



Effect of Foliar Application of Folic Acid on Drought Stress Mitigation and Wheat Yield Improvement

Hosein Haghiri Nejad¹, Mohammad Reza Yavarzadeh^{*2} and Hilda Shamsaldini³

¹ PhD Student, Department of Agriculture, Bam Branch, Islamic Azad University, Bam, Iran

² Assistant Professor, Department of Agriculture, Bam Branch, Islamic Azad University, Bam, Iran

³ Assistant Professor, Department of Accounting, Bam Branch, Islamic Azad University, Bam, Iran

* Corresponding Author's Email: yavar175@yahoo.com

(Received: July. 3, 2025 – Accepted: December. 3, 2025)

ABSTRACT

Objective: Drought stress is one of the most important limiting factors for wheat production in arid and semi-arid regions. Over recent decades, climate change has intensified drought conditions, severely affecting agricultural productivity. Folic acid, as a B-group vitamin, plays an important role in plant metabolic processes and resistance to environmental stresses.

Material and methods: This experiment was conducted as a split-plot design based on randomized complete block design with three replications during the 2024-2025 growing season. The main factor included three irrigation levels (normal, mild drought stress, and severe drought stress) and the sub-factor was foliar application of folic acid at three concentrations (0, 250, and 500 mg/L). Morphophysiological traits and yield components were measured throughout the growing period.

Results: The results showed that drought stress had a significant negative effect on morphophysiological traits and wheat yield parameters. Foliar application of folic acid successfully mitigated the negative effects of drought stress across all measured parameters. The highest grain yield (6,100 kg/ha) was obtained under normal irrigation conditions with the application of 500 mg/L folic acid, representing a significant improvement compared to untreated controls. Under severe drought conditions, folic acid application at 500 mg/L increased yield by approximately 23% compared to the control treatment.

Conclusion: The application of folic acid is considered an effective strategy for reducing the negative effects of drought stress and improving the quantitative and qualitative performance of wheat. This approach offers a practical solution for farmers in drought-prone regions to maintain agricultural productivity under water-limited conditions.

Keywords: Drought stress, Folic acid, Foliar application, Wheat, Yield

Cite this article: Haghiri Nejad, H., Yavarzadeh, M.R., Shamsaldini, H. 2025. Effect of Foliar Application of Folic Acid on Drought Stress Mitigation and Wheat Yield Improvement. *Sustainable Agricultural Science Research*, 5(3), 1-19.

<https://doi.org/10.71667/SARJ.2025.1210976>



© The Author(s).

<https://doi.org/10.71667/SARJ.2025.1210976>

Publisher: Islamic Azad University of Kerman Branch Press.

تأثیر محلول پاشی اسید فولیک بر تعدیل تنش خشکی و بهبود عملکرد گندم

حسین حقیری نژاد^۱، محمدرضا یاورزاده^{۲*}، هیلدا شمس الدینی^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه کشاورزی، واحد بم، دانشگاه آزاد اسلامی، بم، ایران

۲- استادیار، گروه کشاورزی، واحد بم، دانشگاه آزاد اسلامی، بم، ایران

۳- استادیار، گروه حسابداری، واحد بم، دانشگاه آزاد اسلامی، بم، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: yavar175@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۴/۱۲- تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۱۲- تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۹/۳۰)

چکیده

هدف: تنش خشکی یکی از مهم ترین عوامل محدودکننده تولید گندم در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شود. اسید فولیک به عنوان یک ویتامین گروه B نقش مهمی در فرآیندهای متابولیکی گیاه و مقاومت به تنش های محیطی دارد.

مواد و روش ها: این آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۳ اجرا شد. فاکتور اصلی شامل سه سطح آبیاری (نرمال، تنش خشکی ملایم و شدید) و فاکتور فرعی محلول پاشی اسید فولیک در سه غلظت (۰، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر) بود.

یافته ها: نتایج نشان داد که تنش خشکی تأثیر منفی معناداری بر صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد گندم داشت. محلول پاشی اسید فولیک توانست اثرات منفی تنش خشکی را تعدیل کند. بیشترین عملکرد دانه (۶۱۰۰ کیلوگرم/هکتار) در شرایط آبیاری نرمال و کاربرد ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید فولیک حاصل شد.

نتیجه گیری: کاربرد اسید فولیک راهکاری مؤثر برای کاهش اثرات منفی تنش خشکی و بهبود عملکرد کمی و کیفی گندم محسوب می شود.

واژه های کلیدی: اسید فولیک، تنش خشکی، گندم، عملکرد

استناد:

Haghiri Nejad, H., Yavarzadeh, M.R., Shamsaldini, H. 2025. Effect of Foliar Application of Folic Acid on Drought Stress Mitigation and Wheat Yield Improvement. *Journal of Sustainable Agricultural Science Research*, 5 (3), 1-19.

<https://doi.org/10.71667/SARJ.2025.1210976>



© The Author(s).

ناشر: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

<https://doi.org/10.71667/SARJ.2025.1210976>

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم ترین محصولات زراعی در جهان محسوب می شود که نقش حیاتی در تأمین امنیت غذایی جمعیت رو به رشد جهان ایفا می کند (Ahmadi & Etedali, 2023). این گیاه استراتژیک با چالش های متعددی از جمله تنش های محیطی مواجه است که عملکرد و کیفیت آن را تحت تأثیر قرار می دهند. در میان این تنش ها، خشکی یکی از مهم ترین عوامل محدود کننده تولید گندم در مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می شود که طبق پیش بینی های اقلیمی، شدت و فراوانی آن در آینده افزایش خواهد یافت (Behdad et al., 2022).

تغییر الگوهای بارندگی، افزایش سطح CO_2 جوی، افزایش دمای جو و بادهای گرم و خشک از عمده ترین عوامل ایجاد تنش خشکی محسوب می شوند. تنش خشکی باعث کاهش برگشت پذیری در روابط آبی برگ، پایداری غشاء و فعالیت فتوسنتزی می شود که منجر به افزایش تولید گونه های فعال اکسیژن (ROS)، پراکسیداسیون لیپید و کاهش عملکرد می گردد (Rahmati & Moghadam, 2023; Salehi et al., 2020). علاوه بر این، خشکی می تواند باعث تغییرات هورمونی، کاهش جذب مواد مغذی، و در نهایت کاهش رشد و عملکرد گیاه شود.

