# اثر اسید سالیسیلیک و اسید هیومیک بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) در شرایط تنش خشکی

حمید دهقان زاده جزی[۱] و ظهراب اداوی[۲*]

۱ و ۲) استادیار گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، اصفهان، ایران.

* نویسنده مسئول: z_adavi@pnu.ac.ir

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۶

## چکیده

**به‌منظور بررسی اثر اسید سالیسیلیک و اسید هیومیک بر کاهش اثر تنش خشکی در ذرت علوفه‌ای، این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا شد. سطوح تنش خشکی شامل: بدون تنش (شاهد)، تنش ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در کرت‌های اصلی و نوع تنظیم کننده رشد (بدون تنظیم کننده رشد، اسید سالیسیلیک و اسید هیومیک) در کرت‌های فرعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل، شاخص سطح برگ، وزن برگ‌ها، وزن ساقه، وزن بلال، عملکرد علوفه و کارایی مصرف آب در مقایسه با آبیاری مطلوب شد. استفاده از اسید سالیسیلیک در مقایسه با شاهد و اسید هیومیک در شرایط تنش ملایم باعث افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ به‌ترتیب (۶۱/۲ و ۳۹/۳ درصد)، وزن برگ (به‌ترتیب ۶۰/۵ و ۴۱/۶ درصد)، وزن ساقه (به‌ترتیب ۱۴/۵ و ۲۵/۰۹ درصد)، وزن بلال (به‌ترتیب ۱۳/۱ و ۲۳/۷ درصد)، محتوای پرولین (به‌ترتیب ۱۶ و ۳۲/۳ درصد)، عملکرد علوفه (به‌ترتیب ۲۴/۵ و ۲۴/۲ درصد) و کارایی مصرف آب (به‌ترتیب ۲۱/۱۵ و ۲۸/۳۴ درصد) شد. کاربرد تیمار اسید سالیسیلیک به‌دلیل کاهش صدمه تنش در مورد عملکرد علوفه و کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نسبت به اسید هیومیک نشان داد. با توجه به نتایج به‌دست آمده اگرچه تنش خشکی موجب کاهش عملکرد شد، اما اثر اسید سالیسیلیک توانست بخشی از کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی را جبران نماید.**

**واژه‌های کلیدی:** تنش خشکی، تنظیم‌کننده رشد، کاروتنوئید و کارایی مصرف آب.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

**مقدمه**

تنش کم‌آبی یکی از مشکلات تولید فراورده‌های کشاورزی در بسیاری از نقاط دنیا به ویژه مناطق خشک و نیمه خشک است (Ali and Golombek, 2016). گیاه ذرت به دلیل توانایی تولید بالا و سازگاری در اکثر مناطق کشور می‌تواند نقش مهمی در تأمین علوفه مورد نیاز دام به ویژه در فصل زمستان ایفا نماید (Dinler *et al*, 2014). علاوه بر این، سیلوی آن به آسانی تهیه می‌شود و یک علوفه خوش‌خوراک با کیفیت پایدار برای دام می‌باشد و انرژی بالاتری نسبت به سایر علوفه‌ها دارا است (Curran and Posch, 2001). گزارش شده است که در گیاه ذرت اعمال تنش می‌تواند عملکرد دانه را به طور مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر قرار دهد. در واقع اثر مستقیم شامل نمونه‌هایی از قبیل مرگ کامل گیاه، تداخل در عمل گرده‌افشانی، پوسیدگی بلال ناشی از خسارت آفات ذرت و اثر غیرمستقیم خسارت ناشی از تنش، شامل آن‌هایی است که میزان عملکرد و قابلیت برداشت محصول را کاهش می‌دهند (Chen *et al*, 2012). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه نقش مهمی در تنظیم فرآیندهای رشد گیاهان و شبکه‌های سیگنال دهنده ایفا می‌کنند، زیرا آن‌ها به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در طیف گسترده‌ای از پاسخ و تحمل به تنش‌های زنده و غیر زنده در گیاهان دخیل هستند (Asgher *et al*, 2015). سالیسیلیک اسید ترکیب فنولی است که در تنظیم فرآیندهای مهم فیزیولوژیکی گیاهی همچون فتوسنتز، متابولیسم نیتروژن، متابولیسم پرولین، تولید گلیسین بتائین، سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی، اثر بر تنفس، تمامیت غشاها و روابط آبی گیاه در شرایط تنش‌های زیستی و غیر زیستی نقش دارد (Rajeshwari and Bhuvaneshwari, 2017). سالیسیلیک اسید نقش مهمی در پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی دارد و از گیاه در برابر بسیاری از تنش‌های غیرزنده حمایت می‌کند (Hussein *et al*, 2007). سالیسیلیک اسید تحت تأثیر فاکتورهای غیرزنده‌ی نامطلوب، در بافت‌های گیاهی تجمع می‌یابد و در افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی شرکت می‌کند و هم‌چنین از آن برای افزایش تحمل گیاهان در برابر اثر تنش زنده و غیرزنده‌ی ناسازگار استفاده شده است (Fayez *et al*, 2014). در آزمایش نقی زاده و کبیری (۱۳۹۵) در بررسی برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ذرت، رقم هیبرید سینگل کراس ۷۰۴، به برگ‌پاشی سالیسیلیک اسید دریافتند برگ‌پاشی بوته‌های ذرت در مرحله چهار برگی با سالیسیلیک اسید یک میلی‌مولار موجب افزایش محتوی نسبی آب، کلروفیل a، b و کلروفیل کل، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، وزن تر بوته و سطح برگ در هر دو شرایط تنش و عدم تنش خشکی گردید که البته اثر مثبت سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی بیشتر از شرایط عدم تنش بود. در تحقیقی روی گیاه سورگوم کاربرد سالیسیلیک اسید نقش مؤثری در کاهش آسیب‌های ناشی از تنش خشکی بر عملکرد ارقام سورگوم داشت، به‌طوری‌که محلول‌پاشی دو میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در مرحله گرده‌افشانی تحت شرایط تنش

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

خشکی شدید به میزان ۲۱ درصد عملکرد دانه (۱۰۷۱/۲۵ کیلوگرم در هکتار) را افزایش داد (خواجویی نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). مواد هیومیکی شامل سه دسته اسید هیومیک، اسید فولویک و هیومین می‌باشند. اسید هیومیک به طور طبیعی در ترکیبات خاک، پیت، زغال‌سنگ و غیره وجود دارد (El-Bassiony *et al*, 2010). اسید هیومیک حاصل از هوموس و سایر منابع طبیعی از طریق اثرات هورمونی و بهبود جذب عناصر غذایی، سبب افزایش زیست توده می‌شود ( Sabzevari and Khazaei, 2009). در پژوهشی بر گیاه ذرت اثر برهم‌کنش محلول‌پاشی ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک در مرحله گرده‌افشانی در هر سطحی از دور آبیاری باعث افزایش سطح فتوسنتزی گیاه و زیست توده کل گیاه ذرت شد. نتایج این آزمایش نشان داد که محلول‌پاشی اسید هیومیک در هر سطحی می‌تواند اثر تنش خشکی را کاهش دهد ( Sharifi, 2017). در تحقیقی بر گیاه ذرت کاربرد ۲۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک از یک سو موجب افزایش ارتفاع بوته، طول بلال، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و پروتئین شده و از سوی دیگر با اثر بر ساخت اسمولیت‌هایی مانند پرولین موجب تخفیف آثار تنش و با جلوگیری غیر مستقیم از تخریب کلروفیل موجب ادامه رشد و تسهیم بهینه آسمیلات‌ها در گیاه شد (Gomaa *et al*, 2017). هدف از انجام این پژوهش اثر سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و اسید هیومیک بر بهبود برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت تنش خشکی می‌باشد.

**مواد و روش ها**

این آزمایش در سال ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان (طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه و ۴۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه و ۳۰ ثانیه شمالی) اجرا شد. آب و هوای منطقه بر اساس طبقه بندی کوپن جزء اقلیم‌های معتدل و خشک با تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد. برای مشخص شدن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک پیش از شروع آزمایش یک نمونه ترکیبی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه گرفته شد که ویژگی‌های خاک مورد مطالعه در جدول ۱ ذکر شده است.

**جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش**

| بافت خاک | شن (درصد) | سیلت (درصد) | رس (درصد) | فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) | پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) | نیتروژن (درصد) | اسیدیته | هدایت الکتریکی (دسی زمینس بر متر) | کربن آلی (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| رسی لومی | ۴۲ | ۲۸ | ۳۰ | ۱۰/۹ | ۱۴۱ | ۰/۰۷ | ۷/۷ | ۱/۶ | ۰/۷۹ |

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. سطوح تنش خشکی شامل: بدون تنش (شاهد)، تنش ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در کرت‌های اصلی و نوع تنظیم کننده رشد (بدون تنظیم کننده رشد، اسید سالیسیلیک و اسید هیومیک) در کرت‌های فرعی مورد

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

بررسی قرار گرفت. در شرایط بدون تنظیم‌کننده رشد، از آب مقطر استفاده شد. محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار و اسید هیومیک به مقدار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مرحله گرده‌افشانی ذرت انجام شد ( خزاعی و همکاران، ۱۳۹۰). در بهار پس از شخم بهاره عملیات تسطیح زمین و کودپاشی عناصر بر حسب آزمون خاک انجام شد. سپس کرت‌هایی به ابعاد ۵×۳ متر ایجاد شد و پشته‌هایی به فواصل ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته و قبل از کشت، بذور ذرت هیبرید سینگل کراس ۲۶۰ با سم ایمیداکلوپراید (گاچو) به میزان ۷۵ گرم درکیلوگرم بذر ضد عفونی شد. عملیات کاشت در ۱۰ تیر ماه صورت گرفت و بذرها در رأس پشته و به فاصله ۱۲ سانتی‌متر از هم کاشته شد. یک سوم کود نیتروژن (۶۶/۵ کیلوگرم در هکتار) هم‌زمان با کشت و دو سوم کود نیتروژن به صورت سرک در مرحله ۷-۵ برگی مورد استفاده قرار گرفت. تیمار تنش خشکی از مرحله هشت برگی گیاه شروع و تا انتهای دوره رشد ادامه یافت و محلول‌پاشی با مواد مورد نظر در مرحله گل‌دهی اعمال شد. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک از حسگرهای دفنی دستگاه انعکاس سنجی امواج ( Time Domain Reflectometry) استفاده شد. با استفاده از دستگاه TDR سه شاخه قابل حمل، میزان رطوبت در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک در چهار نقطه از هر یک از کرت‌ها اندازه‌گیری و زمان آبیاری بر اساس زمان رسیدن به هر یک از تیمارهای خشکی صورت گرفت (سورشجانی و همکاران، ۱۳۹۴). میزان آب ورودی به هر کرت نیز با استفاده از کنتور محاسبه گردید و عمق آب استفاده شده در هر تیمار رطوبتی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (دانشمند و همکاران، ۱۳۸۷). که در آن $V_m$: میزان آب با واحد مترمکعب، $F_C$: درصد رطوبت وزنی در مرحله ظرفیت مزرعه، $\theta$: متوسط رطوبت وزنی خاک در عمق ریشه بر حسب درصد، BD: وزن مخصوص ظاهری خاک ($g/m^2$)، D: عمق ریشه.

رابطه ۱: $V_m = [ D \times (Fc - \theta) \times Db] \times ۱۰۰$

در مرحله گل‌دهی با انتخاب تصادفی سه بوته از هر کرت و سپس از برگ پرچم بوته‌ها نمونه کافی برای تعیین کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، رطوبت نسبی برگ، میزان پرولین تهیه شد. برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل a، b و کاروتنوئید از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) استفاده شد. مقدار ۰/۰۵ گرم برگ تر را وزن نموده و با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد سائیده، سپس مخلوط به‌دست آمده را صاف نموده و با استون ۸۰ درصد به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رساندیم. جذب محلول در طول موج‌های ۴۷۰ و ۶۴۶/۸ و ۶۶۳/۲ با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و با استفاده از رابطه-های ارائه شده غلظت کلروفیل a، b و کاروتنوئید (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) تعیین شد. برای اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. به این طریق که ۰/۲ گرم از بافت برگ را در ۱۰ میلی‌لیتر محلول سه درصد اسید سولفو سالیسیلیک ساییده و مخلوط یکنواختی تهیه گردید. سپس دو میلی‌لیتر از مایع رویی را با دو میلی‌گرم معرف نین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک خالص مخلوط کرده و یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]
[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

گراد حمام بنماری، قرار گرفتند. سپس چهار میلی‌لیتر تولوئن به مخلوط اضافه گردید. از لایه رنگی فوقانی که حاوی تولوئن و پرولین بود، برای اندازه‌گیری غلظت پرولین استفاده گردید. جذب مقدار مشخصی از این ماده رنگی در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین شد و مقدار پرولین بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد، تعیین گردید. برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ[۱] نیز از روش Rodriguez و همکاران (۲۰۰۲) استفاده گردید.

رابطه ۲: $RWC = [\text{وزن خشک} - \text{وزن اشباع} / \text{وزن خشک} - \text{وزن تر}] \times ۱۰۰$

رابطه ۳: $\text{کلروفیل a} = ۱۲/۱۹ A_{۶۶۳/۲} - ۱۲/۱۹ A_{۶۴۶/۸}$

رابطه ۴: $\text{کلروفیل b} = ۲۱/۵ A_{۶۴۶/۸} - ۵/۱ A_{۶۶۳/۲}$

رابطه ۵: $\text{کاروتنوئید} = ۱۹۸ C_b / ۸۵/۰۲ C_a - ۱/۸۲ - ۴۷۰.A ۱۰۰۰$

برای محاسبه شاخص سطح برگ (LAI) با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج ( Li-COR, Model 7 Li-1300 USA) میانگین‌گیری و هر تیمار محاسبه و با تقسیم کردن آن بر مساحت مورد نظر، به‌دست آمد. برداشت علوفه با ظهور خط شیری یک سوم تا دو سوم دانه در اواخر شهریور ماه صورت گرفت. بوته‌های دو خط میانی هر کرت فرعی (خطوط عملکرد) با در نظر گرفتن حاشیه از سطح زمین، کف بر شدند. سپس وزن تر برگ، ساقه و بلال و عملکرد علوفه تر تهیه شد. کارایی مصرف آب (بهره‌وری آب) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Farre *et al.*, 2006):

رابطه ۶: $WUE = Bi / Wap$

در این رابطه WUE= کارایی مصرف آب، Bi= بیوماس تولید شده بر حسب گرم و Wap= میزان آب مصرفی بر حسب مترمکعب.

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 انجام شد. اثر برهم‌کنش تیمارها نیز توسط نرم‌افزار MSTAT-C مقایسه شد. مقایسه میانگین تیمارها به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

## نتایج و بحث

### محتوای نسبی آب برگ

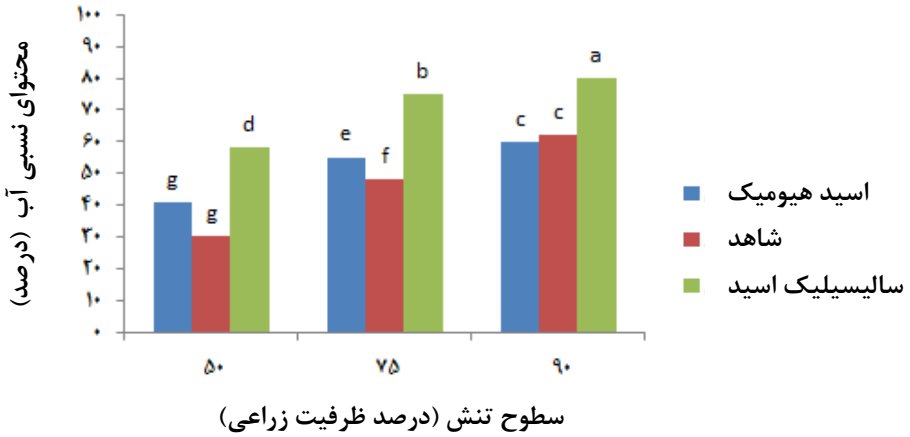
نتایج تجزیه واریانس اثر تنظیم کننده رشد بر محتوای نسبی آب برگ در زمان ظهور برگ پرچم نشان داد که اثر تنش خشکی و تنظیم کننده رشد و همچنین برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). محتوای رطوبت نسبی برگ در تیمار آبیاری با ۵۰ درصد تنش خشکی ۵۰ درصد کم‌تر از آبیاری مطلوب بود (شکل ۱). محتوای

