

# Mitigation of Drought Stress Effects by Foliar Application of Salicylic Acid in Forage Maize Production

Ali Ramazani<sup>1</sup>, Mohammad Kheirkhah<sup>2</sup>, Mahdi Babaeian<sup>3\*</sup>

- 1- MSc. Graduate, Department of Plant Production and Genetics, Shirvan Faculty of Agriculture, University of Bojnord, Bojnord, Iran.
- 2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Shirvan Faculty of Agriculture, University of Bojnord, Bojnord, Iran.
- 3- Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Shirvan Faculty of Agriculture, University of Bojnord, Bojnord, Iran.

\*Corresponding author email: [Bababeian@ub.ac.ir](mailto:Bababeian@ub.ac.ir)

## Extended Abstract

### Introduction

Water deficit is one of the major abiotic stresses limiting crop production in arid and semi-arid regions. Forage maize (*Zea mays* L.) is widely cultivated as an important source of livestock feed; however, its growth and productivity are highly sensitive to drought conditions. Under water deficit, physiological processes such as photosynthesis, cell division, and nutrient uptake are disrupted, leading to reduced biomass accumulation and yield. Salicylic acid (SA), a phenolic plant growth regulator, has been reported to improve plant tolerance to environmental stresses. Therefore, the present study aimed to evaluate the role of salicylic acid foliar application in mitigating drought stress effects on growth and yield components of forage maize.

### Materials and Methods

The experiment was conducted during the 2019–2020 growing season in a private farm located near Faruj, Iran. The experimental design was a split-plot arrangement based on a randomized complete block design with three replications. Irrigation levels were assigned to main plots, including 100% (control), 75%, and 60% of crop water requirement. Foliar application of salicylic acid was considered as the subplot factor at three levels: no application (control), 0.50 mM, and 0.75 mM.

Measured traits included leaf area index (LAI), stem diameter, plant height, stem dry weight, plant dry weight, plant fresh weight, and ear fresh weight. Data were analyzed using SAS software, and means were compared using Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

### Results and Discussion

Leaf area index decreased as drought stress intensified. The highest LAI (7.14) was recorded under full irrigation. However, under severe drought stress (60% water requirement), foliar application of 0.75 mM salicylic acid increased LAI by 28.44% compared with the untreated control and by 14.22% compared with 0.50 mM SA. Stem diameter also declined with increasing water stress. Under severe drought conditions, the control treatment showed a stem diameter of 13.44 mm, whereas foliar application of 0.75 mM salicylic acid increased it to 18.48 mm, representing a 27.27% improvement. These findings suggest that SA enhances structural growth and possibly improves assimilate translocation within the plant. Plant height exhibited a similar trend. The maximum plant height under severe drought stress reached 190.66 cm with 0.75 mM SA, which was 26.04% higher than the untreated control (141 cm). This improvement may be attributed to enhanced physiological activity and improved water status in plants treated with salicylic acid. The highest stem dry weight (1400.22 g m<sup>-2</sup>) and plant dry weight (1804.04 g m<sup>-2</sup>) were recorded under full irrigation combined with 0.75 mM SA. Under severe drought stress, foliar application of salicylic acid increased stem dry weight and plant dry weight by 32.5% and 28.81%, respectively, compared with the untreated plants. Fresh forage yield showed a similar response pattern. The highest plant fresh weight (54,647 kg ha<sup>-1</sup>) was obtained under full irrigation with 0.75 mM SA. Under severe drought conditions, application of salicylic acid increased fresh biomass by 36.31% compared with the control treatment. Results revealed that while salicylic acid application had no significant effect on cob fresh weight under well-watered conditions, it significantly mitigated drought stress under severe water deficit (60% water requirement). Specifically, foliar application of 0.75 mM

salicylic acid increased cob fresh weight to 13,728 kg/ha, compared to only 8,732 kg/ha in the control treatment under the same stress level. These results highlight the potential role of salicylic acid in maintaining plant water balance and improving biomass production under drought stress.

#### **Conclusion**

Overall, drought stress significantly reduced growth and yield attributes of forage maize. However, foliar application of salicylic acid, particularly at the concentration of 0.75 mM, effectively alleviated the adverse effects of water deficit. Therefore, salicylic acid foliar application can be considered a practical strategy to improve drought tolerance and productivity of forage maize in water-limited environments.

**Keywords:** Drought stress, Plant growth regulator, Foliar application, Biomass production, Stress tolerance.



# ارزیابی محلول پاشی اسید سالیسیلیک در کاهش اثرات تنش خشکی و بهبود شاخص های رشد و عملکرد ذرت علوفه ای

علی رمضانی<sup>۱</sup>، محمد خیر خواه<sup>۲</sup>، مهدی بابائیان<sup>۳\*</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، ایران.

۲- دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، ایران.

۳- استادیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، ایران.

\*آدرس ایمیل نویسنده مسئول: Bababeian@ub.ac.ir

## چکیده

تنش خشکی یکی از مهم ترین عوامل محدود کننده تولید ذرت علوفه ای در مناطق نیمه خشک است. این پژوهش با هدف بررسی اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر بهبود رشد و عملکرد ذرت علوفه ای تحت شرایط تنش خشکی انجام شد. آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در شهرستان فاروج به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. عامل اصلی شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۶۰ درصد نیاز آبی) و عامل فرعی شامل سه سطح محلول پاشی اسید سالیسیلیک (عدم محلول پاشی، ۵۰/۰ و ۷۵/۰ میلی مولار) بود. نتایج نشان داد که اثر متقابل محلول پاشی و اسید سالیسیلیک در سطح احتمال پنج درصد بر ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه، وزن خشک بوته، وزن تر بوته و وزن تر بلال معنی دار بود. همچنین قطر بوته و شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثر متقابل محلول پاشی و سطوح مختلف آبیاری قرار گرفت. بیشترین شاخص سطح برگ (۷/۱۴) در آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) حاصل شد و در شرایط آبیاری ۶۰ نیاز آبی، محلول پاشی ۷۵/۰ میلی مولار اسید سالیسیلیک نسبت به شاهد و غلظت ۵۰/۰ میلی مولار به ترتیب ۴۴/۲۸ و ۲۲/۱۴ درصد افزایش ایجاد کرد. در تنش شدید خشکی (۶۰ درصد نیاز آبی)، قطر ساقه با محلول پاشی ۷۵/۰ میلی مولار اسید سالیسیلیک به ۱۸/۴۸ میلی متر رسید که نسبت به عدم محلول پاشی ۲۷/۲۷ درصد افزایش داشت. بیشترین ارتفاع بوته (۱۹۰/۶۶ سانتی متر) نیز در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی همراه با محلول پاشی ۷۵/۰ میلی مولار ثبت شد که نسبت به شاهد ۲۶/۰۴ درصد بیشتر بود. همچنین در شرایط ۶۰ درصد نیاز آبی (تنش شدید)، محلول پاشی اسید سالیسیلیک موجب افزایش ۳۲/۵۰ درصدی وزن خشک ساقه و همچنین افزایش ۲۸/۸۱ درصدی وزن خشک بوته و ۳۶/۳۱ درصدی وزن تر بوته نسبت به عدم محلول پاشی گردید. همچنین نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری کامل، اسید سالیسیلیک تأثیر معنی داری بر وزن تر بلال نداشت، اما در شرایط تنش شدید (۶۰ درصد نیاز آبی)، محلول پاشی با غلظت ۷۵/۰ میلی مولار منجر به افزایش وزن تر بلال به ۱۳/۷۲ تن در هکتار نسبت به تیمار شاهد (۸/۷۳ تن در هکتار) شد که نشان دهنده توانایی این ترکیب در تعدیل اثرات تنش خشکی است. در همین راستا نتایج این پژوهش نشان داد به کارگیری محلول پاشی اسید سالیسیلیک می تواند گامی مؤثر در جهت مدیریت پایدار تولید ذرت علوفه ای و افزایش بهره وری مصرف آب در شرایط تنش خشکی باشد.

