



## تحقیقات غلات

دوره هفتم / شماره چهارم / زمستان ۱۳۹۶ (۶۰۳-۵۹۱)

# تأثیر سالیسیلیک اسید بر ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکرد ارقام سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

امین احمدی زاده<sup>۱</sup>، غلامرضا خواجه‌بویی نژاد<sup>۲\*</sup> و روح‌الله عبدالشاهی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۲۹

### چکیده

به منظور ارزیابی تأثیر سالیسیلیک اسید بر ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکرد ارقام سورگوم تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل سه سطح آبیاری بر اساس تبخیر از تشتک تبخیر (۴۰، ۸۰ و ۱۱۰ میلی‌متر) و ترکیب غلظت‌های سالیسیلیک اسید در سه سطح (صفر، یک و دو میلی مولار) و ارقام سورگوم در دو سطح (اسپیدفید و پگاه) به عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که تأثیر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر صفات مورد بررسی، به جز صفت شاخص برداشت، معنی‌دار بود. برهم‌کنش آبیاری و سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه و تعداد برگ و برهم‌کنش آبیاری و رقم بر تعداد برگ معنی‌دار بود. بین ارقام سورگوم نیز تفاوت معنی‌داری برای صفات مورد بررسی مشاهده شد و رقم اسپیدفید نسبت به رقم پگاه برتری خود را نشان داد. تنش خشکی شدید باعث کاهش ارتفاع بوته، تعداد برگ، عملکرد علوفه‌تر، عملکرد علوفه خشک، وزن هزار دانه، کلروفیل، عملکرد دانه و عملکرد زیستی به ترتیب به میزان ۴۱/۵، ۳۷/۷، ۳۳/۲، ۲۶/۰، ۵۳/۷، ۳۳/۷ و ۳۲/۵ درصد نسبت به شاهد شد. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی با غلظت دو میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بیشترین تأثیر را بر صفات مورد بررسی داشت و موجب افزایش ارتفاع بوته، عملکرد علوفه‌تر، عملکرد علوفه خشک، کلروفیل، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و عملکرد دانه به ترتیب به میزان ۱۵/۰، ۸/۱، ۸/۲، ۱۶/۷، ۱۵/۳، ۹/۳ و ۱۹/۱ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین، کاربرد سالیسیلیک اسید نقش مؤثری در کاهش آسیب‌های ناشی از تنش خشکی بر عملکرد ارقام سورگوم داشت، به طوری که محلول‌پاشی دو میلی‌مولار سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش خشکی شدید به میزان ۳۷ درصد اثر تنش خشکی را بر عملکرد دانه کاهش داد و بنابراین کاربرد آن تحت شرایط محدودیت آب توصیه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** تبخیر، تنش خشکی، شاخص برداشت، عملکرد دانه، عملکرد علوفه

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

\* نویسنده مسئول: [khajoei@uk.ac.ir](mailto:khajoei@uk.ac.ir)

## مقدمه

سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای مقاوم به خشکی، برای تولید علوفه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا مناسب است (Zerbini and Thomas, 2003). این گیاه شباهت زیادی به ذرت دارد، ولی نیاز آبی آن کم‌تر از ذرت است. سیستم ریشه سورگوم در مقایسه با سایر گیاهان زراعی توانایی بیشتری در جذب آب دارد. با توجه به کمبود علوفه برای تولید فرآورده‌های دامی در ایران، لازم است گیاهان علوفه‌ای با ظرفیت تولید بالا و کیفیت مطلوب کشت شوند. در این میان سورگوم علوفه‌ای از ظرفیت تولید بالاتری برخوردار است و اگرچه زیست‌محیط آن همانند بیشتر گیاهان زراعی تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد، ولی سازگاری خوبی با شرایط اقلیم‌های مختلف دارد و جایگاه خاصی با تعداد چین‌برداری و نحوه مصارف گوناگون دارد (Fouman, 2010).

تنش‌ها به عنوان عوامل محدودکننده رشد گیاهان و تولید محصولات زراعی در سراسر جهان مطرح هستند (Abedi and Pakniyat, 2012). خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محدودکننده تولید در گیاهان زراعی در سرتاسر جهان است (Omidi et al., 2012). افزایش تنش خشکی در گیاه ارزن منجر به کاهش وزن خشک کل گیاه شد (Mousavi et al., 2009). وحیدی و همکاران (Vahidi et al., 2015) در تحقیقی بر روی ارقام سورگوم با سه سطح خشکی ۵۰، ۸۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر گزارش کردند که اختلاف آماری معنی‌داری بین سطوح آبیاری مشاهده نشد. در این مطالعه، بین ارقام مختلف سورگوم اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد دانه و عملکرد زیستی مشاهده کردند.

سالیسیلیک اسید (SA) یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید و ترکیبات مربوطه به گروهی از ترکیبات فنلی تعلق دارند، سالیسیلیک اسید به وسیله سلول‌های ریشه تولید می‌شود و نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک مختلف مثل رشد، تکامل گیاه، جذب یون، فتوسنتز و جوانه‌زنی ایفا می‌کند. یکی از مشتقات سالیسیلیک اسید، استیل سالیسیلیک اسید است که بعد از جذب، سریعاً به سالیسیلیک اسید تبدیل می‌شود (El-Tayeb, 2005). سالیسیلیک اسید امروزه به عنوان ماده هورمونی محسوب می‌گردد که نقش مهمی در رشد و نمو گیاهان ایفا می‌کند.

سالیسیلیک اسید در گیاهانی که تحت تنش‌های محیطی قرار دارند، نقش حفاظتی داشته و سبب افزایش مقاومت به کمبود آب می‌شود (Kang, 2003). حیات و همکاران (Hayat et al., 2005) اظهار نمودند که گیاهچه‌های گندمی که با محلول ۱۰-۵ میلی مولار سالیسیلیک اسید تیمار شده بودند، تعداد برگ بیشتری داشتند سالیسیلیک اسید باعث افزایش مقدار لیگنین دیواره سلولی می‌شود که می‌تواند عاملی در افزایش قطر ساقه گیاهان در معرض تنش خشکی باشد (Al-Hakimi, 2008). دیانت مهارلویی و همکاران (Dianat Maharlouei et al., 2014) در تحقیقی در سورگوم با سه سطح سالیسیلیک اسید (صفر، ۰/۷۵ و ۱/۵ میلی مولار) گزارش کردند که غلظت‌های به کار رفته از نظر آماری اختلاف معنی‌داری داشتند و کاربرد ۱/۵ میلی مولار بیشترین تأثیر را بر صفات مورد مطالعه داشت. حیات و همکاران (Hayat et al., 2010) گزارش کردند محلول پاشی سالیسیلیک اسید باعث افزایش معنی‌دار در ارتفاع گیاه گندم شد. شرایط تنش خشکی آب کشیدگی و کاهش حجم سلولی در اندام‌های هوایی بیشتر از ریشه‌ها رخ می‌دهد، بنابراین تحت این شرایط ذخایر فتوسنتزی بیشتری به ریشه‌ها تخصیص داده می‌شود و وزن اندام‌های هوایی کاهش می‌یابد و گیاه بیشتر انرژی خود را صرف حفظ و بقا در شرایط تنش کرده و در نتیجه رشد و توسعه سلولی خود را کاهش و در شدیدترین حالت تنش، متوقف می‌کند (Sreevalli et al., 2001). طریق‌الاسلامی و همکاران (Tarigh-Al Eslami et al., 2016) در تحقیقی روی ذرت گزارش کردند که اثر تنش خشکی و محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه و شاخص کلروفیل معنی‌دار بود. زمانی‌نژاد و همکاران (Zamaninejad et al., 2013) گزارش کردند که تأثیر تنش خشکی و کاربرد سالیسیلیک اسید (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی مولار) بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه ذرت معنی‌دار بود. حبیب‌پور و همکاران (Habibpour et al., 2016) در پژوهشی روی ذرت شیرین گزارش کردند که تأثیر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر وزن هزار دانه، عملکرد علوفه‌تر و خشک معنی‌دار بود. تنش خشکی به طور قابل توجهی فتوسنتز و محتوای کلروفیل را کاهش داد و محلول پاشی سالیسیلیک اسید باعث افزایش فتوسنتز و محتوای کلروفیل در شرایط تنش خشکی شد (Yanping Tang et al., 2017). محرابیان مقدم و همکاران (Mehrabian et al., 2011) گزارش کردند که تأثیر تنش