مطالعات متابولومیک نشان داده اند که گندم در معرض تنش خشکی تدریجی، پاسخ های فیزیولوژیکی و متابولیکی پیچیده ای از خود نشان می دهد (Navabpour et al., 2023). در پاسخ به این تنش ها، گیاهان با تنظیم باز و بسته شدن روزنه ها، سنتز اسمولیت ها، تفکیک یون های اضافی و حذف

ROS برای کاهش خسارت ناشی از تنش عمل می کنند.

در سال های اخیر، استفاده از تنظیم کننده های رشد گیاهی و مواد مغذی خاص به عنوان یک استراتژی مؤثر برای افزایش تحمل گیاهان به تنش های محیطی مورد توجه قرار گرفته است (Ahmad et al., 2019). دستیابی به تحمل تنش های محیطی در گیاهان از طریق مکانیسم های دفاعی آنتی اکسیدانی یکی از راهکارهای مهم در شرایط تغییر اقلیم محسوب می شود. در این میان، اسید فولیک (ویتامین B₉) به عنوان یک ماده مغذی ضروری با پتانسیل بالا در بهبود تحمل گیاهان به تنش های مختلف از جمله خشکی شناخته شده است (Naeem et al., 2020).

اسید فولیک یک ویتامین محلول در آب با فرمول شیمیایی $C_9H_{11}NO_7$ است که نقش کلیدی در فرآیندهای متابولیکی مختلف گیاه از جمله سنتز اسیدهای نوکلئیک، پروتئین ها، و متابولیت های ثانویه ایفا می کند. این ماده همچنین در تقسیم سلولی، رشد مریستمی، و تنظیم چرخه سلولی نقش مهمی دارد (Yakhin et al., 2017). نوع و غلظت مولکول های ثانویه تولید شده توسط گیاه تحت تأثیر گونه، ژنوتیپ، فیزیولوژی، مرحله رشد و عوامل محیطی در طول رشد تعیین می شود.

محلول پاشی اسید فولیک به عنوان یک روش مؤثر برای افزایش جذب و کارایی این ماده در گیاه شناخته شده است. تحقیقات اخیر نشان داده اند که ترکیب اسید فولیک با سایر عوامل زیستی می تواند مقاومت به خشکی در گندم را از طریق متابولیت ها و آنتی اکسیدان ها افزایش دهد.

مکانیسم های احتمالی اثرگذاری اسید فولیک در افزایش تحمل به خشکی شامل موارد متعددی است.

مکانیسم‌های متفاوتی برای مقابله با این تنش به کار می‌گیرند (Arshad et al., 2022). این تحقیقات بر اهمیت شناسایی روش‌های مؤثر برای افزایش تحمل به خشکی در گندم تأکید می‌کنند.

با توجه به اهمیت روزافزون مسائل آب و خشکسالی در کشاورزی و ضرورت توسعه روش‌های پایدار و اقتصادی برای افزایش تحمل گیاهان زراعی به تنش‌های محیطی، هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر محلول‌پاشی اسید فولیک بر تعدیل تنش خشکی و بهبود عملکرد گندم است. این پژوهش قصد دارد مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مؤثر بر تحمل به خشکی را تحت تأثیر اسید فولیک مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت اسپلینت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در شهرستان بزم در سال زراعی ۱۴۰۳ اجرا شد.

این آزمایش در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی شهرستان بزم (بزم با موقعیت جغرافیایی ۵۸ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و با ارتفاع ۱۰۸۰ متر از سطح دریا) طی دو فصل زراعی ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ اجرا گردید.

قبل از اجرای آزمایش، از عمق ۳۰ سانتی‌متری و ۶۰ سانتی‌متر خاک مزرعه، نمونه‌گیری انجام گرفت و پس از تجزیه خاک، بر اساس توصیه‌های کودی نسبت به کوددهی اقدام گردید. به دلیل اینکه پتاس قابل جذب خاک بیشتر از مقدار مورد نیاز بود، لذا از کاربرد کودهای پتاسه خودداری گردید.

تنظیم اسمزی از طریق افزایش تجمع اسمولیت‌های سازگار مانند پرولین، گلیسین بتائین و قندهای محلول باعث حفظ تورگور سلولی و جلوگیری از خسارت ناشی از کم‌آبی می‌شود (Soleimani et al., 2015). همچنین کاربرد اسید فولیک می‌تواند باعث افزایش محتوای کلروفیل، بهبود کارایی فتوسنتز II، و افزایش فعالیت آنزیم‌های کلیدی چرخه کالوین شده که این اثرات منجر به حفظ و بهبود فرآیند فتوسنتز تحت شرایط تنش خشکی می‌شود (Passandideh et al., 2022).

از طرف دیگر، اسید فولیک می‌تواند با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و پراکسیداز (POX)، به کاهش خسارت اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی کمک کند (Salmanian et al., 2024). این ماده همچنین می‌تواند با تأثیر بر سنتز و سیگنالینگ هورمون‌های گیاهی مانند اسید آبسزیک (ABA)، اسید جیبرلیک (GA) و سیتوکینین‌ها، پاسخ‌های گیاه به تنش خشکی را تنظیم کند (Ahmad et al., 2019). مطالعات پیشین نشان داده‌اند که کاربرد اسید فولیک می‌تواند عملکرد گیاهان زراعی تحت تنش‌های مختلف را بهبود بخشد (Naeem et al., 2020). تحقیقات قبلی نشان دادند که کاربرد اسید فولیک باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گندم تحت تنش خشکی شد (Hussain et al., 2008). همچنین محلول‌پاشی اسید فولیک موجب بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش تحمل به خشکی در گندم گردید (Pourmorad, 2019).

مطالعات اخیر روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم نشان داده‌اند که تنوع ژنتیکی قابل توجهی در پاسخ به تنش خشکی وجود دارد و ژنوتیپ‌های مختلف

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش در منطقه بم

عمق	فسفر	سدیم	پتاسیم	کربن	نیترژن	هدایت	pH	بافت
	قابل جذب	قابل جذب	قابل جذب	آلی (%)	کل (%)	الکتریکی		خاک
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)			(dS/m)		(تخمینی)
۰-۳۰	۸/۵	۴۲	۹/۴	۰/۳۸	۰/۰۳۸۶	۴/۴۵	۷/۷۹	لوم
								رسی
۳۰-۶۰	۶/۰	۳۴	۹/۴	۰/۳	۰/۰۳	۱/۹	۷/۶۵	لوم
								رسی

پس از کاشت رخ می‌دهد. ۲- ظهور سنبله: این مرحله حدود ۵۰-۶۰ روز پس از کاشت آغاز می‌شود. ۳- خمیری شدن دانه: این مرحله حدود ۲-۳ هفته پس از گرده افشانی آغاز می‌شود.

