تأثیر کاربرد برگی سالیسیلیک اسید بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، فعالیت آنزیمی و عملکرد گندم ماکارونی (*Triticum durum* L.) در شرایط تنش خشکی

سودابه رضابیگی، احسان بیژن‌زاده* و علی بهپوری

گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰٤/۰۲)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، فعالیت آنزیمی و عملکرد ارقام گندم ماکارونی در شرایط تنش خشکی، پژوهشی گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در دو سطح آبیاری مطلوب و تنش خشکی از ابتدای مرحله شیری‌شدن دانه، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در سطوح صفر، ۱، ۲ و۳ میلی‌مولار و سه رقم گندم ماکارونی شامل شبرنگ، بهرنگ و یاواروس بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی پایان فصل، رقم و سالیسیلیک اسید بر غلظت کلروفیل a و b، غلظت کاروتنوئید، آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز، پروتئین دانه، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه اثر معنی‌داری داشتند. برهمکنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید اثر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل a و b داشت به‌طوریکه غلظت کلروفیل a و b در تیمار ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌ترتیب ۳۲ و ۳۵ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد (عدم‌مصرف سالیسیلیک اسید) داشت. بیشترین غلظت کاروتنوئید (۱٤/۸۳میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در رقم یاواروس به‌دست آمد. همچنین تنش خشکی و سالیسیلیک اسید اثر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاتالاز داشتند و کاربرد ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌ترتیب باعث افزایش ۱٤ و ۱۵ درصدی این آنزیم‌ها شد. در نهایت در رقم یاواروس محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید منجر به افزایش غلظت کلروفیل a و b و آنزیم پراکسیداز و کاتالاز نسبت به عدم‌مصرف سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی شد و افزایش ۱۳ درصدی عملکرد دانه را به همراه داشت.

واژه‌های کلیدی: عملکرد بیولوژیک، پراکسیداز، کاتالاز، یاواروس، نیتروژن دانه

مقدمه

گندم در بین غلات دانه ریز مهم‌ترین گیاه زراعی است که دارای گونه‌های متعددی است. اگر چه بیشترین سطح زیر کشت (۹۰ درصد) و بیشترین میزان تولید (۹٤ درصد) مربوط به گندم نان است اما گندم ماکارونی نیز دارای ارزش تجاری قابل توجهی است. میزان پروتئین گندم ماکارونی بیشتر از گندم نان است. گندم دوروم به‌عنوان یک محصول غذایی با اهمیت، سطح زیر کشت جهانی معادل ۳۰ میلیون هکتار دارد (Emam, 2011). میزان پروتئین گندم ماکارونی بیشتر از گندم نان است. وجود گلوتن زیاد و خمیر غیرچسبنده و سنگین، این نوع گندم را ایده‌آل برای تهیه محصولات خمیری، از جمله ماکارونی کرده است (Fabrian and Litas, 1988). تنش‌های محیطی

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: ebijanzadeh@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8]

مختلفی بر رشد و نمو و تولید محصول در گیاهان تأثیر می‌گذارند؛ از جمله این عوامل می‌توان به خشکی، شوری، سرما و گرما اشاره کرد (Sairam *et al.*, 2005). تنش خشکی عامل اصلی محدودکننده تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است (Debaeke and Abdellah, 2004). تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد دانه گندم شناخته می‌شود (Pessarakli, 2001). حساسیت گندم به کم‌آبی در همه مراحل رشد یکسان نیست. مراحل رشد طولی ساقه، غلاف‌رفتن و گل‌دهی نسبت به کم‌آبی بسیار حساس‌اند (Carter, 1987). بیژن‌زاده و امام (۲۰۱۰) با مطالعه‌ای که بر روی ژنوتیپ‌های مختلف گندم انجام دادند مشاهده کردند که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد به‌ویژه تعداد سنبلچه بارور در سنبله و تعداد سنبله در متر مربع شده است و بیشترین کاهش عملکرد ناشی از تعداد دانه در سنبله و کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی بوده است. Pierre و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه در ۹ ژنوتیپ گندم نان باعث کاهش عملکرد، وزن هزار دانه و قطر دانه شد.

امروزه روش‌های متفاوتی جهت مقابله با اثرات تنش کمبود آب در نظر گرفته شده است (Royo *et al.*, 2004). سالیسیلیک اسید تحت تأثیر شرایط محیطی در بافت‌های گیاهی تجمع می‌یابد و در افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی نقش دارد (Kaydan *et al.*, 2006). سالیسیلیک اسید متعلق به گروهی از ترکیبات فنولی طبیعی است که به‌طور وسیعی در گیاهان وجود دارد و به‌دلیل اینکه به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی عمل می‌کند بسیاری از محققان آن را در گروه تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی قرار داده اند (Raskin, 1992). سالیسلیک اسید به‌وسیله سلول‌های ریشه تولید می‌شود و نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف مثل رشد، تکامل گیاه، جذب یون و فتوسنتز ایفا می‌کند (Panda *et al.*, 2004). Shakirova و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند سالیسیلیک اسید تقسیم سلولی را درون گیاهچه گندم در شرایط تنش خشکی افزایش داد و سبب افزایش عملکرد در گندم گردید. اثر مثبت سالیسیلیک اسید بر فتوسنتز و رشد گیاه تحت شرایط تنش خشکی و کاهش آسیب ناشی از تنش خشکی و تسریع در رشد مجدد پس از رفع تنش نیز در گیاه گندم مشاهده شد (Ratnayaka *et al.*, 2005). با توجه به اهمیت گندم به‌عنوان مهم‌ترین محصول زراعی در کشور و نیاز به اقداماتی جهت کاهش اثر تنش خشکی، کاربرد موادی همچون سالیسیلیک اسید ضروری به‌نظر می‌رسد. در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی در رابطه با اثر سالیسیلیک اسید بر تحمل به تنش خشکی گونه‌های مختلف گیاهی در مراحل مختلف رشد انجام شده است. با این وجود پژوهش‌های بیشتری در ارتباط با درک بهتر کارکرد سالیسیلیک اسید در درون گیاه لازم است. در این راستا هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکرد ارقام گندم ماکارونی در شرایط تنش خشکی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب در هفت کیلومتری شهرستان داراب با طول جغرافیایی ٥٤ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۲۰ دقیقه و ارتفاع ۱۱۵۰ متر از سطح دریا با میانگین بارندگی ۲۵۷ میلی‌متر اجرا شد. بافت خاک مورد استفاده سیلتی- لومی، درصد شن (٤۱/۰۸ درصد)، درصد سیلت (٤۰/۱٦ درصد) و درصد رس خاک (۱۸/۷٦ درصد)، pH=۷/۸، پتاسیم خاک (۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، فسفر خاک (٦٥ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کربن آلی (۰/۷ درصد)، نیتروژن کل (۰/۱٦ درصد) و قابلیت هدایت الکتریکی (۱/۱٥ دسی‌زیمنس بر متر) بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام گردید. فاکتور اول تیمار آبیاری در دو سطح N: (آبیاری مطلوب در طول فصل رشد گیاه) و S: (قطع آب در ابتدای مرحله شیری‌شدن دانه) (ZGS ۷۱) و فاکتور دوم کاربرد برگی سالیسیلیک اسید در زمان گلدهی (ZGS ٦۱) (Zadokes *et al.*, 1974) در چهار سطح: SA_0 (بدون مصرف سالیسیلیک اسید)، SA_1 (کاربرد یک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8]

میلی‌مولار سالیسیلیک اسید)، SA_2 (کاربرد دو میلی‌مولار سالیسیلیک اسید) و SA_3 (کاربرد سه میلی‌مولار سالیسیلیک اسید)، فاکتور سوم سه رقم گندم ماکارونی شامل V_1: شبرنگ (پابلند، بهاره، و مخصوص مناطق گرم و خشک) V_2: بهرنگ (نیمه‌پاکوتاه، بهاره، مخصوص مناطق خشک) و V_3: یاواروس (نیمه‌پاکوتاه، بهاره، مخصوص مناطق گرم و خشک) بود. در آذر ۱۳۹۶، ۷۲ گلدان پلاستیکی ۵ کیلویی (قطر ۲۵ سانتی‌متر) پر شدند. قبل از کاشت بذرها میزان ظرفیت زراعی خاک مورد آزمایش بر اساس روش وزنی به‌دست آمد که بر اساس آن میزان ظرفیت زراعی خاک مورد استفاده ۲۲/۳ درصد وزنی به‌دست آمد. ظرفیت زراعی در هر گلدان از توزین مداوم گلدان‌ها در هر نوبت آبیاری و محاسبه مقدار آب مورد نیاز برای هر گلدان استفاده شد. تیمار آبیاری شامل آبیاری به میزان نیاز کامل گیاه تا آخر فصل رشد (شاهد) و قطع آبیاری از مرحله گلدهی تا پایان فصل رشد (تنش خشکی) اعمال شد. کاشت به‌صورت ۵ بوته در هر گلدان با دست صورت گرفت که بعد از استقرار کامل بوته‌ها، به تعداد ۳ بوته در هر گلدان تنک گردید. دمای حداقل و حداکثر گلخانه به‌ترتیب ۲۵ و ۱۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین ۵۰ تا ۵۵ درصد بود. همچنین بوته‌های گندم روزانه در معرض ۱۴ ساعت روشنایی بودند. آزمایش گلخانه‌ای تا مرحله رسیدن فیزیولوژیک دانه‌ها ادامه داشت. در زمان محلول‌پاشی سطح گلدان‌ها با پلاستیک پوشانده شد تا از جذب خاکی جلوگیری شود. عمل محلول‌پاشی با محلول‌پاش دستی و با فشار ثابت به‌صورت یکنواخت انجام شد و تا آنجا ادامه یافت که قطرات محلول بر روی برگ‌های گندم قابل مشاهده باشد. نمونه‌گیری جهت تعیین صفات بیوشیمیایی (غلظت کلروفیل a و b، کارتنوئید، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز) از برگ پرچم دو هفته بعد از اعمال تنش انجام شد.

غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی: برای اندازه‌گیری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی ۰/۵ گرم از نمونه تر برگ و ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد که به تدریج اضافه می‌شد، در داخل یک هاون چینی به‌خوبی ساییده شدند. عصاره به‌مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفیوژ با دور ۶۰۰۰ در دقیقه رسوب داده شد. سپس یک میلی‌لیتر از محلول شفاف رویی را با ۹ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و میزان جذب عصاره استخراج‌شده با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل (UV-160A) ساخت شرکت Shimadzu کشور ژاپن در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد و غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی از روابط زیر محاسبه شد (Arnon, 1967).

Chlorophyll *a* = (19/3×A 663 - 0.86×A 645)V/100W
Chlorophyll *b* = (19/3×A 645 - 3/6×A663)V/100W
Carotenoid = (100×A470) - (3.27×mg chl. *a*) - (104 mg chl. *b*) /227

V = حجم محلول صاف‌شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A = جذب نور در هر طول‌موج

W = وزن‌تر نمونه برحسب گرم

فعالیت آنزیم پراکسیداز: برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز ۰/۵ گرم از نمونه تر برگ در داخل یک هاون چینی همراه با ازت مایع به‌خوبی ساییده شدند. سپس ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم با pH = ۷ همراه با ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار و ۰/۲ میلی‌لیتر گایکول ۱۰ میلی‌مولار را با ۰/۲ میکرولیتر عصاره برگ را در داخل میکروتیوب ۲ میلی‌لیتری قرار داده و سپس در دستگاه سانتریفیوژ مدل (Z326K) ساخت کشور آلمان با ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ °C به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد و سپس در دستگاه اسپکتروفتومتر پس از سپری‌شدن دو دقیقه منحنی تغییرات جذب در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر به‌دست آمد (Abei, 1984).

$$\text{Peroxidase activity} = \frac{\Delta \times v}{\epsilon \times vs \times FW}$$

Δ = تفاوت دو جذب در دقیقه (ابتدا جذب اول و بعد از ۳۰ ثانیه جذب دوم را می‌خوانیم)، v = حجم کل عصاره برگ (میلی‌لیتر)، ϵ = ضریب خاموشی ($\epsilon = 26.6\ cm^{-1}\ mM^{-1}$)، vs = حجم نمونه برداشت‌شده (میلی‌لیتر)، FW = وزن تر نمونه برگ برداشت‌شده (گرم).

فعالیت آنزیم کاتالاز: برای فعالیت آنزیم کاتالاز ۰/۵ گرم از نمونه تر برگ در داخل یک هاون چینی به‌خوبی ساییده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8]

شدند. مقدار ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار با pH = ۷، ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه با ۰/۲ میکرولیتر عصاره برگ مخلوط و پس از ۲ دقیقه منحنی تغییرات جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۲٤۰ نانومترمحاسبه شد (Abei, 1984).

$$\text{Catalase activity} = \frac{\Delta \times v}{\epsilon \times vs \times FW}$$

Δ = تفاوت دو جذب در دقیقه (ابتدا جذب اول و بعد از ۳۰ ثانیه جذب دوم را می‌خوانیم)، v = حجم کل عصاره برگ (میلی لیتر)، ϵ = ضریب خاموشی (ϵ=39.4mM^{-1} cm^{-1})، vs = حجم نمونه برداشت‌شده (میلی‌لیتر)، FW = وزن تر نمونه برگ برداشت‌شده (گرم).

اندازه‌گیری پروتئین دانه: درصد نیتروژن دانه گیاه (نمونه آسیاب‌شده یک گرمی) توسط دستگاه کجلدال مدل 45S Vapodest ساخت شرکت Gerhand انجام شد. سپس با استفاده از فرمول زیر غلظت پروتئین محاسبه گردید (Alkiar *et al*., 1972)

پروتئین دانه (درصد) = ٦/۲۵ × نیتروژن دانه (درصد)

در هنگام رسیدگی فیزیولوژیگ (۱۷ هفته پس از کاشت) در هرگلدان ارتفاع بوته و طول سنبله با خط‌کش اندازه‌گیری شد. سپس جهت اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه بوته‌ها از نزدیکی سطح خاک بریده شدند و هر کدام در پاکت‌های جداگانه قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٤۸ ساعت قرار داده شدند و درنهایت با ترازوی حساس به دقت ۰/۰۱ توزین و عملکرد دانه و بیولوژیک آنها محاسبه گردید. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و هم‌چنین مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت کلروفیل a و b: نتایج تجزیه واریانس برای غلظت کلروفیل *a* نشان داد که اثرات ساده سالیسیلیک اسید، تنش خشکی و رقم و بر همکنش سالیسیلیک اسید در تنش خشکی و تنش خشکی در رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین نتایج تجزیه واریانس داده‌های کلروفیل b نشان داد که بر همکنش تنش خشکی در رقم در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و رقم بر غلظت کلروفیل a نشان داد رقم یاواروس در شرایط شاهد آبیاری ۲۰ درصد افزایش نسبت به شرایط تنش خشکی داشت (جدول ۲). بیشترین غلظت کلروفیل a با (۱۰/٦٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) مربوط به محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و کمترین میزان این صفت با (۷/۲۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) مربوط به تیمار شاهد (عدم‌مصرف سالیسیلیک اسید) در شرایط تنش خشکی بود (جدول ۲). از طرف دیگر بیشترین غلظت کلروفیل b به میزان (۱۳/٦٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در رقم شبرنگ و کمترین میزان این صفت با ۷/٦٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار شاهد در شرایط تنش خشکی مشاهده گردید (شکل ۱). کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش خشکی ممکن است به‌واسطه کاهش سنتز کلروفیل و هم‌چنین ناشی از تخریب آن باشد (Parvaiz and Satyawati, 2008). امینی و همکاران (۱۳۸۷) تأثیر تنش خشکی را بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه جو بررسی کردند که با افزایش سن گیاه و هم‌چنین تحت تأثیر تنش خشکی غلظت کلروفیل کاهش یافت. تنش خشکی باعث کاهش عملکرد گیاه، کاهش سطح برگ، میزان کلروفیل و در مجموع رشد کلی گیاه می‌شود (Zhu *et al.*, 2002). سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل نموده و از آسیب به رنگدانه‌ها به‌ویژه کلروفیل جلوگیری می‌کند به‌طوریکه گزارش شده است سالیسیلیک اسید از طریق جلوگیری از آسیب به کلروفیل سبب بهبود فتوسنتز در شرایط تنش خشکی شده است (Khan *et al.*, 2003). سالیسیلیک اسید سبب افزایش معنی‌دار غلظت کلروفیل a و b در مقایسه با شاهد در شرایط تنش خشکی در گیاه سیر (*Allium sativum*) شد (آروین و همکاران، ۱۳۹۰) نتایج پژوهش حاضر نشان داد غلظت کلروفیل a و b با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8]

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تنش خشکی (دو سطح آبیاری مطلوب و قطع آبیاری) و سالیسیلیک اسید (چهار سطح شاهد، ۱ میلی‌مولار ، ۲ میلی‌مولار و ۳ میلی‌مولار) بر برخی ویژگی‌های سه رقم گندم ماکارونی (شبرنگ، بهرنگ و یاواروس) در گلدان