آبیاری به ترتیب  $I_1=40$ ،  $I_2=80$  و  $I_3=110$  معادل ۷۹۸۴، ۳۹۹۳ و ۲۶۶۱ متر مکعب در هکتار بود. تیمارهای آبیاری و سالیسیلیک اسید بر اساس نیاز گیاه و تحقیقات صورت گرفته توسط سایر محققین (که در قسمت مقدمه به آن پرداخته شد) انتخاب شدند.

با توجه به نتایج مطالعات قبلی در مورد غلظت‌های سالیسیلیک اسید که نتایج مطلوبی نیز گزارش شده است، در این تحقیق غلظت دو میلی‌مولار نیز مورد آزمایش قرار گرفت. از نظر ارقام مورد بررسی، رقم اسپیدفید دارای تیپ علفی جهت مصرف علوفه تازه و چرای مستقیم، علوفه خشک و مصرف سیلویی، دارای دو تا سه چین در سال، متحمل به تنش‌های محیطی و عملکرد علوفه تر ۱۳۰-۹۰ تن در هکتار و علوفه خشک تر ۲۱-۱۷ تن در هکتار است. رقم پگاه دارای تیپ علفی جهت مصرف علوفه تازه و چرای مستقیم، علوفه خشک و مصرف سیلویی و دارای دو چین در سال است و میانگین عملکرد علوفه تر آن ۱۳۰ تن در هکتار و علوفه خشک آن ۳۰-۲۳/۵ تن در هکتار است و ۱۲ درصد پروتئین دارد (Fouman et al., 2008).

هر واحد آزمایشی (کرت) شامل سه ردیف کاشت به طول پنج متر، فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر و فاصله گیاهان روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر بود و بین کرت‌های مجاور نیز دو ردیف کاشت (۱۲۰ سانتی‌متر) فاصله اعمال شد. پس از اجرای مراحل آماده‌سازی و ایجاد جوی و پشته، اولین آبیاری قبل از کاشت انجام گرفت که پس از گاورو شدن زمین، عملیات کاشت به صورت دستی روی پشته‌ها در عمق ۱/۵ سانتی‌متر انجام شد. تیمارهای آبیاری در مرحله شش برگی اعمال شدند (پس از استقرار گیاهان) و بلافاصله اولین محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید انجام شد. محلول‌پاشی دوم دو هفته بعد از محلول‌پاشی اول و مرحله سوم در زمان گلدهی انجام شد. بعد از مرحله گلدهی، ۱۰ بوته برای هر تیمار در هر تکرار به‌طور تصادفی انتخاب و صفات مورد نظر روی آن‌ها اندازه‌گیری شد. محتوای کلروفیل با دستگاه کلروفیل‌متر دستی (SPAD) اندازه‌گیری شد. در اواسط مهرماه برای تعیین عملکرد نهایی پس از حذف اثر حاشیه، برداشت گیاهان در سطح باقی‌مانده انجام گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌های آماری با نرم‌افزار SAS و MSTAT-C و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

خشکی بر کلروفیل، عملکرد علوفه خشک، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه معنی‌دار شد. کاهش میزان کلروفیل تحت تنش خشکی در سورگوم توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است (Sanchez-Blanco et al., 2006). خزایی و فومن (Khazaei and Fouman, 2012) در بررسی سطوح خشکی ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر روی گیاه سورگوم علوفه‌ای گزارش کردند که با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه کاهش یافت. همچنین بیات و سپهری (Bayat and Sepehri, 2014) بیان کردند غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در سطوح آبیاری ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ذرت به ترتیب عملکرد دانه ذرت را به ترتیب ۱۵/۸۴، ۲۰/۸۲ و ۲۹/۷۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین کاربرد سالیسیلیک اسید به‌صورت اسپری برگی در گیاه ذرت باعث افزایش تعداد برگ در بوته شد (Khodary, 2004). هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر سطوح مختلف سالیسیلیک اسید بر بهبود برخی ویژگی‌های رشدی، مورفولوژیک و عملکرد ارقام سورگوم علوفه‌ای تحت رژیم‌های مختلف آبیاری می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام سورگوم در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال ۱۳۹۴ اجرا شد. این منطقه با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی در جنوب شرقی ایران واقع شده است و دارای میانگین بارندگی سالانه ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۷۴۵ متر از سطح دریا است و بر اساس تقسیم‌بندی آمبرژه دارای آب و هوای گرم و خشک است. خاک محل اجرای آزمایش دارای بافت لومی شنی، با هدایت الکتریکی ۱/۳ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیته ۷/۶ بود. آبیاری به‌عنوان کرت اصلی ( $I_1=40$ ،  $I_2=80$  و  $I_3=110$  میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و غلظت سالیسیلیک اسید ( $SA_1=0$ ،  $SA_2=1$  و  $SA_3=2$  میلی‌مولار) و ارقام سورگوم (اسپیدفید =  $V_1$  و پگاه =  $V_2$ ) به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. در هر مرحله آبیاری حجم آب ورودی به کرت‌ها کنترل شد و حجم آب در هکتار برای تیمارهای

## نتایج و بحث

**ارتفاع بوته:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری و سالیسیلیک اسید و رقم بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول ۱). تنش خشکی شدید ( $I_3$ ) باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته را به میزان ۴۱/۵٪ نسبت به شاهد ( $I_1$ ) شد (جدول ۲). کاهش ارتفاع گیاه به موازات افزایش تنش خشکی را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به واسطه تنش خشکی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارائه به اندام‌های در حال رشد گیاه و نهایتاً عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع نسبت داد. هامرونی و همکاران (Hamrouni et al., 2001) بیان کردند که خشکی منجر به کاهش ارتفاع گیاه می‌شود و این کاهش ارتفاع ناشی از کاهش تقسیم سلولی و اندازه سلول است. مصرف دو میلی‌مولار ( $SA_3$ ) سالیسیلیک اسید باعث افزایش ۱۵/۰ درصدی ارتفاع بوته نسبت به عدم مصرف آن ( $SA_1$ ) شد (جدول ۳).