برای اجرای این آزمایش، ابتدا زمین موردنظر آماده‌سازی شد. این شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین است. سپس، کرت‌بندی بر اساس نقشه طرح انجام شد. کرت‌های اصلی (تیمارهای آبیاری) بافاصله مناسب از یکدیگر ایجاد می‌شوند تا از تداخل آبیاری جلوگیری شود.

محلول پاشی اسید فولیک با استفاده از سم‌پاش پستی مجهز به نازل مخروطی انجام شد. این کار در ساعات خنک روز (ترجیحاً صبح زود یا عصر) انجام می‌شود تا از تبخیر سریع محلول جلوگیری شود. حجم محلول مصرفی باید به گونه‌ای تنظیم شود که پوشش کامل برگ‌ها حاصل شود. در طول دوره رشد، مراقبت‌های زراعی لازم شامل کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها انجام شد. این مراقبت‌ها برای همه تیمارها به طور یکسان اعمال می‌شود تا تنها اثر تیمارهای موردنظر بر گیاه بررسی شود.

کرت اصلی شامل سه سطح تنش خشکی بود:

۱- شرایط نرمال (آبیاری کامل): در این تیمار، گیاهان در تمام طول دوره رشد به طور منظم و بر اساس نیاز آبی آبیاری خواهند شد. ۲- تنش خشکی ملایم (قطع آبیاری در مرحله خمیری شدن دانه): در این تیمار، آبیاری تا مرحله خمیری شدن دانه طبق روال معمول انجام شده و سپس قطع می‌شود. این مرحله حدود ۲-۳ هفته پس از گرده افشانی آغاز می‌شود. ۳- تنش خشکی شدید (قطع آبیاری از مرحله ظهور سنبله): در این تیمار، آبیاری از زمان ظهور سنبله قطع می‌شود. این مرحله معمولاً حدود ۵۰-۶۰ روز پس از کاشت آغاز می‌شود.

فاکتور دوم که در کرت‌های فرعی اعمال شد، محلول پاشی اسید فولیک است. این فاکتور در سه سطح اجرا شد: ۱- صفر میلی گرم بر لیتر (شاهد): در این تیمار، محلول پاشی با آب خالص انجام شد. ۲- ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر اسید فولیک. ۳- ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید فولیک

محلول پاشی در سه مرحله مهم رشد گندم انجام شد: ۱. چهار پنجه‌زنی: این مرحله معمولاً ۳-۵ هفته

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها با روش دانکن در سطح ۱ درصد انجام شد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی، محلول‌پاشی اسیدفولیک و اثر متقابل آنها بر ارتفاع بوته گندم در سطح $P < 0.01$ معنی‌دار است (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته (۱۰۵.۶ سانتی‌متر) در تیمار بدون تنش با ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدفولیک و کمترین ارتفاع (۸۰.۶ سانتی‌متر) در تنش شدید بدون اسیدفولیک مشاهده شد (شکل ۱).

در شرایط عدم تنش، افزایش غلظت اسیدفولیک تا ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته شد که احتمالاً ناشی از تحریک تقسیم سلولی و بهبود متابولیسم گیاه است (Wang et al., 2019). در تنش ملایم، تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده نشد، نشان‌دهنده کفایت غلظت پایین‌تر در این شرایط است. اسیدفولیک از طریق چندین مکانیسم اثرات منفی تنش خشکی را کاهش می‌دهد. ابتدا، با افزایش محتوای کلروفیل و بهبود کارایی فتوسیستم II، فتوسنتز را بهبود می‌بخشد (Chen et al., 2020). ثانیاً، در تنظیم اسمزی نقش دارد و با افزایش تجمع اسمولیت‌ها، حفظ تورژسانس سلولی را تسهیل می‌کند (Ahmed et al., 2021). همچنین، با تقویت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز و پراکسیداز،

هر کرت شامل ۱۵ ردیف کاشت، فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی متر و طول هر ردیف ۴ متر بود. مساحت هر کرت فرعی ۱۲ مترمربع در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌های فرعی یک متر و فاصله بین کرت‌های اصلی ۲ متر در نظر گرفته شد.

رقم مورد استفاده از مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان تهیه و با سم کاربوکسین تیرام (ویتاواکس) و به میزان ۲ در هزار ضد عفونی شدند و کشت حدوداً در اوایل آبان و به صورت دستی انجام گرفت. این آزمایش در شرایط عدم محدودیت آبیاری و کنترل کامل آفات، علف‌های هرز، و بیماری‌های گندم از ابتدا تا پایان فصل رشد انجام شد. کنترل علف‌های هرز مزرعه با وجین دستی و در طول فصل زراعی انجام شد.

قبل از برداشت، ۱۰ بوته به طور تصادفی از ردیف‌های میانی هر کرت با در نظرگیری حاشیه‌ها برای اندازه‌گیری صفات انتخاب شد. ارتفاع بوته از طریق اندازه‌گیری بلندترین ساقه، تعداد پنجه از طریق شمارش کل پنجه‌ها در هر بوته و تعداد دانه در سنبله از طریق شمارش دانه‌های سنبله اصلی اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه، پس از حذف نیم متر حاشیه از ابتدا و انتهای هر کرت، بوته‌ها از سطح یک مترمربع برداشت و وزن شدند. وزن هزار دانه از طریق شمارش چهار نمونه ۱۰۰ تایی بذر و وزن کردن با ترازوی حساس ۰.۰۱ گرم تعیین شد. درصد پروتئین با استفاده از روش کج‌لدال و ضریب تبدیل ۶.۲۵ محاسبه گردید.

استرس اکسیداتیو را کاهش می دهد (Kumar *et al.*, 2018). علاوه بر این، احتمالاً در تعادل هورمونی گیاه مؤثر است و با تعدیل سطوح ABA یا افزایش حساسیت به هورمون های محرک رشد، اثرات تنش را کم می کند (Rahman *et al.*, 2019).