[۱] Relative water content

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

نسبی آب برگ، شاخصی برای نشان دادن آسیب ناشی از تنش خشکی معرفی شده است، به‌طوری که محتوای نسبی آب بیش‌تر سبب افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش عملکرد در شرایط تنش می‌شود (Farooq *et al*., 2009). مشاهده شد که در شرایط بدون تنش تیمار اسید سالیسیلیک برتری معنی‌داری دارد و در شرایط تنش ملایم و تنش شدید هم تیمار اسید سالیسیلیک به‌ترتیب با ۱۱۹/۶ و ۶۸/۲ درصد اثر مثبت و پس از آن اسید هیومیک بیش‌ترین اثر را از خود به جای گذاشت. پروازی شندی و همکاران (۱۳۹۲) به نتایج مشابهی مبنی بر افزایش محتوای نسبی آب برگ در حضور اسید هیومیک در گندم، دست یافتند. مولکول‌های اسید هیومیک در پیوند با مولکول‌های آب تا حدود زیادی مانع از تبخیر آب می‌گردند (Bronick and Lai, 2005). یداللهی و همکاران (۱۳۹۳) در آزمایشی بر گیاه گلرنگ نشان دادند بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ ۸۳/۶ در تیمار ۱/۵ لیتر در هکتار اسید هیومیک مشاهده شد. در آزمایش نقی‌زاده و کبیری (۱۳۹۵) دریافتند کاربرد اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار به ترتیب موجب افزایش ۱۱ و ۲۱ درصدی محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی شد.




**شکل ۱: اثر برهم‌کنش تنش خشکی و تنظیم کننده رشد بر محتوای نسبی آب برگ ذرت علوفه‌ای.**

در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

### پرولین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تنش خشکی و اثر برهم‌کنش تنش خشکی و تنظیم کننده رشد بر میزان پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). اثر برهم‌کنش تنش خشکی و تنظیم کننده رشد در شکل ۲ بیانگر آن است که تجمع پرولین در شرایط بدون تنش و تیمار اسید سالیسیلیک بدون تفاوت معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد و اسید هیومیک اثر افزایشی را داشته و در شرایط تنش ملایم نیز این تیمار با ۱۶ درصد افزایش نسبت به شاهد دارای بیش‌ترین اثر بود.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ] [ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

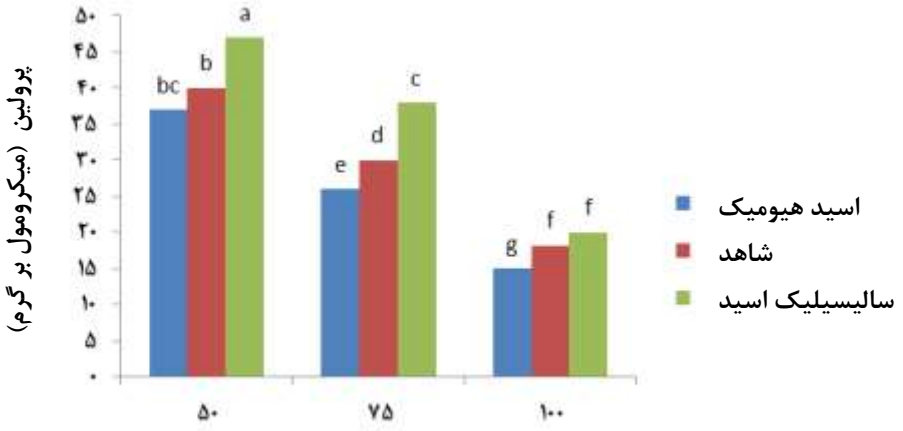


**جدول ۲: تجزیه واریانس اثر اسید سالیسیلیک و اسید هیومیک بر خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت تنش خشکی**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | رطوبت نسبی برگ | پرولین | کلروفیل a | کلروفیل b | کاروتنوئید | شاخص سطح برگ | وزن برگ | وزن ساقه | وزن بلال | عملکرد علوفه | کارایی مصرف آب |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بلوک | ۲ | ۱۸/۶$^{ns}$ | ۵/۸۵ $^{ns}$ | ۰/۰۲ $^{ns}$ | ۰/۰۴ $^{ns}$ | ۰/۰۴ $^{ns}$ | ۰/۳۵ $^{ns}$ | ۳۵۴۷۴۵ $^{ns}$ | ۱۰۱۳۲۱۷۵۹ $^{ns}$ | ۲۱۵۲۷۵۶۸ $^{ns}$ | ۲۳۵۲۳۸۳۲۳ $^{ns}$ | ۱/۸ $^{ns}$ |
| تنش خشکی (A) | ۲ | ۲۸۴۴/۹$^{**}$ | ۷۵۴/۱$^{**}$ | ۱۶/۰۴$^{**}$ | ۱/۵۲$^{**}$ | ۲/۳۷$^{**}$ | ۱/۷۸$^{*}$ | ۵۴۷۲۸۰۱$^{ns}$ | ۲۳۱۰۴۳۹۸۲$^{**}$ | ۴۲۲۵۰۳۱۰$^{**}$ | ۱۰۲۷۷۹۶۰۷۴$^{**}$ | ۶۶/۶۹$^{**}$ |
| خطای a | ۴ | ۱۷/۰۴ | ۲/۵۲ | ۰/۱۴ | ۰/۰۱ | ۰/۰۴ | ۰/۱۳ | ۱۱۴۶۴۱۲ | ۹۴۴۶۷۵۹ | ۷۹۰۲۷۰۹ | ۳۵۹۳۹۷۸۷ | ۰/۵۴ |
| تنظیم کننده رشد (B) | ۲ | ۵۲۳۷/۰۱$^{**}$ | ۱۹/۵۸۴$^{ns}$ | ۰/۶۱۷$^{ns}$ | ۰/۰۴$^{ns}$ | ۱/۰۹$^{**}$ | ۲/۸۱$^{**}$ | ۸۵۷۶۴۴۶۸$^{**}$ | ۴۷۱۲۷۳۱۵ ns | ۲۳۳۱۲۳۴۰$^{*}$ | ۴۴۶۴۶۰۲۰۸$^{**}$ | ۱/۴۶$^{*}$ |
| A×B | ۴ | ۱۸۶/۸$^{**}$ | ۷۳/۷۴$^{**}$ | ۰/۶۱۳$^{ns}$ | ۰/۰۰$^{ns}$ | ۰/۷۴$^{**}$ | ۲/۳۹$^{**}$ | ۵۴۰۵۰۹۳$^{**}$ | ۲۰۵۹۳۹۸۱۵ ns | ۱۰۴۱۸۷۹۸۰$^{**}$ | ۴۶۵۰۳۳۰۷۶$^{**}$ | ۲/۶۹$^{**}$ |
| خطای b | ۱۲ | ۷ | ۳/۵۲ | ۰/۲۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۰/۱۸ | ۱۰۲۳۱۴۸ | ۲۵۵۳۰۰۹۳ | ۴۸۸۱۹۱۱ | ۴۳۴۸۲۳۴۵ | ۰/۳۲ |
| ضریب تغییرات (درصد) | - | ۴/۶۶ | ۵/۸۷ | ۵/۳۵ | ۴/۱۰ | ۱۷/۱۳ | ۷/۴ | ۶/۱۵ | ۱۳/۲۴ | ۹/۰۶ | ۸/۶۸ | ۹/۶۶ |

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

در شرایط تنش شدید، تیمار اسید سالیسیلیک با ۱۴/۸ درصد افزایش نسبت به شاهد بیش‌ترین اثر را در بین مواد به کار رفته در محلول‌پاشی‌ها و در سطوح مختلف تنش از خود بجای گذاشته است (شکل ۲). در شرایط تنش خشکی ملایم یا شدید، غلظت اسید آمینه پرولین نسبت به سایر اسیدهای آمینه افزایش‌یافته و این هورمون به‌عنوان مخزن ذخیره‌ای نیتروژن و یا ماده محلول کاهش‌دهنده پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم، عمل نمی‌نماید، بلکه تحمل گیاه را به تنش افزایش می‌دهد (Shawquat *et al.*, 2015). براساس نتایج تحقیقات پیشین در طی بروز تنش خشکی بر مقدار پرولین افزوده می‌شود. احتمالاً دلیل افزایش پرولین طی تنش خشکی این است که پرولین اسید آمینه ذخیره شده در سیتوپلاسم بوده که احتمالاً در حفاظت از ساختمان ماکرو مولکول‌های درون سلول در طی تنش خشکی نقش مؤثری دارد ( sivakumar *et al.*, 2016). گزارش شده است اسید سالیسیلیک بر تشکیل پروتئین‌های دفاعی گیاه اثر می‌گذارد. اسیدسالیسیلیک در غلظت‌های مختلف می‌تواند با افزایش مقدار پرولین سبب بهبود تحمل گیاه جو در شرایط تنش خشکی شود ( Kochev *et al.*, 2006).