کلمات کلیدی: تحمل تنش، تنش کم آبی، تنظیم کننده رشد، شاخص سطح برگ، عملکرد علوفه

## مقدمه

افزایش جمعیت در سال های اخیر پایداری امنیت غذایی را به عنوان مسئله ای حیاتی در زندگی انسان ها تحت تأثیر قرار داده است (Knorr & Augustin, 2024; Zhang & Zhou, 2022). از این رو افزایش تقاضای جهانی برای تولید محصولات کشاورزی یکی از مهم ترین چالش های قرن حاضر تبدیل شده است. در سال های گذشته افزایش خشک سالی در اثر تغییر اقلیم در مناطق عمده تولید غذا تأثیرات عمیقی بر عملکرد محصولات زراعی دارد. پژوهش های اخیر نیز نشان داده اند که تغییرات اقلیمی، از طریق تغییر در شرایط دمایی، می تواند تنش های وارد شده بر محصولات راهبردی کشاورزی را افزایش داده و با کاهش عملکرد آنها بر پایداری تولید محصولات اثر گذار باشد (Ramezani Etedali & Koochi, 2026). در این راستا، تغییرات اقلیمی می تواند با تغییر شرایط دمایی و بارندگی، عملکرد ذرت علوفه ای را تحت تأثیر قرار داده و ضرورت بررسی اثرات این تغییرات و اتخاذ راهکارهای سازگاری در تولید این محصول را افزایش دهد (Ahmadi & Ramezani Etedali., 2026). چنین پیامدهایی

می‌تواند منجر به بروز بحران‌های غذایی در مناطق آسیب‌دیده گردد (Liu et al., 2020). کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در جهان، به شدت تحت تأثیر این تغییرات قرار دارد و کمبود آب به یکی از اصلی‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی تبدیل شده است که رشد، بهره‌وری و بقای گیاهان را در سراسر جهان محدود می‌کند (Choudhary et al., 2025; D'Odorico et al., 2020).

ذرت (*Zea mays* L.) یکی از غلات مهم در جهان به شمار می‌رود که به دلیل عملکرد بالا، ارزش غذایی مطلوب و نقش کلیدی در تأمین خوراک دام از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Mahrokh et al., 2025). با این حال، این گیاه به‌ویژه در مراحل حساس رشد، نسبت به تنش خشکی بسیار حساس بوده و کمبود آب می‌تواند موجب کاهش ارتفاع بوته، سطح برگ، فعالیت فتوسنتزی و در نهایت کاهش عملکرد علوفه و ماده خشک گردد (Afarinesh et al., 2016; Mahrokh et al., 2020). گزارش‌ها نشان می‌دهد که تنش خشکی می‌تواند به‌طور قابل توجهی اجزای عملکرد ذرت از جمله وزن هزار دانه و تعداد دانه را کاهش دهد (Abedi et al., 2014; Koupai et al., 2014; Amini et al., 2014). در سال‌های اخیر، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی مورد توجه قرار گرفته است. در همین راستا، نتایج پژوهش‌های جدید در شرایط تنش خشکی نشان داده است که کاربرد ترکیبات تنظیم‌کننده رشد می‌تواند با اثرگذاری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و عملکرد گیاه، در تعدیل پیامدهای ناشی از کمبود آب مؤثر باشد (Pakgozar et al., 2025). اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک ترکیب فنولی و مولکول سیگنال‌دهنده، نقش مهمی در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه از جمله فتوسنتز، رشد، جذب عناصر غذایی و پاسخ‌های دفاعی ایفا می‌کند (Khan et al., 2015; Miura & Tada, 2014). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که اسید سالیسیلیک از طریق تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی نقش مهمی در پاسخ گیاهان به تنش‌های زیستی و غیرزیستی اعمال می‌کند (Torun et al., 2024). نتایج پژوهش‌های پیشین بیانگر آن است که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در گیاهان مختلف از جمله ذرت، گندم و سویا موجب بهبود رشد رویشی، افزایش سطح برگ، بهبود فعالیت فتوسنتزی و افزایش تجمع ماده خشک در شرایط تنش می‌شود. به‌عنوان مثال، گزارش شده است که اسید سالیسیلیک از طریق افزایش فعالیت روبیسکو و بهبود روابط منبع و مخزن، عملکرد گندم را افزایش می‌دهد (Mousavi & Ghassemi-Golezani, 2023). در پژوهشی نشان داده شد که تنش خشکی در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب، به‌طور معنی‌داری موجب کاهش شاخص‌های مورفولوژیک، عملکرد و اجزای آن، محتوای نسبی آب برگ و محتوای کلروفیل شد؛ با این حال، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و گلاپسین بتائین تحت شرایط تنش خشکی، تمامی این شاخص‌ها را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشید (Shemi et al., 2021). همچنین در مطالعه‌ای دیگر محققان گزارش نمودند کاربرد ۰/۷۲ میلی مولار اسید سالیسیلیک در مقایسه با شاهد، عملکرد پروتئین، عملکرد علوفه خشک و عملکرد بلال سیلوی ذرت را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Asl et al., 2024). پژوهشگران در مورد نقش اسید سالیسیلیک در کاهش اثرات تنش خشکی نشان دادند پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک از طریق کاهش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن و مالون‌دی‌آلدئید، استرس اکسیداتیو ناشی از خشکی را کاهش داده و از این طریق از سلامت غشا محافظت می‌کند (La et al., 2019). همچنین بیان شده است کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک مکانیسم قدرتمند برای کاهش تنش خشکی، از طریق حفظ تعادل اسمزی و بازیابی کارایی فتوسنتزی، از جمله بهبود هدایت روزنه‌ای و نرخ انتقال الکترون، عمل می‌کند (González-Villagra et al., 2022). با وجود این، میزان تأثیر اسید سالیسیلیک به عواملی نظیر غلظت مصرف، زمان کاربرد و شدت تنش بستگی دارد و اطلاعات محدودی در خصوص اثر محلول‌پاشی آن بر ذرت علوفه‌ای تحت شرایط تنش خشکی در شرایط اقلیمی مختلف وجود دارد. با توجه به اهمیت تولید ذرت علوفه‌ای در تأمین خوراک دام و محدودیت منابع آبی، بررسی راهکارهای مدیریتی مؤثر برای کاهش اثرات تنش خشکی ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر بهبود رشد و عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت شرایط تنش خشکی و ارزیابی نقش این ترکیب در افزایش تحمل گیاه به کمبود آب می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور بررسی اثر اسید سالیسیلیک بر رشد و عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت تنش خشکی، در سال ۱۳۹۸، در مزرعه شخصی واقع در شهرستان فاروج اجرا شد. این مزرعه در ۷ کیلومتری شمال غربی فاروج و در طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۱۱

دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی قرار گرفته که ارتفاع آن از سطح دریا ۱۱۶۶ متر و دارای بارندگی سالانه ۲۵۰ تا ۲۸۰ میلی‌متر می‌باشد. نتایج آنالیز خاک (جدول ۱) نشان داد که خاک دارای حاصلخیزی پایین، بافت متوسط، بدون محدودیت شوری، اسیدیته قلیایی متوسط، درصد مواد آلی خاک کم بوده و از لحاظ پتانسیم بالاتر از حد مطلوب، فسفر و نیتروژن کم می‌باشد.

جدول ۱. خصوصیات خاک محل آزمایش

Table 1. Soil properties of the experimental site

| عمق<br>نمونه‌برداری<br>Soil Depth<br>(cm) | هدایت<br>الکتریکی<br>EC<br>(ds/m) | اسیدیته<br>pH<br>- | کربن آلی<br>Organic<br>Carbon<br>(%) | نیتروژن<br>Nitrogen<br>(%) | فسفر<br>قابل‌دسترس<br>Available P<br>(mg/kg) | پتاسیم<br>قابل‌دسترس<br>Available K<br>(mg/kg) | بافت<br>Texture<br>- |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------|
| ۳۰-۰                                      | ۱/۶۵                              | ۷/۹۳               | ۰/۶۸                                 | ۰/۰۶                       | ۴/۵۳                                         | ۴۴۶                                            | لوم<br>(Lome)        |

آزمایش به صورت کرت خرد شده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی آبیاری در سه سطح شامل: شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی)، ۷۵ درصد نیاز آبی و ۶۰ درصد نیاز آبی در نظر گرفته شد و عامل فرعی نیز شامل محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در سه سطح: شاهد (محلول‌پاشی آب مقطر)، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۵۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی با غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود. در مجموع تعداد ۲۷ کرت، هر کدام دارای ابعاد ۶×۸ متر با مساحت ۴۸ متر مربع در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌های فرعی ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر و همچنین فاصله بین تکرارها ۳ متر لحاظ گردید. رقم مورد کاشت در این آزمایش سینگل کراس ۷۰۴ بود. عملیات کشت ذرت در تاریخ ۲۵ اردیبهشت سال ۱۳۹۸ انجام شد، فاصله بین ردیف‌ها ۷۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بلافاصله بعد از کاشت، آبیاری با دور پنج روز به روش قطره‌ای انجام گرفت و اعمال تیمارهای تنش خشکی از مرحله هشت برگی شدن ذرت‌ها انجام گردید (Danilevskaya et al., 2019). همچنین تیمارهای محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در سه نوبت با فاصله یک هفته در میان دو ماه بعد از کاشت انجام شد. برای تهیه یک لیتر محلول ۰/۵۰ و ۰/۷۵ میلی‌مولار، به ترتیب ۶۹۰۱ و ۱۰۳۰۶ میلی‌گرم اسید سالیسیلیک در ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد حل و سپس با آب مقطر به حجم یک لیتر رسانده شدند. در این پژوهش، به منظور تعیین دقیق نیاز آبی ذرت دانه‌ای در منطقه فاروج، از داده‌های سامانه ملی نیاز آبی گیاهان ایران (NIWR) استفاده گردید. تبخیر-تعرق واقعی گیاه (ETc) بر اساس روش استاندارد فائو و از حاصل ضرب تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ETo) در ضرایب گیاهی (Kc) در مراحل مختلف رشد مطابق با رابطه (۱) محاسبه شد:

$$ETc = Kc \times ETo \quad (1)$$

مقادیر ETo بر اساس داده‌های هواشناسی ایستگاه فاروج و مقادیر Kc متناسب با مراحل چهارگانه رشد (ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی) از بانک اطلاعاتی سامانه مذکور استخراج گردید (جدول ۲). با توجه به اینکه تاریخ کاشت در منطقه مورد مطالعه ۲۵ اردیبهشت و تاریخ آخرین آبیاری ۳۰ شهریورماه بود، حجم آب مصرفی تیمارها بر اساس مجموع نیاز آبی روزانه تا تاریخ آخرین آبیاری محاسبه و توسط کنتورهای حجمی در مزرعه اعمال گردید. بر این اساس، حجم آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) معادل ۶۵۰۰ مترمکعب در هکتار برآورد شد و تیمارهای کم‌آبیاری ملایم (۷۵ درصد) و شدید (۶۰ درصد) نیز بر همین مبنا در طول فصل رشد اعمال شدند. لازم به ذکر است که فاصله زمانی بین آخرین آبیاری (۳۰ شهریور) تا زمان برداشت نهایی محصول (۱۵ مهر) به‌عنوان دوره رسیدگی بدون آبیاری در نظر گرفته شد. در نهایت پس از اعمال تیمارهای آبیاری حجم آب مصرفی در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی ۶۵۰۰ متر مکعب آب، در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه ۴۸۷۵ متر مکعب و در ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه ۳۹۰۰ متر مکعب برآورد گردید.

جدول ۲. مقادیر ضریب گیاهی (Kc)، تبخیر و تعرق مرجع (ETo) و نیاز آبی ذرت (ETc) در مراحل مختلف رشد بر اساس سامانه ملی نیاز آبی گیاهان برای منطقه فاروج

**Table 2. Values of the crop coefficient (Kc), reference evapotranspiration (ETo), and maize crop water requirement (ETc) at different growth stages based on the National Crop Water Requirement System for the Farooj region**

| نیاز آبی استاندارد<br>(میلی‌متر در دهه)<br>Standard<br>Irrigation<br>Requirement<br>(mm per decade) | بارش مؤثر<br>(میلی‌متر در دهه)<br>Effective<br>Precipitation<br>(mm per decade) | تبخیر و تعرق<br>Evapotranspiration |            | مشخصات گیاهی<br>Crop<br>Characteristics |                           |               | تاریخ<br>Date              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------|-----------------------------------------|---------------------------|---------------|----------------------------|
|                                                                                                     |                                                                                 | گیاه (ETc)                         | گیاه (ETo) | ضریب Kc                                 | مرحله رشد<br>Growth stage | دهه<br>Decade |                            |
| 5.86                                                                                                | 4.02                                                                            | 9.88                               | 19.38      | 0.51                                    | ini                       | 2             | اردیبهشت<br>April-May      |
| 19.86                                                                                               | 1.54                                                                            | 21.40                              | 43.68      | 0.49                                    | ini                       | 3             | اردیبهشت<br>April-May      |
| 0                                                                                                   | 27.45                                                                           | 23.87                              | 46.8       | 0.51                                    | ini                       | 1             | خرداد<br>May-June          |
| 31.03                                                                                               | 0.26                                                                            | 31.29                              | 51.29      | 0.61                                    | dev                       | 2             | خرداد<br>May-June          |
| 58.04                                                                                               | 0                                                                               | 58.04                              | 73.47      | 0.79                                    | dev                       | 3             | خرداد<br>May-June          |
| 64.10                                                                                               | 0                                                                               | 64.10                              | 65.41      | 0.98                                    | dev                       | 1             | تیر<br>June-July           |
| 73.58                                                                                               | 0                                                                               | 73.58                              | 67.5       | 1.09                                    | dev                       | 2             | تیر<br>June-July           |
| 71.78                                                                                               | 0.18                                                                            | 72.05                              | 66.71      | 1.08                                    | mid                       | 3             | تیر<br>June-July           |
| 52.23                                                                                               | 2.09                                                                            | 52.23                              | 60.04      | 0.87                                    | mid                       | 1             | مرداد<br>July-August       |
| 61.34                                                                                               | 0.95                                                                            | 63.63                              | 59.47      | 1.07                                    | mid                       | 2             | مرداد<br>July-August       |
| 70.18                                                                                               | 0                                                                               | 71.13                              | 68.39      | 1.04                                    | mid                       | 3             | مرداد<br>July-August       |
| 45.02                                                                                               | 0                                                                               | 45.02                              | 52.97      | 0.85                                    | end                       | 1             | شهریور<br>August-September |
| 28.30                                                                                               | 0                                                                               | 28.30                              | 39.31      | 0.72                                    | end                       | 2             | شهریور<br>August-September |

برداشت ذرت در تاریخ ۱۵ مهر انجام گرفت که طول دوره رشد در شرایط آزمایش ۱۱۳ روز گردید. به منظور اندازه‌گیری صفات کمی ذرت شامل قطر بوته، ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه، وزن تر بوته، وزن خشک بوته و عملکرد بلال، ابتدا یک متر از طرفین هر کرت به عنوان اثر حاشیه حذف گردید و سپس جهت نمونه‌برداری از مساحت پنج مترمربع از وسط هر کرت برداشت انجام شد. وزن تر برگ، بلال و ساقه توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری گردید. همچنین تعداد ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و قطر و ارتفاع آن‌ها اندازه‌گیری گردید. تمامی بوته‌ها بعد از انتقال به آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد (به مدت ۷۲ ساعت) خشک شدند و سپس صفات وزن خشک برگ، بلال و ساقه آنها توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری گردید. تجزیه آماری داده‌ها پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها (آزمون شاپیرو-ویلک) با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت.