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		غلظت کلروفیل a	غلظت کلروفیل b	غلظت کاروتنوئیدها	پراکسیداز	کاتالاز
سالیسیلیک اسید	۳	۳۱/۲۶ **	۳۴/۴۱ **	۱۱/۲۳ **	۲۲/۸۱ **	۱۹/۴۵ **
تنش خشکی	۱	۲۶۶/۴۲ **	۵۵/۱۲ **	۱۶/۰۵ **	۳۲۳/۳۱ **	۷۰/۴۰ **
رقم	۲	۱۲۷/۵۴ **	۹/۷۶ **	۳۵/۱۳ **	۳۰/۹۷ **	۲۰/۳۵ **
سالیسیلیک اسید × تنش خشکی	۳	۱/۹۷ **	۱۱/۸۳ **	۰/۱۳ ns	۳/۰۴ **	۷۴/۰۱ **
سالیسیلیک اسید × رقم	۶	۰/۲۴ ns	۲/۵۵ **	۱۶/۲۲ **	۰/۶۶ **	۳/۱۱ **
تنش خشکی × رقم	۲	۱۱/۷۶ **	۳/۷۹ **	۹/۴۲ **	۱/۳۳ **	۰/۳۴ ns
سالیسیلیک اسید × تنش خشکی × رقم	۶	۰/۸۱ ns	۲/۱۱ **	۶۱/۶۷ **	۰/۰۱ ns	۰/۳۹ ns
خطای آزمایشی	۴۸	۰/۴۲	۰/۳۳	۷/۷۳	۰/۲۱	۰/۶۶
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۱۶	۵/۱۲	۰/۵۵	۴/۶۴	۷/۵۶

***، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار**

ادامه جدول ۱-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		پروتئین دانه	ارتفاع	تعداد دانه	طول سنبله	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه
سالیسیلیک اسید	۳	۱۰۳/۵۶ **	۱۲۶/۸۶ ns	۶۰/۰۹ **	۴/۹۰ ns	۷/۰۸ **	۲/۵۹ **
تنش خشکی	۱	۲۵۸/۳۰ **	۱۶/۰۵ ns	۱۱۳/۷۸ **	۸/۶۸ ns	۴/۲۳ **	۲/۳۱ **
رقم	۲	۲۲/۲۵ ns	۱۴۸/۱۶ ns	۲۱/۰۲۹ ns	۲/۷۲ ns	۳۵/۲۱ **	۰/۴۷ *
سالیسیلیک اسید × تنش خشکی	۳	۳۹/۵۹ *	۶۶/۲۷ ns	۱۱۸/۰۲ **	۱/۶۰ ns	۱/۴۳ ns	۰/۹۴ **
سالیسیلیک اسید × رقم	۶	۱۳/۲۸ ns	۱۸۹/۶۴ **	۱/۸۷ ns	۵/۵۰ ns	۱/۶۹ *	۰/۰۰۴ ns
تنش خشکی × رقم	۲	۱۳/۳۰ ns	۳۴۴/۳۸ **	۵۵/۱۳ **	۰/۷۲ ns	۱/۲۲ ns	۰/۰۷ ns
سالیسیلیک اسید × تنش خشکی × رقم	۶	۵/۷۳ ns	۵۵۴/۰۵ **	۹/۰۲ ns	۱۲/۶۲ **	۲/۴۵ **	۰/۵۴ ns
خطای آزمایشی	۴۸	۱۰/۶۰	۵۱/۶۳	۹/۷۴	۲/۳۰	۰/۵۹	۰/۱۳
ضریب تغییرات (درصد)		۱۶/۹۰	۱۱/۳۳	۲۰/۰۸	۱۵/۰۷	۱۵/۸۶	۱۸/۴۷

***، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار**

محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید ۳۲ و ۴۸ درصد افزایش نسبت به شاهد در شرایط تنش خشکی داشت.

غلظت کاروتنوئیدها: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بر همکنش سالیسیلیک اسید در تنش خشکی در رقم بر غلظت کاروتنوئیدها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین غلظت کاروتنوئیدها با ۱۴/۸۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در رقم یاواروس و کمترین میزان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8]

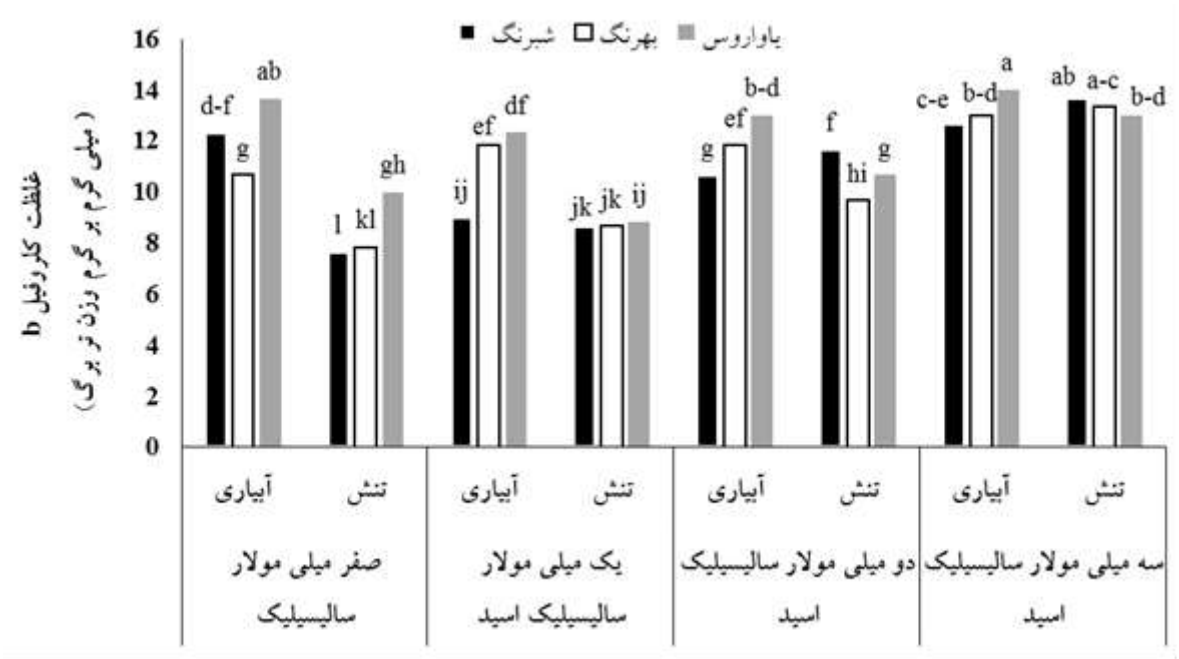
جدول ۲- اثر برهمکنش تنش خشکی (دو سطح آبیاری مطلوب و قطع آبیاری) × سالیسیلیک اسید (چهار سطح شاهد، ۱ میلی‌مولار، ۲ میلی‌مولار و ۳ میلی‌مولار) × رقم (سه رقم شبرنگ، بهرنگ و یاواروس) بر برخی صفات بیوشیمیایی و عملکردی گندم ماکارونی در گلدان

