y., He, J., Zhao, L., & Wang, D. -Zhang, S. (2021). Physiological and anatomical changes in two rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes under drought stress conditions. *Oil Crop Science*, 6(2): 97-104.