

Original article

Studying the biochemical characteristics, seed and oil yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in response to foliar spaying of amino acid, iron, and urea in the condition of withholding irrigation in the reproductive stageSajad Saedi¹, Seyed Ali Mohammad Modarres-Sanavy^{2*}, Ali Heidarzadeh³

1. Masters student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran

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

3. Ph.D, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran

Received 28 February 2024; Revised 16 April 2024; Accepted 23 April 2024

Extended abstract**Introduction**

Drought is one of the most significant abiotic stresses that negatively affects agricultural productivity worldwide. More than 60% of global agricultural production is directly or indirectly impacted by drought stress. Water deficiency during any stage of plant growth, especially during critical periods such as flowering or seed filling, can result in substantial and often irreversible yield losses. The severity of drought's impact varies depending on the plant species and cultivar, ranging from high sensitivity to moderate or high levels of tolerance. In this context, adopting strategies that can enhance drought tolerance in crops is of paramount importance. Among such strategies, foliar application of essential nutrients—including iron (Fe), urea, and amino acids—can play a critical role by improving nutrient use efficiency and enhancing plant stress tolerance. Foliar feeding, due to its rapid absorption compared to soil-based nutrient application, is particularly important under water-deficit conditions. Urea, owing to its small molecular size, non-ionic nature, and high solubility, is readily absorbed through the leaf surface and plays a significant role in plant metabolism and growth. Iron is a vital micronutrient involved in key physiological processes, especially chlorophyll synthesis and photosynthesis. Its deficiency, particularly in calcareous soils, can cause chlorosis and decreased productivity. Foliar application of iron in the form of iron chelate (Fe-EDTA) is a widely used method to correct iron deficiencies in field crops. Moreover, amino acids are increasingly recognized as biostimulants that enhance plant physiological functions, improve growth parameters, and increase tolerance to environmental stresses such as drought. They contribute to improved antioxidant activity, membrane stability, and nutrient uptake, which are essential during stress conditions. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is an annual oilseed crop that has gained attention due to its wide adaptability and multi-purpose use in the food, pharmaceutical, dye, and oil industries. Owing to its deep root system and moderate drought tolerance, safflower is a suitable candidate for evaluating the effectiveness of foliar nutrient applications under water-deficit conditions.

Materials and methods

This experiment was carried out as a split-plot design based on randomized complete blocks in the research farm of the Faculty of Agriculture of Tarbiat Modares University, during the 2022-23 growing season. The treatments were include three levels of irrigation regimes [no interruption of irrigation (full irrigation), withholding irrigation from the flowering stage, withholding irrigation from the seed filling

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

stage] in the main plots and nine levels of Foliar spraying (no foliar spraying, distilled water, iron chelate 6% (Fe), urea 1% (U), amino acids 1 g.lit⁻¹ (AA), Fe+U, Fe+AA, U+AA, Fe+U+AA) were placed in sub-plots. Analysis of variance (ANOVA) and also mean comparisons were accomplished using the general linear model (GLM) procedure. LSD procedure at a probability level of 0.05 was used to determine statistically significant differences among treatment means.

Results and discussion

The results showed that the highest oil content with 15.92% was obtained from Fe foliar application in the condition of withholding irrigation from the seed filling stage. Also, the interaction of foliar application and irrigation regimes had a significant effect on safflower seed yield, and foliar application of Fe+AA+U increased safflower yield. The highest amount of oil yield was produced from the Fe+AA+U in the condition of withholding irrigation from the seed-filling stage with 359.08 kg.ha⁻¹. The highest amount of seed yield in the condition of full irrigation was obtained from the AA+U with 2333.33 kg.ha⁻¹.

Conclusion

The results of this study highlight the positive impact of foliar application of iron chelate, urea, and amino acids—particularly when applied in combination—on the growth, seed yield, and oil content of safflower under both normal and drought-stressed conditions. The combined foliar treatment of iron, urea, and amino acids (Fe+U+AA) proved to be the most effective in enhancing oil yield and overall crop performance, especially under irrigation withholding from the seed filling stage. Additionally, the amino acids and urea combination (AA+U) performed best under full irrigation, suggesting a role in promoting productivity even in the absence of stress. These findings support the use of targeted foliar nutrition as an efficient strategy to mitigate the adverse effects of water stress in safflower cultivation. The synergistic effect of micronutrients and biostimulants can not only improve plant tolerance to drought but also sustain economic yield levels under limited water availability. Therefore, it is recommended that safflower farmers, particularly in semi-arid and arid regions, consider integrating foliar application of iron, urea, and amino acids into their agronomic practices. Moreover, moderate irrigation management, such as withholding water from the flowering stage along with foliar feeding, may optimize resource use and yield outcomes in water-limited environments.

Keywords: Amino acids, Iron, Oil seeds, Photosynthetic pigments, Proline, Urea

مطالعه خصوصیات بیوشیمیایی، عملکرد دانه و روغن گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) در واکنش به محلول پاشی آمینواسید، آهن و اوره در شرایط قطع آبیاری در مرحله زایشی

سجاد ساعدی^۱، سید علی محمد مدرس ثانوی^{۲*}، علی حیدرزاده^۳

۱. کارشناسی ارشد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت مدرس، تهران
۲. استاد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت مدرس، تهران
۳. دانش آموخته دکتری، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت مدرس، تهران

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: آمینواسیدها آهن اوره پرولین دانه‌های روغنی رنگیزه‌های فتوسنتزی	این آزمایش به منظور بررسی واکنش گلرنگ به محلول پاشی آهن، اوره و آمینواسیدها در شرایط تنش کم آبی در مرحله زایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربت مدرس به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل سه سطح رژیم آبیاری (بدون قطع آبیاری (آبیاری مطلوب)، قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا انتهای فصل رشدی و قطع آبیاری در مرحله شروع پر شدن دانه تا انتهای فصل رشد) در کرت اصلی و نه سطح تیمار محلول پاشی (محلول پاشی کلات آهن ۶ درصد، محلول پاشی اوره یک درصد، محلول پاشی اسید آمینه تجاری یک گرم در لیتر، محلول پاشی آهن ۶ درصد + اوره محلول پاشی اسید آمینه تجاری یک گرم در لیتر + اوره یک درصد، محلول پاشی آهن ۶ درصد + اسید آمینه تجاری یک گرم در لیتر، محلول پاشی آب مقطر و بدون محلول پاشی) در کرت فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد بیشترین درصد روغن با ۱۵/۹۲ درصد از محلول پاشی آهن در شرایط قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه به دست آمد. همچنین، برهم کنش محلول پاشی و تنش کم آبی تأثیر معنی داری روی عملکرد دانه گلرنگ داشت و محلول پاشی تلفیقی آهن، اوره و آمینواسیدها باعث افزایش عملکرد گلرنگ شد. بیشترین مقدار عملکرد روغن از کاربرد تلفیقی آهن، اوره و آمینواسیدها در شرایط قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه با ۳۵۹/۰۸ کیلوگرم در هکتار تولید شد. بیشترین مقدار عملکرد دانه در شرایط عدم قطع آبیاری از کاربرد تلفیقی آمینواسیدها و اوره با ۲۳۳۳/۳۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. با توجه به نتایج این پژوهش و تأثیر تیمارهای مورد بررسی، کاربرد تلفیقی آهن، اوره و آمینواسیدها و قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه در کشت گلرنگ توصیه می‌شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۴ تاریخ انتشار: پائیز ۱۴۰۴ ۴۴۵-۴۲۹: (۲) ۱۸	

مقدمه

قرار دارند و تخمین زده می‌شود که حدود ۷۰۰ میلیون نفر تا سال ۲۰۳۰ به دلیل این پدیده در معرض خطر آوارگی قرار بگیرند (WHO, 2023). تنش کم آبی، از طریق سمیت سلولی و کاهش عرضه مواد غذایی، فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Yadav et al., 2021; Sadak and Bakhoun, 2022). علاوه بر این، باعث آسیب‌های اکسیداتیو، ناپایداری غشاء و اختلال در فرآیند فتوسنتزی می‌شود (Ragaey et al., 2022). همچنین،

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان را تهدید می‌کند. به طوری که مشخص شده است بهره‌وری گیاهان زراعی را ۷۰-۵۰ درصد در دنیا کاهش می‌دهد (Verma and Deepti, 2016). طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت (WHO)، تنش خشکی سالانه بر معیشت حدود ۵۵ میلیون نفر در سراسر جهان تأثیر می‌گذارد (WHO, 2023). علاوه بر این، تقریباً ۴۰ درصد از جمعیت جهان تحت تأثیر خشک‌سالی

سریع و کارآمد برای رفع نیاز غذایی گیاه مطرح است. از آنجایی که نیتروژن مورد استفاده از خاک می‌تواند از طریق آبشویی و یا تصعید از دسترس گیاه خارج شود و عرضه نیتروژن از خاک، ریشه، گره‌ها و یا ساقه‌ها به دلیل تنش‌های محیطی محدود شود، لذا محلول‌پاشی اوره (منبع نیتروژن) روی شاخ و برگ گیاه می‌تواند عامل مؤثری در افزایش کیفیت و در نهایت عملکرد شود (Sedaghatkish et al., 2014).