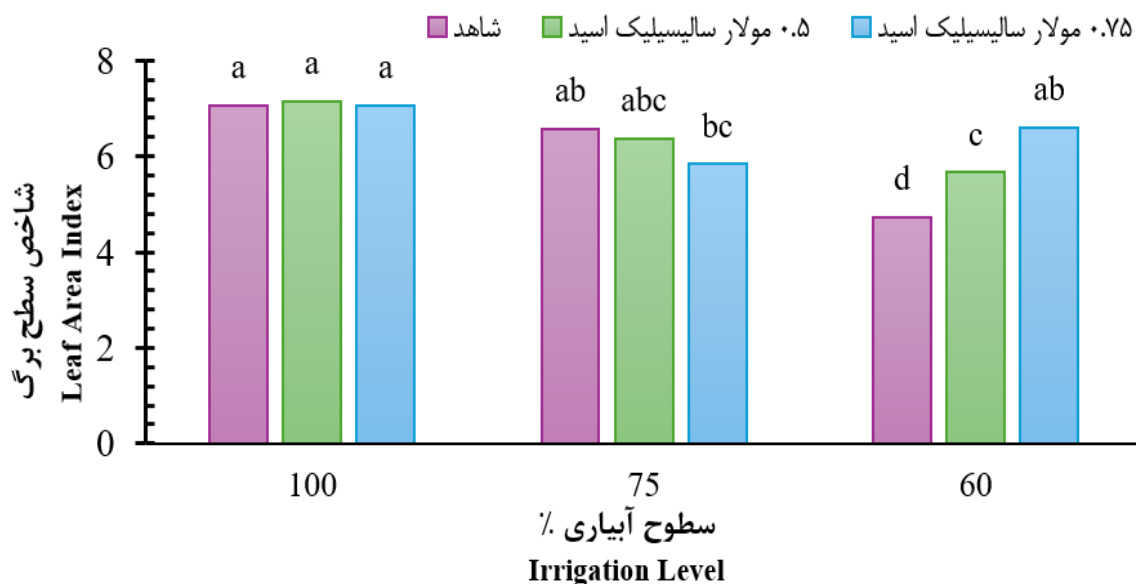
## نتایج و بحث

### اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک و عملکرد ذرت

نتایج نشان داد افزایش شدت تنش خشکی موجب کاهش معنی دار تمامی صفات مورفولوژیک و عملکردی ذرت شد (اشکال ۲ تا ۷). به طور کلی، شاخص سطح برگ، قطر ساقه، ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه، وزن خشک و تر بوته و عملکرد بلال با کاهش سطح آبیاری روند کاهشی نشان دادند، به طوری که بیشترین مقادیر این صفات در شرایط آبیاری کامل و کمترین مقادیر در تنش شدید خشکی مشاهده شد. همچنین شدت کاهش صفات در تنش شدید نسبت به تنش متوسط بیشتر بود که بیانگر حساسیت بالای رشد رویشی و تولید زیست توده ذرت به محدودیت آب است. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، تمامی صفات مورفولوژیک و عملکردی ذرت شامل شاخص سطح برگ، قطر ساقه، ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه، وزن تر و خشک بوته و وزن تر بلال به طور معنی داری کاهش یافتند. کاهش همزمان تمامی این صفات نشان می دهد که محدودیت آب علاوه بر کاهش رشد رویشی، تجمع ماده خشک و عملکرد اقتصادی گیاه را نیز تحت تأثیر قرار داده است. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، شاخص سطح برگ طول ساقه و ارتفاع بوته و وزن تر خشک اندام های هوایی به طور معنی داری کاهش یافت. کاهش شاخص سطح برگ را می توان یکی از نخستین پاسخ های گیاه به محدودیت آب دانست، زیرا تنش خشکی از طریق تخریب کلروفیل و سایر رنگیزه های فتوسنتزی، کاهش تقسیم و توسعه سلولی و در نهایت ریزش برگ ها، سطح فتوسنتزکننده گیاه را محدود می کند. گزارش شده است که تنش آبی به دلیل کاهش پتانسیل آب در بافت ها، رشد برگ را مختل می کند (Guo et al., 2018) در چنین شرایطی، کاهش پتانسیل آب و فشار تورژسانس برگ ها موجب بسته شدن روزنه ها، کاهش سرعت متابولیسم، توقف فعالیت بسیاری از آنزیم ها و در نهایت کاهش شدید فتوسنتز و رشد گیاه می شود (Fahad et al., 2017). همچنین گزارش شده است که کمبود آب در مرحله رشد طولی ساقه با محدود کردن گسترش سلولی، توسعه سطح برگ و رشد ساقه، همراه با کاهش محتوای نسبی آب، کاهش نرخ فتوسنتز و اختلال در تثبیت کربن، رشد گیاه را محدود می کند (Pantha et al., 2024). نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی دار زیست توده و عملکرد بلال شد. کاهش زیست توده عمدتاً نتیجه محدود شدن رشد، کاهش فتوسنتز، اختلال در انتقال مواد فتوسنتزی و کاهش تولید ماده خشک است. در همین راستا گزارش شده است که تنش خشکی اثر منفی معنی داری بر رشد، توسعه و عملکرد گیاه داشته و بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیک و مورفولوژیک را مختل می کند (Yasin et al., 2024). همچنین نشان داده شده است که وقوع تنش خشکی حتی در یک مرحله از رشد ذرت، علاوه بر کاهش تعرق و تجمع زیست توده در همان مرحله، اثرات منفی خود را در مراحل بعدی نیز حفظ کرده و تولید زیست توده و عملکرد را کاهش می دهد (Deribe, 2025).

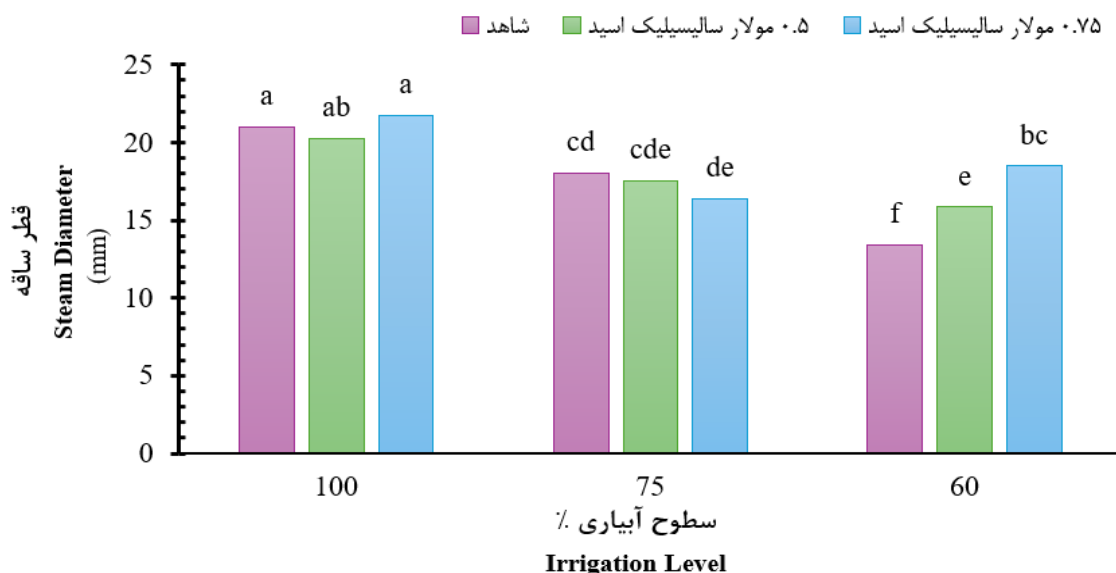
### اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک و برهم کنش آن با تنش خشکی

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که پاسخ گیاه به محلول پاشی اسید سالیسیلیک وابسته به شدت تنش خشکی بود. در شرایط آبیاری کامل و در بیشتر صفات، اختلاف معنی داری بین غلظت های مختلف اسید سالیسیلیک مشاهده نشد و در تنش خشکی متوسط نیز تأثیر محلول پاشی محدود بود. با این حال، در شرایط تنش شدید (۶۰ درصد نیاز آبی)، کاربرد اسید سالیسیلیک، به ویژه در غلظت ۰/۷۵ میلی مولار، موجب بهبود معنی دار تمامی صفات اندازه گیری شده گردید. بررسی شاخص سطح برگ نشان داد در شرایط اعمال تیمار آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی (تنش شدید خشکی) محلول پاشی با غلظت ۰/۷۵ میلی مولار، شاخص سطح برگ ذرت را نسبت به غلظت ۰/۵۰ میلی مولار و شاهد به ترتیب ۱۴/۲۲ و ۲۸/۴۴ درصد افزایش داد و مقدار آن را تا حد زیادی به شرایط بدون تنش نزدیک کرد. نتایج به دست آمده نشان داد شاخص سطح برگ در شرایط عدم وجود تنش خشکی ۷/۱۴ (بالاترین مقدار) به دست آمد که نسبت به مقادیر به دست آمده در شرایط ۶۰ درصد نیاز آبی و محلول پاشی ۰/۷۵ میلی مولار، ۷/۴۲ درصد بیشتر بود (شکل ۱). در همین شرایط، مقدار قطر ساقه در هنگام اعمال تنش شدید (۶۰ درصد نیاز آبی) در تیمار عدم محلول پاشی ۱۳/۴۴ میلی متر به دست آمد در حالی که در محلول پاشی ۰/۵۰ میلی مولار مقدار این صفت ۱۵/۸۴ میلی متر و در محلول پاشی ۰/۷۵ میلی مولار قطر ساقه ۱۸/۴۸ میلی متر ثبت شد (شکل ۲).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری (به ترتیب ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و محلول پاشی اسید سالیسیلیک (شاهد محلول پاشی آب مقطر، محلول پاشی با غلظت ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک) بر شاخص سطح برگ. میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

**Figure 1.** Comparison of the mean interaction effects of irrigation levels (60%, 75%, and 100% of crop water requirement, respectively) and salicylic acid foliar application (distilled water spray as control, and salicylic acid concentrations of 0.50 and 0.75 mM) on leaf area index (LAI). Means followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

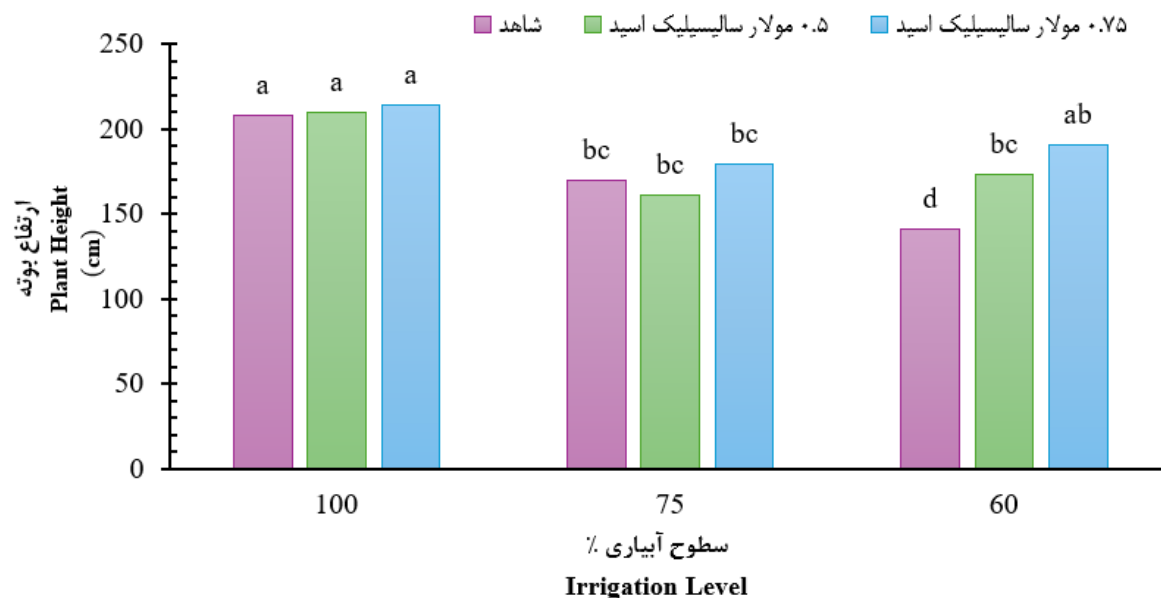


شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری (به ترتیب ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و محلول پاشی اسید سالیسیلیک (شاهد محلول پاشی آب مقطر، محلول پاشی با غلظت ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک) بر قطر ساقه. میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