تیمار	میانگین مربعات							
	کلروفیل *a*	کلروفیل *b*	پراکسیداز	کاتالاز	تعداد دانه	عملکرد بیولووژیک	عملکرد دانه	پروتئین دانه
	(میلی گرم بر گرم وزن تر)		(میلی‌گرم بر دقیقه بر وزن تر)		(گرم در گیاه)			(درصد)
آبیاری×سالیسیلیک								
SA_0N	۱۱/۵^{bc}	۱۲/۲^{b}	٦/٤^{g}	۷ /۹^{ef}	۱۸/۲۲^{ab}	۵/٦۰^{ab}	۱/۵۳^{c}	۲۰/۳۱^{a}
SA_0S	۷/۲۰^{e}	۸/٦^{d}	۱۱ /۱^{c}	۱۱/۵^{c}	۱۲/۵۱^{c}	٤/۵۰$^{a-c}$	۱/٤۸^{bc}	۱۵/۰۲^{c}
SA_1N	۱۱/۸^{b}	۱۱/۲^{bc}	۷^{f}	۸/۸^{e}	۱۵/۵٦^{bc}	٤/۹۷$^{a-c}$	۲/۳۹^{a}	۱۹/٦٤^{ab}
SA_1S	۷/۲۰^{e}	۸/۸^{e}	۱۲^{b}	۱۱/۹^{ab}	۱۱/۸۷^{c}	٤/۳۱^{bc}	۱/۸۵^{b}	۱۵/۹٤^{bc}
SA_2N	۱۲/۹^{a}	۱۱/۸^{bc}	۸^{e}	۱۰/۵^{d}	۱۸/۰۵^{ab}	٤/٤٤^{bc}	۲/٤۲^{a}	۲۲/۰٤^{a}
SA_2S	۹/۲^{d}	۱۰/۷^{d}	۱۲/۲^{b}	۱۲/۸^{b}	۱۲/۳۵^{c}	۳/۸٦^{c}	۱/۵۰^{c}	۱۵/۵۵^{bc}
SA_3N	۱۳/٦^{a}	۱۳/۲^{a}	۹/۹^{d}	۷/۹^{ef}	۱۵/۵۸^{bc}	۵/٤٦^{ab}	۲/٤۳^{a}	۲۲/٦۱^{a}
SA_3S	۱۰/٦^{c}	۱۳/۳^{a}	۱۳^{a}	۱۳/۵^{a}	۲۰/٦۲^{a}	۵/۷۷^{a}	۲/٤۱^{a}	۲۲/۹۳^{a}
آبیاری× رقم								
V_1N	۱۰/۷^{c}	۱۱/۳^{bc}	٦/۹^{e}	۹^{c}	۱٦/۲۷^{c}	٦/۲۹^{a}	۲/۰۷^{a}	۲۰/۹۲^{a}
V_1S	۵/۳^{e}	۱۰/٤^{d}	۱۱/۱^{c}	۱۱^{b}	۱٤/۵۵^{bc}	٦/۱۷^{a}	۱/۷۵^{b}	۱۵/٤٤^{b}
V_2N	۱۲/۸^{b}	۱۱/۹^{b}	۹/۳^{d}	۱۰/۹^{b}	۱٤/۷٤^{b}	٤/۷۲^{b}	۲/۱۷^{b}	۲۱/۱۵^{a}
V_2S	۹/۲^{d}	۱۰^{d}	۱۲/۹^{a}	۱۲/٦^{a}	۱٤/۷۸^{b}	٤/۳۳^{bc}	۱/٦۹^{b}	۱۷/۹۳^{ab}
V_3N	۱٤^{a}	۱۳/۲^{a}	۷/۳^{e}	۹/۳^{c}	۱۹/۵۵^{a}	٤/۳۱^{bc}	۲/۳۰^{a}	۲۱/۳۸^{a}
V_3S	۱۱/۲^{c}	۱۰/۷^{cd}	۱۲/۱^{b}	۱۱/٤^{ab}	۱۳/٦۸^{d}	۳/٤۰^{c}	۲/۰۲^{ab}	۱۸/۷۱^{ab}
رقم×سالیسیلیک اسید								
SA_0V_1	٦/۸^{g}	۱۰$^{d-f}$	۸^{f}	۹/۲^{f}	۱۵/٦۸^{a}	۵/۹۹^{b}	۱/٤۰^{d}	۱۷/٤۵^{b}
SA_1V_1	۷^{g}	۹/۱^{f}	۸/٦^{ef}	۹/۹^{ef}	۱۳/٤٤^{a}	۵/۸۲^{bc}	۲/۰٤^{bc}	۱۷/۰۷^{b}
SA_2V_1	۸/۵^{f}	۱۱/۱^{bc}	۹/٤^{d}	۱۰/۸^{ef}	۱٤/۳٦^{a}	۵/۳۳$^{b-d}$	۱/۸۹$^{b-d}$	۱٦/۹۰^{b}
SA_3V_1	۹/۷^{e}	۱۳/۱^{a}	۱۰^{cd}	۱۰/۲$^{d-e}$	۱۸/۱٦^{a}	۷/۷۷^{a}	۲/۳۱^{ab}	۲۱/۵٦^{ab}
SA_0V_2	۹/۵^{ef}	۹/۲^{ef}	۹/۹^{d}	۱۱/۳$^{b-d}$	۱۳/۹۹^{a}	۵/۲۹$^{b-d}$	۱/٤۵^{d}	۱٦/٦۵^{b}
SA_1V_2	۱۰/۱^{e}	۱۰/۳$^{c-e}$	۱۰/٦^{cd}	^{b}۱۲	۱۲/۹۹^{a}	٤/۱۷^{ef}	۲/۰۵^{bc}	۱۸/۰۷^{b}
SA_2V_2	۱۱/٦^{cd}	۱۰/۹$^{b-d}$	۱۱/۲^{b}	۱۳/ ۸^{a}	۱٤/۳٦^{a}	۳/۷٤^{ef}	۱/۹۰$^{b-d}$	۱۸/۲٤^{b}
SA_3V_2	۱۲/٦^{bc}	۱۳/۱^{a}	۱۳/۱^{a}	۱۰^{ef}	۱۷/٦۵^{a}	٤/۸۰$^{c-d}$	۲/۳۲^{ab}	۲٤/۸۷^{a}
SA_0V_3	۱۱/۷^{cd}	۱۲^{b}	۸/٤^{f}	۱۰^{ef}	۱٦/٤۳^{a}	٤^{ef}	۱/٦۷$^{b-d}$	۱۸/۳۲^{b}
SA_1V_3	۱۱/۵^{d}	۱۰/٦^{cd}	۹/۳^{de}	۱۰/۷$^{c-e}$	۱٤/۹٤^{a}	۳/۹۳^{ef}	۲/۲۷^{ab}	۱۸/٦٤^{b}
SA_2V_3	۱۳/۰۸^{a}	۱۱/۸^{b}	۹/۸^{d}	۱۱/۹^{bc}	۱٦/٦۰^{a}	۳/۳۸^{f}	۲/۰۹^{b}	۲۱/٤۱^{ab}
SA_3V_3	۱٤^{a}	۱۳/۵^{a}	۱۱/۲^{b}	۹^{f}	۱۸/٤۹^{a}	٤/۲۸$^{d-f}$	۲/٦۲^{a}	۲۱/۸۹^{ab}

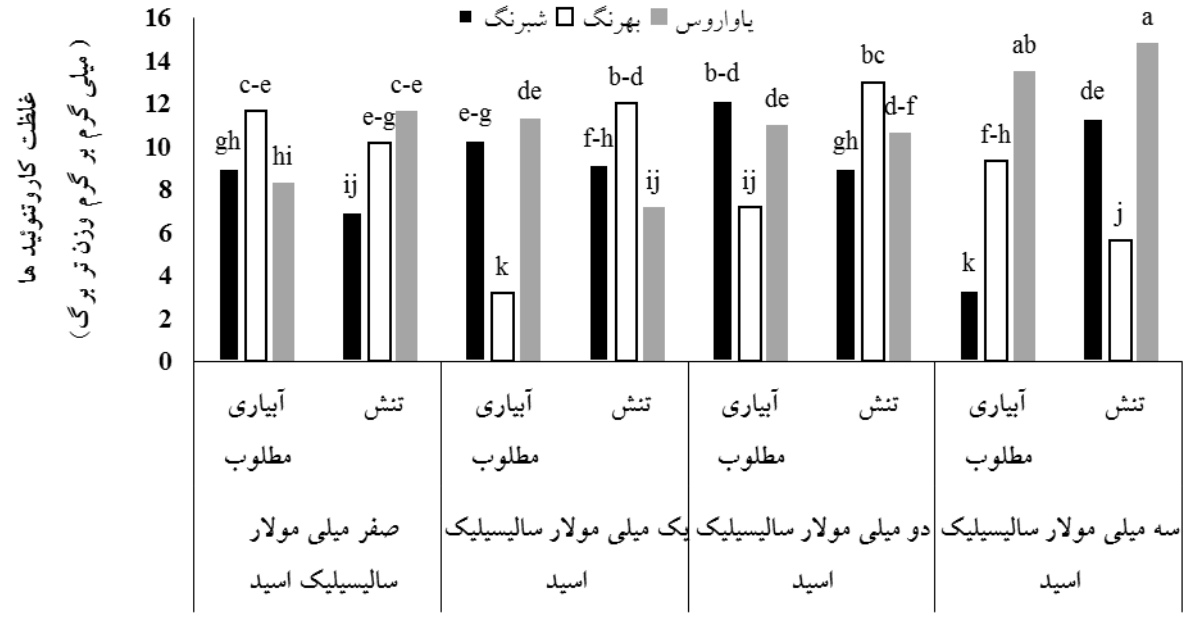
SA_0: عدم محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید، SA_1: محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید، SA2 : محلول‌پاشی ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید، SA_3: محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید. N: آبیاری مطلوب، S: قطع آبیاری در مرحله گلدهی.،V_1: رقم شبرنگ، V_2: رقم بهرنگ، V_3: رقم یاواروس. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر برهمکنش بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8]



شکل ۱- تأثیر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر غلظت کلروفیل *b* در سه رقم گندم ماکارونی (شبرنگ، بهرنگ و یاواروس). (میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند).



شکل ۲- تأثیر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر غلظت کاروتنوئید در سه رقم گندم ماکارونی(شبرنگ، بهرنگ و یاواروس). (میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند).

این صفت با ۱۱/٦٦ میلی‌گرم در گرم وزن تر در شاهد (عدم مصرف سالیسیلیک اسید) به‌دست آمد (شکل ۲). یکی از وظایف کاروتنوئیدها حفاظت نوری رنگیزه‌های فتوسنتزی در انگور است که در شرایط تنش خشکی غلظت کاروتنوئید برگ‌ها کاهش یافته و نمی‌تواند نقش حفاظتی خود را انجام دهد (Wang *et al.*, 2010). کاروتنوئیدها نقش کلیدی در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8]

سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه دارند اما این رنگدانه‌ها بسیار حساس به اکسیداسیون هستند و گزارش شده که تنش خشکی از این طریق بر کاهش غلظت کاروتنوئیدها تأثیر می‌گذارد (Prochazkova *et al.*, 2001). کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی می‌تواند عمدتاً به‌دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی باشد (Flexas *et al.*, 2008). همچنین کاهش غلظت کاروتنوئید می‌تواند به‌دلیل اکسیدشدن آنها توسط گونه‌های فعال اکسیژن و تخریب ساختار آنها باشد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که سالیسیلیک اسید باعث افزایش میزان کاروتنوئیدها به میزان ۲۱/۳۸ درصد شد که این یافته با مطالعه‌ای که Moharekar و همکاران (۲۰۰۳) روی گندم انجام دادند مطابقت داشت.