دانه‌های روغنی از نظر تأمین انرژی مورد نیاز انسان و دام در بین محصولات زراعی از اهمیت بسیار بالایی هستند. فرآورده‌های دانه‌های روغنی از جمله کنجاله‌ها به عنوان منابع پروتئینی در تغذیه دام و طیور مورد استفاده قرار می‌گیرد. گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) گیاهی یک‌ساله و دانه‌های روغنی با گل‌هایی به رنگ‌های زرد، قرمز، نارنجی، با و بدون خار و میزان روغن ۳۰ تا ۵۰ درصد است (Gürsoy, 2019, 2020; Jam et al., 2023). علاوه بر این، از قسمت‌های ساقه، برگ، دانه و گل آن استفاده می‌شود (Beyyavaş and Dogan, 2022). اگرچه گیاه گلرنگ شرایط نامطلوب زیادی را تحمل می‌کند، اما عملکرد آن در شرایط تنش کاهش می‌یابد (Jam et al., 2023; Culpan, 2023). در پژوهشی نشان داده شد که محلول‌پاشی آهن روی گلرنگ سبب بهبود صفات کمی و کیفی آن شد (Kamaraki and Galavi, 2012). در مطالعه‌ای دیگر، محلول‌پاشی آهن در گلرنگ باعث کاهش اثر زیان‌بار تنش کم‌آبی شد (Ghassemi-Golezani et al., 2022).

با توجه به موارد بالا، هدف از این پژوهش بررسی خصوصیات بیوشیمیایی، درصد و عملکرد روغن و دانه گلرنگ تحت تأثیر محلول‌پاشی آمینواسیدها، اوره و آهن و رژیم‌های آبیاری است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در فصل زراعی ۱۴۰۱-۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس واقع در ۱۷ کیلومتری اتوبان تهران-کرج اجرا شد. به منظور ارزیابی حاصلخیزی و تعیین ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی خاک از ۵ نقطه زمین در دو عمق ۰-۳۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام شد. نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ ارائه شده است و کوددهی بر اساس جدول ۱ و نیاز گیاه انجام شد. این تحقیق به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل

کم‌آبی روی مرحله رشدی و توسعه عملکرد تأثیر دارد و واکنش گیاه بر اساس گونه و نوع گیاه نسبت به آن بسیار متفاوت است (Noletto-Dias et al., 2023). گزارش شده است که کمبود آب در مرحله زایشی گیاه گلرنگ منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود (Singh et al., 2016). محلول‌پاشی به عنوان یک راهکار توسط محققین بسیاری به منظور افزایش عملکرد در شرایط تنش کم‌آبی پیشنهاد گردیده است.

در اکثر مزارع کشور با توجه به بالا بودن pH خاک، آهک فراوان و مصرف بیش از نیاز کودهای فسفاته، جذب عناصر ریزمغذی از طریق خاک با مشکل مواجه شده و موجب کاهش کمیت و کیفیت دانه‌های روغنی گردیده است (Ardeshiri And Jahan Bin, 2018). محلول‌پاشی عناصر غذایی به ویژه عناصر ریزمغذی آهن، روی، منگنز، مس و بر در شرایط خاک‌های ایران به علت مزایای متعدد (برطرف نمودن سریع کمبود، ارزان بودن، راحتی مصرف کود و جلوگیری از تثبیت این عناصر در خاک) نسبت به مصرف خاکی این عناصر نوعی رویکرد علمی کشاورزی است (Fathi Amirkhiz et al., 2021). با توجه به شرایط جوی ایران و وقوع تنش‌های محیطی، استفاده از کودهای حاوی آمینواسیدها می‌تواند کمک شایانی برای افزایش راندمان و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی نماید (Thomas et al., 2010). آمینواسیدها از مهم‌ترین متابولیت‌های اولیه در سلول‌های گیاهی هستند که عملکردهای ساختاری، متابولیکی و انتقال را در گیاهان انجام می‌دهند و بسیاری از ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی سلول‌ها، بافت‌ها و اندام‌های گیاهی تحت تأثیر حضور آمینواسیدها هستند (El-Said and Mahdy, 2016; Popko et al., 2018). بررسی‌ها نشان داد غلظت آمینواسیدهای مختلف در شرایط تنش افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده نقش مستقیم یا غیرمستقیم آن‌ها است. در تحقیقات مختلف تأثیر محلول‌پاشی آمینواسیدها روی گیاهان مختلف نظیر عدس (*Lens culinaris Medik*) و سیر (*Allium Sativum L.*) بر صفات بیوشیمیایی گزارش شده است (Heidarzadeh and Modarres-Sanavy, 2021; 2023). مصرف نیتروژن به صورت خاکی در اواخر دوره رشد رویشی، ممکن است به دلیل خشک بودن سطح خاک و کاهش فعالیت ریشه چندان مناسب نباشد، لذا محلول‌پاشی نیتروژن به دلیل جذب سریع‌تر و بیشتر توسط گیاه و راحتی کاربرد به عنوان راهی

اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد. حجم آب آبیاری به وسیله کنتور آب محاسبه شد. میزان آب آبیاری برای عدم قطع آبیاری، قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه و قطع آبیاری از مرحله شروع گلدهی به ترتیب ۵۵۷۸، ۴۳۱۱ و ۳۸۴۴ مترمکعب در هکتار بود. زمان‌های آبیاری نیز با توجه به رطوبت خاک و با کمک دستگاه TDR تعیین شد و با رسیدن رطوبت خاک به ۸۰ درصد آب قابل استفاده، آبیاری تا رسیدن رطوبت به ظرفیت زراعی مزرعه انجام شد. عملیات تنک کردن در مرحله چهار برگی و وجین علف‌های هرز به صورت دستی در طول فصل زراعی انجام شد. با توجه به آزمایش خاک (جدول ۱) به منظور تأمین نیاز گیاه به نیتروژن (معادل ۱۷۵ کیلوگرم در هکتار)، کود نیتروژن دار به صورت سرک در سه نوبت شامل پیش از کاشت، در مرحله هشت برگی و پیش از گل دهی به خاک اضافه شد. همچنین برای تأمین فسفر مورد نیاز گیاه (معادل ۱۸ کیلوگرم در هکتار)، از کود سوپرفسفات تریپل استفاده شد که پیش از کاشت با خاک مخلوط گردید. برای تأمین پتاس مورد نیاز گیاه (۷۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع سولوپتاس قبل از کشت با خاک مخلوط شد.

سه سطح رژیم آبیاری (بدون قطع آبیاری (آبیاری مطلوب)، قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا انتهای فصل رشدی و قطع آبیاری در مرحله شروع پر شدن دانه تا انتهای فصل رشد) به عنوان کرت اصلی و نه سطح محلول پاشی (محلول پاشی کلات آهن ۶ درصد، محلول پاشی اوره یک درصد، محلول پاشی آمینواسید تجاری یک گرم در لیتر، محلول پاشی آهن ۶ درصد + اوره یک درصد، محلول پاشی آهن ۶ درصد + آمینواسید تجاری یک گرم در لیتر، محلول پاشی آمینواسید تجاری یک گرم در لیتر + اوره یک درصد، محلول پاشی آهن ۶ درصد + اوره یک درصد + آمینواسید تجاری یک گرم در لیتر، محلول پاشی آب مقطر و بدون محلول پاشی) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

هر واحد آزمایشی شامل چهار خط کشت به طول دو متر با فاصله خطوط ۳۰ سانتی متری از هم و فاصله بوته‌ها روی هر خط پنج سانتی متر بود. فاصله بین تکرارها (بلوک‌ها) یک متر و فاصله بین کرت‌ها آزمایشی ۵۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. از رقم پرینان برای کشت استفاده شد. کشت به صورت خشکه کاری و دستی در مهرماه سال ۱۴۰۱ انجام شد. آبیاری به صورت نواری به وسیله نوار تیپ پلاک دار ۲۰ سانتی متر (هر پلاک به میزان ۱/۶ لیتر بر ساعت در فشار یک بار) انجام شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

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

آهن	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کربن آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	رس	سیلت	شن	بافت خاک	عمق خاک
Fe	N	P	K	CO	Ec	pH	Clay	Silt	Sand	Texture	Depth
mg kg ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	%	dS m ⁻¹		%	%	%		cm
3.25	0.054	19.2	87	0.566	1.809	7.84	16.5	15.5	68.0	Sandy-Loam	0-30
3.92	0.036	9.2	60	0.254	1.251	8.08	13.5	15.5	71.0	Sandy-Loam	30-60