**Figure 2.** Comparison of the mean interaction effects of irrigation (levels 60%, 75%, and 100% of crop water requirement, respectively) and salicylic acid foliar application (distilled water spray as control, and salicylic acid concentrations of 0.50 and 0.75 mM) on stem diameter. Means followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

نتایج مقایسه میانگین به خوبی نشان می‌دهد ارتفاع بوته با افزایش شدت تنش خشکی روند کاهشی داشت به طوری که کمترین میزان آن در تنش خشکی ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد. روند ارتفاع گیاه در پاسخ به کاربرد اسید سالیسیلیک در طی تنش

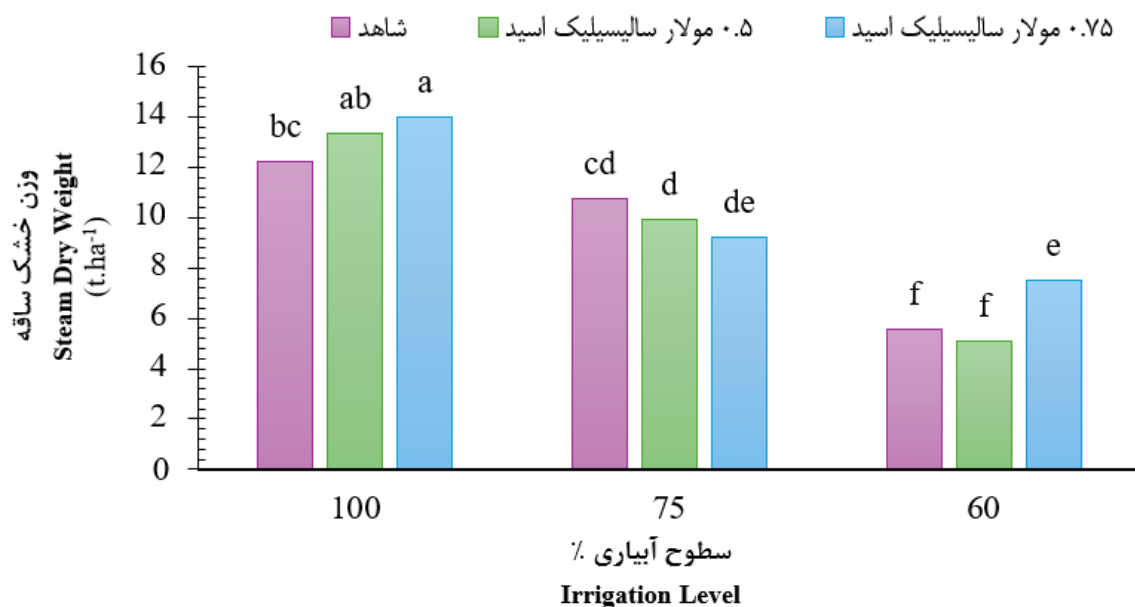
خشکی شدید افزایشی بود و بالاترین ارتفاع بوته در محدودیت شدید آبیاری تحت تأثیر ۰/۷۵ مولار اسید سالیسیلیک با میانگین ۱۹۰/۶۶ سانتی متر ثبت شد که نسبت به عدم محلول پاشی (با میانگین ۱۴۱ سانتی متر) به میزان ۲۶/۰۴ درصد بیشتر بود (شکل ۳). مقایسه ارتفاع بوته در تیمارهای مختلف به خوبی نشان می دهد استفاده از اسید سالیسیلیک می تواند اثر تنش خشکی را کنترل نماید به طوری که وقتی در این آزمایش در شرایط بدون تنش (با مصرف ۶۹۰۰ متر مکعب آب) ارتفاع بوته ۲۰۷/۶۶ سانتی متر بود و در تنش ملایم (با مصرف ۴۸۷۵ متر مکعب آب) و تنش شدید (با مصرف ۳۹۰۰ متر مکعب آب) با محلول پاشی اسید سالیسیلیک ارتفاع بوته ذرت به ترتیب به ۱۷۹/۶۶ و ۱۹۰/۶۶ سانتی متر رسید (شکل ۳).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری (به ترتیب ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و محلول پاشی اسید سالیسیلیک (شاهد) محلول پاشی آب مقطر، محلول پاشی با غلظت ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک) بر ارتفاع بوته. میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی باشند

**Figure 3. Comparison of the mean interaction effects of irrigation levels (0.60, 0.75, and 1.00 of crop water requirement, respectively) and salicylic acid foliar application (distilled water spray as control, and salicylic acid concentrations of 0.50 and 0.75 mM) on plant height. Means followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the 5% probability level.**

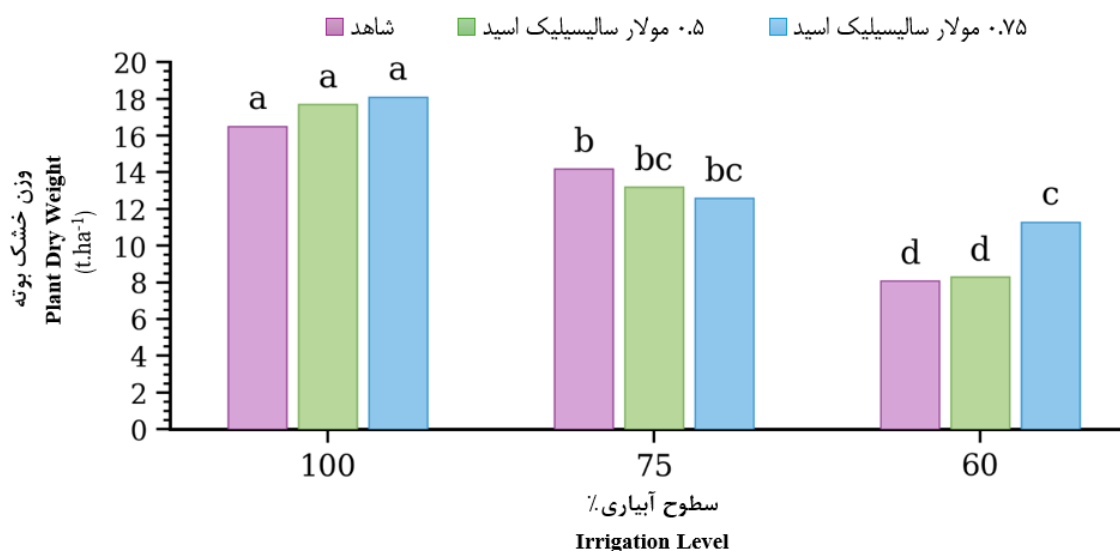
اثر مثبت اسید سالیسیلیک در صفات مرتبط با تجمع زیست توده نیز به خوبی مشاهده شد به طوری که نتایج مقایسه میانگین ها نشان داد که در شرایط آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی)، محلول پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۷۵ میلی مولار موجب افزایش معنی دار وزن خشک ساقه نسبت به تیمارهای عدم محلول پاشی و غلظت ۰/۵۰ میلی مولار گردید. در مقابل، در شرایط تنش خشکی متوسط (۷۵ درصد نیاز آبی)، تفاوت معنی داری بین تیمارهای محلول پاشی مشاهده نشد. با این حال، در شرایط تنش خشکی شدید (۶۰ درصد نیاز آبی)، کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۷۵ میلی مولار به عنوان برترین تیمار شناسایی شد. بیشترین وزن خشک ساقه (۱۴ تن در هکتار) در تیمار آبیاری کامل همراه با محلول پاشی ۰/۷۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک به دست آمد. همچنین با افزایش شدت تنش خشکی، روند کاهش وزن خشک ساقه تشدید شد و کمترین مقدار آن در شرایط تنش شدید مشاهده گردید. در شرایط تنش خشکی شدید، کاربرد اسید سالیسیلیک موجب افزایش ۳۲/۵۰ درصدی وزن خشک ساقه نسبت به عدم مصرف آن شد (شکل ۴).