آنزیم پراکسیداز: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده سالیسیلیک اسید، تنش خشکی و رقم و برهمکنش سالیسیلیک اسید در تنش خشکی و سالیسلیک اسید در رقم و تنش خشکی در رقم برای این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز با ۱۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر در محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و کمترین میزان این صفت با ۱۱/۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر در شرایط تنش خشکی به‌دست آمد. مقایسه میانگین محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در رقم بر فعالیت آنزیم پراکسیداز نشان داد محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید موجب افزایش ۲٤ درصدی فعالیت این آنزیم نسبت به شاهد در رقم بهرنگ شد. همچنین مقایسه میانگین اثر تنش در رقم بر فعالیت آنزیم پراکسیداز نشان داد رقم بهرنگ در شرایط تنش خشکی ۲۷ درصد افزایش نسبت به رقم بهرنگ در شرایط شاهد (آبیاری مطلوب) داشت (جدول ۲). آنزیم پراکسیداز در تجزیه هیدروژن پراکسید به آب و اکسیژن نقش دارد. به‌نظر می‌رسد افزایش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز نشان‌دهنده تلاش گیاه در غلبه بر پراکسیداز هیدروژن در شرایط تنش‌های محیطی است (Mittler, 2002). Janda و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند سالیسیلیک اسید باعث افزایش غلظت آنزیم پراکسیداز در گیاهان ذرت تحت تنش خشکی شد. Ashraf و همکاران (۲۰۰۱) بیان نمودند که فعالیت آنزیم پراکسیداز در گندم تحت تنش خشکی افزایش یافت که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد به گونه‌ای که در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید، آنزیم پراکسیداز ١٤ درصد افزایش داشت (جدول ۲).

آنزیم کاتالاز: نتایج تجزیه واریانس آنزیم کاتالاز نشان داد که اثرات ساده سالیسیلیک اسید، تنش خشکی و رقم و بر همکنش سالیسیلیک اسید در تنش خشکی، سالیسیک در رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بالاترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با ۱۳/۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ در محلول‌پاشی ۳ میلی مولار سیالیسیلیک اسید و کمترین میزان این صفت با ۱۱/۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ در تیمار شاهد (عدم‌مصرف سالیسیلیک اسید) در شرایط تنش خشکی به‌دست آمد. مقایسه میانگین برهمکنش سالیسیلیک اسید و رقم بر آنزیم کاتالاز نشان داد رقم بهرنگ با محلول‌پاشی ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید ۱۸ درصد افزایش نسبت به شرایط شاهد (عدم‌مصرف سالیسیلیک اسید) داشت (جدول ۲). به‌نظر می‌رسد که سالیسیلیک اسید سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدان را طی تنش‌های محیطی در بهبود پاسخ گیاه به تنش تنظیم می‌کند که در ایجاد تحمل در برابر تنش خشکی در گیاهان مؤثر است (Horvath *et al.*, 2007; Hayat *et al.*, 2010). این یافته‌ها با نتایج محلول‌پاشی گیاه رازیانه با سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی که با افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان موجب کاهش خسارت اکسیداتیو شد، مطابقت دارد (سالارپور، ١٣٩٤). Agarwal و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی در گیاه گندم باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دسمیوتاز، آسکوربیک پراکسیداز و کاتالاز شد. Ananieva و همکاران (٢٠٠٤) گزارش کردند که تیمار سالیسیلیک اسید به‌تنهایی باعث افزایش فعالیت پراکسیداز و کاتالاز به‌ترتیب ۱۷ و ۲۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد آبیاری گردید که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد به گونه‌ای که محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید باعث

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8]

افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز به‌ترتیب به‌میزان ۱٤ و ۱۵ درصد در مقایسه با شاهد سالیسیلیک اسید شد (جدول ۲).

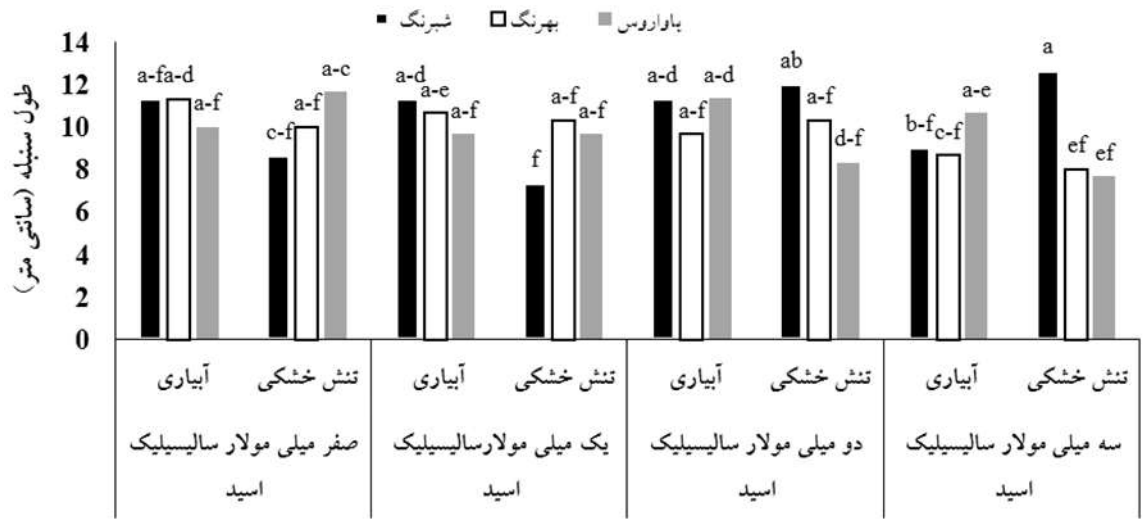
پروتئین دانه: نتایج تجزیه واریانس برای پروتئین دانه نشان داد که بر همکنش تنش خشکی در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین غلظت پروتئین دانه با ۲۲/۹۳ درصد در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالسیلیک اسید و کمترین غلظت این صفت با ۱۵/۰۲ درصد در شرایط شاهد (عدم‌مصرف سالیسیلیک اسید) به‌دست آمد (جدول ۲). فتحی (۱۳۸۵) گزارش نمود که عملکرد دانه و پروتئین در گندم به‌وسیله کارایی گیاه در تخصیص ماده خشک و نیتروژن به دانه تعیین می‌شود. دانیل و تریبوی (Daniel and Triboi, 2008) در آزمایش‌های جداگانه بر روی ذرت و گندم به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی موجب افزایش درصد پروتئین دانه نسبت به شرایط مطلوب آبیاری گردید، آنها دلیل این امر را کاهش انتقال مواد فتوسنتزی اعلام نمودند که باعث کاهش نسبت حجم آندوسپرم نشاسته‌ای به کل حجم دانه می‌شود و از آنجایی که درصد پروتئین در پوسته و جنین نسبت به آندوسپرم نشاسته‌ای بیشتر است بنابراین درصد پروتئین دانه در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد. در شرایط تنش خشکی جذب و تثبیت CO_2 بر اثر بسته‌شدن نسبی روزنه‌ها و یا کاهش درجه بازشدن آنها کاهش می‌یابد، بنابراین میزان کل مواد پرورده برای پرشدن دانه کاهش می‌یابد، ولی تنش خشکی انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها به دانه را کاهش نمی‌دهد و این امر سبب افزایش پروتئین دانه می‌شود (قبادی، ۱۳۸۹). محمدی و همکاران (۱۳۸۵) در بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر مقدار پروتئین گندم دریافتند، گیاهان تیمارشده با این ترکیب دارای مقدار پروتئین محلول بیشتری هستند. همچنین با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید غلظت پروتئین در این گیاه بیشتر شد که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد به گونه‌ای که سالیسیلیک اسید باعث افزایش ۳٤/۵ درصدی پروتئین دانه شد (جدول ۲).