کمبود آب موجب کاهش تورژسانس سلولی می‌شود و در نهایت کاهش رشد و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها را به دنبال خواهد داشت. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود. به همین دلیل، اولین اثر محسوس کم‌آبی بر گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا اندازه کوچک‌تر برگ‌ها تشخیص داد. طبق بررسی‌های انجام‌شده، تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته گندم از طریق کاهش رشد سلول (کاهش تقسیم سلول و کاهش اندازه سلول) در مرحله رشد رویشی شد (Shibli et al., 2007). حیات و همکاران (Hayat et al., 2010) نیز گزارش کردند که محلول پاشی سالیسیلیک اسید باعث افزایش معنی‌داری در ارتفاع گیاه گندم شد. بیشترین ارتفاع (۲۳۲/۶ سانتی‌متر) از رقم اسپیدفید و کمترین ارتفاع (۲۲۰/۲ سانتی‌متر) از رقم پگاه حاصل شد (جدول ۴).

**قطر ساقه:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر دور آبیاری، سالیسیلیک اسید و رقم بر قطر ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). تنش خشکی شدید ( $I_3$ ) باعث کاهش ۲۸/۲ درصدی قطر ساقه نسبت به شاهد ( $I_1$ ) شد (جدول ۲). کاهش قطر ساقه در نتیجه تنش خشکی می‌تواند به دلیل کاهش آماس و حجم سلولی باشد که منجر به کاهش قطر ساقه شده است. کمبود آب بر رشد سلول‌ها دارای اثر منفی است و بر تشکیل سلول‌های آوند چوبی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای اثر می‌گذارد و مقدار آن را

کاهش می‌دهد (Rigling et al., 2003). نادوار و همکاران (Nadvar et al., 2005) طی آزمایشی وجود رابطه مستقیم بین مصرف آب کم‌تر و کاهش قطر را گزارش کردند. بیش‌ترین میانگین قطر ساقه با ۱/۹ سانتی‌متر از غلظت دو میلی‌مولار ( $SA_3$ ) و کمترین قطر ساقه با ۱/۵ سانتی‌متر از تیمار شاهد حاصل شد (جدول ۳). سالیسیلیک اسید باعث افزایش مقدار لیگنین دیواره سلولی می‌شود که می‌تواند عاملی در افزایش قطر ساقه گیاهان در معرض تنش خشکی باشد (Al-Hakimi, 2008). میانگین بیشترین قطر ساقه مربوط به رقم پگاه با ۱/۹ سانتی‌متر بود (جدول ۴).

**تعداد برگ:** اثر آبیاری، سالیسیلیک اسید و رقم و برهمکنش آبیاری و سالیسیلیک اسید و نیز آبیاری و رقم بر تعداد برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). برهمکنش آبیاری و سالیسیلیک اسید بر این صفت معنی‌دار شد که نشان‌دهنده تأثیر متفاوت سطوح محلول پاشی سالیسیلیک اسید تحت شرایط متفاوت تنش خشکی می‌باشد. در تمام سطوح آبیاری، محلول پاشی با سطوح بالای سالیسیلیک اسید موجب افزایش معنی‌دار تعداد برگ در بوته شد، اما در تنش شدید ( $I_3$ ) اعمال محلول پاشی نسبت به عدم کاربرد (شاهد) مؤثرتر بود و افزایش بیش‌تری نسبت به سایر سطوح آبیاری نشان داد (شکل ۱-۱). کاربرد دو میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شدید، آثار مضر تنش را بر تعداد برگ کاهش داد. این کاهش نسبت به شاهد ( $I_1$ ,  $SA_1$ ) در سطح آبیاری ( $I_2$ ) و محلول پاشی دو میلی‌مولار ( $SA_3$ ) معنی‌دار نبود (شکل ۱-۲). محلول پاشی با دو میلی‌مولار در شرایط تنش شدید ( $I_3$ ) تنها ۲۹ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. بیش‌ترین تعداد برگ از تیمار شاهد آبیاری ( $I_1$ ) و غلظت دو میلی‌مولار سالیسیلیک اسید ( $SA_3$ ) به‌دست آمد (شکل ۱-۳). تعداد برگ تحت تأثیر ارتفاع بوته قرار دارد، به‌طوری‌که در تیمار ( $I_3$ ) ارتفاع کم‌تر منجر به تعداد برگ کمتری شد. به‌نظر می‌رسد که تنش خشکی روی تقسیم سلول‌های اولیه برگ و تمایز آن‌ها تأثیر می‌گذارد و سبب کاهش تعداد برگ می‌شود. عبدل و همکاران (Abdul Jaleel et al., 2009) گزارش کردند که کاهش پتانسیل آب خاک منجر به کاهش تولید برگ جدید در گیاه می‌شود. کاربرد سالیسیلیک اسید به‌صورت اسپری برگی در گیاه ذرت باعث افزایش تعداد برگ در بوته شد (Khodary, 2004). حیات و همکاران (Hayat et al., 2005) بیان

کردند که گیاهچه‌های گندمی که با سالیسیلیک اسید تیمار شده بودند، تعداد برگ بیش‌تری داشتند. برهم‌کنش آبیاری و رقم نیز بر تعداد برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری و رقم نشان داد که رقم اسپیدفید در تمام شرایط آبیاری افزایش معنی‌داری از نظر تعداد برگ نسبت به رقم پگاه نشان داد (شکل ۱-ب).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در ارقام سورگوم

Table 1. Analysis of variance of measured traits in sorghum varieties

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield	تعداد برگ No. of leaf	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	کلروفیل Chloro phyll	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد زیستی Biologic yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
آبیاری (A) Irrigation (A)	2	62619.7**	1.51**	600.6**	2157.8**	213.3*	372.7**	27.0**	335.2**	15.14**	2.60 <sup>ns</sup>
خطای a Main error	4	71.56	0.002	11.47	54.37	13.57	14.1	61.2	18.56	0.35	0.74
سالیسیلیک اسید (B) Salicylic acid (B)	2	6052.8**	0.88**	194.5**	536.5**	9.82*	716.3**	109.7**	20.3**	4.02**	9.98 <sup>ns</sup>
رقم (V) Cultivar (V)	1	2059.9*	3.54**	91.85**	1568.1*	147.2**	262.7**	37.8**	184.9**	1.98**	31.57**
A×B	4	22.78 <sup>ns</sup>	0.0025 <sup>ns</sup>	3.95 <sup>ns</sup>	20.46*	0.66 <sup>ns</sup>	6.58 <sup>ns</sup>	0.61 <sup>ns</sup>	0.69 <sup>ns</sup>	0.60*	0.38 <sup>ns</sup>
A×V	2	11.37 <sup>ns</sup>	0.024 <sup>ns</sup>	22.98 <sup>ns</sup>	127.0**	2.08 <sup>ns</sup>	7.60 <sup>ns</sup>	3.98 <sup>ns</sup>	1.71 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	8.36 <sup>ns</sup>
B×V	2	9.53 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	0.13 <sup>ns</sup>	4.95 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	0.29 <sup>ns</sup>	0.009 <sup>ns</sup>	0.072 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	1.33 <sup>ns</sup>
A×B×V	4	51.9 <sup>ns</sup>	0.0026 <sup>ns</sup>	1.71 <sup>ns</sup>	5.42 <sup>ns</sup>	0.036 <sup>ns</sup>	3.01 <sup>ns</sup>	0.49 <sup>ns</sup>	0.094 <sup>ns</sup>	0.017 <sup>ns</sup>	0.32 <sup>ns</sup>
خطای فرعی Sub-error	30	162.02	0.046	7.51	6.05	2.37	5.18	2.44	2.62	0.20	3.78
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	5.62	12.32	3.5	8.38	8.94	5.87	5.22	7.46	10.04	9.02

<sup>ns</sup>, \* و \*\*: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

<sup>ns</sup>, \* and \*\*: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

کشیدگی و کاهش حجم سلول‌ها در اندام‌های هوایی بیش‌تر از ریشه‌ها رخ می‌دهد و بنابراین تحت این شرایط ذخایر فتوسنتزی بیشتری به ریشه‌ها تخصیص داده می‌شود و وزن اندام‌های هوایی کاهش می‌یابد. در نتیجه گیاه بیش‌تر انرژی خود را صرف حفظ و بقا در شرایط تنش می‌کند و رشد و توسعه سلولی خود را کاهش می‌دهد و در تنش شدید، رشد را متوقف می‌کند (Sreevalli *et al.*, 2001). نتایج این تحقیق با نتایج پاندا و همکاران (Panda *et al.*, 2004) که بیان کردند با افزایش تنش خشکی عملکرد علوفه خشک کاهش می‌یابد، مطابقت داشت.