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری (به ترتیب ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و محلول پاشی اسید سالیسیلیک (شاهد) محلول پاشی آب مقطر، محلول پاشی با غلظت ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک) بر وزن خشک ساقه. میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند

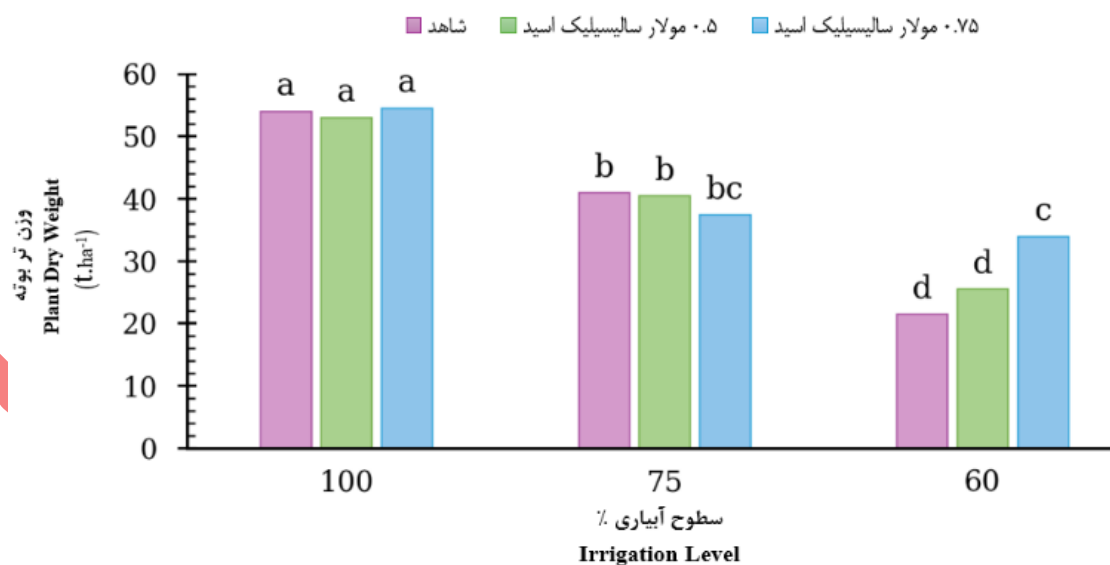
**Figure 4. Comparison of the mean interaction effects of irrigation levels (0.60, 0.75, and 1.00 of crop water requirement, respectively) and salicylic acid foliar application (distilled water spray as control, and salicylic acid concentrations of 0.50 and 0.75 mM) on steam dry weight. Means followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the 5% probability level.**

از طرفی در بین تمام تیمارهای آزمایش بیشترین وزن خشک بوته (۱۸/۰۴ تن در هکتار) تحت تاثیر تیمار محلول پاشی ۰/۷۵ مولار اسید سالیسیلیک در آبیاری کامل بوته (۱۰۰ درصد نیاز آبی) حاصل شد (شکل ۵). نتایج به دست آمده نشان داد با افزایش سطوح تنش خشکی وزن خشک بوته کاهش یافت به طوری که کمترین مقدار وزن خشک بوته با میانگین ۸/۰۱ تن در هکتار از تنش خشکی شدید (۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) و شرایط عدم کاربرد محلول پاشی حاصل به دست آمد. با اعمال محلول پاشی اسید سالیسیلیک در طی تنش خشکی شدید، ۲۸/۸۱ درصد نسبت به عدم محلول پاشی به عملکرد ماده خشک در هکتار اضافه شد. در مورد صفت وزن تر بوته نتایج به دست آمده نشان داد در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی (شاهد) و تیمار آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی (تنش خشکی متوسط) تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای محلول پاشی مشاهده نشد اما در شرایط آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی (تنش خشکی شدید) محلول پاشی با غلظت ۰/۷۵ مولار اسید سالیسیلیک برترین تیمار محلول پاشی بود. بیشترین میزان وزن تر بوته با میانگین ۵۴/۶۴ تن در هکتار از محلول پاشی ۰/۷۵ مولار اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری نرمال (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و کمترین میزان آن با میانگین ۲۱/۶۶ تن در هکتار از عدم کاربرد اسید سالیسیلیک در تنش خشکی شدید حاصل شد. در شرایط نرمال رطوبتی (آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی) تفاوت معنی‌داری از لحاظ کاربرد محلول پاشی مشاهده نشد اما با افزایش سطوح تنش خشکی، پاسخ گیاه به سالیسیلیک افزایش یافت به طوری که در تنش خشکی شدید کاربرد ۰/۷۵ مولار از آن، ۳۶/۳۱ درصد نسبت به شرایط عدم محلول پاشی به وزن تر علوفه اضافه کرد (شکل ۶).



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری (به ترتیب ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و محلول پاشی اسید سالیسیلیک (شاهد محلول پاشی آب مقطر، محلول پاشی با غلظت ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک) بر وزن خشک بوته. میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند

Figure 5. Comparison of the mean interaction effects of irrigation levels (0.60, 0.75, and 1.00 of crop water requirement, respectively) and salicylic acid foliar application (distilled water spray as control, and salicylic acid concentrations of 0.50 and 0.75 mM) on plant dry weight. Means followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

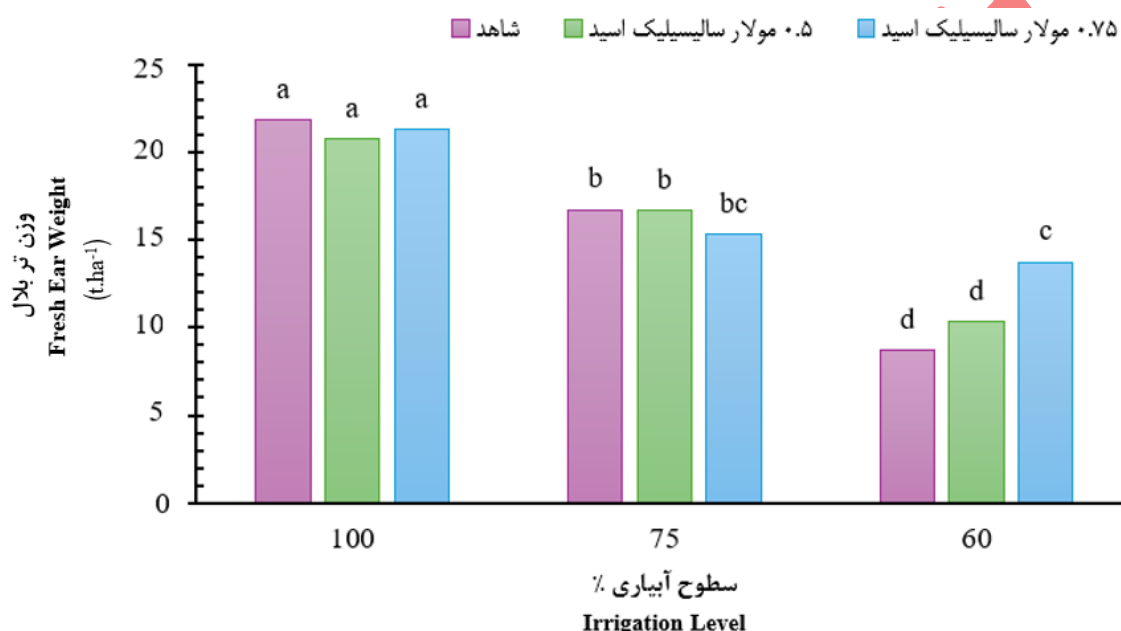


شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری (به ترتیب ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و محلول پاشی اسید سالیسیلیک (شاهد محلول پاشی آب مقطر، محلول پاشی با غلظت ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک) بر وزن تر بوته. میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

Figure 6. Comparison of the mean interaction effects of irrigation levels (0.60, 0.75, and 1.00 of crop water requirement, respectively) and salicylic acid foliar application (distilled water spray as control, and salicylic acid concentrations of 0.50 and 0.75 mM) on plant fresh weight. Means followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

نتایج اثر متقابل سطوح آبیاری و محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر وزن تر بلال نشان داد که کاهش سطح آبیاری موجب افت معنی‌دار این صفت شد. در بین تیمارهای آزمایشی بیشترین وزن تر بلال در سطح آبیاری کامل (۱۰۰ درصد) و بدون محلول پاشی اسید سالیسیلیک با میانگین ۲۱/۹۳ تن در هکتار مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با محلول پاشی اسید در غلظت‌های