**شکل ۲: اثر برهم‌کنش تنش خشکی با تنظیم کننده رشد بر پرولین ذرت علوفه‌ای.**

میانگین‌های با حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

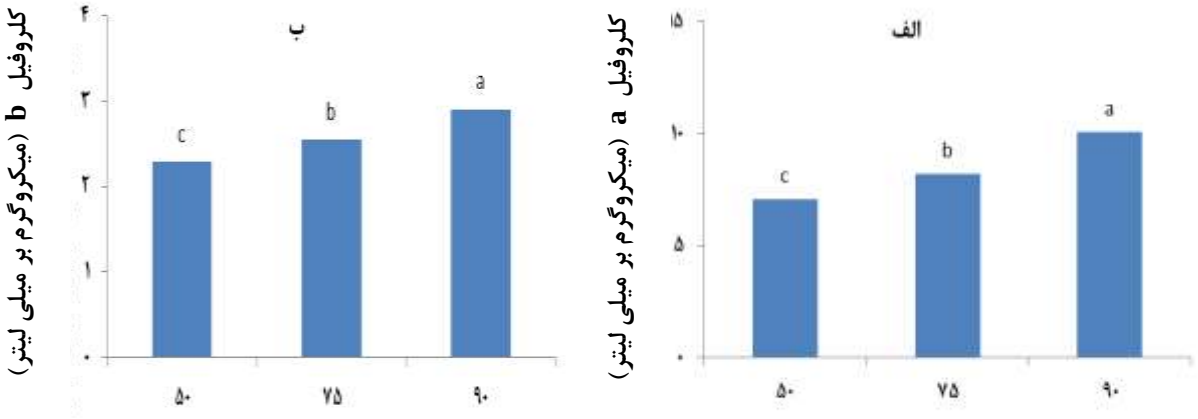
### کلروفیل

اثر اصلی تنش خشکی بر کلروفیل a و b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر اصلی تنظیم کننده رشد و برهم‌کنش تنش خشکی و تنظیم کننده رشد بر میزان کلروفیل a و b در گیاه ذرت معنی‌دار نبود (جدول ۲). با توجه به مقایسه میانگین‌ها، می‌توان اظهار نظر کرد که بیش‌ترین میزان کلروفیل a و b در شرایط بدون تنش بود و این تفاوت به ترتیب برای این صفات نسبت به شرایط تنش شدید به ترتیب ۳۵/۴ و ۳۸/۴ درصد افزایش داشته است (شکل ۳ الف و ب).

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

کاهش سنتز کلروفیل a از واکنش‌های عمومی گیاهان نسبت به کمبود آب می‌باشد (Ghorbanali and Niakan, 2005). میزان کلروفیل در گیاه زنده یکی از عوامل مهم برای فتوسنتز به شمار می‌آید. در این بین بسته به شدت، مدت و مرحله اثر خشکی بر هر کدام از مقادیر کلروفیل در گیاهان متفاوت است. عطارزاده و همکاران (۱۳۹۳) در آزمایشی مربوط به اثر تنش دما و اسید سالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیک ذرت اعلام نمودند که محتوای کلروفیل برگ با کاربرد ۵۰ میکرومول سالیسیلیک اسید در شرایط تنش دمایی افزایش معنی‌داری داشت. بررسی‌های دیگری نشان داد که سالیسیلیک اسید باعث افزایش پارامترهای رشد و رنگیزه‌های فتوسنتزی ذرت تحت تنش خشکی شد (Hayat *et al*., 2009). نشان داده شد که تخلیه رطوبتی خاک بر شاخص کلروفیل و کلروفیل a و b در ذرت سینگل کراس ۲۶۰ اثر گذار بود (حق جو و بحرانی، ۱۳۹۳). اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی به عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل نموده و از آسیب به رنگدانه‌ها به‌ویژه کلروفیل جلوگیری می‌کند. به‌طوری‌که گزارش شده است اسید سالیسیلیک از طریق جلوگیری از آسیب به کلروفیل سبب بهبود فتوسنتز در شرایط تنش خشکی شده است (Lei *et al*., 2005).




**شکل ۳: اثر تنش خشکی بر محتوای کلروفیل a و کلروفیل b در ذرت علوفه‌ای.**

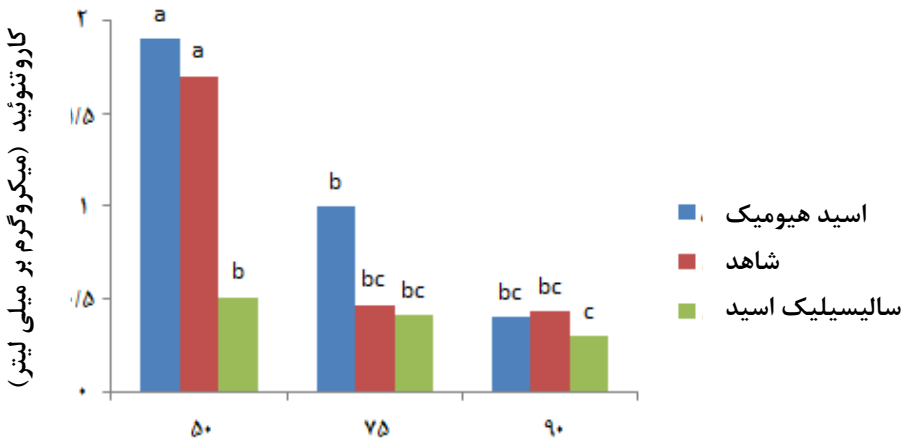
میانگین‌های با حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

### کاروتنوئیدها

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تنش خشکی، تنظیم کننده رشد و اثر برهم‌کنش تنش خشکی و تنظیم کننده رشد بر کاروتنوئیدها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان کاروتنوئیدها در ترکیب تیماری تنش شدید و محلول‌پاشی با اسید هیومیک بود (شکل ۴). علاوه بر این، اثر برهم‌کنش تنش خشکی و محلول‌پاشی

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]
[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

در شکل ۴ نشان داد که در شرایط تنش شدید کم‌ترین میزان کاروتنوئیدها در تیمار سالیسیلیک اسید و بیش‌ترین آن در تیمار اسید هیومیک مشاهده شد، هر چند که این افزایش در میزان کاروتنوئید معنی‌دار نبود. Zudan (۱۹۹۶) دریافت که محلول‌پاشی برگ‌های گندم با اسید هیومیک و فولویک در مزرعه و گلخانه سبب افزایش میزان کلروفیل در برگ‌ها شد. در شرایط بدون تنش اسید هیومیک اثر معنی‌داری نداشت و اسید سالیسیلیک نیز بی‌اثر بود. اما در شرایط تنش ملایم و شدید، اسید هیومیک به‌ترتیب (با ۲۱ و ۱۱/۲ درصد افزایش) نسبت به شاهد اثر تنش را تعدیل نمود، در این شرایط اسید سالیسیلیک در تنش شدید دارای اثر منفی و در تنش ملایم بی‌اثر بود. در زمان فتوسنتز، کاروتنوئیدها به‌عنوان محافظ کلروفیل گیاه عمل می‌کنند، به‌طوری که با رشد گیاه و ظهور رنگ نهایی همگام با کاهش کلروفیل، میزان کاروتنوئید زیاد می‌شود (Koo and Howe, 2009). با توجه به کاهش کلروفیل a و b در شرایط تنش شدید نسبت به شرایط بدون تنش می‌توان نتیجه گرفت که کاهش کاروتنوئیدها در این تیمار به دلیل تخریب کم‌تر کلروفیل بوده است. اسید سالیسیلیک به دلیل نقش مهمی که در محافظت از رنگدانه‌های فتوسنتزی دارد، می‌تواند باعث افزایش توان فتوسنتزی و عملکرد ذرت شود (Khodary, 2014).