به وسیله اسپکتروفتومتر (Analytik Jena, Spekol 1300, Germany) خوانده شد. سنجش میزان آنتوسیانین طبق روش کریزک و همکاران (Krizek et al., 1993) مقدار ۰/۲ گرم برگ در ۳ میلی لیتر متانول اسیدی (شامل متانول و اسیدکلریدریک به نسبت ۹۹ به ۱) به طور کامل ساییده شد، سپس عصاره حاصل سانتریفیوژ گردید و محلول رویی به مدت یک ساعت در تاریکی قرار گرفت. میزان جذب در طول موج ۵۵۰ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر (Analytik Jena, Spekol 1300, Germany) خوانده شد. جهت اندازه گیری پرولین از روش بیتز و همکاران (Bates et al. 1973) استفاده شد، بدین منظور ابتدا ۱/۲۵ گرم نین هیدرین را به

به منظور اندازه گیری صفات مورفولوژیک پس از رسیدگی فیزیولوژیک گلرنگ، برای محاسبه وزن خشک ساقه، برگ و طبق تعداد ۱۰ بوته از هر کرت به طور تصادفی انتخاب و جهت خشک نمودن در آون به مدت ۴۸ ساعت با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت و سپس توسط ترازوی دیجیتال برحسب گرم محاسبه و به کیلوگرم در هکتار تبدیل شد. به منظور اندازه گیری میزان کلروفیل a و b و کاروتنوئید از روش لیچنتنالر (Lichtenthaler, 1987) استفاده شد. برای استخراج این رنگیزه‌ها ۰/۲ گرم از نمونه برگی در استون ۸۰ درصد سائیده شد. پس از صاف کردن به وسیله کاغذ صافی، جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲ و ۴۷۰ نانومتر

همچنین، در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل محلول‌پاشی و رژیم‌های آبیاری، بر اساس هر سطح رژیم آبیاری برش‌دهی انجام شد.

نتایج و بحث

برهم‌کنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی و اثرات اصلی آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک در سطح احتمال یک درصد داشت درحالی‌که اثر متقابل و اثرات اصلی عوامل موردبررسی تأثیر معناداری بر وزن‌های خشک برگ، ساقه و کل نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش عوامل موردبررسی نشان داد بیشترین وزن خشک طبق در شرایط عدم قطع آبیاری از محلول‌پاشی اوره به میزان ۱۱۳۱۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۱) و کمترین مقدار آن در این شرایط آبیاری، مربوط به کاربرد آمینواسیدها به میزان ۸۳۳۳ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۱). این در حالی است که در شرایط قطع آبیاری از مرحله بردن دانه، بیشترین وزن خشک طبق در تیمارهای کاربرد آب مقطر (۱۱۹۴۳ کیلوگرم در هکتار) و کاربرد اوره + آهن + آمینواسیدها (۱۱۳۸۸ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (شکل ۱). ولی در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی اختلافی بین سطوح محلول‌پاشی دیده نشد (شکل ۱). وزن خشک گیاهان ممکن است از طریق استفاده بهینه از آب به‌منظور حفظ آن در شرایط تنش، کاهش یابد (Flexas et al., 2004). همچنین، تنش کم‌آبی ممکن است منجر به کاهش تعرق از برگ‌ها شود. این عمل نیز می‌تواند باعث کاهش وزن خشک گیاه شود (Urano et al., 2009). با کاهش تولید در گیاهان در شرایط کم‌آبی، وزن خشک نهایی کاهش پیدا می‌کند (Seif et al., 2024). آهن یکی از عناصری است که در تولید آنتی‌اکسیدان‌ها نقش دارد و در مقابله با استرس‌های اکسیداتیو مؤثر است. افزایش آهن می‌تواند باعث کاهش آسیب‌های اکسیداتیو در گیاه شود و وزن خشک گیاه را تحت شرایط تنش حفظ کند (Gill and Tuteja, 2010). آمینواسیدها حاوی نیتروژن (NH_2) هستند و در فرآیندهای متابولیک گیاهان نقش دارند. در شرایط تنش کم‌آبی، تنظیم متابولیسم نیتروژن ممکن است تغییر کند. این تغییرات می‌توانند به افزایش نیتروژن در آمینواسیدها و در نتیجه افزایش وزن خشک گیاهان منجر شوند (Rennenberg et al., 2010).

۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک اضافه کرده و بعد از حرارت ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار به محلول اضافه گردید. محلول حاصل به مدت ۲۴ ساعت در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد گذاشته تا معرف به‌خوبی تثبیت گردد. سپس ۰/۱ گرم از بافت تر را در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالیسیلیک ساییده و مخلوط یکنواختی تهیه شد. بعد از سانتریفیوژ عصاره، ۲ میلی‌لیتر از مایع رویی را با ۲ میلی گرم معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک خالص مخلوط کرده و یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حمام آب گرم قرار گرفت. بعد از این مدت، جهت قطع انجام کلیه واکنش‌ها، لوله‌های محتوی مخلوط را در حمام یخ، سرد گذاشته، سپس ۴ میلی‌لیتر تولوئن به مخلوط اضافه گردید و لوله‌ها به‌خوبی تکان داده شد. با ثابت نگه‌داشتن لوله‌ها به مدت ۱۵-۲۰ ثانیه بعد از ورتکس، ۲ لایه کاملاً مجزا در آن‌ها تشکیل گردید. از لایه رنگی فوقانی که حاوی تولوئن و پرولین بوده، برای اندازه‌گیری غلظت پرولین استفاده شد. جذب مقدار مشخصی از این ماده رنگی در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین گردید و مقدار پرولین در هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد، به دست آمد. استخراج روغن به کمک دستگاه سوکسله با استفاده از حلال آلی آن-هگزان انجام شد. ابتدا ۱۰۰ گرم دانه خشک توسط دستگاه آسیاب برقی به‌طور کامل آسیاب شد. سپس از هر نمونه مقدار دو گرم توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ توزین شد و داخل کاغذ صافی که از پیش توزین شده بود، قرار گرفت و در داخل قسمت استخراج دستگاه قرار داده شد و حدود ۲۵۰ سی‌سی حلال آن-هگزان به آن اضافه شد. عمل عصاره‌گیری نمونه‌ها به مدت ۴ الی ۵ ساعت ادامه یافت. چرخه تبخیر و میعان طی مدت روشن بودن دستگاه باعث گرفتن چربی کامل نمونه‌ها گشت. بعد از گرفتن چربی، نمونه‌ها خارج و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه در آون قرار داده شد. نمونه‌ها بعد از خشک شدن دوباره وزن شدند و در نهایت درصد روغن با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید.

$$[1] \quad \text{روغن درصد نمونه} = \frac{b-c}{b-a} \times 100$$

که در آن a: وزن کاغذ صافی بدون نمونه b: وزن کاغذ + نمونه حاوی روغن c: وزن کاغذ + نمونه بدون روغن است.

در نهایت، داده‌ها، پس از اطمینان از نرمال بودن باقی‌مانده آن‌ها با استفاده از رویه Univariate، از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) برای تجزیه واریانس از رویه GLM و مقایسه میانگین داده‌ها به روش حداقل اختلاف معنادار (LSD) استفاده شد.

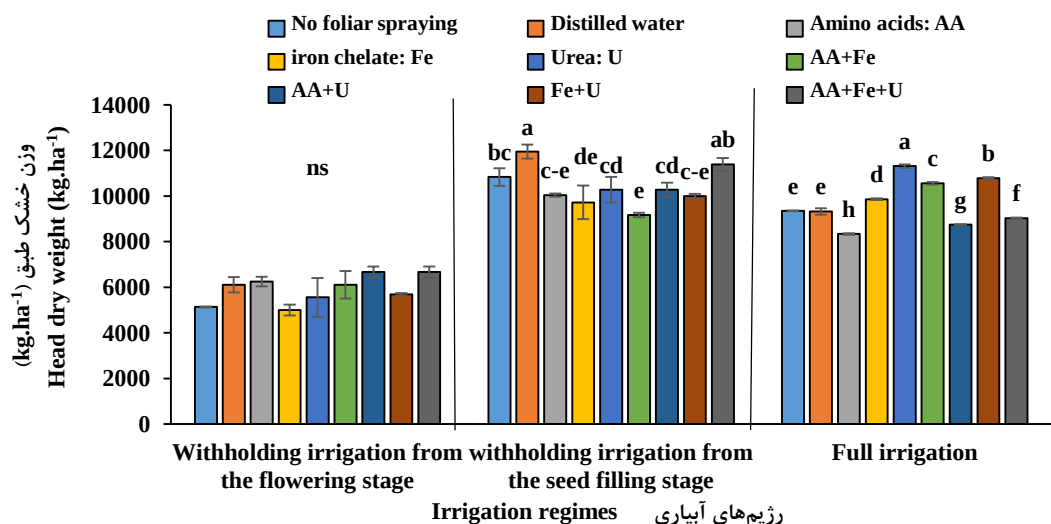
جدول ۲. تجزیه واریانس وزن خشک اجزای مختلف گلرنگ تحت تأثیر محلول پاشی و رژیم‌های آبیاری

Table 2. Variance analysis of safflower dry weights under the influence of foliar spraying and irrigation regimes

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	Mean Squares			میانگین مربعات
			ساقه Stem	برگ Leaf	طبق Head	کل Total
Block	بلوک	2	138343727*	7887180*	648355 ^{ns}	218015072 ^{ns}
Irrigation regim (I)	رژیم آبیاری	2	512401 ^{ns}	118490 ^{ns}	157916804**	171954063 ^{ns}
Error a	خطای a	4	17324218	3735127	189950	97473359
Foliar spraying (F)	محلول پاشی	8	6098954 ^{ns}	1104582 ^{ns}	1138751**	37316721 ^{ns}
I*F		16	7945329 ^{ns}	2006875 ^{ns}	2581807**	55721828 ^{ns}
Error b	خطای b	48	5281976	1210180	299240	34802829
CV (%)	ضریب تغییرات %	-	20.47	22.99	6.31	23.54

ns: عدم اختلاف معنی دار * : اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪ * : اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪.

ns: no significant, *: significant at 5% probability, **: significant at 1% probability



شکل ۱. برهمکنش رژیم‌های آبیاری و محلول پاشی بر وزن خشک طبق (حروف مشترک در هر ستون، نشان از عدم اختلاف معنی دار است. برش دهی بر اساس سطوح رژیم‌های آبیاری انجام شده است.)