اثر سالیسیلیک اسید بر عملکرد علوفه تر و خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید باعث افزایش پارامترهای

### عملکرد علوفه تر و خشک: نتایج تجزیه واریانس

نشان داد که تأثیر آبیاری بر عملکرد علوفه تر و خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش فاصله آبیاری عملکرد علوفه تر و خشک کاهش معنی‌داری را نشان داد. اعمال تنش خشکی شدید (I<sub>3</sub>) باعث کاهش عملکرد علوفه تر و خشک به ترتیب به میزان ۳۷/۷ و ۳۳/۱ درصد نسبت به شاهد شد (جدول ۲). کاهش عملکرد علوفه خشک گیاه در شرایط خشکی می‌تواند به دلیل کاهش سطح فتوسنتز کننده، کاهش تولید کلروفیل، افزایش انرژی مصرفی گیاه جهت بالا بردن غلظت شیره سلولی و تغییر در مسیرهای تنفسی و فعال شدن مسیر پنتوز فسفات و یا افزایش حجم ریشه و غیره باشد (Ardakani *et al.*, 2007). تحت شرایط تنش خشکی،

(*et al.*, 2016). بر اساس نتایج آزمایش حیات و احمد (*Hayat et al.*, 2007)، گیاهان گندمی که با سالیسیلیک اسید تیمار شده بودند، دارای وزن تر و خشک بالاتری نسبت به گیاهان شاهد بودند. رقم اسپیدیفید با توجه به ویژگی‌های رشدی بهتر (ارتفاع بلندتر و تعداد برگ، تعداد پنجه و تعداد شاخه‌های فرعی بیشتر)، عملکرد علوفه تر و خشک بیش-تری نسبت به رقم پگاه داشت و ۱۷/۵ درصد نسبت به رقم پگاه افزایش نشان داد (جدول ۴).

رشد گیاه (ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ و غیره) و در نتیجه افزایش عملکرد علوفه شد، به طوری که محلول پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت دو میلی‌مولار (SA<sub>3</sub>) باعث افزایش معنی‌دار عملکرد علوفه تر و خشک به ترتیب به میزان ۸/۱ و ۸/۲ درصد نسبت به شاهد (SA<sub>1</sub>) شد (جدول ۳). کمبود آب منجر به کاهش نرخ خالص فتوسنتز و ماده خشک شد و کاربرد سالیسیلیک اسید در بهبود اثر منفی تنش خشکی بر این صفات مفید واقع شد (Yousefzadeh).

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در سورگوم در سطوح مختلف آبیاری

Table 2. Mean comparisons of the evaluated traits in sorghum in different irrigation levels

تنش آبی * Water stress*	ارتفاع بوته Plant height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (cm)	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield (t/ha)	تعداد برگ Leaf number	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (kg/h)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index (SPAD)	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)	عملکرد زیستی Biological yield (t/ha)	شاخص برداشت Harvest index (%)
I <sub>1</sub>	284.4 <sup>a</sup>	2.05 <sup>a</sup>	96.6 <sup>a</sup>	40.0 <sup>a</sup>	17979 <sup>a</sup>	52.9 <sup>a</sup>	33.7 <sup>a</sup>	5204 <sup>a</sup>	26.4 <sup>a</sup>	21.2 <sup>b</sup>
I <sub>2</sub>	228.3 <sup>b</sup>	1.75 <sup>b</sup>	75.6 <sup>b</sup>	30.0 <sup>b</sup>	16485 <sup>ab</sup>	39.1 <sup>b</sup>	30.2 <sup>b</sup>	4438 <sup>b</sup>	20.9 <sup>b</sup>	21.9 <sup>a</sup>
I <sub>3</sub>	166.5 <sup>c</sup>	1.45 <sup>c</sup>	60.2 <sup>c</sup>	18.1 <sup>c</sup>	14220 <sup>b</sup>	24.1 <sup>c</sup>	25.9 <sup>c</sup>	3456 <sup>c</sup>	17.9 <sup>c</sup>	21.0 <sup>b</sup>

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

\*: I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub> به ترتیب ۴۰، ۸۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A هستند.

Means followed by the same letters are not significantly different by Duncan's test at 5% probability level.

\*: I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> and I<sub>3</sub> are 80, 40, and 110 mm evaporation from the class A evaporation pan, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در سورگوم در سطوح سالیسیلیک اسید

Table 3. Mean comparisons of the evaluated traits in sorghum in salicylic acid levels

سالیسیلیک اسید* Salicylic acid*	ارتفاع بوته Plant height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (cm)	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield (t/ha)	تعداد برگ Leaf number	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (kg/h)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index (SPAD)	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)	عملکرد زیستی Biological yield (t/ha)	شاخص برداشت Harvest index (%)
SA <sub>3</sub>	244.6 <sup>a</sup>	1.98 <sup>a</sup>	80.9 <sup>a</sup>	34.9 <sup>a</sup>	17979 <sup>a</sup>	45.3 <sup>a</sup>	41.3 <sup>a</sup>	4887 <sup>a</sup>	22.8 <sup>a</sup>	22.3 <sup>a</sup>
SA <sub>2</sub>	226.6 <sup>b</sup>	1.74 <sup>b</sup>	77.3 <sup>b</sup>	29.2 <sup>b</sup>	17172 <sup>ab</sup>	38.1 <sup>b</sup>	29.9 <sup>b</sup>	4552 <sup>b</sup>	21.6 <sup>b</sup>	21.7 <sup>ab</sup>
SA <sub>1</sub>	207.9 <sup>c</sup>	1.54 <sup>c</sup>	74.3 <sup>c</sup>	24.0 <sup>c</sup>	16503 <sup>b</sup>	32.7 <sup>c</sup>	27.5 <sup>c</sup>	3954 <sup>c</sup>	20.7 <sup>b</sup>	20.7 <sup>b</sup>

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

\*: SA<sub>1</sub>, SA<sub>2</sub> و SA<sub>3</sub> به ترتیب غلظت‌های ۰، ۱ و ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید هستند.

Means followed by the same letters are not significantly different by Duncan's test at 5% probability level.