**شکل ۴: اثر برهم‌کنش تنش خشکی و تنظیم کننده رشد بر کاروتنوئید ذرت علوفه‌ای.**

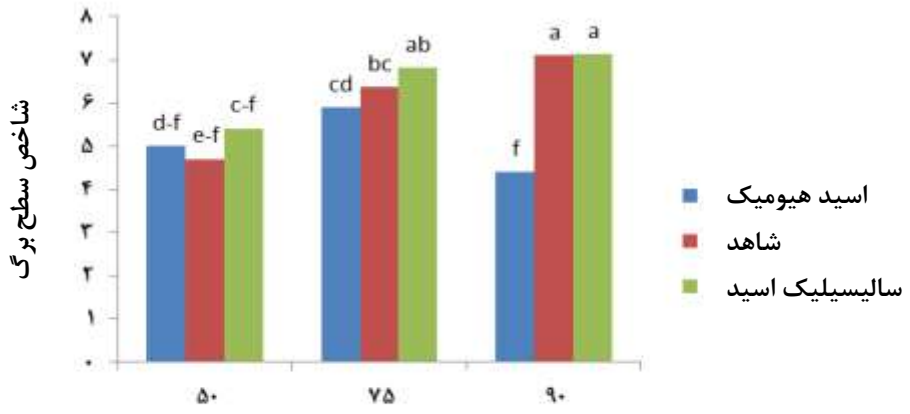
در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

### شاخص سطح برگ

نتایج نشان داد که اثر تنش خشکی و تنظیم کننده‌های رشد بر شاخص سطح برگ به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط بدون تنش، تحت تنش ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید مواد به‌کار رفته در محلول‌پاشی اثر مطلوبی داشتند، به‌گونه‌ای که در هر سه شرایط رطوبتی، اسید سالیسیلیک به‌ترتیب با ۳۷/۲

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]
[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

و ۲۸/۵ درصد افزایش اثر مثبتی از خود به جای گذاشت و در تنش شدید اسید سالیسیلیک بدون تفاوت معنی‌دار در مقایسه با تیمار شاهد، باعث افزایش شاخص سطح برگ (۵/۲۹) شد (شکل ۱). یافته‌های Makumbi و همکاران (۲۰۱۱) نیز مؤید همین موضوع است و اظهار داشت که میان گسترش و توسعه سطح برگ و آب موجود در گیاه ذرت همبستگی مثبت وجود داشت، به‌طوری که در گیاه تحت تنش کمبود آب، شاخص سطح برگ کاهش یافت. نتایج آزمایش‌های صورت گرفته سایر محققان بر آفتابگردان و ذرت نیز بر کاهش سطح برگ به ترتیب میزان ۲۴ و ۳۱ درصد به‌واسطه اختلال در فتوسنتز و کاهش کلروپلاست و در نتیجه زرد و نکروزه شدن سریع برگ‌ها در شرایط کمبود رطوبت خاک دلالت می‌کنند که به عنوان سازوکاری برای سازگاری به خشکی به شمار می‌آید (Gavloski, 1992; Flagella *et al*., 2012). به نظر می‌رسد اثر تنش در طول دوره رویشی منجر به کوچک شدن برگ‌ها گردید. اثر تنش خشکی در طول دوره رویشی منجر به کوچک شدن برگ‌ها شده، کلروفیل سازی در کمبودهای شدید متوقف شده و شاخص سطح برگ را در دوره رسیدن محصول و میزان جذب نور توسط گیاه ذرت را نیز کاهش داد (Camberato *et al*., 2018). سالسیلیک اسید باعث گسترش سیستم ریشه‌ای و حفظ سلامت آن و جذب بیش‌تر آب و مواد غذایی شده که در نهایت منجر تولید بیش‌تر برگ و سطح آن در گندم شد (Shakirova *et al*., 2013). نتایج تحقیقی نشان داد که سالسیلیک اسید با افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو سبب بهبود فتوسنتز و افزایش سطح برگ در سویا شد (Gutierrez-Coronado *et al*., 2008).




**شکل ۵: اثر برهم‌کنش تنش خشکی و تنظیم کننده رشد بر شاخص سطح برگ ذرت علوفه‌ای.**

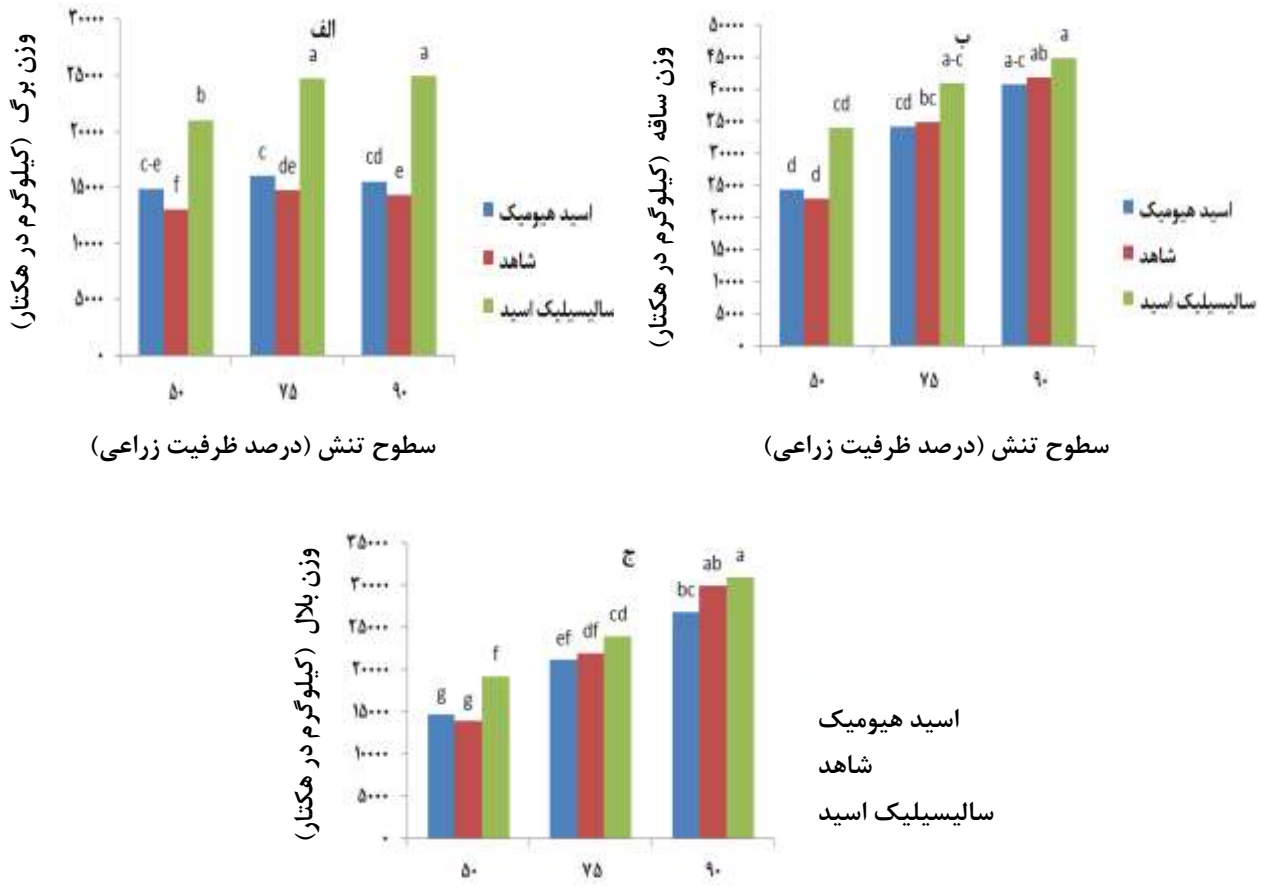
در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

### وزن برگ

بنابر جدول تجزیه واریانس وزن تر برگ تحت تأثیر اثر اصلی تنظیم کننده رشد و برهم‌کنش تنش و تنظیم کننده رشد واقع شد (جدول ۲). واکنش وزن تر برگ به مواد به کار رفته در تنظیم کننده رشد نیز متفاوت از هم بود. هر چند برای

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]
[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

وزن تر برگ با اعمال تنش بیش‌تر، میزان وزن‌گیری برگ‌ها کاهش یافت، ولی در شرایط بدون تنش، تحت تنش ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید مواد به کار رفته در محلول‌پاشی اثر مطلوبی داشتند، به‌گونه‌ای که در هر سه شرایط رطوبتی، اسید سالیسیلیک به‌ترتیب با ۵۷/۶ و ۴۸/۵ درصد افزایش اثر مثبتی از خود به جای گذاشت (شکل ۶ الف)، همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود محتوای زیاد پرولین در تیمار مذکور ممکن است از کاهش وزن تر برگ در شرایط تنش خشکی ممانعت کرده باشد. نتایج بررسی‌های محققان نشان داد محلول‌پاشی ذرت شیرین با سالیسلیک اسید باعث تعدیل تنش خشکی و افزایش وزن خشک گیاه شد (فلاح و مددی، ۱۳۹۷). طی پژوهشی محققان اظهار داشتند که سالیسیلیک اسید با افزایش جذب دی اکسید کربن و میزان فتوسنتز در افزایش وزن خشک گیاه موثر بوده است (Fariduddin *et al*., 2003).