Fig. 1. The interaction of irrigation regimes and foliar spraying on heat dry weight (Means followed by the same letter within a column are not significantly different. sliced has been done based on the levels of irrigation regimes.)

درصد و عملکرد روغن و دانه

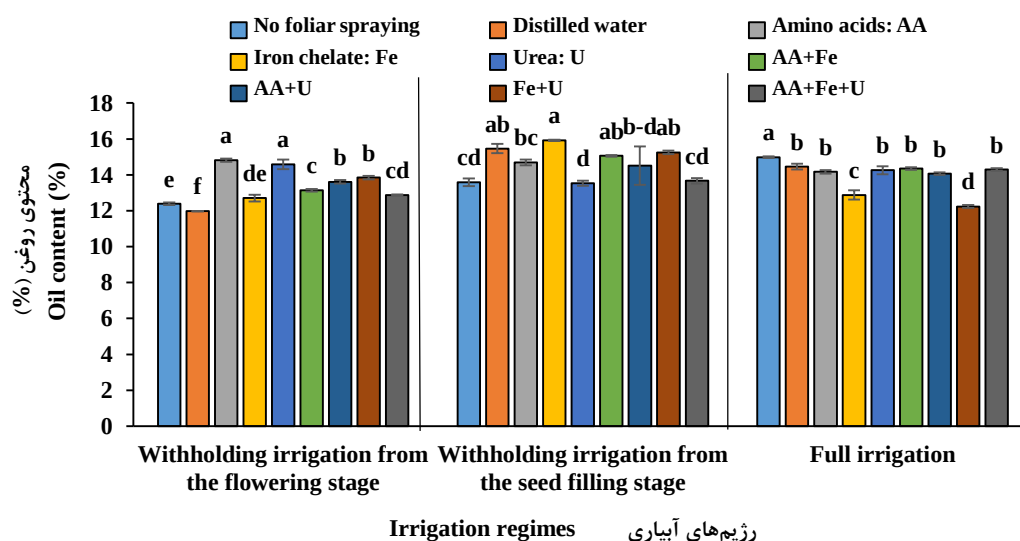
آمینواسیدها (۱۴/۸۱ درصد) و اوره (۱۴/۵۸ درصد) بیشترین درصد روغن را داشت و کمترین آن در این شرایط، مربوط به محلول پاشی آب مقطر با ۱۱/۹۷ درصد بود (شکل ۲). محلول پاشی آهن در شرایط قطع آبیاری از مرحله بردن دانه یا ۱۵/۹۲ درصد بیشترین درصد روغن را داشت (شکل ۲) و

درصد روغن تحت تأثیر برهمکنش تنش کم آبی و محلول پاشی و اثرات اصلی تنش کم آبی و محلول پاشی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). نتایج نشان داد در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی، محلول پاشی

مهمی در متابولیسم گیاهی ایفا می‌کنند. برخی از آمینواسیدها برای سنتز پروتئین‌ها و سایر ترکیبات مهم مورد نیاز در تولید روغن گیاهی مهم هستند (Tegeder, 2012). محلول‌پاشی آهن، آمینواسیدها و نیتروژن ممکن است به بهبود عملکرد متابولیک گیاه منجر شود که در نهایت سبب افزایش تولید و ترکیب روغن در گیاه می‌شود (Fayaz et al, 202; Momeni-Shijani et al., 2024). اثر مثبت افزایش آهن، آمینواسیدها و نیتروژن بر ترکیب روغن گلرنگ ممکن است به ترکیب و اثرات هم‌زمان این عناصر بر گیاه بازگردد و به افزایش درصد روغن منجر شود.

جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی تأثیر معناداری روی عملکردهای دانه و روغن در سطح احتمال یک درصد داشت. همچنین اثرات اصلی رژیم‌های آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

با محلول‌پاشی آب مقطر (۱۵/۴۶ درصد)، آهن + اوره (۱۵/۲۵ درصد) و آهن + آمینواسیدها (۱۵/۰۶ درصد) در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۲). درحالی‌که در شرایط عدم قطع آبیاری بدون محلول‌پاشی با ۱۴/۹۸ درصد بیشترین درصد روغن را تولید کرد (شکل ۲) و محلول‌پاشی آهن + اوره (۱۲/۲۴ درصد) کمترین مقدار بود (شکل ۲). محلول‌پاشی آهن می‌تواند بهبود توانایی گیاه در جذب عناصر غذایی و مواد معدنی از خاک را ارتقاء دهد. این اقدام می‌تواند منجر به افزایش میزان عناصر مورد نیاز برای سنتز مولکول‌های دیگر، از جمله روغن، شود (Marschner, 2012). نیتروژن به‌عنوان یک عنصر اصلی در ساختار آمینواسیدها و پروتئین‌ها حضور دارد. افزایش نیتروژن می‌تواند منجر به تولید بیشتر آمینواسیدها شود. این آمینواسیدها می‌توانند به‌عنوان مواد ماده اولیه برای ترکیب روغن‌ها و چربی‌ها در گیاهان عمل کنند (Crawford and Forde, 2002). آمینواسیدها نقش



شکل ۲. برهمکنش رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی بر محتوی روغن (حروف مشترک در هر ستون، نشان از عدم اختلاف معنی‌دار است. برش‌دهی بر اساس سطوح رژیم‌های آبیاری انجام شده است).

Fig. 2. The interaction of irrigation regimes and foliar spraying on oil content (Means followed by the same letter within a column are not significantly different. sliced has been done based on the levels of irrigation regimes.)

محلول‌پاشی آهن + اوره (۳۳۸/۰۲ کیلوگرم در هکتار) و آمینواسیدها + آهن (۳۳۴/۰۶ کیلوگرم در هکتار) در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۳). کمترین مقدار عملکرد روغن در شرایط قطع آبیاری از مرحله بردن دانه در عدم محلول‌پاشی (۱۴۴/۹۳ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (شکل ۳). این شرایط برای عملکرد دانه نیز مشاهده شد (شکل ۴).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد اختلافی بین محلول‌پاشی در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی و عدم قطع آبیاری روی عملکردهای روغن و دانه مشاهده نشد (شکل‌های ۳ و ۴). ولی در شرایط قطع آبیاری از مرحله بردن دانه، بیشترین عملکرد روغن از محلول‌پاشی آمینواسیدها + اوره + آهن با ۳۵۹/۰۸ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۳) و با

و سرعت فتوسنتز و در نتیجه کاهش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه باشد. در پژوهشی محققین نشان دادند که در شرایط تنش خشکی کاهش هدایت روزنه‌ای باعث کاهش اسیمیلایون کربن و در نتیجه کاهش تولید عملکرد دانه و زیست توده در گیاهان سه کربنه شده است (Medrano et al., 2002). در بررسی دیگری محققین نشان دادند تنش خشکی عملکرد دانه را از طریق تحت تأثیر قرار دادن وزن خشک اندام‌های هوایی و اجزای عملکرد گلرنگ بهاره کاهش می‌دهد (Jabbari Orange and Ebadi, 2012).

