تأثیر کاربرد اسید سالیسیلیک و سیلیکات پتاسیم بر برخی پاسخ‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی وبیوشیمیایی گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط تنش شوری

بهرخ دایی حسنی*، معصومه عابدینی و زهرا شاهین فر

گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۰۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹٦/۰۸/۱۷)

چکیده

شوری آب و خاک از عوامل کاهش دهنده رشد و عملکرد بسیاری از محصولات کشاورزی در ایران می‌باشد. بنابراین، ترکیبات زیادی در زمینه کاهش اثرات زیان‌آور این تنش، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این پژوهش به‌منظور بررسی اثرات اسید سالیسیلیک و سیلیکات پتاسیم بر کاهش اثرات منفی تنش شوری در گندم انجام شده است. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با اضافه کردن ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ١٤ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم به محلول غذایی اجرا گردید. کشت گیاهان در شرایط هیدروپونیک، با استفاده از محلول غذایی هوگلند انجام گرفت. نتایج نشان داد که در گیاهان تیمار شده با شوری، وزن تر و خشک، غلظت کلرفیل‌های a، b و کل، کاروتنوئیدها و پروتئین کل در مقایسه با گیاهان شاهد به طور معنی‌دار کاهش یافت، در حالیکه شوری منجر به افزایش معنی‌دار غلظت قندهای محلول، مالون‌دی‌آلدئید و پراکسیدهیدروژن گردید. همچنین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز و پراکسیداز نیز به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. طبق نتایج به‌دست آمده، کاربرد اسید سالیسیلیک و سیلیکات پتاسیم در شرایط شوری موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء و سطح پراکسید هیدروژن شد. با این حال، شاخص‌های رشدی مورد مطالعه، غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی، غلظت قندهای محلول و پروتئین کل با کاربرد ترکیبات ذکر شده در شرایط شوری به طور قابل‌توجهی افزایش نشان دادند. بررسی مقایسه‌ای پاسخ سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه گندم تحت تنش شوری به کاربرد ترکیبات ذکر شده، تفاوت چندانی بین تیمارها در فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز نشان نداد، با این حال کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز ریشه و اندام هوایی و نیز کاهش در فعالیت پراکسیداز اندام هوایی با کاربرد اسید سالیسیلیک در مقایسه با کاربرد سیلیکات پتاسیم مشاهده شد.

کلمات کلیدی: اسید سالیسیلیک، سیستم آنتی اکسیدانی، تنش شوری، گندم

مقدمه

رشد و توسعه گیاهان فرآیندهای درونی هستند که تحت تأثیر عوامل محیطی مختلف قرار می‌گیرند، اما گاهی به‌عنوان عوامل تنش‌زا عمل کرده و موجب صدمه و حتی مرگ گیاه می‌شوند (Jaleel *et al*., 2007). شوری آب و یا خاک منجر به کاهش قابل توجه در تولید محصولات زراعی می‌شود (Cha-um*et al*., 2011). کاهش در عملکرد محصولات زراعی به دلیل تحت تأثیر قرار گرفتن پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.4.6]