**شکل ۶: اثر برهم‌کنش تنش خشکی و تنظیم کننده رشد بر وزن برگ (الف)، ساقه (ب) و بلال(ج) ذرت علوفه‌ای.**

در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

**وزن ساقه**

اثر تیمار تنظیم کننده رشد بر وزن تر ساقه در زمان برداشت معنی‌دار نبود، وزن تر ساقه تحت تأثیر تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد واقع شد و اثر برهم‌کنش این دو عامل نیز بر صفت مذکور پاسخ معنی‌داری را نشان داد (P<۰/۰۱) (جدول ۲). برای وزن تر ساقه، در مورد مواد به کار رفته در محلول‌پاشی تحت شرایط بدون تنش و تنش ملایم می‌توان گفت که اسید سالیسیلیک نسبت به اسید هیومیک اثر مثبت داشت، اما اثر هر دو تیمار نسبت به معنی‌دار نبود. تحت تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش ۴۲/۵ درصد نسبت به شاهد شد (شکل ۶ ب). محرم نژاد و همکاران (۱۳۹۵) نیز ثابت کردند تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی وزن تر ساقه (۱۳۶۷ کیلوگرم در هکتار) را به میزان ۳۸/۵ درصد کاهش داد. Kaman و همکاران (۲۰۱۱) اظهار داشتند تنش خشکی بر وزن تر اندام هوایی ذرت معنی‌دار بود و بیش‌ترین وزن تر ساقه در تیمار آبیاری در تمام فصل رشد گیاه و کم‌ترین آن در تیمار سه بار آبیاری در طول فصل رشد مشاهده شد. معمولاً در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش توسعه برگ‌ها، ساقه و کاهش میزان تجمع مواد ذخیره‌ای در این اندام‌ها از وزن تر کاسته می‌شود (Lamm, 2004). اعمال تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی در موجب محدودیت کربوهیدراتی و عدم تکامل، کاهش آهنگ فتوسنتز خالص، تجمع ماده خشک در برگ‌ها، ساقه، بلال و عملکرد دانه شد (Schussler and Westgate, 1991). Ahmad و همکاران (۲۰۱۸) پژوهشی اثر سالیسیلیک اسید را بر گیاه ذرت در شرایط تنش خشکی به‌صورت کم آبیاری از ابتدای رشد تا آخر فصل رشد مورد بررسی قرار دادند آن‌ها گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار وزن ساقه و در مقابل تیمار سالیسیلیک اسید باعث افزایش غیر معنی‌دار وزن ساقه گردیده است.

**وزن بلال**

اثر تیمار تنش خشکی بر وزن تر بلال در زمان برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. وزن تر بلال تحت اثر محلول‌پاشی (P<۰/۰۵) و اثر برهم‌کنش تنش خشکی نیز بر صفت مذکور در سطح یک درصد پاسخ معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲). در مورد وزن بلال شاهد آن بودیم که در شرایط بدون تنش و تنش ملایم، اسید سالیسیلیک به‌ترتیب با میزان ۳۲۰۱ و ۲۷۸۹ کیلوگرم در هکتار با داشتن اثر خنثی در برابر شاهد نسبت به اسید هیومیک به میزان ۱۸ درصد اثری افزایشی داشت و تیمار اسید هیومیک نیز نسبت به شاهد بی‌اثر بود؛ اما در شرایط تنش شدید تیمار اسید سالیسیلیک (۱۸۰۹ کیلوگرم در هکتار) با داشتن تفاوت معنی‌دار نسبت دیگران، برتری از خود نشان داد (شکل ۶ ج). از آنجایی که وزن گیری بلال در انتهای مراحل رشد گیاه اتفاق میافتد به نظر می‌رسد که تیمار اسید سالیسیلیک با حفظ سطح بالایی از

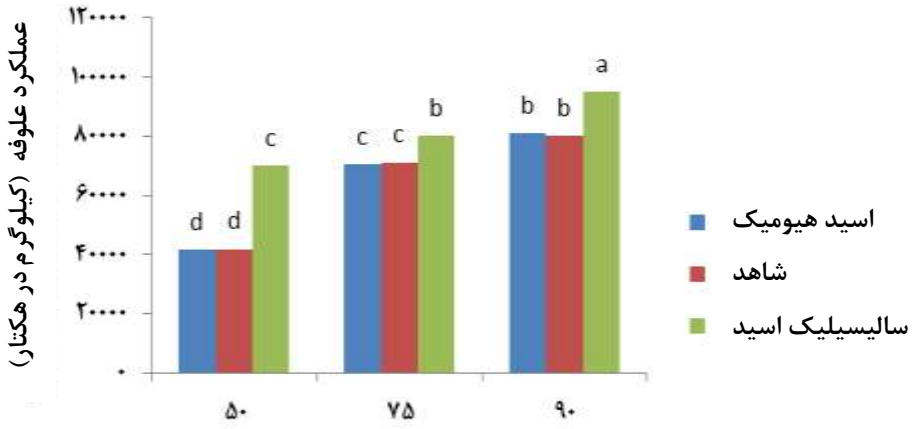
[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.20084403.1397.10.40.4.0 ]

پرولین و رطوبت نسبی موجب تداوم انجام فتوسنتز جاری برگ و در نتیجه کاهش اثر تنش خشکی بر وزن بلال شده است. Agarawal و همکاران (۲۰۱۵) اثر پیش تیمار سالیسیلیک اسید را در شرایط کمبود آب بر رشد سورگوم مورد بررسی قرار داد، آن‌ها گزارش کردند که سالیسیلیک اسید باعث افزایش وزن پانیکول سورگوم شده است.

**عملکرد علوفه**

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تنش خشکی در سطح احتمال پنج درصد و تنظیم کننده رشد و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر عملکرد علوفه تر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). شکل ۷ بیانگر این مطلب است که برای عملکرد علوفه تر در شرایط بدون تنش، تنش ملایم و شدید، اسید سالیسیلیک برتری معنی‌داری را نشان داد (به‌ترتیب ۲۰/۴، ۲۴/۴ و ۳۸/۱ درصد افزایش) و اسید هیومیک اثر معنی‌دار نداشت. در شرایط بدون تنش و تنش ملایم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به ترتیب با عملکرد ۹۲۵۱ و ۸۰۱۳ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. این افزایش به دلیل افزایش معنی‌دار وزن برگ و عمدتاً وزن بلال است (شکل ۷). Cosculleola and Fact (۱۹۹۲) نیز بر این موضوع تأکید کردند که کاهش عملکرد (۱۶۵۳ کیلوگرم در هکتار) در اثر تنش کمبود آب، ناشی از کاهش فتوسنتز گیاه ذرت در اثر کاهش پتانسیل آب برگ و سطوح فعال فتوسنتزی بوده است. خواجویی نژاد و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی گزارش کردند که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید عملکرد علوفه سورگوم را تحت شرایط تنش خشکی انتهای فصل افزایش داده است. آن‌ها همچنین گزارش کردند که علت افزایش عملکرد در گیاه در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید به دلیل افزایش توسعه سطح برگ در گیاهان محلول‌پاشی شده می‌باشد.