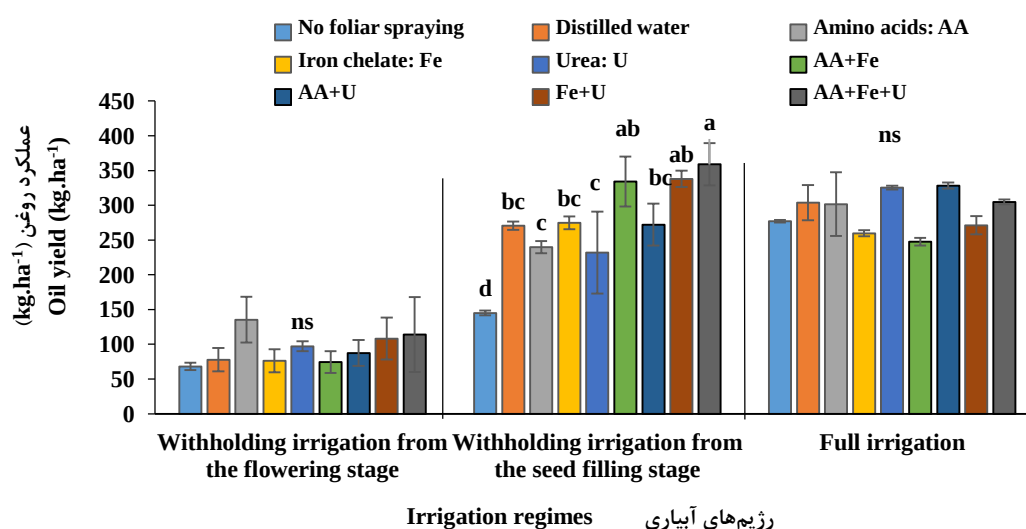
به طوری که بیشترین عملکرد دانه از محلول پاشی آمینواسیدها + اوره + آهن با ۲۶۲۷/۷۸ کیلوگرم در هکتار تولید شد (شکل ۴) و با محلول پاشی آهن + اوره (۲۲۱۶/۶۷ کیلوگرم در هکتار) و آمینواسیدها + آهن (۲۲۱۶/۶۷ کیلوگرم در هکتار) اختلافی نداشت (شکل ۴). کمترین مقدار عملکرد دانه نیز در شرایط قطع آبیاری از مرحله بردن دانه از عدم محلول پاشی (۱۰۶۶/۶۷ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (شکل ۴). کاهش عملکرد دانه تحت تنش کم آبی می‌تواند به دلیل کاهش آب برگ و بسته شدن روزنه‌ها، کاهش هدایت روزنه‌ای

جدول ۳. تجزیه واریانس درصد روغن و عملکرد دانه و روغن گلرنگ تحت تأثیر محلول پاشی و رژیم‌های آبیاری
Table 3. Variance analysis of safflower oil content, and oil, and seed yields under the influence of foliar spraying and irrigation regimes

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	Mean Squares		
			درصد روغن Oil content	عملکرد روغن Oil yield	عملکرد دانه Seed yield
Block	بلوک	2	0.20 ^{ns}	701 ^{ns}	11089 ^{ns}
Irrigation regim (I)	رژیم آبیاری	2	11.49 ^{**}	324387 ^{**}	15153641 ^{**}
Error a	خطای a	4	0.23	5848	360332
Foliar spraying (F)	محلول پاشی	8	0.79 ^{**}	6196 ^{**}	361030 ^{**}
I*F	I*F	16	3.25 ^{**}	5344 ^{**}	199463 ^{**}
Error b	خطای b	48	0.18	1491	77787
CV (%)	ضریب تغییرات (%)	-	3.05	17.60	17.97

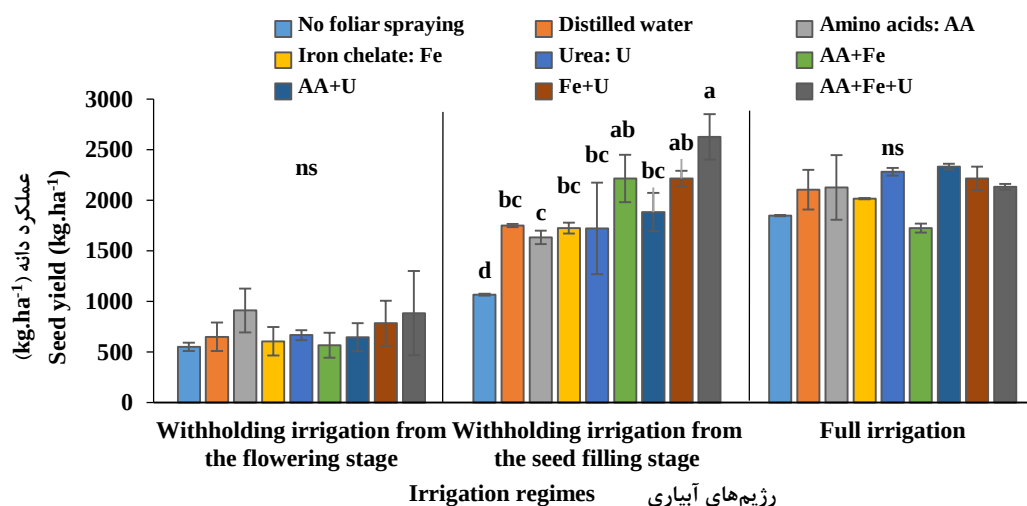
ns: عدم اختلاف معنی‌دار: **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

ns: no significant, **: significant at 1% probability



شکل ۳. برهمکنش رژیم‌های آبیاری و محلول پاشی بر عملکرد روغن (حروف مشترک در هر ستون، نشان از عدم اختلاف معنی‌دار است. برش‌دهی بر اساس سطوح رژیم‌های آبیاری انجام شده است).

Fig. 3. The interaction of irrigation regimes and foliar spraying on oil yield (Means followed by the same letter within a column are not significantly different. sliced has been done based on the levels of irrigation regimes).



شکل ۴. برهمکنش رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی بر عملکرد دانه (حروف مشترک در هر ستون، نشان از عدم اختلاف معنی‌دار است. برش‌دهی بر اساس سطوح رژیم‌های آبیاری انجام شده است.)

Fig. 4. The interaction of irrigation regimes and foliar spraying on seed yield (Means followed by the same letter within a column are not significantly different. sliced has been done based on the levels of irrigation regimes.)

آنتوسیانین و پرولین

اثرات اصلی و برهمکنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی تأثیر معناداری روی آنتوسیانین و پرولین در سطح احتمال یک درصد گذاشت (جدول ۴). جدول مقایسه میانگین‌ها نشان داد در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی، بیشترین آنتوسیانین از محلول‌پاشی آب مقطر (۱۳۷٪ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) و محلول‌پاشی اوره (۱۳۲٪ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) به دست آمد (جدول ۵) و کمترین مقدار آن در شرایط مذکور، در محلول‌پاشی آهن + اوره به ۰/۰۶۷ میکرومول بر گرم وزن تر برگ و بدون محلول‌پاشی با ۰/۰۵۶ میکرومول بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد (جدول ۵). درحالی‌که در شرایط قطع آبیاری از مرحله بردن دانه، محلول‌پاشی آهن (۱۲۹٪ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) و محلول‌پاشی آمینواسیدها + آهن + اوره (۱۳۵٪ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) بیشترین مقدار آنتوسیانین را داشت (جدول ۵). ولی در شرایط عدم قطع آبیاری، بدون محلول‌پاشی با ۰/۱۲۵ میکرومول بر گرم وزن تر برگ بیشترین آنتوسیانین را تولید کرد و در این شرایط آبیاری، محلول‌پاشی آمینواسیدها (۰/۰۵۵ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) و آهن (۰/۰۵۴ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) کمترین بود (جدول ۵). جدول مقایسه میانگین‌ها نشان داد در شرایط عدم قطع آبیاری، محلول‌پاشی آمینواسیدها + آهن (۳۰/۰ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) بیشترین مقدار پرولین را داشت (جدول ۵).

محلول‌پاشی نیتروژن می‌تواند تنظیم‌کننده فعالیت آنزیم‌ها در مسیرهای تولید روغن باشد. این تنظیم‌ها می‌توانند به بهبود فرآیندهای تولید روغن کمک کنند (Tas et al., 2024). نیتروژن و آمینواسیدها در تولید هورمون‌های گیاهی نقش دارند. ممکن است محلول‌پاشی نیتروژن و آمینواسیدها به تنظیم تولید هورمون‌هایی که در فرآیند تولید روغن دخیل هستند کمک کنند. این تنظیم می‌تواند به افزایش عملکرد روغن منجر شود (Dou et al., 2024). تنش کم‌آبی می‌تواند آنتروپی در سلول‌ها را افزایش دهد. محلول‌پاشی آهن، آمینواسیدها و نیتروژن می‌توانند به کاهش این آنتروپی و حفظ سلول‌ها کمک کنند که در نهایت به افزایش عملکرد روغن منجر می‌شود (Simkin et al., 2013). آمینواسیدها به‌عنوان سازنده‌های پروتئین‌ها و سایر ترکیبات میانی نقش دارند. افزایش تولید پروتئین‌ها و ترکیبات میانی می‌تواند به افزایش تولید روغن در گیاهان منجر شود (Li-Beisson et al., 2010). همچنین، افزودن آهن، نیتروژن و آمینواسیدها می‌تواند به تنظیم متابولیسم گیاهان کمک کند. این تنظیم‌ها می‌توانند در بهبود فرآیندهای متابولیک مرتبط با تولید روغن مؤثر باشند (Yan et al., 2018; Si et al., 2018). از طرفی، محلول‌پاشی آهن، نیتروژن و آمینواسیدها می‌تواند به تعادل غذایی مناسب برای گیاهان کمک کند. این تعادل غذایی می‌تواند عملکرد روغن را بهبود دهد (Marschner, 2012).