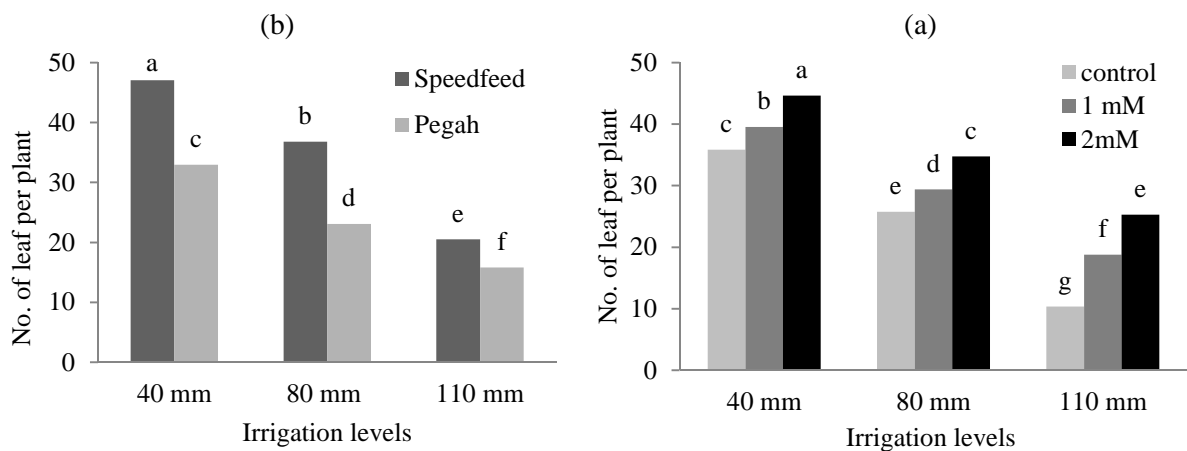
\*: SA<sub>1</sub>, SA<sub>2</sub> and SA<sub>3</sub> are 0, 1 and 2 mM salicylic acid concentrations.

احتمال یک درصد معنی‌دار بود. (جدول ۱). افزایش دور آبیاری باعث کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل شد. کاهش

شاخص کلروفیل (SPAD): اثر رژیم‌های آبیاری، سالیسیلیک اسید و رقم بر میزان کلروفیل برگ در سطح

درصدی محتوای کلروفیل شد و هر سه غلظت مورد استفاده، اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۳). می‌توان گفت که احتمالاً استفاده از سالیسیلیک اسید با جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های کلروفیل‌اکسیداز مانع تجزیه کلروفیل می‌شود و از این طریق، فتوسنتز را افزایش می‌دهد. یانپینگ تانگ و همکاران (Yanping Tang *et al.*, 2017) گزارش کردند که تنش خشکی محتوای کلروفیل را کاهش داد، ولی کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش محتوای کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی شد. میزان کلروفیل رقم اسپیدفید ۱۰/۸ درصد از رقم پگاه بیشتر بود (جدول ۴).

میزان کلروفیل در تنش شدید ( $I_3$ ) نسبت به شاهد ( $I_1$ ) ۵۳/۷ درصد بود (جدول ۲). دلیل کاهش محتوای کلروفیل در هنگام بروز تنش خشکی، کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات می‌باشد. به نظر می‌رسد که کاهش غلظت کلروفیل تحت شرایط خشکی به‌واسطه اثر کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل می‌باشد (Panda *et al.*, 2004). کاهش میزان کلروفیل تحت تنش خشکی در سورگوم با نتایج پژوهش سانچز-بلانکو و همکاران (Sanchez-Blanco *et al.*, 2006) در ذرت مطابقت داشت. محلول‌پاشی با غلظت دو میلی‌مولار سالیسیلیک اسید ( $SA_3$ ) باعث افزایش ۱۶/۷



شکل ۱- برهمکنش آبیاری و سالیسیلیک اسید (a) و آبیاری و رقم (b) بر تعداد برگ در بوته

Figure 1. Interaction of irrigation by salicylic acid (a) and irrigation by variety (b) on number of leaf per plant

بر اثر مرگ تعداد زیادی از برگ‌ها بسیار کاهش می‌یابد و در نتیجه موجب کاهش راندمان فتوسنتزی برگ‌های باقیمانده و انتقال کربوهیدرات‌های غیرساختمانی از ساقه به دانه می‌شود، به‌گونه‌ای که نمی‌تواند تأمین ذخیره دانه را در حد طبیعی انجام دهد. نتایج سایر محققین نیز این موضوع را تأیید می‌کنند (Bdukli *et al.*, 2007). عبدلی و سعیدی (Abdoli and Saeidi, 2012) طی تحقیقات خود بیان کردند که تنش کم‌آبی وزن هزار دانه کلزا را کاهش داد. بیش‌ترین وزن هزار دانه (۳۲/۴۱ گرم) از سطح سوم اسید سالیسیلیک ( $SA_3$ ) حاصل شد و هر سه سطح اختلاف آماری معنی‌داری داشتند (جدول ۳). محلول‌پاشی با غلظت دو میلی‌مولار نسبت به شاهد ۱۵/۳ درصد وزن هزار دانه را افزایش داد. افزایش وزن هزار دانه با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید به‌دلیل افزایش فتوسنتز برگ در جریان مواد پرورده گیاه و تأمین مواد موردنیاز برای پر کردن دانه‌ها

**وزن هزار دانه:** تأثیر تیمارهای آبیاری، سالیسیلیک اسید و رقم بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱)، به‌طوری‌که با افزایش دور آبیاری وزن هزار دانه اختلاف معنی‌داری را نشان داد. بیش‌ترین وزن هزار دانه (۳۳/۷ گرم) از سطح اول تیمار آبیاری ( $I_1$ ) و کم‌ترین آن (۲۶/۰ گرم) از سطح سوم آبیاری ( $I_3$ ) حاصل شد و هر سه سطح آبیاری اختلاف آماری معنی‌داری داشتند (جدول ۲). پتانسیل وزن دانه به‌وسیله تعداد سلول‌های تشکیل‌شده طی دوره مریستمی آندوسپرم تعیین می‌شود. بنابراین، کاهش مواد طی این دوره باعث کاهش وزن دانه می‌شود. مرحله پرشدن دانه در سورگوم هم‌زمان با رقابت شدید برای مصرف متابولیت‌ها است. اندام‌های فتوسنتز کننده مقداری از متابولیت‌ها را خود مصرف می‌کنند و از طرف دیگر، سطح اندام‌های فتوسنتز کننده در این مرحله

نهایت منجر به کاهش تولید ماده خشک می‌شوند. تنش خشکی شدید با کاهش ارتفاع بوته، تعداد برگ، علوفه‌تر، وزن هزار دانه و عملکرد دانه عملکرد زیستی را نسبت به شاهد کاهش داد. تنش خشکی موجب کاهش عملکرد بیولوژیکی ارقام کلزا شده است (Sinaki et al., 2007). افزایش تنش خشکی در گیاه ارزن منجر به کاهش وزن خشک کل گیاه گردیده است. (Mousavi et al., 2009) محققین دیگری نیز نتایج مشابهی مبنی بر کاهش عملکرد بیولوژیک در اثر تنش خشکی گزارش کردند (Pireivatlou et al., 2010). بیشترین عملکرد زیستی از محلول پاشی با غلظت دو میلی مولار (SA<sub>3</sub>) با میانگین ۲۲/۸ تن در هکتار به دست آمد و نسبت به شاهد ۹/۳ درصد عملکرد زیستی را افزایش داد (جدول ۳). احتمالاً استفاده از سالیسیلیک اسید باعث گسترش سیستم ریشه‌ای، حفظ سلامت آن‌ها، جذب بیشتر آب و مواد غذایی شده و از طریق افزایش فتوسنتز برگ‌ها باعث افزایش عملکرد زیستی می‌شود. بیات و همکاران (Bayyat et al., 2010) گزارش کردند که استفاده از محلول پاشی با اسید سالیسیلیک در رژیم‌های رطوبتی ۷، ۱۱ و ۱۵ روزه به ترتیب عملکرد زیستی ذرت را ۱۲/۸، ۲۱/۶ و ۳۸/۱ درصد افزایش داد. عملکرد زیستی رقم اسپیدفید ۱۵/۶ درصد نسبت به رقم پگاه بیشتر بود (جدول ۴).