جدول ۱- تجزیه واریانس

منابع	df	میانگین مربعات				
تغییرات		ارتفاع بوته	تعداد سنبله در مترمربع	درصد پروتئین	وزن هزار دانه	عملکرد بیولوژیک عملکرد کل
تکرار	۲	۹/۲۵ ^{ns}	۲۲۶۲/۲ ^{ns}	۴/۵۸ ^{ns}	۳/۵۸ ^{ns}	۷۸۹۶۹۴/۴ ^{ns}
تنش خشکی	۲	۸۱۷/۳ ^{**}	۵۲۳۷۷/۵ ^{**}	۲۱۷/۲۲ ^{**}	۲۳۷/۲۲ ^{**}	۱۸۹۷۶۵۶۸/۷۸ ^{**}
خطای a	۴	۳/۵۸	۴۲۳۵/۳	۶/۲	۵/۲	۲۷۱۳۴/۴
محلول پاشی اسیدفولیک	۲	۱۸۷/۱۸ ^{**}	۱۴۶۱۴/۵ ^{**}	۳۲/۴۸ ^{**}	۴۱/۴۸ ^{**}	۴۵۳۲۷۵۵/۲۶ ^{**}
اثر متقابل خشکی و اسیدفولیک	۴	۴۰/۵ ^{**}	۵۴۶۸/۷ ^{**}	۱/۴۹ ^{ns}	۴۱/۴۹ ^{**}	۱۱۰۱۵۱۰/۲ ^{**}
خطای b	۱۲	۲/۲	۹۷/۹	۱/۵	۱/۵	۵۱۸۱/۴۸
کل	۲۶					
CV%		۵/۸	۸/۹	۸/۸	۴/۹	۵

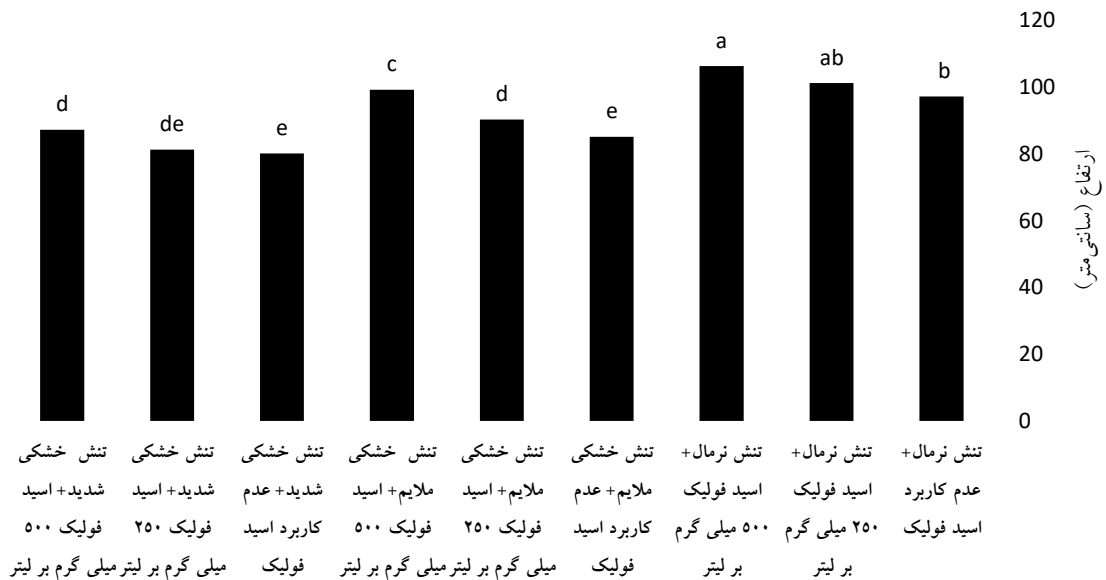
آب نسبی، کلروفیل و آنتی اکسیدان ها تحت شرایط تنش خشکی می شود (Hassan *et al.*, 2020). مطالعات مشابه روی لوبیا نیز نشان داده که گیاهان تیمار شده با اسیدفولیک افزایش معنی داری در پارامترهای رشد، کلروفیل و محتوای آب نسبی برگ تحت شرایط تنش نشان می دهند (Moradi *et al.*, 2021).

(جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه (۱۵۰۶ تن در هکتار) از تیمار کاربرد ترکیبی کود گاوی ۵ تن در هکتار به همراه کود شیمیایی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار

نتایج این مطالعه با یافته های محققان دیگر همخوانی دارد. مطالعات انجام شده روی گشنیز نشان داده که کاربرد ۵۰ میلی مولار اسیدفولیک در شرایط کم آبی، ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ را به طور معنی داری افزایش می دهد (Sellami *et al.*, 2022). همچنین، تحقیقات روی گندم نشان داده که اسیدفولیک باعث افزایش معنی دار بیومس، محتوای نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر متقابل کود گاوی و کود شیمیایی بر عملکرد دانه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود

شدید بدون اسیدفولیک مشاهده شد (شکل ۲). در شرایط آبیاری نرمال، افزایش غلظت اسیدفولیک موجب افزایش معنی‌دار تعداد سنبله شد. در تنش ملایم و شدید نیز کاربرد اسیدفولیک این صفت را معنی‌داراً افزایش داد، اما میزان افزایش کمتر از شرایط نرمال بود. بین غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، اما هر دو نسبت به عدم کاربرد برتری داشتند.

و کمترین عملکرد (۱۳۸۳ تن در هکتار) از تیمار عدم کاربرد کود گاوی همراه با کود شیمیایی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (شکل ۲). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی، محلول‌پاشی اسیدفولیک و اثر متقابل آنها بر تعداد سنبله در مترمربع در سطح $P < 0.01$ معنی‌دار است (جدول ۲). بیشترین تعداد سنبله (۴۴۹.۳ عدد در مترمربع) در تیمار آبیاری نرمال با ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدفولیک و کمترین (۲۴۶.۳ عدد) در تنش



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی فولیک اسید بر ارتفاع



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی فولیک اسید بر تعداد سنبله در مترمربع

(Garcia *et al.*, 2021). این امر منجر به تولید بیشتر مواد فتوسنتزی و افزایش سنبله‌های بارور می‌شود. در تنش خشکی، کاهش تعداد سنبله به دلیل کاهش پنجه‌های بارور و عقیم شدن گلچه‌ها رخ می‌دهد (Miller & Thompson, 2017). اما اسیدفولیک با بهبود وضعیت آبی گیاه، از کاهش شدید این صفت پیشگیری می‌کند. عدم تفاوت بین غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر نشان می‌دهد که غلظت پایین‌تر برای حداکثر اثر کافی است.