محلول پاشی آمینواسیدها (۱۳۵/۳) میکرومول بر گرم وزن تر برگ) کمترین مقدار پرولین را تولید کرد (جدول ۵). تغییرات سطح پرولین در گیاهان تحت تنش کم آبی و محلول های آهن، آمینواسیدها و نیتروژن یک مسئله مهم در زمینه فیزیولوژی گیاهی است. پرولین یک آمینواسید مهم است که در پاسخ به شرایط تنشی افزایش می یابد. گیاهان از پرولین به عنوان یک ابزار دفاعی در برابر تنش های محیطی استفاده می کنند (Szabados and Savoure, 2010). همچنین، نیتروژن و آمینواسیدها نیز می توانند تأثیرات مثبتی بر سطح پرولین در گیاهان داشته باشند و در تنظیم فرآیندهای متابولیک و سیگنال دهی به عناصر مغذی دخیل باشند. این تغییرات ممکن است به بهبود تنش های محیطی و افزایش تحمل گیاهان منجر شوند (Brini and Saibi, 2022).

و کمترین مقدار آن در این شرایط آبیاری، مربوط به محلول پاشی اوره با ۱۳/۲ میکرومول پرولین بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۵). همچنین، در شرایط قطع آبیاری از مرحله بردن دانه محلول پاشی آمینواسیدها + آهن (۲۷/۷) میکرومول بر گرم وزن تر برگ) بیشترین مقدار پرولین را داشت (جدول ۵) و کمترین مقدار پرولین در این شرایط، از محلول پاشی اوره (۴/۱) میکرومول بر گرم وزن تر برگ) به دست آمد (جدول ۵). مقدار پرولین در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی نسبت عدم قطع آبیاری و قطع آبیاری از مرحله بردن دانه بسیار بالا رفت (جدول ۵)، به طوری که محلول پاشی آمینواسیدها + آهن (۲۱۱/۹) میکرومول بر گرم وزن تر برگ)، محلول پاشی آمینواسیدها + اوره (۲۱۴/۴) میکرومول بر گرم وزن تر برگ) و بدون محلول پاشی (۲۱۳/۴) میکرومول بر گرم وزن تر برگ) بیشترین مقدار پرولین و

جدول ۴. تجزیه واریانس رنگیزه های فتوسنتزی و پرولین تحت تأثیر محلول پاشی و رژیم های آبیاری

Table 4. Variance analysis of photosynthetic pigments and proline under the influence of foliar application and irrigation regimes

		درجه	میانگین مربعات Mean Squares				
	منابع تغییرات	آزادی	آنتوسیانین	پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید
S.O.V		d.f	Anthocyanin	Proline	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoids
Block	بلوک	2	0.000002 ^{ns}	3.29 ^{ns}	0.0027 ^{**}	0.0000001 ^{ns}	0.00162 ^{**}
	رژیم آبیاری (I)	2	0.00502 ^{**}	262238 ^{**}	0.0548 ^{**}	0.000543 ^{**}	0.007 ^{**}
Error a	خطای a	4	0.000004	1.40	0.0001	0.0000001	0.00007
Foliar spraying (F)	محلول پاشی (F)	8	0.00134 ^{**}	1070 ^{**}	0.00035 ^{ns}	0.000125 ^{**}	0.0002 ^{ns}
I*F	اثر متقابل	16	0.00152 ^{**}	735 ^{**}	0.0002 ^{ns}	0.000077 ^{**}	0.00015 ^{ns}
Error b	خطای b	48	0.0000144	5.12	0.00024	0.0000002	0.00014
CV (%)	ضریب تغییرات (%)	-	3.94	3.07	12.19	1.42	15.30

ns: no significant, **: significant at 1% probability

ns: عدم اختلاف معنی دار **: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪

بود (جدول ۴). اثر اصلی تنش کم آبی تأثیر معنی داری بر کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید گذاشت (جدول ۴). اثر اصلی تنش کم آبی نشان داد بیشترین کلروفیل a و کارتنوئید به ترتیب با ۰/۱۴۴ و ۰/۰۹۷ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ در قطع آبیاری از مرحله گلدهی به دست آمد (جدول ۶) و اختلافی بین قطع آبیاری از مرحله بردن دانه و عدم قطع آبیاری در صفات مذکور مشاهده نشد (جدول ۶).

رنگیزه های فتوسنتزی

جدول تجزیه واریانس نشان داد برهمکنش تنش کم آبی و محلول پاشی تأثیر معناداری روی کلروفیل a و کارتنوئید نداشت (جدول ۴) در حالی که روی کلروفیل b تأثیر معناداری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۴). اثر اصلی محلول پاشی نیز روی کلروفیل a، کلروفیل کل و کارتنوئید تأثیر معناداری نداشت در حالی که روی کلروفیل b معنی دار

مقایسه میانگین‌ها نشان داد در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی، بیشترین کلروفیل b از محلول‌پاشی آهن + اوره با ۰/۰۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ به دست آمد (جدول ۵) و کمترین مقدار آن در این شرایط آبیاری در محلول‌پاشی آمینواسیدها با ۰/۰۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد (جدول ۵). بیشترین مقدار کلروفیل b در شرایط قطع آبیاری از مرحله بردن دانه از محلول‌پاشی اوره (۰/۰۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و در شرایط عدم قطع آبیاری از محلول‌پاشی آهن (۰/۰۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) به دست آمد (جدول ۵).

جدول ۵. برهمکنش رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی بر آنتوسیانین، پرولین و کلروفیل b

Table 5. The interaction of irrigation regimes and foliar spraying on anthocyanin, proline, and chlorophyll b

Irrigation regimes	Foliar spraying	محلول‌پاشی	آنتوسیانین Anthocyanin	پرولین Proline	کلروفیل b Chlorophyll b
رژیم‌های آبیاری			----- $\mu\text{mol.g}^{-1}\text{F.W.}^{-1}$ -----		$\text{mg.g}^{-1}\text{F.W.}$
Withholding irrigation from the flowering stage قطع آبیاری از مرحله گلدهی	No foliar spraying	بدون محلول‌پاشی	0.065 ^f	213.4 ^a	0.037 ^e
	Distilled water	آب مقطر	0.137 ^a	174.1 ^c	0.033 ^g
	Amino acids: AA	آمینواسیدها: AA	0.091 ^d	135.3 ^e	0.028 ^h
	Iron chelate: Fe	کلات آهن: Fe	0.106 ^c	158.4 ^d	0.044 ^b
	Urea: U	اوره: U	0.132 ^a	196.5 ^b	0.039 ^d
	AA+Fe	AA+Fe	0.121 ^b	211.9 ^a	0.041 ^c
	AA+U	AA+U	0.078 ^e	214.4 ^a	0.032 ^g
	Fe+U	Fe+U	0.067 ^f	203.2 ^b	0.053 ^a
	AA+Fe+U	AA+Fe+U	0.111 ^c	178.7 ^c	0.034 ^f
P-value			**	**	**
Withholding irrigation from the seed filling stage قطع آبیاری از مرحله بردن دانه	No foliar spraying	بدون محلول‌پاشی	0.105 ^{bc}	16.8 ^b	0.030 ^{de}
	Distilled water	آب مقطر	0.108 ^b	6.4 ^f	0.027 ^f
	Amino acids: AA	آمینواسیدها: AA	0.101 ^{cd}	6.9 ^f	0.026 ^g
	Iron chelate: Fe	کلات آهن: Fe	0.129 ^a	15.9 ^c	0.032 ^c
	Urea: U	اوره: U	0.099 ^{cd}	4.1 ^g	0.040 ^a
	AA+Fe	AA+Fe	0.089 ^e	27.7 ^a	0.031 ^{cd}
	AA+U	AA+U	0.104 ^{bc}	11.4 ^d	0.030 ^e
	Fe+U	Fe+U	0.096 ^d	11.7 ^d	0.027 ^g
	AA+Fe+U	AA+Fe+U	0.135 ^a	9.7 ^e	0.036 ^b
P-value			**	**	**
Full irrigation آبیاری کامل	No foliar spraying	بدون محلول‌پاشی	0.125 ^a	22.2 ^c	0.024 ^g
	Distilled water	آب مقطر	0.078 ^c	20.3 ^d	0.027 ^e
	Amino acids: AA	آمینواسیدها: AA	0.055 ^e	20.6 ^d	0.027 ^e
	Iron chelate: Fe	کلات آهن: Fe	0.054 ^e	21.9 ^c	0.036 ^a
	Urea: U	اوره: U	0.094 ^b	13.2 ^f	0.026 ^f
	AA+Fe	AA+Fe	0.074 ^c	30.0 ^a	0.034 ^b
	AA+U	AA+U	0.090 ^b	20.2 ^d	0.029 ^d
	Fe+U	Fe+U	0.065 ^d	15.8 ^e	0.033 ^b
	AA+Fe+U	AA+Fe+U	0.095 ^b	28.1 ^b	0.030 ^c
P-value			**	**	**

حروف مشترک در هر ستون، نشان از عدم اختلاف معنی‌دار است. برش‌دهی بر اساس سطوح رژیم‌های آبیاری انجام شده است.