می‌باشد. گزارش شده است که محلول پاشی سالیسیلیک اسید سبب افزایش وزن هزار دانه می‌شود (Amin et al., 2008). وزن هزار دانه رقم اسپیدفید ۵/۵ درصد از رقم پگاه بیش تر بود (جدول ۴).

**عملکرد زیستی:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر دور آبیاری در سطح یک درصد، سالیسیلیک اسید در سطح احتمال پنج درصد و رقم در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد زیستی معنی دار شد (جدول ۱). با افزایش دور آبیاری کاهش معنی داری در عملکرد بیولوژیک مشاهده گردید. بیشترین عملکرد زیستی با میانگین ۲۶/۴ تن در هکتار از سطح اول آبیاری (I<sub>1</sub>) و کمترین مقدار آن با میانگین ۱۷/۹ تن در هکتار از سطح سوم آبیاری (I<sub>3</sub>) حاصل شد (جدول ۲). تنش خشکی میزان جذب آب و عناصر غذایی، سرعت رشد گیاه، طول دوره رشد گیاه، سطح فتوسنتزی گیاه، ارتفاع گیاه، رشد و سرعت توسعه ریشه را کاهش می‌دهد و همه این عوامل در نهایت منجر به کاهش تولید ماده خشک می‌گردد. تنش خشکی سبب کاهش فشار تورژسانس سلولی و به دنبال آن کاهش نمو سلولی و رشد اندام‌های گیاه می‌شود. از طرف دیگر تنش خشکی، میزان جذب آب و عناصر غذایی، سطح برگ، سرعت رشد، طول دوره رشد و سطح فتوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهد و در

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در ارقام سورگوم

Table 4. Mean comparisons of the evaluated traits in sorghum varieties

رقم Variety	ارتفاع بوته Plant height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (cm)	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield (t/ha)	تعداد برگ Leaf number	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (kg/h)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index (SPAD)	وزن هزار دانه 1000- grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)	عملکرد زیستی Biological yield (t/ha)	شاخص برداشت Harvest index (%)
اسپیدفید Speedfeed	232.6 <sup>a</sup>	1.53 <sup>b</sup>	81.4 <sup>a</sup>	34.8 <sup>a</sup>	18869 <sup>a</sup>	40.9 <sup>a</sup>	30.8 <sup>a</sup>	4570 <sup>a</sup>	23.6 <sup>a</sup>	20.8 <sup>b</sup>
پگاه Pegah	220.2 <sup>b</sup>	1.98 <sup>a</sup>	73.5 <sup>b</sup>	23.9 <sup>b</sup>	15567 <sup>b</sup>	36.5 <sup>b</sup>	29.1 <sup>b</sup>	4162 <sup>b</sup>	19.9 <sup>b</sup>	22.3 <sup>a</sup>

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، اختلاف معنی داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different by Duncan's test at 5% probability level.

غلظت دو میلی مولار (SA<sub>3</sub>) نسبت به شاهد (I<sub>1</sub>, SA<sub>1</sub>) موجب افزایش معنی دار عملکرد دانه شد، اما در تنش شدید (I<sub>3</sub>) محلول پاشی سالیسیلیک اسید نسبت به تیمار عدم کاربرد آن (شاهد) مؤثرتر بود و افزایش بیشتری نسبت به

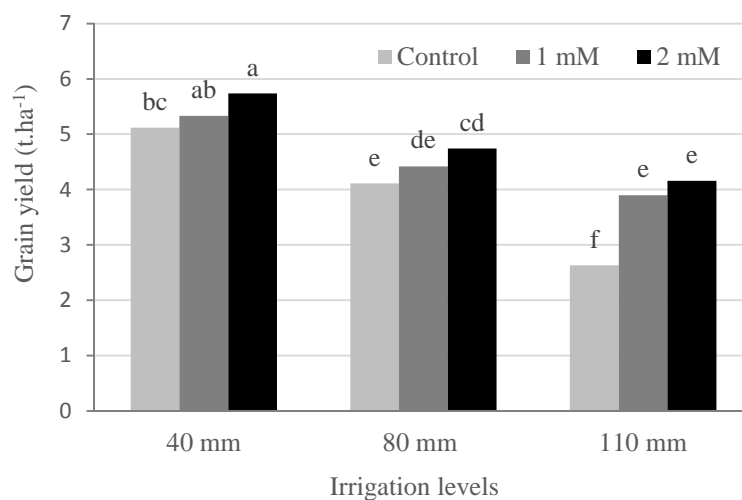
**عملکرد دانه:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش آبیاری و سالیسیلیک اسید و اثر رقم در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی دار بود (جدول ۱). در تمام سطوح آبیاری، محلول پاشی سالیسیلیک اسید با



رقم پگاه دارد، از این رو عملکرد دانه رقم اسپیدفید حدود ۱۰ درصد از رقم پگاه بیشتر بود (جدول ۴).

**شاخص برداشت:** اثر سطوح آبیاری بر شاخص برداشت معنی‌دار نشد (جدول ۱). طبق نتایج مقایسه میانگین بیشترین شاخص برداشت ۲۲/۰ درصد از سطح دوم آبیاری ( $I_2$ ) حاصل شد (جدول ۲). شاخص برداشت گیاه ذرت تحت تأثیر تنش خشکی تقریباً ثابت و یکسان است. همان‌طور که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه می‌گردد، وزن خشک کل را نیز کم می‌کند، مگر اینکه تنش شدید باعث کاهش عملکرد دانه به میزان زیاد گردد و در نتیجه شاخص برداشت کاهش پیدا کند (Setter *et al.*, 2001). اعمال تنش خشکی از ابتدای مرحله رویشی تا رسیدگی دانه تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر شاخص برداشت ندارد، زیرا کاهش پتانسیل آب خاک طی دوره رشد باعث کاهش یکنواخت عملکرد دانه و ماده خشک تولیدی (عملکرد زیستی) می‌شود (Omidi Ardali and Behrani, 2011). تأثیر سالیسیلیک اسید بر شاخص برداشت معنی‌دار نشد (جدول ۱). بیشترین شاخص برداشت با میانگین ۲۱/۹ درصد از سطح سوم محلول‌پاشی ( $SA_3$ ) به دست آمد (جدول ۳). معنی‌دار نشدن شاخص برداشت در نتیجه مصرف سالیسیلیک اسید، به دلیل تأثیر یکسان سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه و عملکرد زیستی بود. میانگین شاخص برداشت رقم اسپیدفید ۲۲/۳ درصد و بیش‌تر از میانگین شاخص برداشت رقم پگاه با ۲۰/۷ درصد بود (جدول ۴).