در طی اعمال تنش شوری می‌باشد. پاسخ گیاهان به شوری وابسته به نوع گیاه، مرحله نحوی آن، شدت و مدت اعمال تنش می‌باشد (Manchanda and Garg, 2008). بسیاری از عملکردهای اصلی گیاهان مانند رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین، متابولیسم لیپیدها، تنفس و تولید انرژی، تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرند (Parida and Das, 2005). اختلال در جذب مواد معدنی، مهار رشد ریشه و به‌دنبال آن کاهش جذب آب (Parida and Das, 2005)، همچنین تغییر در نفوذپذیری غشاء (Sairam *et al*., 2005) از دیگر اثرات مخرب تنش شوری در گیاهان است. تحت تأثیر تنش شوری تولید انواع گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابد (Kholova*et al*., 2010) و موجب القاء تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود (Parida and Das, 2005). همچنین القاء درپراکسیداسیون لیپیدها از دیگر اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد (Demiral and Turkan, 2005). بنابراین میزان حفظ تمامیت غشاء تحت تأثیر شوری از شاخص‌های مهم تعیین میزان مقاومت و یا حساسیت گونه‌های گیاهی مختلف در برابر شرایط تنش‌زا می‌باشد (Meloni *et al*., 2007). امروزه استفاده از ترکیباتی که مقاومت گیاهان را به تنش‌های محیطی افزایش داده و موجب بهبود فعالیت‌های متابولیکی گیاه می‌شوند، توصیه می‌گردد. اسید سالیسیلیک، ترکیبی فنولی از گروه تنظیم کننده‌های رشد گیاهی است که نقش بسیار مهمی در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه به عهده دارد (Ashraf, 2009). این ترکیب در تنش‌های محیطی نقش محافظتی داشته و موجب بهبود روند رشد در گیاه می‌شود (حیدری و همکاران، ۱۳۸۸). اسید سالیسیلیک ضمن سنتز اتیلن، باعث تعدیل اثرات منفی تنش شوری می‌شود. نقش اسید سالیسیلیک در تخفیف عوارض ناشی از تنش‌ها از طریق تأثیر روی فرایندهای متعدد مانند عملکرد روزنه، مقدار کلروفیل، تعرق، فتوسنتز و ... می‌باشد (Jayakannan *et al*., 2013). اسید سالیسیلیک به‌عنوان سیگنال داخل گیاهی باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های شوری، خشکی، سرما و گرما می‌شود (Chakraboyty and Tongden, 2005). اثر اسید سالیسیلیک بر رشد گیاهان بستگی به گونه گیاهی، مرحله تکوین و غلظت این ترکیب دارد (Rivas-SanVicente and Plasencia, 2011). پیشنهاد شده است که اثرات تحریکی رشد اسید سالیسیلیک می‌تواند در ارتباط با تغییرات هورمونی (Abreu and Munne-Bosch, 2009) و یا بهبود فتوسنتز، تنفس و هدایت روزنه‌ای باشد (Stevens *et al*., 2006). سیلیکون، عنصر غیرضروری برای رشد گیاه است. با این حال، پژوهش‌های متعددی نشان داده است که کاربرد سیلیسیم به‌طور معنی‌داری رشد گیاه را تحت شرایط نرمال (Agurie *et al*., 1992) و نیز تحت شرایط تنش‌های زیستی و غیر زیستی افزایش می‌دهد (Romero-Aranda *et al*., 2006). سیلیکون از طریق بهبود وضعیت آبی (Romero-Aranda *et al*., 2006)، افزایش فعالیت فتوسنتزی و تغییر در فرا ساختار برگ (Shuand Liu, 2001)، تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی (Dixon *et al*., 2001) و کاهش تأثیر یونی ویژه (1990 ,Rafiq) از طریق کاهش جذب سدیم (Gong, 2003) یا به وسیله افزایش فعالیت پمپ‌های H^+-ATP_{ase} در غشاهای سلولی در ارتباط با پتاسیم اندام هوایی، به کاهش اثرات تنش شوری در گیاهان کمک می‌کند (Kaya *et* . Reezi *et al*., 2009 *al*., 2006). بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر کاربرد اسید سالیسیلیک و نیز سیلیکات پتاسیم در جهت بهبود تحمل گندم زراعی به تنش شوری انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

شرایط کشت و نگهداری گیاهان: در این تحقیق از گندم (*Triticum aestivum*) رقم چمران، تهیه شده از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی استفاده شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای با طول روز۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و دمای ۲±۲۰ و رطوبت نسبی ۵۰- ۶۰ درصد به‌صورت هیدروپونیک در محلول غذایی هوگلند انجام گرفت. بذرها پس از ضدعفونی و جوانه زنی در کاغذ صافی مرطوب به تشتک‌های پلاستیکی سه لیتری حاوی محلول غذایی نیم غلظت هوگلند منتقل شده و پس از طی دو هفته پیش تیمار،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.4.6]

دانه رست‌ها به محلول غذایی هوگلند کامل منتقل شدند و بعد از دو هفته، اعمال تیمارها آغاز شد. تیمارهای به‌کار رفته بر روی گیاهچه‌های یک ماهه، شامل نمک کلرید سدیم با غلظت ۱۰۰میلی‌مولار بود که به تمام تشتک‌ها به جزء گیاهان شاهد اضافه شد. علاوه بر نمک، یک سوم تشتک‌ها با اسید سالیسیلیک ۱۴ میلی‌گرم در لیتر و یک سوم دیگر با سیلیکات پتاسیم ۱۵ میلی‌گرم در لیتر تیمار شدند. محیط کشت گیاهان شاهد تنها شامل محلول غذایی هوگلند ۱۰۰ درصد بود. بعد از دو هفته اعمال تیمارها در شرایط ذکر شده، نمونه‌های گیاهی برای سنجش شاخص‌های مورد نظر برداشت شدند.