Means followed by the same letter within a column are not significantly different. sliced has been done based on the levels of irrigation regimes

افزایش تولید انرژی از نور و بیشتر شدن تولید گلوکز و سایر ترکیبات از CO₂ می‌شود (Chaves et al., 2009). همچنین، افزایش کلروفیل به گیاهان این قابلیت را می‌دهد که نور بیشتری را از محیط جذب کنند. این تنظیم نوری

در شرایط کم‌آبی، گیاهان با کاهش آب مصرفی خود سعی در حفظ کارایی فتوسنتز دارند. افزایش میزان کلروفیل که به‌عنوان رنگ‌دانه اصلی در فتوسنتز و جذب نور نقش دارد، می‌تواند به این اهداف کمک کند. افزایش کلروفیل باعث

همراه داشته باشد (Therby-Vale et al., 2022). محلول پاشی نیتروژن می‌تواند متابولیسم گیاهی را تحت تأثیر قرار دهد. نیتروژن عنصر معدنی مهمی در ساختن آمینواسیدها و پروتئین‌های گیاهی است که برای تولید کلروفیل نیز ضروری است و افزایش تأمین نیتروژن به گیاهان می‌تواند باعث تولید بیشتر کلروفیل b شود (Masclaux et al., 2010). آهن و نیتروژن تأثیرات مثبتی بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان دارند. این اثرات می‌توانند منجر به بهبود فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهی شوند که در نتیجه به تولید بیشتر کلروفیل b منتهی شود (Lichtenthaler and Rinderle, 1988). کلروفیل b نقش مهمی در جذب نور توسط گیاهان ایفا می‌کند. افزایش کلروفیل b ممکن است منجر به افزایش عملکرد جذب نور توسط گیاه شود که بهبود فرآیند فتوسنتز و افزایش عملکرد گیاهی را به همراه دارد (Verma and Dubey, 2003). همچنین، کلروفیل در فرآیند تبدیل انرژی نوری به انرژی شیمیایی در فتوسنتز نقش دارد. افزایش کلروفیل b می‌تواند به تولید بیشتر انرژی شیمیایی منجر شود که به عملکرد بهتر گیاه کمک می‌کند (Fageria and Baligar, 2005).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این پژوهش نشان داد قطع آبیاری از مرحله شروع گلدهی و بردن دانه به ترتیب ۶۸/۰ و ۴/۶ درصد عملکرد روغن را نسبت به شاهد (عدم قطع آبیاری) کاهش داد. همچنین، کاهش ۶۶/۷ و ۹/۹ درصدی عملکرد دانه به ترتیب در شرایط قطع آبیاری از مرحله شروع گلدهی و بردن دانه نسبت به شاهد (عدم قطع آبیاری) مشاهده شد. از طرفی، کاربرد تلفیقی آهن، اوره و آمینواسیدها باعث افزایش ۱۰/۲، ۶۷/۱ و ۱۴۷/۲ درصدی عملکرد روغن به ترتیب در شرایط آبیاری عدم قطع آبیاری، قطع آبیاری از مرحله شروع گلدهی و قطع آبیاری از مرحله بردن دانه نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) شد و عملکرد دانه با کاربرد تلفیقی آهن، اوره و آمینواسیدها در شرایط عدم قطع آبیاری، قطع آبیاری از مرحله شروع گلدهی و قطع آبیاری از مرحله بردن دانه به ترتیب با ۱۵/۳، ۶۰/۶ و ۱۴۶/۴ درصد نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) افزایش یافت. با توجه به نتایج این پژوهش و تأثیر تیمارهای موردبررسی، کاربرد تلفیقی آهن، اوره و آمینواسیدها و قطع آبیاری از مرحله بردن دانه در کشت گلرنگ توصیه می‌شود.

می‌تواند به گیاهان در کاهش اثرات تنش نوری در شرایط کم آبی کمک کند (Li et al., 2024). بعلاوه، افزایش کلروفیل می‌تواند منجر به افزایش کارایی عملیات گیاهی مرتبط با تبادل گازها شود. با افزایش کلروفیل، سطح گازهای موردنیاز برای تبادل گازی از محیط به داخل گیاه افزایش می‌یابد. این عمل باعث می‌شود که گیاهان بتوانند با مصرف آب کمتر به تبادل گازها و تنفس بپردازند (Haworth et al., 2018). همچنین، کلروفیل b به عنوان یک آنتی اکسیدان عمل می‌کند و از خرابی کلروپلاست‌ها به وسیله رادیکال‌های آزاد اکسیژنی (ROS) در شرایط تنش کم آبی جلوگیری می‌کند. این محافظت از تخریب می‌تواند به حفظ سلامت کلروپلاست‌ها و در نهایت حفظ تولید انرژی از نور کمک کند (Chaves et al., 2009). تنش‌های کم آبی ممکن است به تغییرات در فعالیت ژن‌های مرتبط با تولید کلروفیل منجر شوند. افزایش کلروفیل ممکن است نتیجه تنظیم مثبت فعالیت این ژن‌ها باشد تا تولید و نگهداری کلروفیل افزایش یابد (Li et al., 2024).

جدول ۶. اثر اصلی رژیم‌های آبیاری بر کلروفیل a و کارتنوئید
Table 6. The main effect of irrigation regimes on chlorophyll a and carotenoid

رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	کلروفیل a Chlorophyll a	کارتنوئید Carotenoids
----- mg.g ⁻¹ F.W. ⁻¹ -----		
قطع آبیاری از مرحله گلدهی Withholding irrigation from the flowering stage	0.144 ^a	0.097 ^a
قطع آبیاری از مرحله بردن دانه Withholding irrigation from the seed filling stage	0.120 ^b	0.071 ^b
آبیاری کامل Full irrigation	0.119 ^b	0.068 ^b

حروف مشترک در هر ستون، نشان از عدم اختلاف معنی‌دار است.
Means followed by the same letter within a column are not significantly different.

آهن می‌تواند به عنوان یک عنصر معدنی ضروری در فرآیندهای سنتز کلروفیل عمل کند. آهن نقش مهمی در ساختن رنگ‌دانه‌های گیاهی مانند کلروفیل دارد و افزایش تأمین آهن به گیاهان می‌تواند تولید کلروفیل بیشتری را به

منابع

- Ardeshiri, T., Jahan Bin, S., 2018. Effect of foliar application of nano-iron and zinc chelated on yield, yield components and harvest index of canola under drought stress conditions. *Journal of Crops Improvement*. 20, 31-43. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2018.220873.1582>
- Bates, L.S., Waldren, R.A., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 39: 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Brini, F., Saibi, W., 2022. Role of proline in regulating physiological and molecular aspects of plants under abiotic stress. In: Sharma, A., Pandey, S., Bhardwaj, R., Zheng, B. and Tripathi, D.K. (eds.), *The Role of Growth Regulators and Phytohormones in Overcoming Environmental Stress*. pp. 317-326. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98332-7.00007-X>
- Chaves, M. M., Flexas, J., Pinheiro, C., 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*. 103, 551-560. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn125>
- Crawford, N. M., Forde, B. G., 2002. Molecular and developmental biology of inorganic nitrogen nutrition. *Arabidopsis Book*, 1, e0011. <https://doi.org/10.1199/tab.0011>
- Culpan, E., 2023. Effect of sowing dates on seed yield traits and oil content of safflower in northwest Turkey. *Turkish Journal of Field Crops*. 28, 87-93. <https://doi.org/10.17557/tjfc.1194005>
- Dou, Z., Zhou, Y., Zhang, Y., Guo, W., Xu, Q., Gao, H., 2024. Influence of nitrogen applications during grain-filling stage on rice (*Oryza sativa* L.) yield and grain quality under high temperature. *Agronomy*. 14(1), 216. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010216>
- El-Said, M.A.A., Mahdy, A.Y., 2016. Response of two wheat cultivars to foliar application with amino acids under low levels of nitrogen fertilization. *Middle East Journal of Agriculture Research*. 5, 462-472.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*. 88, 97-185. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88004-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88004-6)
- Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., Modarres Sanavy, S.A.M., Rezazadeh, A., 2021. Effect of deficit irrigation and foliar application of polyamines on seed and oil yields, water use efficiency and fatty acids production in spring safflower seed oil (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*. 52, 79-96. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.305009.654732>
- 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. <https://doi.org/10.22055/ppd.2024.45873.2138>
- Flexas, J., Barbour, M. M., Brendel, O. 2004. Mesophyll diffusion conductance to CO₂: an unappreciated central player in photosynthesis. *Plant Science*. 69, 214-233. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.05.009>
- Ghassemi-Golezani, K., Ardalan, N., Raei, Y., Dalil, B., 2022. Improving some physiological and yield parameters of safflower by foliar sprays of Fe and Zn under drought stress. *Journal of Plant Physiology and Breeding*. 12, 15-27. <https://doi.org/10.22034/jppb.2022.14657>
- Gill, S. S., Tuteja, N., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 48, 909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Gürsoy, M., 2019. Importance of some oil crops in human nutrition. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*. 7, 2154-2158. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i12.2154-2158.2916>
- Gürsoy, M., 2020. Effect of chitosan pretreatment on seedling growth and antioxidant enzyme activity of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under saline conditions. *Applied Ecology and Environmental research*. 18, 6589-6603. https://doi.org/10.15666/aeer/1805_65896603
- Haworth, M., Marino, G., Centritto, M., 2018. An introductory guide to gas exchange analysis of photosynthesis and its application to plant phenotyping and precision irrigation to enhance water use efficiency. *Journal of Water and Climate Change*. 9(4), 786-808. <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.152>