سایر سطوح نشان داد. بالاترین میزان عملکرد از تیمار شاهد ( $I_1$ ) و محلول‌پاشی با غلظت دو میلی‌مولار ( $SA_3$ ) حاصل شد و با وجود اعمال شرایط تنش شدید ( $I_3$ ) تنها ۱۹/۸ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد (شکل ۲). در سورگوم عملکرد دانه به تعداد خوشه در واحد سطح، تعداد سنبلچه در خوشه، حجم دانه و وزن دانه بستگی دارد. تنش خشکی شدید با کاهش ۳۳ درصدی وزن هزار دانه، عملکرد دانه را نسبت به شاهد کاهش داد. اثرات منفی کاهش میزان آب آبیاری بر روی اجزای تشکیل‌دهنده عملکرد دانه در تحقیق حاضر می‌تواند به دلیل کاهش رشد رویشی کمتر و به تبع آن، سطح فتوسنتز کننده محدودتر و تولید ماده خشک کمتر باشد که در شرایط خشکی باعث کاهش عملکرد نهایی دانه شد. نتایج مطالعات لاریبی و همکاران (Laribi *et al.*, 2009) در زیره سیاه، مؤید این است که با افزایش فاصله آبیاری از عملکرد دانه کاسته می‌شود که با نتیجه این آزمایش مطابقت دارد. کمبود آب منجر به کاهش نرخ فتوسنتز و عملکرد دانه شد ولی در مقابل محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید باعث افزایش این صفات در شرایط تنش خشکی شد (Yousefzadeh *et al.*, 2016). بیات و همکاران (Bayyat *et al.*, 2010) گزارش کردند که استفاده از محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید در رژیم‌های رطوبتی ۷، ۱۱ و ۱۵ روزه به ترتیب عملکرد دانه ذرت را ۱۲/۶، ۲۸/۶ و ۴۰/۴٪ افزایش داد. رقم اسپیدفید به دلیل اینکه تعداد پانیکول و شاخه‌های فرعی بیشتری نسبت به



شکل ۲- تأثیر برهمکنش آبیاری و سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه (تن در هکتار)  
Figure 2. Effect of irrigation by salicylic acid interaction on grain yield (t/ha)

## نتیجه گیری کلی

میلی مولار سالیسیلیک اسید باعث افزایش ارتفاع بوته، عملکرد علوفه تر، عملکرد علوفه خشک، کلرووفیل، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و عملکرد دانه به ترتیب به میزان ۱۵/۰، ۸/۱، ۸/۲، ۱۶/۷، ۱۵/۳، ۹/۳ و ۱۹/۱ درصد نسبت به شاهد شد. از آنجایی که کاربرد دو میلی مولار سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش خشکی شدید به میزان ۳۷ درصد اثر تنش خشکی را بر عملکرد دانه کاهش داد، بنابراین کاربرد آن تحت شرایط محدودیت آب توصیه می شود.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تنش خشکی به عنوان یک عامل غیرزیستی ایجاد کننده اختلال در گیاه بر ویژگی های رشد گیاه اثر می گذارد. سالیسیلیک اسید در زمان بروز تنش خشکی به عنوان یک عامل ضد تنش عمل می کند و به عنوان یک مولکول سیگنالی مهم در پاسخ گیاهان در برابر تنش های محیطی از جمله تنش خشکی محسوب می شود. نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد دو

## References

- Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. 2009.** Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agricultural Biology* 11: 100-105.
- Abedi, T. and Pakniyat, H. 2012.** Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivar of oilseed rap (*Brassica napus* L.). *Plant Breeding* 46 (4): 27-34.
- Al-Hakimi, A. M. A. 2008.** Effect of salicylic acid on biochemical changes in wheat plants under khat leaves residues. *Plant, Soil and Environment* 54 (7): 288-293.
- Amin, A. A., Rashad, E. S. M. and Garibay, F. A. E. 2008.** Changes in morphological, physiological and reproductive characters of wheat plants as affected by foliar application with salicylic acid and ascorbic acid. *Aust Journal of Basic and Applied Sciences* 2 (2): 252-261.
- Agarwal, S., Sairam, R. K., Srivasta, G. C. and Meena, R. C. 2005.** Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. *Biologia Plantarum* 49 (4): 541-550.
- Ardakani, M. R., Abbaszadeh, A., Sharifi Ashorabadi, M. H. Lebaschi, and Paknejad, F. 2007.** The effect of water deficit on quantitative and qualitative characters of balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 23 (2): 251-261. (In Persian with English Abstract).
- Arzandi, B. 2014.** The effect of salicylic acid different levels on two *Coriandrum sativum* varieties under deficit irrigation condition. *European Journal of Zoological Research* 3 (1): 118-122.
- Bayat, S. and Sepehri, A. 2014.** Effect of foliar application of salicylic acid and paclobutrazol on grain yield and dry matter remobilization of maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Cereal Research* 4 (2): 127-139.
- Budakli, E., Celik, N., Turk, M., Bayram, G. and Tas, B. 2007.** Effects of post anthesis drought stress on the stem- reserve mobilization supporting grain filling of two-rowed barley cultivars at different levels of nitrogen. *Journal of Biological Sciences* 7 (6): 949-953.
- Dianat Maharlouei, Z., Maghsoudi, K., Dianat Maharlouei, Z. and Imam, Y. 2014.** The effect of salinity and salicylic acid on morphological and physiological characteristics sorghum in early stages of growth. *Journal of Plant Process and Function* 3 (7): 58-65.
- El-Tayeb, M. A. 2005.** Response of barley gains to the interactive effect of salinity and salicylic acid, *Plant Growth Regulation* 45: 215-225.
- Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A. and Alpaslan, M. 2007.** Impact of exogenous salicylic acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulturae* 113 (2): 120-128.
- Fouman, A. 2010.** Agronomy and breeding of sorghum. Publication of Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. 129 p. (In Persian).
- Fouman, A., Mokhtarzadeh, A. A., Beheshti, A. R., Shiri, M. R., Rahnema, A., Nadali, F., Nourmohammadi, S. and Hasanzadeh Moghaddam, H. 2008.** Pegah: A new forage sorghum cultivar. *Seed and Plant Improvement Journal* 24 (2): 367-371. (In Persian with English Abstract).
- Habibpour, S. S., Naderi, A., Lake, Sh., Faraji, H. and Mojaddam, M. 2016.** The effect of salicylic acid on yield and some physiological characteristics of sweet corn hybrids under stress water shortage. *Journal of Fundamental and Applied Sciences* 1 (2): 1-15.