**شکل ۷: اثر برهم‌کنش تنش خشکی و تنظیم کننده رشد بر عملکرد ذرت علوفه‌ای.**

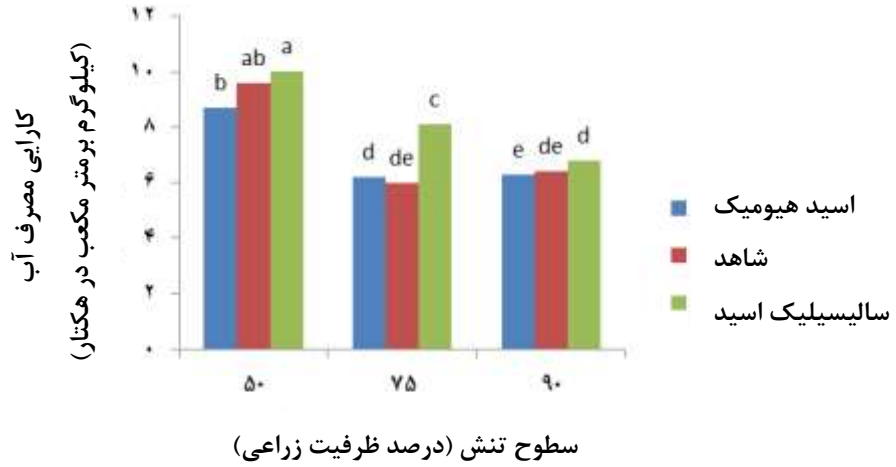
در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

### کارایی مصرف آب

اثر اصلی تنش خشکی، تنظیم کننده رشد و اثر برهم‌کنش تنش خشکی و تنظیم کننده رشد بر کارایی مصرف آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در بین مواد محلول‌پاشی شده، اسید سالیسیلیک بیش‌ترین اثر را در بالا بردن کارایی مصرف آب داشته است. مقایسه بین عکس‌العمل تنش آبی و محلول‌پاشی در خصوص کارایی مصرف آب (شکل ۸) نشان داد که در شرایط بدون تنش اسید سالیسیلیک و اسید هیومیک اختلاف معنی‌داری از خود نشان ندادند. در شرایط تنش ملایم، اسید سالیسیلیک با ۲۴/۷۴ درصد افزایش اثر مطلوبی در تعدیل کردن تنش وارده به گیاه ذرت داشت و در شرایط تنش شدید اسید سالیسیلیک (۱۰/۷۱ کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار) و اسید هیومیک (۸/۲۴ کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار) نسبت به شاهد اثر معنی‌داری نداشتند. هر عامل مدیریتی که بدون افزایش تبخیر و تعرق محدودیت‌های رشد گیاه را کاهش یا تعدیل دهد مسلماً باعث افزایش عملکرد و بازده مصرف آب خواهد شد ( Al-Kaisi and Yin, 2003). در آزمایش قلی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۷) بر اثر اسید سالیسیلیک بر کارآیی مصرف آب در جو در شرایط تنش خشکی کم‌ترین کارایی مصرف آب در شرایط آبیاری کامل و بدون مصرف اسید سالیسیلیک حاصل شد و با مصرف اسید سالیسیلیک تا شش میلی‌مولار کارایی مصرف آب افزایش یافت. همچنین با افزایش مصرف اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی در مقایسه با آبیاری کامل، کارایی مصرف آب افزایش یافت. فلاح و مددی (۱۳۹۷) در بررسی اثر اسید سالیسیلیک بر کارایی مصرف آب ذرت سیلویی تحت تنش خشکی دریافتند که محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه کارایی آب را به میزان ۲۱/۶ درصد افزایش داد و تاثیر مطلوبی در تعدیل کردن تنش وارده به گیاه ذرت داشت.




**شکل ۸: اثر برهم‌کنش تنش خشکی و تنظیم کننده رشد بر کارایی مصرف آب در ذرت علوفه‌ای.**

در هر سطح آبیاری میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

## نتیجه‌گیری

براساس نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر می‌توان بیان کرد که اعمال تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی اثر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد ذرت علوفه‌ای داشت. به‌طوری که بروز تنش خشکی شدید ۵۰ درصد ظرفیت زراعی عملکرد علوفه تر را به دلیل کاهش وزن برگ و بلال کاهش داد. بیش‌ترین نتایج مثبت اثر استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد بر عملکرد ذرت در شرایط تنش ملایم حاصل گردید و اثر تعدیل‌کنندگی آن‌ها در شرایط تنش خشکی در تولید محصول عمدتاً در مورد اسید سالیسیلیک مشاهده شد. در شرایط تنش شدید محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه (۷۳۲۱ کیلوگرم در هکتار) و کارایی مصرف آب (۱۰/۷۱ کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار) گردید. در این تحقیق پارامترهای مختلف از جمله رطوبت نسبی برگ، پرولین، شاخص سطح برگ و وزن تر ساقه، بلال و برگ پاسخ مناسبی نسبت به کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت محلول‌پاشی از خود نشان دادند. بنابراین اثر مثبت کاربرد اسید سالیسیلیک به صورت محلول‌پاشی، کاهش صدمه تنش بر تولید علوفه و کارایی مصرف آب در شرایط تنش ملایم با داشتن تفاوت معنی‌داری نسبت به اسید هیومیک بیانگر این است که کاربرد این ماده می‌تواند در افزایش تولید و کیفیت علوفه سیلویی ذرت در سطح متوسط تنش خشکی مفید باشد.

## سپاسگزاری

نگارنده از دانشگاه پیام نور اصفهان در حمایت از این طرح تحقیقاتی داخلی تشکر و قدردانی می‌نماید.

## منابع

**پروازی‌شندی، س.، پازکی، ع.، اصغرزاده، ا. و پاک‌نژاد، ف. ۱۳۹۱.** اثر دور آبیاری، اسید هیومیک و باکتری‌های محرک رشد بر ویژگی‌های گندم رقم کویر در منطقه شهر ری. فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۵ (۱۸): ۳۳-۱۹.

**حق جو، م. و بحرانی، ع. ۱۳۹۳.** اثر میزان آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و انتقال مجدد ماده خشک ذرت رقم سینگل کراس ۲۶۰. فصلنامه تحقیقات غلات. ۱۶ (۱۹): ۲۹۲-۲۷۸.

**خزاعی، ح.، فربانی، ص.، کافی، م. و بنایان اول، م. ۱۳۹۰.** اثر کاربرد اسید هیومیک در آب آبیاری بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت. نشریه بوم شناسی کشاورزی. ۲ (۱): ۱۱۸-۱۱۱.

**خواجویی‌نژاد، غ.، احمدی‌زاده، ا. و عبدالشاهی، ر. ۱۳۹۶.** تأثیر سالیسیلیک اسید بر ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکرد ارقام سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. فصلنامه تحقیقات غلات. ۷ (۴): ۶۰۳-۵۹۱.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

**دانشمند، ع.، شیرانی راد، ا. ح.، نورمحمدی، ق.، زارعی، ز. و دانشیان، ج. ۱۳۸۷.** بررسی روغن دانه و پروتئین دانه دو رقم کلزا و ارتباط آن با عملکرد روغن دانه و عملکرد پروتئین دانه، فصلنامه دانش کشاورزی ایران. ۵ (۳): ۳۱۴-۲۹۵.

**سورشجانی، س.ح.، شایان‌نژاد، م.، نادری، م. و حقیقتی، ب. ۱۳۹۴.** تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای (رقم NS) و تعیین عمق بهینه آبیاری آن در شرایط کمبود آب. مجله علوم آب و خاک. ۱۹ (۷۳): ۱۳۷-۱۲۵.

**عطارزاده، م.، ترابی، ب، و مداح حسینی، ش. ۱۳۹۳.** تأثیر پیش‌تیمار اسید سالیسیلیک و دمای بالا بر برخی صفات فیزیولوژیک ذرت (*Zea mays* L.). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۲ (۴): ۷۲۶-۷۱۸.

**فلاح، س. و مددی، ا. ۱۳۹۷.** اثر پرولین و اسید سالیسیلیک بر پارامترهای فیزیولوژیکی و عملکرد ذرت سیلویی تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۸ (۱): ۲۸-۱۶.

**قلی‌نژاد، ا. و ابهری، ع. ۱۳۹۷.** تاثیر سالیسیلیک اسید بر کارآیی مصرف آب در جو در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۶ (۳): ۷۱۰-۶۹۷.