- 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, 237-249. [In Persian]. <https://doi.org/10.22055/ppd.2023.42775.2071>
- 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, 381-394. [In Persian]. <https://doi.org/10.22055/ppd.2020.31327.1834>
- Jabbari Orange, M., Ebadi, A., 2012. Responses of phenological and physiological stages of spring safflower to complementary irrigation. African journal of biotechnology, 11, 2465-247. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1628>
- Jam, B.J., Shekari, F., Andalibi, B., Fotovat, R., Jafarian, V., Najafi, J., Uberti, D., Mastinu, A., 2023. Impact of silicon foliar application on the growth and physiological traits of *Carthamus tinctorius* L. exposed to salt stress. Silicon. 15, 1235-1245. <https://doi.org/10.1007/s12633-022-02090-y>
- Kamaraki, D., Galavi, M., 2012. Evaluation of foliar Fe, Zn and B micronutrients application on quantitative and qualitative traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agroecology. 4, 201-206. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jag.v4i3.15308>
- Krizek, D. T., Kramer, G. F., Upadhyaya, A. Mirecki, R. M., 1993. UV- B response of cucumber seedlings grown under metal halide and high-pressure sodium/deluxe lamps. Physiologia Plantarum. 88, 350-358. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1993.tb05509.x>
- Li, X., Zhang, W., Niu, D., Liu, X., 2024. Effects of abiotic stress on chlorophyll metabolism. Plant Science. 342, 112030. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2024.112030>
- Li-Beisson, Y., Shorrosh, B., Beisson, F., Andersson, M.X., Arondel, V., Bates, P.D., Baud, S., Bird, D., Debono, A., Durrett, T.P., Franke, R.B., Graham, I.A., Katayama, K., Kelly, A.A., Larson, T., Markham, J.E., Miquel, M., Molina, I., Nishida, I., Rowland, O., Samuels, L., Schmid, K.M., Wada, H., Welti, R., Xu, C., Zallot, R., Ohlrogge, J. 2010. Acyl-lipid metabolism. Arabidopsis Book. 8:e0133. <https://doi.org/10.1199/tab.0133>
- Lichtenthaler, H. K., Rinderle, U., 1988. The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants. CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry. 19, 29-85. <http://dx.doi.org/10.1080/15476510.1988.10401466>
- Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes, Methods in Enzymology. 148, 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Marschner, H. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants (Third Edition). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>
- Masclaux-Daubresse, C., Daniel-Vedele, F., Dechorgnat, J., Chardon, F., 2010. Nitrogen (N) uptake, assimilation, and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. Annals of Botany. 105, 1141-1157. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq028>
- Medrano, H., Escalona, J. M., Bota, J., Gulías, J., Flexas, J., 2002. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. Annals of Botany. 89, 895-905. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf079>
- Momeni-Shijani, K., Modarres-Sanavy, S.A.M., Heidarzadeh, A., Abedi, A.M., 2024. Study of photosynthetic pigments, seed yield and oil compositions of camelina (*Camelina sativa* L.) under the influence of urea foliar application and irrigation regimes in Tehran. Plant Productions. 47(3), 387-403. <https://doi.org/10.22055/ppd.2024.46765.2161>
- Noleto-Dias, C., Picoli, E.A.T., Porzel, A., Wessjohann, L.A., Tavares, J.F., Farag, M.A., 2023. Metabolomics characterizes early metabolic changes and markers of tolerant *Eucalyptus* ssp. clones against drought stress. Phytochemistry. 212, 113715. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2023.113715>
- Popko, M., Michalak, I., Wilk, R., Gramza, M., Chojnacka, K., Gorecki, H., 2018. Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. Molecules. 23, 470. <https://doi.org/10.3390/molecules23020470>
- Ragaey, M.M., Sadak, M.S., Dawood, M.F., Mousa, N.H., Hanafy, R.S., Latef, A.A.H.A., 2022. Role of signaling molecules sodium

- nitroprusside and arginine in alleviating salt-Induced oxidative stress in wheat. *Plants*. 11, 1786. <https://doi.org/10.3390/plants11141786>
- Rennenberg, H., Wildhagen, H., Ehling, B., 2010. Nitrogen nutrition of poplar trees, *Plant Biology*. 11, 120-137. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00309.x>
- Sadak, M.S., Ramadan, A.A.E.M., 2021. Impact of melatonin and tryptophan on water stress tolerance in white lupine (*Lupinus termis* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 27, 469–481. <https://doi.org/10.1007/s12298-021-00958-8>
- Sedaghatkish, Z., Moallemi, N., Rahemi, M., Mortazavi, S.M., Khaleghi, E., 2013. Effects of urea and ZnSO₄ on storage and translocation of N and Zn in leaf and fruit of pomegranate cv Rabab-e-Neyriz. *Iranian Journal of Horticultural Science*. 44(4), 469-477. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2013.50371>
- Seif, Z., Etemad, V., Shirvani, A., Bayramzadeh, V., Javanmiri-Pour, M., 2024. Effects of different levels of drought and salinity stress on fresh and dry weight of above-ground and root parts of one-year-old russian olive seedlings (*Elaeagnus angustifolia* L.). *Journal of Arid Biome*. 14(2), 49-60. <https://doi.org/10.29252/aridbiom.2024.21637.2012>
- Si, C., Shi, C., Liu, H., Zhan, X., Liu, Y., 2018. Effects of nitrogen forms on carbohydrate metabolism and storage-root formation of sweet potato. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 181(3), 419-428. <https://doi.org/10.1002/jpln.201700297>
- Simkin, A.J., McAusland, L., Lawson, T., Raines, C.A., 2013. Simultaneous stimulation of sedoheptulose 1,7-bisphosphatase, fructose 1,6-bisphosphate aldolase and the photorespiratory glycine decarboxylase H-protein by light and their correction by regulators of thioredoxin. *Planta*. 237, 243-253. <https://doi.org/10.1111/pbi.12676>
- Singh, S., Angadi, S.V., Grover, K.K., Hilaire, R.S. Begna, S., 2016. Effect of growth stage based irrigation on soil water extraction and water use efficiency of spring safflower cultivars. *Agricultural Water Management*. 177, 432-439. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.023>
- Szabados, L., Savoure, A., 2010. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant science*. 15, 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.11.009>
- Tas, I., Akcura, S., Kaplan, M., Jagosz, B., Atılğan, A., Kocięcka, J., Rolbiecki, R., Liberacki, D., Rolbiecki, S., 2024. The effect of drip irrigation and nitrogen levels on the oil and fatty acid composition of sesame and its economic analysis. *Agronomy*. 14(9), 2092. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092092>
- Tegeder, M., 2012. Transporters for amino acids in plant cells: some functions and many unknowns. *Current Opinion in Plant Biology*. 15, 315-321. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2012.02.001>
- Therby-Vale, R., Lacombe, B., Rhee, S. Y., Nussaume, L., Rouached, H., 2022. Mineral nutrient signaling controls photosynthesis: Focus on iron deficiency-induced chlorosis. *Trends in Plant Science*. 27(5), 502-509. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.11.005>
- Thomas, J., Mandal, A.K.A., Raj Kumar, R., Murugan, A. C., 2010. Role of biologically active amino acid formulations on quality and crop productivity of Tea (*Camellia* sp.). *International Journal of Agricultural Research*. 4, 228-236. <https://doi.org/10.3923/ijar.2009.228.236>
- Urano, K., Maruyama, K., Ogata, Y., Morishita, Y., Takeda, M., Sakurai, N., Suzuki, H., Saito, K., Shibata, D., Kobayashi, M., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., 2009. Characterization of the ABA-regulated global responses to dehydration in Arabidopsis by metabolomics. *The Plant Journal*. 61, 697-711. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2008.03748.x>
- Verma, A.K., Deepti, S., 2016. Abiotic stress and crop improvement: current scenario. *Advances in Plants & Agriculture Research*. 4, 345–346. <https://doi.org/10.15406/apar.2016.04.00149>
- Verma, S., Dubey, R. S., 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science*. 164, 645-655. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(03\)00022-0](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00022-0)
- WHO, 2023 [2023-01-31]. A report about Drought. Retrieved from: [https://www.who.int/health-topics/drought#tab=tab_1\(\(World health organization\)\)](https://www.who.int/health-topics/drought#tab=tab_1((World health organization)))

Yadav, B., Jogawat, A., Rahman, M.S., Narayan, O.P., 2021. Narayan, Secondary metabolites in the drought stress tolerance of crop plants: a review. *Gene Reports*. 23, 101040. <https://doi.org/10.1016/j.genrep.2021.101040>

Yan, B., Wu, B., Gao, Y., Wu, J., Niu, J., Xie, Y., Cui, Z., Zhang, Z., 2018. Effects of nitrogen and phosphorus on the regulation of nonstructural carbohydrate accumulation, translocation and the yield formation of oilseed flax. *Field Crops Research*. 219, 229-241. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.032>