۰/۵۰ و ۰/۷۵ میلی‌مولار به‌ترتیب با میانگین ۲۰/۷۱ و ۲۱/۲۹ تن در هکتار نداشت. با کاهش آبیاری به ۷۵ درصد، وزن تر بلال در تیمار شاهد به ۱۶/۷۱ تن در هکتار کاهش یافت که نسبت به آبیاری کامل حدود ۲۴ درصد افت نشان داد. در این سطح نیز بین تیمارهای محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری ملاحظه نشد، به طوری که محلول‌پاشی با غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک با ثبت ۱۶/۶۵ تن در هکتار و محلول‌پاشی با غلظت ۰/۵۰ میلی‌مولار میانگین ۱۵/۳۴ تن در هکتار را نشان داد. اما در شدیدترین سطح تنش آبی (۶۰ درصد آبیاری)، کمترین وزن تر بلال در تیمار شاهد با میانگین ۸/۷۳ تن در هکتار به دست آمد در صورتی که با محلول‌پاشی ۰/۵۰ میلی‌مولار مقدار وزن تر بلال به ۱۰/۳۱ تن در هکتار و با محلول‌پاشی ۰/۷۵ میلی‌مولار میانگین ۱۳/۷۲ تن در هکتار به دست آمد که بیشترین مقدار وزن تر بلال در سطح تنش شدید بود. این نتایج بیانگر آن است که در سطوح تنش شدید کاربرد اسید سالیسیلیک، به‌ویژه در غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار، توانسته است اثرات منفی تنش خشکی را تعدیل کرده و از کاهش وزن تر بلال در شرایط کم‌آبی جلوگیری کند.



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری (به ترتیب ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (شاهد محلول‌پاشی آب مقطر، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک) بر وزن تر بلال. میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

**Figure 7. Comparison of the mean interaction effects of irrigation levels (0.60, 0.75, and 1.00 of crop water requirement, respectively) and salicylic acid foliar application (distilled water spray as control, and salicylic acid concentrations of 0.50 and 0.75 mM) on fresh ear weight. Means followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the 5% probability level.**

نتایج این پژوهش نشان داد که پاسخ گیاه به محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک وابسته به شدت تنش خشکی بود، به‌طوری‌که در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی متوسط، محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر بیشتر صفات نداشت، اما در شرایط تنش شدید، کاربرد اسید سالیسیلیک، به‌ویژه در غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار، موجب بهبود معنی‌دار شاخص سطح برگ، قطر ساقه، ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه، وزن خشک و تر بوته و وزن تر بلال شد. این نتایج نشان می‌دهد که اثر اسید سالیسیلیک عمدتاً در شرایطی آشکار می‌شود که گیاه تحت تنش شدید خشکی قرار دارد.

نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی، شاخص سطح برگ روند کاهشی داشت، تنش خشکی از طریق تخریب کلروفیل و دیگر رنگیزه‌های فتوسنتزی و همچنین جلوگیری از رشد برگ‌ها به واسطه‌ی کاهش در میزان تقسیم و توسعه‌ی سلول‌ها و در نهایت از طریق ریزش برگ‌ها، منجر به کاهش شاخص سطح برگ می‌شود. در همین راستا گزارش شده است تنش آبی ممکن است به‌دلیل کاهش نسبی پتانسیل آب در بافت‌ها، رشد برگ را مختل کند (Guo et al., 2018). در برخی شرایط، گیاهان پتانسیل آب و فشار تورژسانس برگ‌های خود را از دست می‌دهند که این امر موجب بسته شدن روزنه‌ها، کاهش سرعت

متابولیسم گیاه و توقف فعالیت‌های آنزیمی می‌شود. در نهایت، کاهش شدید نرخ فتوسنتز و محدودیت جدی در رشد گیاه منجر می‌گردد (Fahad et al., 2017). در پژوهشی نشان داده شد گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار گرفتند، کاهش معنی‌داری در ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ داشتند (Pourghasemian et al., 2020). به طور مشابه نتایج پژوهشی نشان داد که تنش خشکی به طور قابل توجهی رشد و عملکرد گندم را کاهش داد (Raza et al., 2023). همچنین نتایج یک پژوهش نشان داد کمبود آب در مرحله رشد طولی ساقه باعث محدود شدن گسترش سلول‌ها، توسعه سطح برگ و رشد ساقه می‌شود. این مطالعه نشان می‌دهد که در این شرایط، محتوای نسبی آب کاهش می‌یابد، نرخ فتوسنتز کم می‌شود و فرایند تثبیت کربن دچار اختلال می‌گردد (Pantha et al., 2024). با این حال، مشاهده گردید کاربرد اسید سالیسیلیک به ویژه در غلظت ۰/۷۵ میلی‌مولار موجب افزایش شاخص سطح برگ گردید. نشان داده شد که محلول پاشی فیتوهورمون‌هایی مانند اسید سالیسیلیک می‌تواند موجب افزایش محتوای آب بافت، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و آسیب غشایی و حفاظت از فعالیت نیترات ردوکتاز در برابر مهار رشد تحت شرایط کمبود آب شود (Sakhabutdinova et al., 2003; Umebese et al., 2009).

اسید سالیسیلیک به عنوان یک مولکول سیگنال دهنده فنولی قوی و تنظیم کننده چندمنظوره رشد گیاه شناخته می‌شود که در طیف گسترده‌ای از فرایندهای رشد، متابولیسم و سیستم‌های دفاعی گیاه مشارکت دارد. همچنین گزارش شده است که این ترکیب با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، بهبود متابولیسم نیتروژن و تقویت وضعیت آبی و فتوسنتزی گیاه، می‌تواند اثرات منفی تنش خشکی را کاهش داده و تحمل گیاه به کم‌آبی را افزایش دهد (Arif et al., 2020; Kaya et al., 2024). بهبود صفات مرتبط با تجمع زیست‌توده شامل وزن خشک ساقه، وزن خشک بوته و وزن تر بوته نیز با عملکرد فیزیولوژیک اسید سالیسیلیک همخوانی دارد. گزارش شده است که اسید سالیسیلیک با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش تنش اکسیداتیو، موجب افزایش رشد و زیست‌توده در گیاهان تحت تنش خشکی می‌شود (Khan et al., 2015). بنابراین افزایش تجمع ماده خشک در این پژوهش را می‌توان در ارتباط با کاهش اثرات مخرب تنش خشکی و بهبود فرایندهای فیزیولوژیک گیاه دانست.

بهبود وزن تر بلال در شرایط تنش شدید نیز با نقش حفاظتی اسید سالیسیلیک در برابر تنش اکسیداتیو مطابقت دارد. گزارش شده است که کاربرد برون‌زاد اسید سالیسیلیک در تنظیم موند هیدروآسکوربات ردوکتاز، دهیدروآسکوربات ردوکتاز، گلوکاتایون ردوکتاز و گلوکاتایون پراکسیداز نقش دارد. همچنین این ترکیب با تنظیم گلوکاتایون و فعال‌سازی سامانه گلیوکسالاز شامل گلیوکسالاز I و گلیوکسالاز II، موجب کاهش تنش اکسیداتیو در گیاهان تحت تنش خشکی می‌شود (Alam et al., 2013). این پاسخ‌ها می‌تواند کاهش اثرات منفی خشکی بر رشد اندام‌های رویشی و عملکرد را توجیه کند. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، پاسخ گیاه به محلول پاشی اسید سالیسیلیک افزایش یافت و بیشترین اثر آن در تنش شدید مشاهده شد.

### نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش بررسی امکان به کارگیری اسید سالیسیلیک به عنوان یک راهکار مدیریتی برای کاهش اثرات منفی تنش خشکی و حفظ رشد و عملکرد ذرت علوفه‌ای بود. نتایج به دست آمده نشان داد که کاهش سطح آبیاری موجب کاهش معنی‌داری در اغلب صفات مورفولوژیک و عملکردی گیاه گردید، به طوری که صفات مرتبط با تجمع ماده خشک و تولید عملکرد بیشترین حساسیت را نسبت به تنش خشکی نشان دادند. با این حال، کاربرد اسید سالیسیلیک توانست به طور معنی‌داری اثرات منفی ناشی از کمبود آب را تعدیل نماید و در بسیاری از صفات، بهبود نسبی در رشد و عملکرد گیاه مشاهده شد. در مجموع، یافته‌های این پژوهش بیانگر آن است که اسید سالیسیلیک می‌تواند با بهبود فرایندهای فیزیولوژیک مرتبط با رشد، فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی، نقش مؤثری در افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی ایفا نماید؛ بنابراین، این روش می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی مؤثر در جهت تولید پایدار ذرت علوفه‌ای در شرایط محدودیت منابع آب در نظر گرفته شود.

### سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است که با همکاری دانشگاه بجنورد انجام گرفته است، لذا از همه افرادی که ما را در انجام این مهم یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

## تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌نمایند که هیچ‌گونه تعارض منافعی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد.