طول سنبله: نتایج تجزیه واریانس برای طول سنبله نشان داد که طول سنبله تحت اثر سه گانه تنش خشکی در رقم در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین طول سنبله با ۱۲/٦٦ سانتی‌متر در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در رقم شبرنگ و کم‌ترین میزان این صفت با ۷/۳۳ سانتی‌متر در شرایط شاهد (عدم‌مصرف سالیسیلیک اسید) به‌دست آمد (شکل ۳). طول سنبله صفتی است که معمولاً نقش تعیین کننده‌ای در میزان عملکرد دانه دارد. البته شاخص معینی جهت تولید دانه یا وزن دانه تولیدشده نیست (معاونی و همکاران، ۱۳۸۹). تنش خشکی می‌تواند از طریق کوتاه‌کردن طول دوره نمو (Emam, 2011) و همچنین افزایش سرعت نمو (Emam, 2005) موجب کاهش طول سنبله در گیاه گندم گردید. خشکی همچنین از طریق تأثیر مستقیم منفی بر مریستم انتهایی که تشکیل‌دهنده سنبله است، می‌تواند سبب کاهش طول سنبله در گیاه گندم شود (Gooding *et al.*, 2003). Amin و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی که بر روی گیاه جو انجام دادند مشاهده کردند که در شرایط تنش خشکی محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید باعث افزایش طول سنبله شد. نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد که محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی باعث افزایش ٤۲/۱ درصدی طول سنبله در رقم شبرنگ شد (شکل ۳).

تعداد دانه در سنبله: یکی دیگر از اجزا مهم عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس تعداد دانه در سنبله نشان داد که اثر ساده سالیسیلیک اسید و تنش خشکی و برهمکنش سالیسیلیک اسید در تنش خشکی و تنش خشکی در رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر تعداد دانه در سنبله نشان داد که محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید ۳۹ درصد افزایش نسبت به شاهد (عدم‌مصرف سالیسیلیک اسید) در شرایط تنش خشکی داشت. مقایسه میانگین اثر تنش خشکی در رقم بر تعداد دانه در سنبله نشان داد که رقم یاواروس در شرایط تنش خشکی ۳۰ درصد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8]



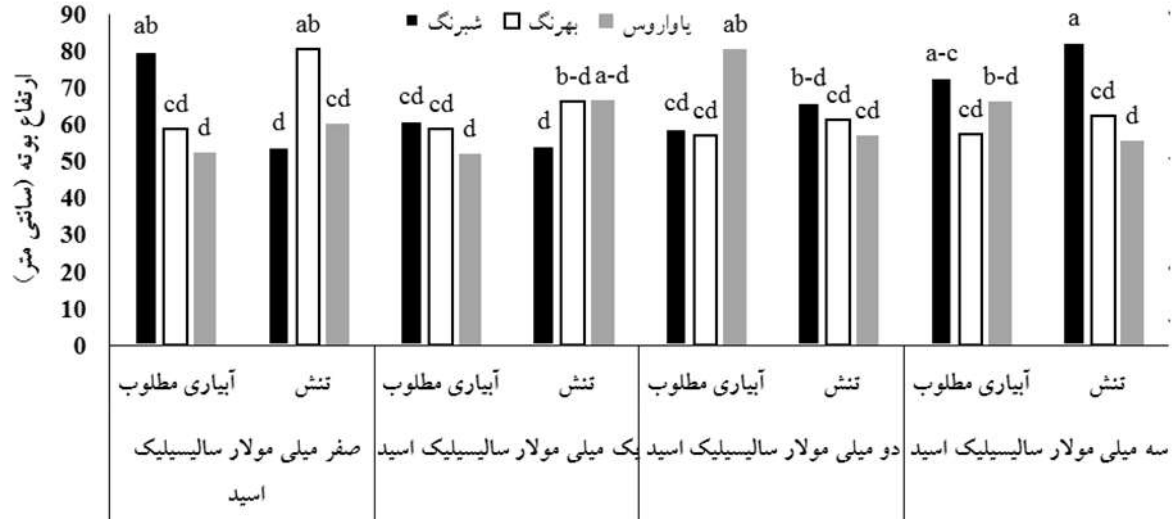
شکل ۳- تأثیر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر طول سنبله سه رقم گندم ماکارونی (شبرنگ، بهرنگ و یاواروس). (میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند).

کاهش نسبت به رقم یاواروس به شاهد (آبیاری مطلوب) داشت (جدول ۲). کاهش تعداد دانه در سنبله در اثر تنش خشکی در پژوهش Luigi و همکاران (۲۰۰۸) و Oosterhuis و همکاران (۱۹۸۳) نیز در گیاه گندم گزارش شده است. دلیل کاهش تعداد دانه در سنبله می‌تواند به‌دلیل نقش خشکی در کندکردن تشکیل آغازه‌های سنبلک یا تقسیم میوز در گامت‌ها و باروری تخمک‌ها و نمو زودتر دانه‌ها باشد (Boyer, 1996). یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که محلول‌پاشی سالیسلیک اسید در شرایط تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله شد که با نتایج پیرسته انوشه و امام (۱۳۸٦) که بیان کردند تنظیم‌کننده‌های رشد اثر مثبتی بر تعداد دانه در سنبله گندم در شرایط تنش خشکی دارند مطابقت داشت.

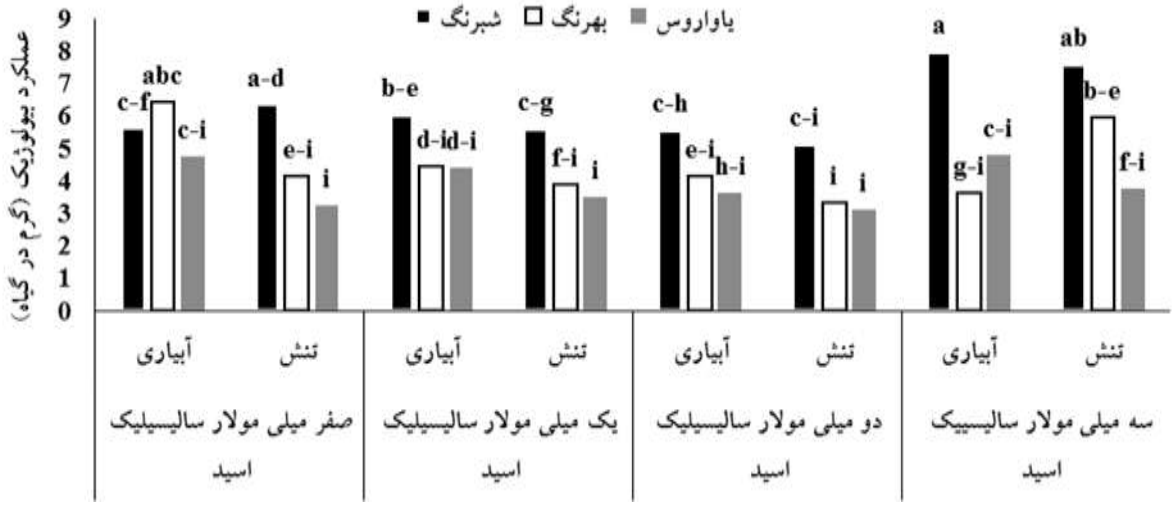
ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس برای ارتفاع بوته نشان داد که اثر سه گانه تنش خشکی در رقم در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بیشترین میزان ارتفاع بوته با ۸۲/۳۳ سانتی‌متر با محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی در رقم شبرنگ و کمترین میزان ارتفاع بوته با ٥٤ سانتی‌متر در شرایط شاهد (عدم‌مصرف سالیسیلیک اسید) به‌دست آمد (شکل ٤). تنش خشکی باعث کاهش فشار آماس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول‌ها به‌ویژه در ساقه و برگ است. کاهش در بزرگ‌شدن سلول‌ها و تقسیم سلولی موجب کاهش سطح برگ و سرعت فتوسنتز در نهایت کاهش ارتفاع گیاه می‌گردد. با کاهش رشد و نمو سلول محدود می‌شود؛ به عبارت دیگر کاهش مواد فتوسنتزی تولیدی به علت کاهش سطح برگ و کاهش انتقال فراورده‌های فتوسنتزی به سمت اندام‌های زایشی در اثر تنش خشکی سبب کاهش عملکرد می‌گردد (محمدپور وشورایی و همکاران، ۱۳۹٤). Kumar و همکاران (۲۰۱٦) گزارش کردند که تنش خشکی در مرحله رشد رویشی اغلب سبب کاهش ارتفاع گیاه گندم می‌شود. سالیسیلیک اسید احتمالاً می‌تواند سبب بهبود جذب عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی و شوری شود که این خود افزایش رشد و ارتفاع گیاه هویج را به همراه خواهد داشت (Moharekar *et al.*, 2003). در پژوهش حاضر مشاهده شد که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی ۳٤/٤ درصدی ارتفاع بوته را نسبت به شاهد (عدم‌مصرف سالیسیلیک اسید) افزایش داد (شکل ٤).

عملکرد بیولوژیک: نتایج تجزیه واریانس این صفت نشان داد که اثر ساده سالیسیلیک، تنش و رقم و برهمکنش سه گانه سالیسیلیک اسید در تنش در رقم در سطح احتمال یک درصد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8]



شکل ٤- تأثیر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر ارتفاع بوته سه رقم گندم ماکارونی (شبرنگ، بهرنگ و یاواروس). (میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند).