- Hamrouni, I., Salah, H. B. and Marzouk, B. 2001.** Effects of water-deficit on oil of safflower aerial parts. *Phytochemistry* 58 (2): 277-280.
- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M. and Ahmad, A. 2010.** Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and experimental botany* 68 (1): 14-25.
- Hayat, S., Ali, B. and Ahmad, A. 2007.** Salicylic acid: Biosynthesis, metabolism and physiological role in plants. In: Hayat, S. and Ahmad, A. (Eds.). *Salicylic acid: A plant hormone*. Springer. pp: 1-14.
- Hayat, S., Fariduddin, Q., Ali, B. and Ahmad, A. 2005.** Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. *Acta Agronomica Academica Scientiarum Hungaricae* 53: 433-437.
- Kang, G. 2003.** Salicylic acid changes activities of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> metabolizing enzymes and increases the chilling tolerance of banana seedlings. *Environmental and Experimental Botany* 50: 9-15.
- Khazaei, A. and Fouman, A. 2012.** Evaluation of drought tolerance in cultivars and advanced grain sorghum lines under low irrigation stress conditions. *Electronic Journal of Crop Production* 5 (3): 63-79. (In Persian with English Abstract).
- Khodary, S. F. A. 2004.** Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. *International Journal of Agriculture and Biology* 6: 5-8.
- Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A. and Marzouk, B. 2009.** Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oils and fatty acids composition. *Industrial Crops and Products* 30 (3): 372-379.
- Mehrabian Moghadam, N., Arvin, M. J., Khajoeinejad, Gh. and Maghsoudi, K. 2011.** Effect of salicylic acid on growth and forage and grain yield of maize under drought stress in field conditions. *Seed and Plant Production* 27 (2): 41-55. (In Persian with English Abstract).
- Mohammadkhani, N. and Heidari, R. 2007.** Effects of water stress on respiration, photosynthetic pigments and water content in two Maize cultivar. *Pakistan Journal of Biological Science* 10 (22): 4022-4028.
- Moradi Marjane, E. and Goldani, M. 2011.** Evaluation of different salicylic acid levels on some growth characteristics of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under limited irrigation. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences* 4 (1): 33-45.
- Mousavi, Gh., Mirhadi, M., Siadat, E., Noormohamami, Gh. and Darvish, F. 2009.** The effect of water stress and nitrogen fertilization on yield and water use efficiency of forage millet. *Modern Agriculture* 15: 101-114.
- Nadvar, A., Ardakani, M. R., Nourmohammadi, G. and Najafi, A. 2005.** The effect of four levels of tape and drip irrigation on water use efficiency and morphological traits of maize (cv. SC700). *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding* 1 (1): 63-73. (In Persian with English Abstract).
- Nasri, M. B., Aouani, M. E. and Mhamdi, R. 2007.** Nodulation and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris*) under water deficiency. *Soil Biology & Biochemistry* 30: 1744-1750.
- Neslihan, S., Aykut, S. and Asim, K. 2011.** Salicylic acid pretreatment induces drought tolerance and delays leaf rolling by inducing antioxidant systems in maize genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum* 34: 97-106.
- Omidi Ardali, Gh. and Behrani, M. 2011.** Effects of drought stress, the amount and timing of nitrogen application on yield and yield components of sunflower growth stages. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources: Water and Soil Sciences* 55: 199-207.
- Omidi, H., Movahadi, F. and Movahadi, Sh. 2012.** The effect of salicylic acid and scarification on germination characteristics and proline, protein and soluble carbohydrate content of *Prosopis (Prosopis farcta* L.) seedling under salt stress. *Range and Desert Research* 18 (4): 608-623.
- Panda, R. K., Behera, S. K. and Kashypa, P. S. 2004.** Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. *Agricultural and Food Engineering* 66: 181-203.
- Pireivatlou, A. S., Dehdar Masjedlou, B. and Ramiz, T. A. 2010.** Evaluation of yield potential and stress adaptive trait in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. *African Journal of Agricultural Research* 5: 2829-2836.
- Rigling, A., Briihlhart, H., Braker, O., Forster, T. and Schweingruber, F. H. 2003.** Effect of irrigation on diameter growth and vertical resin production in *Pinus sylvestris* L. on dry sites in the central Alps, Switzerland. *Forest Ecology and Management* 175: 285-296.

- Sanchez-Blanco, J., Fernandez, T., Morales, A., Morte, A. and Alarcon J. J. 2006.** Variation in water stress, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glamus deserticola* under drought conditions. **Journal of Plant Physiology** 161: 675-682.
- Setter, T. L., Flannigan, B. A. and Melkonian, J. 2001.** Loss of kernel set due to water deficit and shade in maize: Carbohydrate supplies, abscissic acid and cytokinins. **Crop Science** 41 (5): 1530-1540.
- Shibli, R. A., Kushad, M., Yousef, G. G. and Lila, M. A. 2007.** Physiological and biochemical responses of tomato micro shoots to induced salinity stress with associated ethylene accumulation. **Plant Growth Regulation** 51: 159-169.
- Sinaki, J. M., Majidi Hervean, E., Shirani-Rad, A. H., Noormohammadi, G. and Zarei, G. 2007.** The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). **American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science** 2 (4): 417-422.
- Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekara, R. and Kuikkarni, R. 2001.** Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in petriwinkle. **Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences** 22: 356-358.
- Tarigh-Al Eslami, M., Kafi, M. and Zarghami, R. 2016.** Effect of chilling and drought stress in response to salicylic acid on selection criteria and grain yield of maize (*Zea mays* L.). **Iranian Journal of Plant Physiology** 8 (31): 5-20. (In Persian with English Abstract).
- Vahidi, H., Khajoeinejad, Gh. and Rezaei, A. 2015.** Grain yield and water use efficiency of five sorghum cultivars under different irrigation regimes in Kerman. **Iranian Journal of Field Crops Research** 13 (3): 461-470. (In Persian with English Abstract).
- Yanping, T., Xin, S., Tao, W., Mingjie, L., Mingyan, Y. and Xuefei, C. 2017.** Implications of terminal oxidase function in regulation of salicylic acid on soybean seedling photosynthetic performance under water stress. **Plant Physiology and Biochemistry** 112: 19-28.
- Zamaninejad, M., Khavari Khorasani, S., Jami Moeini, M. and Heidarian, A. 2013.** Effect of salicylic acid on morphological characteristics, yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) under drought conditions. **European Journal of Experimental Biology** 3 (2): 153-161.
- Zerbini, E. and Thomas, D. 2003.** Opportunities for improvement of nutritive value in sorghum and pearl millet residues in south Asia through genetic enhancement. **Field Crops Research** 84: 3-15.



University of Guilan  
Faculty of Agricultural  
Sciences

**Cereal Research**  
Vol. 7, No. 4, Winter 2018 (591-603)

## **Effect of salicylic acid on morphological characteristics and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars under different irrigation regimes**

**Amin Ahmadizadeh<sup>1</sup>, Gholamreza Khajoei-Nejad<sup>2\*</sup> and Roohollah Abdoshahi<sup>2</sup>**

Received: January 29, 2017

Accepted: June 19, 2017

### **Abstract**

To evaluate the effect of salicylic acid (SA) on morphological characteristics and yield of sorghum under drought stress, an experiment was conducted as split plot-factorial in randomized complete block design with three replications. Irrigation in three levels based on evaporation of 40, 80 and 110 mm from the evaporation pan were considered as main plots and combinations of salicylic acid concentrations (0, 1, 2 mM) and sorghum cultivars (Speedfeed and Pegah) were considered as factorial in sub plots. The results showed that the effect of drought stress and SA were significant for all studied traits except for harvest index. The interaction of irrigation×SA was significant for grain yield and number of leaf as well as the interaction of irrigation×cultivar was significant for number of leaf. Also, significant differences were observed between sorghum cultivars for all studied traits and Speedfeed cultivar had better performance compared with Pegah. Severe drought stress reduced plant height, leaf number, fresh forage yield, dry forage yield, seed weight, chlorophyll, grain yield and biological yield about 41.5, 37.7, 33.1, 26.0, 53.7, 33.7 and 32.5 percent, respectively, compared to control treatment. The results showed that application of 2 mM SA had the greatest impact on evaluated traits, so that application of 2 mM SA caused an increasing of 15.0, 8.1, 8.2, 16.7, 15.3, 9.3 and 19.8 percent in plant height, fresh forage yield, dry forage yield, chlorophyll content (SPAD), 1000-grain weight, biological yield and grain yield, respectively, compared to the control. Also, foliar application of SA has an effective role (37 %) in reducing drought stress damages on yield of sorghum cultivars, so that application of 2 mM SA under severe drought stress conditions reduced the effect of drought stress on grain yield about 37 percent. Therefore, foliar application of SA is recommended under water deficit conditions.

**Keywords:** Drought stress, Evaporation, Forage yield, Grain yield, Harvest index

---

1. M. Sc. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

2. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

\* Corresponding author: [khajoei@uk.ac.ir](mailto:khajoei@uk.ac.ir)