**محرم نژاد، س.، نصراله‌زاده اصل، و.، شیری، م. و باغبانی، ف. ۱۳۹۵.** اثر تنش خشکی بر خصوصیات زراعی و بیوشیمیایی سه هیبرید ذرت. مجله علوم زراعی ایران. ۸ (۳۲): ۶۰-۴۵.

**نقی‌زاده ، م. و کبیری ، ر. ۱۳۹۵.** اثر برگ‌پاشی با سالیسیلیک اسید بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط تنش خشکی. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۹ (۴): ۳۲۷-۳۱۷.

**یداللهی، پ.، اصغری‌پور، م.، خیری، ن. و قادری، ا. ۱۳۹۳.** اثر تنش خشکی و انواع کود آلی بر عملکرد روغن و ویژگی‌های بیوشیمیایی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). مجله تولید گیاهان روغنی. ۱ (۲): ۴۰-۲۷.

**Agarawal, S., Sairam, R. K., Srivasta, G. C. and Meena, R. C. 2015.** Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in sorghum genotypes. International Journal of Agriculture and Biology, 6: 5-8.

**Ahmad, H., Khan, I., Jan, M. and Liaqat, W. 2018.** Effect of Salicylic Acid on Yield and Yield Components of Maize under Reduced Irrigation. international journal of environmental science and natural resources, 19(2): 257–263.

**Ali, Z. I. and Golombek, S. D. 2016.** Effect of drought and nitrogen availability on osmotic adjustment of five pearl millet cultivars in the vegetative growth stage. Journal of Agronomy and Crop Science, 202, 433–444.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

**Al-Kaisi, M. M. and Yin, X. 2003.** Effects of nitrogen rate, irrigation rate and Plant Population on corn yield and water use efficiency. Agronomy Journal, 95: 1475-1482.

**Asgher M., Khan, M. I. R., Anjum, N. A. and Khan, N. A. 2015.** Minimizing toxicity of cadmium in plants–role of plant growth regulators. Protoplasma, 252(2): 399–413.

**Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. 1973.** Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39(1): 205–207.

**Bronick, E. J. and Lai, R. 2005.** Soil structure and management. A review. Geoderma 124: 3-22.

**Camberato, J., Guo, Y.Y. and Bai, W. 2018.** Effects of Drought Stress on the Photosynthesis in Maize. Russian Journal of Plant Physiology, 65 (6): 849-856.

**Chen, J., Xu, W., Velten, J., Xin, Z. and Stout, J. 2012.** Characterization of maize inbred lines for drought and heat tolerance. Journal of Soil and Water Conservation, 67 (5): 354-364.

**Cosculleola, F. and Fact, J. M. 1992.** Determination of the maize (*Zea mays* L.) yield function in respect to water using a line source sprinkler. Field Crops. Abstract, 93:5611-5612.

**Curran, B., and Posch, J. 2001.** Agronomic management of silage for yield and quality: silage cutting height. Crop Insights. 10(2). Pioneer Hi-bred International.INC.

**Dinler, B. S., Demir, E. and Kompe, Y. O. 2014.** Regulation of auxin, abscisic acid and salicylic acid levels by ascorbate application under heat stress in sensitive and tolerant maize leaves. Acta Biologica Hungarica, 65(4): 469-80.

**El-Bassiony, Z. F. M., Fawzy, A. M., Abd El-Baky, M. H. and Mahmoud, A. R. 2010**. Response of snap bean plants to mineral fertilizers and humic acid application. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 6(2): 169-175.

**Fariduddin, Q., Hayat, S. and Ahmad, A. 2003.** Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in *Brassica juncea.* Photosynthetica, 41(2): 281-284.

**Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S. M. 2009.** Plant drought stress: effects mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development, 29: 185-212.

**Farre, I., Faci, J. M., 2006.** Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management. 83, 135- 143.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

**Fayez, K. A. and Bazaid, S. A. 2014.** Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13 (1): 45–55.

**Flagella, Z., Rotunno, T., Tarantino, E., Di Caterina, R. and De Caro, A. 2012.** Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. European Journal of Agronomy, 17: 221-230.

**Gavloski J. E., Whitfield G. H., and Ellis, C. R. 1992.** Effect of restricted watering on sap flow and growth in corn (*Zea mays* L.). Canadian Journalof Plant Science, 72(2): 361-368.

**Ghorbanali, M. L. and Niakan, M. 2005.** The effect of drought stress on soluble sugar, total protein, proline, phenolic compound, chlorophyll content and nitrate reductase activity in soybean (*Glycine max* L. cv. Gorgan3). Journal of Science, 5(1):537-549.

**Gomaa, M. A, Radwan, F. I., Khalil, G. A. M., Kandil, E. E. and El-Saber, M. M. 2017.** Impact of humic acid application on productivity of some maize hybrids under water stress conditions. Middle East Journal of Applied Sciences. 4(3): 668-673.

**Gutierrez-Coronado, M., Trejo, C.L. and Larque-Saavedra, A. 2008.** Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. Plos One. 11(5): 825-831.

**Hayat, S., Masood, A., Yusef, M., Fariduddin, Q. and Ahmad, A. 2009.** Growth of Indian *Zea mayz* in response to salicylic acid under drought stress. Braz Journal Plant Physiology, 21(3):187- 195.

**Hussein, M., Balbaa, K. and Gaballah, M. S. 2007.** Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. Journal of Chemical Ecology, 19(2): 237–247.

**Kaman, H., Kirda, C. and Sesveren, S. 2011.** Genotypic differences of maize in grain yield response to deficit irrigation. Agricultural Water Management 98: 801-807.

**Kocheva, K.V., Busheva, M.C., Goorgegiev, G.I., Lambreva, P.H. and Goltsev V.N. 2005.** Influence of short-term osmotic stress on the photosynthetic activity of barley seedlings. Plant Growth Regulation, 45:215-225.

**Koo A. J. K., and Howe G.A. 2009.** The wound hormone jasmonate. Phytochemistry, 70:1571-1580.

**Lamm, F. 2004.** Corn production as related to sprinkler irrigation capacity. 16th annual central plains irrigation conference, 17-18 Feb. 2004. Soc., Kearney, Nebraska.

**Lei, Y., Yin, C., Ren, J., and Li C. 2007.** Effect of osmotic stress and sodium nitroprusside pretreatment on proline metabolism of wheat seedlings. Australian Journal of Crop Science, 5 (10): 1255-1260.

**Lichtenthaler, H. K. 1987.** Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]

**Makumbi, D., Betraun, J. F., Baunziger, M. and Ribaut, J. M. 2011.** Combining ability, heterosis and genetic diversity in tropical maize (*Zea mays* L.) under stress and non-stress conditions. Euphytica, 180:143-162.

**Rajeshwari, V. and Bhuvaneshwari, V. 2017.** Salicylic acid induced salt stress tolerance in plants. International Journal of Plant Biology and Research, 5 (3): 1067-1072.

**Rodriguez, D. J. D., Philips, B. S., Rodriguiz- Garcia, R. and Angula- 2010.** Study of response of different Iranian bread wheat genotypes to different sowing dates under fullirrigation and terminal drought stress conditions. Research on Crops, 11 (1): 13-19.

**Schussler, J. R. and Westgate, M. E. 1991.** Maize kernel set at low water potential: II. Sensitivity to reduced assimilates at pollination. Crop Science, 31 (5):1196-1203.

**Shakirova, F. M., Sakhabutdinova, A. R., Bezrukova, M.V., Fatkhutdinova, R. A. and Fatkhutdinova, D. R. 2013.** Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science, 164: 317-322

**Sharifi, P. 2017.** Studying maize growth indices in different water stress conditions and the use of humic acid. Biomedical and Pharmacology Journal, 10(1):303-310.

**Shawquat, A. K. M., Abdul Karim, M., Abullah, A. M., Shahana, P., Mahfuz, M. B. and Altaf, M. H. 2015.** Plant water relations and proline accumulations in soybean under salt and water stress environment. Journal of Plant Sciences, 3(5):272-278.

**Verlinden, G., Coussens, T., De Vliegher, A. and Baert, G. 2010.** Effect of humic substances on uptake by herbage and on production and nutritive value of herbage from sown grass pastures and Forage Science Journal, 65: 133-144.

**Zudan, X. 1996.** The effect of foliar application of fulvic acid on water use, nutrient uptake and wheat yield. Australian. Journal of Agricultural Research, 37: 343-350.

[ Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0 ]