شکل ٥- تأثیر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر عملکرد بیولوژیک سه رقم گندم ماکارونی (شبرنگ، بهرنگ و یاواروس). (میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند).

و برهمکنش سالیسیلیک اسید در رقم در سطح احتمال ٥ درصد معنی‌دار شد (جدول ١). رقم شبرنگ در محلول‌پاشی ٣ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی ١٦ درصد افزایش نسبت به شرایط شاهد (عدم‌مصرف سالیسیلیک اسید) داشت (شکل ٥). عملکرد بیولوژیک شامل وزن خشک تمامی بخش‌های هوایی گیاه است که تحت تأثیر ژنوتیپ و شرایط محیط رشد قرار می‌گیرد (Emam and Seghatoeslami, 2005). خشکی با اثرات متفاوتی که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر گیاه دارد از قبیل بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش تورژسانس (Pessarakli, 2001)، کاهش سطح فتوسنتزکننده و هم‌چنین کاهش میزان فتوسنتز، باعث کاهش تجمع ماده خشک می‌شود (Sliman, 1994). مشاهده شده است که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر گیاهان سویا و ذرت با غلظت‌های 10^{-3} و 10^{-5} مولار باعث افزایش رشد شاخساره گردید (Metwally *et*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8]

al., 2003) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت به گونه‌ای که در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید عملکرد بیولوژیک ۲۳ درصد افزایش نسبت به شاهد (عدم‌مصرف سالیسیلیک اسید) در گندم ماکارونی داشت.

عملکرد دانه در بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر رقم در سطح احتمال ۵ درصد و اثر سالیسیلیک اسید و تنش و بر همکنش سالیسیلیک اسید در تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردیدند (جدول ۱). بیشترین میزان عملکرد دانه با ۲/٤۱ گرم در بوته در ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و کمترین میزان این صفت با مقدار ۱/٤۸ گرم در بوته گیاه در محلول‌پاشی شاهد (عدم‌مصرف سالیسیلیک اسید) در شرایط تنش خشکی به‌دست آمد (جدول ۲). پاک‌نژاد و همکاران (۱۳۸٦) اعلام نمودند که تنش خشکی در گیاه گندم در مرحله‌ی زایشی سبب کاهش در بیش‌تر صفات اندازه‌گیری شده نسبت به شاهد شد و بیشترین کاهش در تیمار اعمال تنش خشکی در مرحله گل‌دهی مشاهده شد. کاهش فتوسنتز و همچنین کاهش انتقال مواد پرورده به سنبله گیاه سبب کاهش ماده خشک هر بوته می‌شود که در نهایت عملکرد دانه گندم را کاهش خواهد داد (Saini and Aspinall, 1981). پژوهش‌های دیگر نشان داد که تیمار گندم با سالیسیلیک اسید موجب ایجاد مقاومت در برابر کمبود آب (Bezrukova *et al.*, 2001) و نیز باعث مقاومت در برابر آثار زیان‌آور تجمع عناصر سنگین در برنج شده است (Mishra and Choudhuri, 1999). Arfan و همکاران (۲۰۰٦) افزایش محصول گندم را به میزان ۱۳ درصد در شرایط تنش شوری در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید گزارش کردند. امین و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که عملکرد دانه گندم تحت تأثیر محلول‌پاشی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم سالیسیلیک اسید افزایش قابل توجهی داشت. در پژوهش حاضر با محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی عملکرد گندم ماکارونی ۳۹ درصد افزایش داشت (جدول ۲).

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی حاضر نشان داد که هر سه رقم مورد بررسی (شبرنگ، بهرنگ و یاواروس) در مراحل پایانی رشد (گل‌دهی) به تنش خشکی بسیار حساس بوده و هم‌زمانی تنش با این مرحله از رشد گیاه، باعث ایجاد خسارت زیادی به محصول می‌شود به گونه‌ای که تنش خشکی باعث کاهش بیش‌تر صفات وابسته به عملکرد و درنتیجه باعث کاهش عملکرد گردید. کاربرد سالسیلیک اسید اثرات تنش خشکی را بر صفات رنگیزه‌های فتوسنتزی، فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاتالاز، طول سنبله، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را جبران کرد. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید می‌تواند اثرات سو تنش خشکی را کاهش داده و باعث می‌شود که عملکرد بهتری را نسبت به شاهد (عدم‌مصرف سالیسیلیک اسید) در شرایط تنش خشکی ایجاد کند. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزکننده کلروفیل a و b، میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز را به‌ترتیب ۳۲، ۳٤، ۱٤، ۱۵ درصد افزایش داده که این افزایش ارتباط مثبتی با عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی داشته به‌طوری‌که محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری مطلوب منجر به افزایش ٦ درصدی عملکرد گندم ماکارونی رقم یاواروس شد. به‌طور کلی در بین ارقام شبرنگ، بهرنگ و یاواروس گندم ماکارونی، در رقم یاواروس که مختص اقلیم‌های گرم و خشک است محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید منجر به افزایش غلظت کلروفیل a و b و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز نسبت به عدم‌مصرف سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی شد که در نهایت افزایش عملکرد دانه گندم ماکارونی را به‌همراه داشت.

منابع

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8]

امام، ی. و پیرسته انوشه، ه. (۱۳۸٦) تأثیر پرایمینگ سالیسیلیک اسید بر جذب آب جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های جو تحت تأثیر تنش شوری. سیزدهمین کنگره زراعت و اصلاح نبات، کرج، ایران.

امینی، ز.، حداد، ر. و مرادی، ف. (۱۳۸۷) بررسی اثر تنش کم‌آبی بر نحوه فعالیت آنزیم‌های ضداکسنده در مراحل رشد رویشی گیاه جو. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱: ۷٤-٦٥.

آروین، م. ج.، بیدمشکی، ا.، کرامت، ب. و مقصودی، ک. (۱۳۹۰) نقش اسید سالیسیلیک در کاهش اثرات تنش خشکی از طریق تأثیر بر پارامترهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در گیاه سیر. هفتمین کنگره علوم باغبانی ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

پاک‌نژاد، ف. ا.، مجیدی، ق.، نور محمدی، ع. و سیادت، س. (۱۳۸٦) ارزیابی تأثیر تنش خشکی بر صفات مؤثر بر انباشت مواد در دانه ارقام مختلف گندم. مجله علمی و پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران ۱: ۱٥٤-۱۳۷.

سالارپور غربا، ف. و فرح‌بخش، ح. (۱۳۹٤) تأثیر کم‌آبیاری و اسید سالیسیلیک بر اسانس و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه رازیانه. مجله به‌زراعی کشاورزی ۱۱: ۷۱۳-۷۰۳.

فتحی، ا. (۱۳۸٥) ارزیابی اثرات تنش آب در مرحله گرده افشانی و مقادیر مختلف نیتروژن بر عملکرد و انتقال مجدد ماده خشک در ارقام مختلف گندم. مجله علوم زراعی ایران ۲: ۲۷۷-۲٦۷.

قبادی، ر. (۱۳۸۹) بررسی اثرات سطوح مختلف تنش خشکی و کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۷۰٤. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه بروجرد، ایران.

محمدی، ع.، مجیدی، ا.، بی‌همتا، م. ر.، و حیدری شریف آبادائی، ح. (۱۳۸٥) ارزیابی تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر روی خصوصیات زراعی و مورفولوژیکی در تعدادی از ارقام گندم. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی ۷۳: ۱۹۲-۱۸٥.

معاونی، ب.، ولد آبادی، ع. و ابراهیمی، ا. (۱۳۸۹) گندم. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، ایران.

Abei, H. (1984) Catalase in vitro. Methods in Enzymology 105: 121-126.

Alkiar, A. C., Racz, G. J. and Soper, R. J. (1972) Effects of foliar and soil-applied nitrogen and soil nitrate-nitrogen level on the protein content of neepawa wheat, Canadian Journal of Soil Science 52: 301-309.

Agarwal, S. K. R., Sairam, G. C., Srivastava, T., Aruna, C. R. and Meena, R. (2005) Role of ABA, salicylic acid, calcium and hydrogen peroxide on antioxidant enzyme induction in wheat seedlings. Plant Science 169: 559-570.

Amin, A. A., Li, S., Rashab, M., Fatma, A. and Gharib, A. E. (2008) Changes in morphological, physiological and reproductive characters of wheat plants as affected by foliar application withy salicylic acid and ascorbic acid. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 2: 252-261.

Ananieva, A. E., Christov, L. P. and Popova, D. (2004) Exogenous treatment with salicylic acid leads to increased antioxidant capacity in leaves of barley plants exposed to paraquat. Journal of Plant Physiology 161: 319-328

Arfan, M., Arthar, R. and Ashraf, M. (2006) Does exogenous application of salicylic acid through the rooting media modulate growth and photosynthetic capacity of two differently adopted durum wheat cultivars under salt stress. Journal of Plant Physiology 164: 685-694.