## منابع

- Abedi Koupai, J., Khajeali, J., Soleimani, R., & Mollaei, R. (2014). Influence of moisture and pest stresses on corn yield. *Journal of water and soil science*, 18(67), 23–34.
- Afarinesh, A., Fathi, G., Chugan, R., Syadat, S., Alamisaid, G., & Ashrafizadeh, S. (2016). Effect of drought stress on physiological traits of maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Journal of production and processing*, 5(18), 195–205. SID. <https://sid.ir/paper/255855/en>
- Ahmadi, M., & Ramezani Etedali, H. (2026). Investigating the impact of climate change on forage corn performance using machine learning algorithms in the Qazvin Plain. *Journal of Drought and Climate Change Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.22077/jdcr.2026.10144.1174>
- Alam, M. M., Hasanuzzaman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2013). Exogenous salicylic acid ameliorates short-term drought stress in mustard (*Brassica juncea* L.) seedlings by up-regulating the antioxidant defense and glyoxalase system. *Australian journal of crop science*, 7(7), 1053–1063.
- Amini, E., Mehrabi, A. A., Hatami, A., & Fasihi, K. (2014). Evaluation of yield, yield components, and water content of four grain corn hybrids at different irrigation levels. *Cereal Research*, 4(4), 333–344.
- Arif, Y., Sami, F., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salicylic acid in relation to other phytohormones in plants: A study towards physiology and signal transduction under challenging environments. *Environmental and Experimental Botany*, 175, <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104040>
- Asl, N. H. H., Vash, F. F., Roshdi, M., Shekari, B. M., & Gaffari, M. (2024). The effect of exogenous application of salicylic acid and ascorbic acid on forage quality and yield of maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. *Plant Soil Environ*, 70(3), 142–153. <https://doi.org/10.17221/181/2023-PSE>
- Choudhary, A., Nepovimova, E., Rajput, V. D., Malik, T., Choudhary, M., Bhardwaj, N., Peter, L., Puri, S., & Kimta, N. (2025). Mechanistic understanding of GABA and trehalose in modulating plant response to drought stress. *Plant Stress*, 16, 100838. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.100838>
- D'Odorico, P., Chiarelli, D. D., Rosa, L., Bini, A., Zilberman, D., & Rulli, M. C. (2020). The global value of water in agriculture. *Proceedings of the national academy of sciences*, 117(36), 21985–21993. <https://doi.org/10.1073/pnas.200583511>
- Danilevskaya, O. N., Yu, G., Meng, X., Xu, J., Stephenson, E., Estrada, S., Chilakamarri, S., Zastrow-Hayes, G., & Thatcher, S. (2019). Developmental and transcriptional responses of maize to drought stress under field conditions. *Plant Direct*, 3(5), e00129. <https://doi.org/10.1002/pld3.129>
- Deribe, H. (2025). Review on effects of drought stress on maize growth, yield, and management strategies. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 56(1), 123–143. <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2404663>
- Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S., & Saud, S. (2017). Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1147. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147>
- González-Villagra, J., Reyes-Díaz, M. M., Tighe-Neira, R., Inostroza-Blancheteau, C., Escobar, A. L., & Bravo, L. A. (2022). Salicylic acid improves antioxidant defense system and photosynthetic performance in *Aristotelia chilensis* plants subjected to moderate drought stress. *Plants*, 11(5), 639. <https://doi.org/10.3390/plants11050639>
- Guo, Y., Yu, H., Yang, M., Kong, D., & Zhang, Y. (2018). Effect of drought stress on lipid peroxidation, osmotic adjustment, and antioxidant enzyme activity of leaves and roots of *Lycium ruthenicum* Murr. seedling. *Russian Journal of Plant Physiology*, 65(2), 244–250. <https://doi.org/10.1134/S1021443718020127>
- Kaya, C., Akin, S., Sarioğlu, A., Ashraf, M., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2024). Enhancement of soybean tolerance to water stress through regulation of nitrogen and antioxidant defence mechanisms mediated by the synergistic role of salicylic acid and thiourea. *Plant Physiology and Biochemistry*, 207, 108320. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108320>
- Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A., & Khan, N. A. (2015). Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6, 462. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00462>
- Knorr, D., & Augustin, M. A. (2024). Food systems restoration. *Sustainable Food Technology*, 2(5), 1365–1390. <https://doi.org/10.1039/d4fb00108g>

La, V. H., Lee, B.-R., Zhang, Q., Park, S.-H., Islam, M. T., & Kim, T.-H. (2019). Salicylic acid improves drought-stress tolerance by regulating the redox status and proline metabolism in *Brassica rapa*. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 60(1), 31–40. <https://doi.org/10.1007/s13580-018-0099-7>

Liu, Y., Yue, L., Wang, C., Zhu, X., Wang, Z., & Xing, B. (2020). Photosynthetic response mechanisms in typical C3 and C4 plants upon La2O3 nanoparticle exposure. *Environmental Science: Nano*, 7(1), 81–92. <https://doi.org/10.1039/c9en00992b>

Mahrokh, A., Golzardi, F., Azizi, F., Mofidian, S. M. A., Zamanian, M., Rahjoo, V., Torabi, M., & Soltani, M. (2020). Agronomic factor analysis of grain maize yield decline in Iran with meta-analysis method. *Journal of Crops Improvement*, 23(1), 73–86. <https://doi.org/10.22059/jci.2020.292889.2299>

Mahrokh, A., Shiri, M., & Ghotbi, V. (2025). Evaluation of maize (*Zea mays* L.) inbred lines for drought stress tolerance. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 27(1), 1–22.

Miura, K., & Tada, Y. (2014). Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Frontiers in Plant Science*, 5, 4. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00004>

Mousavi, S. A., & Ghassemi-Golezani, K. (2023). Changes in morphological traits and grain yield of maize in response to salicylic acid under drought stress. *Journal of Agricultural Science and sustainable production* 33, (2), 163-176. <https://doi.org/10.22034/saps.2022.51600.2875>

Pantha, S., Kilian, B., Özkan, H., Zeibig, F., & Frei, M. (2024). Physiological and biochemical changes induced by drought stress during the stem elongation and anthesis stages in the *Triticum* genus. *Environmental and Experimental Botany*, 228, 106047. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.106047>

Pakgohar, N., Maghsoudi Moud, A. A., Farahbakhsh, H., & Pasandi Pur, A. (2025). Effect of brassinosteroid and melatonin on antioxidant enzymes and grain yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress conditions. *Journal of Drought and Climate Change Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.22077/jdcr.2025.9942.1163>

Pourghasemian, N., Moradi, R., Naghizadeh, M., & Landberg, T. (2020). Mitigating drought stress in sesame by foliar application of salicylic acid, beeswax waste and licorice extract. *Agricultural Water Management*, 231, 105997. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105997>

Ramezani Etedali, H and Koochi, S. (2026). Assessing the Impact of Climate Change on Heat Stress on Strategic Agricultural Products in Qazvin Province. *Journal of Drought and Climate Change Research*, 4(1), 81-104. <https://doi.org/10.22077/jdcr.2025.9739.1157>

Raza, A., Mubarik, M. S., Sharif, R., Habib, M., Jabeen, W., Zhang, C., ... & Varshney, R. K. (2023). Developing drought-smart, ready-to-grow future crops. *The Plant Genome*, 16(1), e20279. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20279>

Sakhabutdinova, A. R., Fatkhutdinova, D. R., Bezrukova, M. V., & Shakirova, F. M. (2003). Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. *Bulg J Plant Physiol*, 21, 314-319.

Shemi, R., Wang, R., Gheith, E.-S. M., Hussain, H. A., Hussain, S., Irfan, M., Cholidah, L., Zhang, K., Zhang, S., & Wang, L. (2021). Effects of salicylic acid, zinc, and glycine betaine on morpho-physiological growth and yield of maize under drought stress. *Scientific Reports*, 11(1), 3195. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82264-7>

Torun, H., Cetin, B., Stojnic, S., & Petrik, P. (2024). Salicylic acid alleviates the effects of cadmium and drought stress by regulating water status, ions, and antioxidant defense in *Pterocarya fraxinifolia*. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1339201. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1339201>

Umebese, C. E., Olatimilehin, T. O., & Ogunsusi, T. A. (2009). Salicylic acid protects nitrate reductase activity, growth and proline in amaranth and tomato plants during water deficit.

Yasin, S., Zavala-García, F., Niño-Medina, G., Rodríguez-Salinas, P. A., Gutiérrez-Diez, A., Sinagawa-García, S. R., & Lugo-Cruz, E. (2024). Morphological and physiological response of maize (*Zea mays* L.) to drought stress during the reproductive stage. *Agronomy*, 14(8), 1718. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081718>

Zhang, Y.-T., & Zhou, W.-X. (2022). Structural evolution of international crop trade networks. *Frontiers in Physics*, 10, 926764. <https://doi.org/10.3389/fphy.2022.926764>