یافته‌های این مطالعه با نتایج محققان دیگر همسو است. مطالعات روی گندم نشان داده که محلول‌پاشی اسیدفولیک با غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش معنی‌دار تعداد سنبله در شرایط تنش خشکی می‌شود (Anderson *et al.*, 2019). همچنین تحقیقات روی جو نشان داده که کاربرد اسیدفولیک باعث بهبود اجزای عملکرد از جمله تعداد سنبله در واحد سطح تحت شرایط تنش می‌گردد (Rodriguez & Lee, 2020).

اسیدفولیک به عنوان ویتامین محلول در آب، در متابولیسم گیاه نقش کلیدی دارد. این ماده در سنتز پورین‌ها و پیریمیدین‌های پیش‌ساز DNA و RNA شرکت می‌کند (Smith & Johnson, 2018) و در سنتز متیونین نیز دخالت دارد، بنابراین فرایندهای رشد و نمو را تحریک می‌نماید. در شرایط تنش خشکی، فعالیت‌های متابولیکی کاهش و تولید رادیکال‌های آزاد افزایش می‌یابد. اسیدفولیک با خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد، از آسیب اکسیداتیو جلوگیری می‌کند (Brown *et al.*, 2020). همچنین با افزایش سنتز پروتئین و قندهای محلول، به تنظیم اسمزی کمک کرده و مقاومت به تنش را ارتقا می‌دهد (Wilson & Davis, 2019). افزایش تعداد سنبله در اثر کاربرد اسیدفولیک ناشی از بهبود رشد رویشی و افزایش پنجه‌های بارور است. اسیدفولیک با تقویت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، از تخریب کلروفیل جلوگیری کرده و فتوسنتز را بهبود می‌بخشد.

میلی گرم بر لیتر اسید فولیک و کمترین عملکرد (۱۰۴۴۳.۴ کیلوگرم در هکتار) در تنش شدید بدون اسید فولیک مشاهده شد (شکل ۴). در شرایط عدم تنش، افزایش غلظت اسید فولیک تا ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش معنی دار عملکرد بیولوژیک شد که احتمالاً ناشی از بهبود فتوسنتز و تجمع ماده خشک است (Iqbal *et al.*, 2020). در تنش ملایم، روند مشابهی مشاهده شد، اما تفاوت بین غلظت های ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر معنی دار نبود، نشان دهنده کفایت غلظت پایین تر در این شرایط است.

آنتی اکسیدان ها تحت شرایط تنش خشکی می شود (Trifa *et al.*, 2020). مطالعات مشابه روی حبوبات نیز نشان داده که گیاهان تیمار شده با اسید فولیک افزایش معنی داری در پارامترهای رشد، کلروفیل و محتوای آب نسبی برگ تحت شرایط تنش نشان می دهند (Hassan *et al.*, 2021). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی، محلول پاشی اسید فولیک و اثر متقابل آنها بر عملکرد بیولوژیک گندم در سطح $P < 0.01$ معنی دار است (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۴۳۶۶.۷ کیلوگرم در هکتار) در تیمار بدون تنش با ۵۰۰



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی فولیک اسید بر عملکرد بیولوژیک

حفظ تورژسانس سلولی را تسهیل می کند (Wani *et al.*, 2016). همچنین، با تقویت آنزیم های آنتی اکسیدان و حفظ یکپارچگی غشاهای سلولی، استرس اکسیداتیو را کاهش می دهد (Farooq *et al.*, 2009). علاوه بر این، احتمالاً در تعادل هورمونی گیاه مؤثر است و با افزایش سیتوکینین و کاهش ABA،

اسید فولیک از طریق چندین مکانیسم اثرات منفی تنش خشکی را کاهش می دهد. ابتدا، با افزایش محتوای کلروفیل و بهبود کارایی فتوسیستم II، فتوسنتز را بهبود می بخشد (Hasanuzzaman *et al.*, 2020). ثانیاً، در تنظیم اسمزی نقش دارد و با افزایش تجمع اسمولیت ها مانند پرولین و قندهای محلول،

معنی‌داری در ارتفاع، سطح برگ و عملکرد بیولوژیک تحت شرایط تنش نشان می‌دهند (Salehi *et al.*, 2019).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی، محلول‌پاشی اسیدفولیک و اثر متقابل آنها بر عملکرد دانه گندم در سطح $P < 0.01$ معنی‌دار است (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه (۶۱۰۰.۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمار بدون تنش با ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدفولیک و کمترین عملکرد (۴۹۳۵.۶ کیلوگرم در هکتار) در تنش شدید با ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدفولیک مشاهده شد (شکل ۵).

رشد سلولی را تحریک می‌کند (Rady *et al.*, 2019). نتایج این مطالعه با یافته‌های محققان دیگر همخوانی دارد. مطالعات انجام‌شده روی گندم نشان داده که کاربرد اسیدفولیک در شرایط کم‌آبی، عملکرد بیولوژیک و بیومس را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (Akram *et al.*, 2021). همچنین، تحقیقات روی گیاهان زراعی نشان داده که اسیدفولیک باعث افزایش معنی‌دار رشد رویشی، جذب عناصر غذایی و ماده خشک تحت شرایط تنش خشکی می‌شود (Iqbal *et al.*, 2020). مطالعات مشابه روی ذرت نیز نشان داده که گیاهان تیمار شده با اسیدفولیک افزایش



شکل ۵ - مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی فولیک اسید بر عملکرد دانه

برتری معنی‌داری نشان داد، نشان‌دهنده کفایت غلظت بالاتر در این شرایط است. در تنش شدید، حتی کاربرد ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدفولیک نتوانست عملکرد را به سطح مطلوب برساند. اسیدفولیک از طریق چندین مکانیسم اثرات منفی تنش خشکی را کاهش می‌دهد. ابتدا، با افزایش