Arnon, A. N. (1967) Method of extraction of chlorophyll in the plants. Journal of Agronomy 23: 112-121.

Ashraf, M. M., Shabaz, S., Mahmood, E. and Rasul, E. (2001) Relationship between growth and photosynthetic characteristics in pearl millet (*Pennisetum glaucum*) under limited water deficit conditions with enhanced nitrogen supplies. Belgian Journal of Botany 134: 131-144.

Bezrukova, M. V., Sakhabutdinova, R., Fatkhutdinova, R. A., Kyldiarova, I. and Shakirova, F. (2001) The role of hormonal changes in protective action of salicylic acid on growth of wheat seedlings under water deficit. Photosynthetica 2: 51-54.

Bijanzadeh, E. and Emam, Y. (2010) Effect of defoliation and drought stress on yield components and chlorophyll content of wheat. Pakistan Journal of Biological Sciences 13: 699-705.

Boyer, J. S. (1996) Advanced in drought tolerance in plants. Journal of Agronomy 56: 187-218.

Carter, D. L. (1987) Water relations and irrigation. Wheat and Wheat Improvement Journal of Agronomy 58: 453-454.

Daniel, C. and Triboi, E. (2008) Changes in wheat protein aggregation during grain development: effects of temperature and water stress. Journal of Agronomy 16: 1-12.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8]

Debaeke, P. and Abdellah, A. (2004) Adaptation of crop management to water-limited environments. Journal of Agronomy 21: 433-446.

Emam, Y. (2011) Cereal Production 4nd Ed. Shiraz University Press, Shiraz. (In Farsi).

Emam, Y. and Seghatoeslami, M. J. (2005) Cop Yield, Physiology and Processes. Shiraz University Press, Shiraz. (In Farsi).

Flexas, J., Bota, J., Galmes, J., Medrano, H. and Ribas-Carbo, M. (2008) Keeping a positive carbon balance under adverse conditions responses of photosynthesis and respiration to water stress. Physiologia Plantarum 127: 343-35.

Fabrian, G. and Lintas, S. (1988) Durum wheat: Chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists Inc 216.

Gooding, M. J., Ellis, R. H., Sherry, P. R. and Schofield, J. D. (2003) Effects of restricted water availability and increased temperature on grain filling, drying and quality of water wheat. Journal of Cereal Science 37: 295-309.

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: 14-25.

Horvath, E., Szalai, G. and Janda, T. (2007) Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. Journal of Plant Growth Regulation 26: 290-300.

Janda, T. G., Szala., Z., Antunovics, E. and Hovart Paldi, E. (2001) Effect of benzoic acid and aspirin on chilling tolerance and photosynthesis in young mice. Plants Mydica 45: 29-33.

Khan, W., Prithiviraj, B. and Smith, D. (2003) Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. Journal of Plant Physiology 160: 485-492.

Kaydan, D., Yagmur, M. and Okut, N. (2006) Effects of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). Tarim Bilimleri Dergisi 13: 114-119.

Kumar, N., Parsad, S. H., Dwivedi, R., Kumar, A., Yadav, R. K., Singh, M. P. and Yadav, S. S. (2016) Impact of heat stress on yield and yield attributing traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) lines during grain growth development. International Journal of Pure and Applied Bioscience 4: 179-184.

Luigi, C., Rizza, F., Farnaz, B., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A. M., Francia, E. Mare, C., Alessandro, T. and Stanca, M. A. (2008) Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. Field Crops Research 105: 1-14.

Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M. and Dietz, K. J. (2003) Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. Plant Physiology 132: 272-281.

Mishra, A. and Choudhuri, M. A. (1999) Effect of salicylic acid on heavy metal-induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice. Biologia Plantarum 42: 409-415.

Mittler, R. (2002) Oxidative stress antioxidant and stress tolerance. Plant Science 405: 415-417.

Moharekar, S. T., Lokhande, S. D., Hara, T., Tanaka, R., Tanaka, A. and Chavan, P. D.(2003) Effect of salicylic acid on chlorophyll and carotenoid contents of wheat and moong seedlings. Photosynthetica 41: 315-317.

Oosterhuis, D. M. and Cartwirght, P. M. (1983) Spike differentiation and floret survival in semi-dwarf spring wheat as affected by water stress and photoperiod. Journal Agronomy 23: 711-717.

Panda, R. K., Behera, S. K. and Kashyap, P. S. (2004) Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. Journal Agronomy Water Manage 66: 181-203.

Parvaiz, A. and Satyawati, S. (2008) Salt stress and Phyto-biochemical responses of plants. Plant Soil Environment 54: 89-99.

Pessarakli, M. (2001) Handbook of Plant and Crop Physiology 2nd Ed. Marcel Dekker, Inc. New York.

Pierre, C. S., Petersona, J., Rossa, A., Ohma, J., Verhoerena, M., Larsona, M. and Hoefera, B. (2008) White wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization, and water stress. Journal of Agronomy 100: 414-420.

Prochazkova, D., Sairam, R. K., Srivastava, G. C. and Singh, D. V. (2001) Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. Plant Science 161: 765-771.

Raskin, K. (1992) Role of salicylic acid in plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant molecular Biology 43: 439-463.

Ratnayaka, H. H. and Kincaid, D. (2005) Gas exchange and leaf ultrastructure tinnevelly senna, *Cassia angustifulia*, under drought and nitrogen stress. Crop Science 45: 840-847.

Royo, C., Aparicio, N., Blanco, R. and Villegas, D. (2004) Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. Journal Agronomy 20: 419-430.

Saini, H. S. and Aspinall, D. (1981) Effect of water deficit on sporogenesis in wheat. Journal of Agronomy and Water Management 48: 623-635.

Sairam, R. K., Srivastava, G. C., Agarwal, R. C. and Meena, F. (2005) Differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes. Biologia Plantarum 49: 85-91.

Shakirova, M. F., Sakhabutdinova, A. R., Bezrukova, M .V., Fatkhutdinova, R. A. and Fatkhutdinova, D. R. (2003) Changes in the hormonal status of wheat Seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science 3: 317-322.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8]

Sliman, Z. T., Refay, K. A. and Mostafa, J. (1994) Effects of cycocel rate and time of application on performance of two bread wheat cultivars. Journal of Biology Agriculture and Healthcare 44: 5-19.

Wang, L. I., Fan, W., Loescher, W., Dunan, G., Liu, J., Cheng, H. and Luo, S. L. (2010) Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. BMC Plant Biological 10: 34-48.

Zadokes, J. C., Chang, T. T. and Konzak, C. F. (1974) A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14: 415-421.

Zhu, G. X., Midmore, D. J., Radford, B. J. and Yule, D. F. (2002) Effect of timing of defoliation on wheat (*Triticum aestivum* L.) in central queensland I crop response and yield. Field Crops Research 88: 211-226.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8]

Effect of salicylic acid on photosynthetic pigments, enzyme activity and yield of durum wheat (*Triticum durum* L.) under drought stress

Soodabeh Rezabeigi, Ehsan Bijanzadeh*, Ali Behpouri

Department of Agroecology, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University

(Received: 05/01/2019, Accepted: 23/06/2019)

Abstract

In order to investigate the effect of salicylic acid on photosynthetic pigments, enzyme activity and yield of durum wheat cultivars under drought stress, a greenhouse experiment was conducted at College of Agriculture and Natural Resource of Darab, Shiraz University, as factorial based on complete randomized design with 3 replicates. Treatments included of drought stress in two levels of normal irrigation and drought stress at the beginning of the milking stage, and salicylic acid at 0, 1, 2, and 3 mM and three different durum wheat cultivars consisted of Shabrang, Behrang and Yavaros. The results showed that the late season drought stress, cultivar and salicylic acid had significant effect on chlorophyll a and b contents, as well as peroxidase and catalase enzymes, grain protein, plant height, and spike length, grain number per spike, biological yield and grain yield. The interaction of drought stress and salicylic acid had a significant effect on chlorophyll a and b contents, so that chlorophyll a and b contents with application of 3 mM salicylic acid in drought stress conditions were 32 and 35%, compared to the control (no application of salicylic acid), respectively. Under drought stress conditions, the highest carotenoid content (14.83 mg /g Fw) was obtained in foliar application of 3mM salicylic acid, in Yavaros cultivar. Also, drought stress and salicylic acid had a significant effect on peroxidase and catalase enzymes and application of 3 mM salicylic acid caused 14 and 15% increase compared to the no application of salicylic acid, respectively. Finally, foliar application of 3 mM salicylic acid increased chlorophyll a and b contents as well as peroxidase and catalase enzymes activity compared to the no application of salicylic acid and increased 13% grain yield of Yavaros cultivar.

Key words: Biological yield, Peroxidase, Catalase, Yavaros, Grain nitrogen.

Corresponding author, Email: ebijanzadeh@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8]