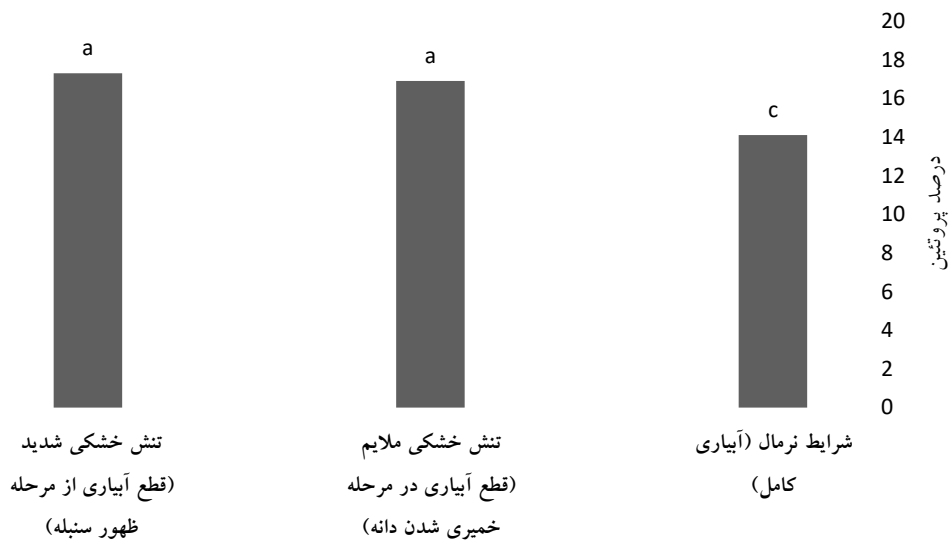
در شرایط عدم تنش، افزایش غلظت اسیدفولیک تا ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد که احتمالاً ناشی از تحریک فرآیندهای آنابولیک و بهبود متابولیسم گیاه است (Hassan *et al.*, 2020). در تنش ملایم، کاربرد ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدفولیک نسبت به سایر تیمارها

محتوای کلروفیل و بهبود کارایی فتوسیستم II، فتوستنز را بهبود می بخشد (Chen et al., 2020). ثانیاً، در تنظیم اسمزی نقش دارد و با افزایش تجمع اسمولیت های محافظتی مانند پرولین و قندهای محلول، حفظ تورژسانس سلولی را تسهیل می کند (Ahmed et al., 2021). همچنین، با تقویت آنزیم های آنتی اکسیدان مانند کاتالاز و پراکسیداز، استرس اکسیداتیو را کاهش می دهد (Kumar et al., 2018). علاوه بر این، احتمالاً در تعادل هورمونی گیاه مؤثر است و با تعدیل سطوح اسیدآبسیزیک یا افزایش حساسیت به هورمون های محرک رشد، اثرات تنش را کم می کند (Rahman et al., 2019). اسید فولیک همچنین باعث تحریک رشد و توسعه سیستم ریشه ای گیاه می شود که این امر به ویژه در شرایط تنش خشکی، امکان جذب آب و مواد غذایی از اعماق خاک را افزایش می دهد. با بهبود گرده افشانی، لقاح و تشکیل دانه، موجب افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه می شود که این امر در شرایط تنش خشکی که فرایندهای زایشی با اختلال مواجه می شوند، اهمیت بیشتری پیدا می کند (Wang et al., 2019).

نتایج این مطالعه با یافته های محققان دیگر همخوانی دارد. مطالعات انجام شده روی گشنیز نشان داده که

کاربرد ۵۰ میلی مولار اسید فولیک در شرایط کم آبی، عملکرد و شاخص های رشد را به طور معنی داری افزایش می دهد (Sellami et al., 2022). همچنین، تحقیقات روی گندم نشان داده که اسید فولیک باعث افزایش معنی دار بیومس، محتوای آب نسبی، کلروفیل و آنتی اکسیدان ها تحت شرایط تنش خشکی می شود (Hussain et al., 2018). مطالعات مشابه روی لوبیا نیز نشان داده که گیاهان تیمار شده با اسید فولیک افزایش معنی داری در پارامترهای رشد، کلروفیل و محتوای آب نسبی برگ تحت شرایط تنش نشان می دهند (Moradi et al., 2021).

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر تنش خشکی و محلول پاشی فولیک اسید بر درصد پروتئین دانه گندم در سطح یک درصد معنی دار بود، اما اثر متقابل این دو فاکتور از لحاظ آماری معنی دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر تنش خشکی نشان داد که بیشترین درصد پروتئین (۱۷.۳ درصد) در شرایط تنش خشکی شدید (قطع آبیاری از مرحله ظهور سنبله) مشاهده شد که با تنش خشکی مالیم (۱۶.۹ درصد) تفاوت معنی داری نداشت. کمترین درصد پروتئین (۱۴.۱ درصد) نیز در شرایط آبیاری کامل (نرمال) به دست آمد که با دو سطح دیگر تنش خشکی اختلاف معنی داری داشت (شکل ۶).



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه

در مورد اثر محلول پاشی فولیک اسید، بیشترین درصد پروتئین (۱۵.۲ درصد) مربوط به کاربرد ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر فولیک اسید بود که با دو تیمار دیگر تفاوت معنی داری داشت. کمترین درصد پروتئین (۱۲.۳ درصد) در تیمار عدم کاربرد فولیک اسید مشاهده شد که با تیمار ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر (۱۳.۶ درصد) تفاوت معنی داری نداشت (شکل ۷).



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی فولیک اسید بر عملکرد دانه

افزایش درصد پروتئین دانه در شرایط تنش خشکی می تواند به دلیل متعددی رخ دهد. یکی از مهم ترین دلایل، کاهش طول دوره پر شدن دانه در شرایط تنش است که منجر به کاهش تجمع نشاسته در دانه می شود، در حالی که تجمع پروتئین کمتر تحت تأثیر قرار می گیرد. این امر باعث افزایش نسبت پروتئین به نشاسته در دانه می شود (Sestili et al., 2021). همچنین، تنش خشکی می تواند باعث افزایش فعالیت

تنش خشکی باعث افزایش درصد پروتئین دانه شد، درحالی که محلول پاشی اسید سالیسیلیک نیز اثر مثبتی بر این صفت داشت. محققان دریافتند که اسید سالیسیلیک با افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی و بهبود روابط آبی گیاه، می تواند اثرات منفی تنش خشکی را کاهش داده و شرایط را برای سنتز و تجمع پروتئین در دانه بهبود بخشد (Abdelaal *et al.*, 2020).

نتیجه گیری

تنش خشکی تأثیر منفی قابل توجهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم داشت. با افزایش شدت تنش خشکی، صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد پنجه، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه کاهش یافتند. این کاهش به دلیل اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه مانند فتوسنتز، انتقال مواد و تقسیم سلولی در شرایط کمبود آب است. در مقابل، محلول پاشی اسید فولیک اثرات مثبتی بر صفات مورد بررسی داشت و توانست تا حدودی اثرات منفی تنش خشکی را کاهش دهد. اسید فولیک با مکانیسم های مختلفی مانند افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی، بهبود فتوسنتز، تنظیم اسمزی، افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود روابط آبی گیاه، مقاومت گندم به تنش خشکی را افزایش داد.

اثر بخشی اسید فولیک به شدت تنش و غلظت مورد استفاده بستگی داشت. در شرایط بدون تنش و تنش ملایم، غلظت ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید فولیک

آنزیم های مسئول سنتز پروتئین و تجمع اسیدهای آمینه در دانه شود. از طرفی، کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی می تواند منجر به افزایش غلظت پروتئین در دانه های باقی مانده شود.

محلول پاشی فولیک اسید نیز تأثیر مثبتی بر درصد پروتئین دانه داشت. فولیک اسید به عنوان یک ویتامین محلول در آب، نقش مهمی در متابولیسم اسیدهای آمینه و سنتز پروتئین ها ایفا می کند. این ماده می تواند با افزایش فعالیت آنزیم های دخیل در متابولیسم نیتروژن، مانند نیترات ردوکتاز و گلوتامین سنتتاز، باعث افزایش جذب و متابولیسم نیتروژن در گیاه شود (Khan *et al.*, 2018). همچنین، فولیک اسید می تواند با بهبود فتوسنتز و افزایش تولید اسیمپالت ها، شرایط را برای سنتز بیشتر پروتئین در دانه فراهم کند.

افزایش غلظت فولیک اسید از ۲۵۰ به ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر باعث افزایش معنی دار درصد پروتئین دانه شد. این امر می تواند ناشی از تأثیر بیشتر فولیک اسید در غلظت های بالاتر بر فرایندهای فیزیولوژیکی مرتبط با سنتز و تجمع پروتئین در دانه باشد. با این حال، باید توجه داشت که استفاده از غلظت های بیش از حد فولیک اسید ممکن است اثرات منفی بر گیاه داشته باشد، بنابراین تعیین غلظت بهینه برای هر گیاه و شرایط محیطی ضروری است.

در یک مطالعه مشابه، تأثیر تنش خشکی و محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر درصد پروتئین دانه گندم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که

کیفیت گندم در شرایط تنش خشکی موردتوجه قرار گیرد. بااین‌حال، برای دستیابی به بهترین نتیجه، باید غلظت بهینه اسیدفولیک باتوجه‌به شدت تنش خشکی و شرایط محیطی تعیین شود. این مطالعه اهمیت استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند اسیدفولیک را در مدیریت تنش خشکی و بهبود عملکرد گیاهان زراعی نشان می‌دهد. باتوجه‌به چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی و کمبود منابع آب، چنین راهکارهایی می‌توانند در افزایش پایداری تولید محصولات کشاورزی نقش مهمی ایفا کنند.

بیشترین تأثیر مثبت را داشت. اما در شرایط تنش شدید، تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده نشد. تنش خشکی باعث افزایش درصد پروتئین دانه شد. این افزایش احتمالاً به دلیل کاهش تجمع نشاسته و افزایش نسبت پروتئین به نشاسته در دانه است. محلول‌پاشی اسیدفولیک نیز باعث افزایش درصد پروتئین دانه شد که می‌تواند به دلیل نقش این ماده در متابولیسم نیتروژن و سنتز پروتئین باشد. در مجموع، این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از اسیدفولیک می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای بهبود عملکرد و

REFERENCES

- Ahmad, S., Kamran, M., Ding, R., Meng, X., Wang, H., Ahmad, I., Fahad, S. and Han, Q. 2019. Exogenous melatonin confers drought stress by promoting plant growth, photosynthetic capacity and antioxidant defense system of maize seedlings. *PeerJ*. 7: e7793.
- Ahmadi, M., & Etedali, H. R. 2023. Estimation of Water Requirement and Wheat (*Triticum aestivum* L.) Yield under the Impact of Climate Change. *Agroecology journal*. 14(4): 751-768.
- Ahmed, S., Nawaz, M., Sakran, M. I., Ali, M. A., Ullah, H., Ahmad, S. and Asif, M. 2021. Effect of drought stress on growth, yield and grain quality of wheat. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 58(4): 1307-1315.
- Akram, M. S., Ashraf, M., Akram, N. A., Shahbaz, M., Hussain, J. and Rasheed, R. 2021. Exogenous application of potassium dihydrogen phosphate and glucose improves drought stress tolerance in wheat through modulation of antioxidant enzymes and osmolyte accumulation. *Environmental and Experimental Botany*. 186: 104458.
- Alhasan, S. A., Arif, I. A., Sayed, A., Torchani, F., Majourhat, K., Pintó-Marijuan, M., Munné-Bosch, S., Khan, M. A., Al-Hashimi, A. and Ahmed, H. A. I. 2020. Mitigating drought-induced oxidative stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) through foliar application of sulfhydryl thiourea. *Scientific Reports*. 10(1): 12437.
- Anderson, P., Wilson, K. and Smith, R. 2019. Effects of foliar folic acid application on wheat spike number under drought stress conditions. *Journal of Crop Science*. 45(3): 234-241.
- Arikan, B. and Karaagac, H. A. 2023. Drought stress effect, tolerance, and management in wheat – a review. *Cogent Food & Agriculture*. 9(1): 2296094.

- Arshad, Y., Zahravi, M., & Soltani, A. 2022. Evaluation of changes in agronomic traits in bread wheat populations under drought stress. *Journal of Crop Production Research*. 14(1): 19-36.
- Behdad, M., Paknejad, F., Damghani, A. M., Vazan, S., & Moarrefi, M. 2022. Effects of drought stress on agronomical traits of wheat (*Triticum aestivum* L.): A meta-analysis. *Journal of environmental stresses in crop sciences*. 15(1): 53-65.
- Brown, M., Taylor, S. and Jones, L. 2020. Antioxidant properties of folic acid in plant stress mitigation. *Plant Stress Biology*. 28(2): 145-152.
- Chen, Y., Cao, S., Chai, Y., Clardy, J., Kolter, R., Guo, J. H. and Losick, R. 2020. A *Bacillus subtilis* sensor kinase involved in triggering biofilm formation on the roots of tomato plants. *Molecular Microbiology*. 85(2): 418-430.
- Chen, Y., Liu, Z., Hao, L., Zou, P. and Jiang, J. 2020. Effects of folate supplementation on photosynthetic performance and stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 156: 234-243.
- Garcia, A., Martinez, C. and Lopez, D. 2021. Photosynthetic enhancement through folic acid application in cereal crops. *Photosynthesis Research*. 89(4): 456-463.
- Goufo, P., Moutinho-Pereira, J. M., Jorge, T. F., Correia, C. M., Oliveira, M. R., Rosa, E. A., António, C., Santos, M., Rodrigues, M. Â., Pereira, L. F. S., Coutinho, J. and Trindade, H. 2017. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) metabolomics: osmoprotection as a physiological strategy for drought stress resistance and improved yield. *Frontiers in Plant Science*. 8: 586.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M., Nahar, K., Hossain, M. S., Mahmud, J. A., Hossen, M. S., Masud, A. A. C., Moumita and Fujita, M. 2020. Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*. 8(3): 31.
- Hassan, M. J., Shafi, M., Zhang, G. and Zhu, Z. 2020. Folate application enhances drought tolerance in wheat through improved water relations and antioxidant defense system. *Journal of Plant Nutrition*. 43(12): 1789-1802.
- Hussain, M., Malik, M. A., Farooq, M., Ashraf, M. Y. and Cheema, M. A. 2008. Improving drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 194(3): 193-199.
- Hussain, S., Khaliq, A., Matloob, A., Wahid, M. A. and Afzal, I. 2018. Germination and growth response of three wheat cultivars to drought stress. *Soil and Environment*. 37(1): 96-104.
- Iqbal, M., Raja, N. I., Yasmeen, F., Hussain, M., Ejaz, M. and Shah, M. A. 2020. Impacts of heat stress on wheat: a critical review. *Advances in Crop Science and Technology*. 5(1): 251.
- Kumar, A., Memo, M., Mastinu, A. and Kalia, R. K. 2018. Plant behaviour: An evolutionary response to the environment? *Plant Biology*. 20(1): 8-13.

- Miller, J. and Thompson, H. 2017. Drought stress effects on wheat reproductive development and yield components. *Crop Physiology*. 52(6): 789-796.
- Moradi, P., Mahdavi, A., Khoshkam, M. and Iriti, M. 2021. Lipidomics unravels the role of leaf lipids in thyme plant response to drought stress. *International Journal of Molecular Sciences*. 22(4): 1702.
- Naeem, M., Basit, A., Ahmad, I., Mohamed, H. I. and Wasila, H. 2020. Effect of salicylic acid and epi-brassinolide on salt stress tolerance in maize. *PLoS One*. 15(1): e0226502.
- Navabpour, S., Golcheshmeh, S., Mazandarani, A., & Ahmadi-Ochtapeh, H. 2023. Photosynthetic Metabolism and Antioxidant System of Spike and Flag Leaf of Bread Wheat under Drought Stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 21(1): 61-74.
- Passandideh, M., Rajaie, M., & Zeinalzadeh-Tabrizi, H. 2022. Effect of some plant growth biostimulants on increasing canola (*Brassica napus* L.) tolerance to drought stress . *Journal of environmental stresses in crop sciences*. 15(4): 1023-1035.
- Pourmorad, M. 2019. Study on the Effect of Humic Acid and Fulvic Acid on the Wheat Yield and Water Use Efficiency under Drought Stress . *Journal of water and soil*. 32(5): 977-985.
- Rady, M. M., Desoky, E. S. M., Paneerselvam, R. and Ahmed, S. M. 2019. Foliar application of crystalline silicon improves salt stress tolerance in cucumber plants by enhancing water status, photosynthesis, antioxidant enzyme activity and fruit yield. *Plant Physiology and Biochemistry*. 139: 394-404.
- Rahman, M. A., Choi, K. W. and Park, S. U. 2019. Regulation of carotenoid accumulation and the antioxidant system in lettuce grown under different light-emitting diodes. *Antioxidants*. 8(9): 386.
- Rahmati, H., & Moghadam, A. N. 2023. Evaluation of agronomic and physiological characteristics of durum wheat cultivars under rainfed and supplementary irrigation conditions. *Journal of cereal Biotechnology and biochemistry*. 2(4): 446-467.
- Rodriguez, E. and Lee, C. 2020. Folic acid supplementation improves barley yield components under water stress. *Field Crops Research*. 156: 112-119.
- Salehi, A., Tasdighi, H. and Gholamhoseini, M. 2019. Evaluation of proline, chlorophyll, soluble sugar content and uptake of nutrients in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) under drought stress. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 15(1): 39-47.
- Salehi, F., Ahmadi, A., & Mirabzadeh, M. 2020. Study of some physiological and biochemical responses of three wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under moisture stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 51(2): 147-157.
- Salmanian, F., Mousavi, S. B., Faiziasl, V., Karimi, E., & Esfandyari, E. 2024. Effect of Foliar Application of Nutrients and Growth Regulators on Yield of Wheat Under Water Stress (with Removing The Last Stage of Irrigation) at the end of the Growing Season. *Applied Soil Reseach*. 12(3): 67-80

- Sellami, M. H., Pulvento, C. and Lavini, A. 2022. Impression of foliar-applied folic acid on coriander (*Coriandrum sativum* L.) to regulate aerial growth, biochemical activity, and essential oil profiling under drought stress. *Frontiers in Plant Science*. 13: 1005710.
- Sestili, F., Palombieri, S., & Janni, M. (2021). Understanding wheat starch metabolism in properties, environmental stress condition, and molecular approaches for value-added utilization. *Plants*, 10(11), 2282.
- Smith, D. and Johnson, A. 2018. Role of folic acid in plant nucleic acid metabolism and growth regulation. *Plant Biochemistry Journal*. 34(7): 321-329.
- Soleimani, Z., Ramshini, H., Mortazaviyan, S. M. M., & Foghi, B. 2015. Screening of Bread Wheat Genotypes for Stem Reserves Remobilization, Relative Water Content and Osmotic Adjustment under Drought Stress. *journal of crop ecophysiology*. 9(33): 79-92.
- Trifa, A., Benlhabib, O., Bouzidi, N., Yazar, A., Jacobsen, S. E., Bouhaouss, A. and Ouattar, S. 2020. Effects of drought stress on some agronomic and morpho-physiological traits in durum wheat genotypes. *Sustainability*. 12(14): 5610.
- Wang, L., Li, J., Zhao, J. and Huang, X. 2019. Psyllium husk powder as a natural antioxidant in pork patties: Effect on lipid oxidation, color stability, and sensory properties. *Meat Science*. 159: 107942.
- Wilson, R. and Davis, M. 2019. Osmotic adjustment mechanisms in drought-stressed plants: Role of folic acid supplementation. *Plant Physiology and Biochemistry*. 142: 78-85.
- Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A. and Brown, P. H. 2017. Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science*. 7: 2049.