سنجش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه: وزن تر ریشه و اندام هوایی بعد از جدا کردن از یکدیگر و خشک کردن آنها تعیین شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه، گیاهان را به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰درجه سانتی گراد قرار داده و پس از خشک شدن کامل نمونه‌ها، وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

سنجش کلروفیل و کاروتنوئید: برای سنجش مقدار کلروفیل و کاروتنوئید ۰/۲ گرما زبرگ گیاه با۱۰سی سی استن ۸۰ درصد در هاون ساییده شد، محتویات به یک لوله آزمایش منتقل شده و پس از ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ در ۴۰۰۰ دور در دقیقه (rpm) درطول موج‌های ۶۶۳/۲، ۶۴۶/۸ و ۴۷۰ نانومتر جذب آنها در مقابل شاهد که حاوی استون ۸۰ درصد است توسط دستگاه اسپکتروفتومتر(شیمادزو ساخت کشور ژاپن) خوانده شد (Lichtenthaler, 1978).

$$Chla\ (\mu g/ml) = ۱۲/۲۵A_{۶۶۳/۲} - ۲/۷۹A_{۶۴۶/۸}$$

$$Chlb\ (\mu g/ml) = ۲۱/۵A_{۶۴۶/۸} - ۵/۱A_{۶۶۳/۲}$$

$$Total\ Ch = Cha + Chb$$

$$C\ (x + c) = ۱۰۰A_{۴۷۰} - ۱/۸۲\ Cha - ۸۵/۰۲\ Chb\ /۱۹۸$$

V= حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر و W= وزن تر نمونه بر حسب گرم.

سنجش قندهای محلول: برای اندازه گیری مقدار قندهای محلول، ۰/۰۱ گرم ماده‌ی خشک گیاهی در هاون چینی سائیده شد و روی آن ۱۰ میلی‌لیتر اتانل۸۰ درصد ریخته شد و به مدت یک هفته در یخچال قرار گرفت. عصاره‌ی حاصل صاف شد و روی ۰/۵ میلی‌لیتر از آن، ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ در صد و ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ اضافه شد. بعد از نیم ساعت جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای محاسبه غلظت قندهای محلول با واحد $mg.g^{-1}.FW^{-1}$ از منحنی استاندارد گلوکز با غلظت‌های۵۰- ۱۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده شد (Dixon *et al.*, 2001).

سنجش میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز(SOD): فعالیت آنزیم سوپراکسید **دسموتاز** بر اساس درصد ممانعت از احیاءNBT به ترکیب ارغوانی رنگ دی فورمازان بوسیله رادیکال سوپراکسید (O_2) حاصل از فتولیز ریبوفلاوین توسط آنزیم موجود در عصاره مورد اندازه گیری قرار گرفت (Giannopolitis and Ries, 1977). نمونه‌ها بلافاصله پس از برداشت در نیتروژن مایع پودر شده و عصاره آنزیمی در بافر HEPES ۲۵ mM با pH=۷/۸ و حاوی EDTA با غلظت ۰/۱mM استخراج شد. عصاره‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۵۰۰۰g سانتریفوژ و روشناور برای سنجش فعالیت مورد استفاده قرار گرفت. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره به یک میلی لیتر از محلول واکنشی شامل HEPES ۲۵ mM با pH=۷/۶، EDTA ۰/۱ mM، Na_2CO_3 ۵۰mM (pH=۱۰/۲)، ۱۲ mM L–متیونین، NBT ۷۵µM و ۱µM ریبوفلاوین اضافه شده و مخلوط حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در شدت نور تقریباً ۸۰۰۰ لوکس به منظور انجام واکنش قرار گرفت. برای تهیه نمونه‌های شاهد مخلوط فوق بدون افزودن عصاره آنزیمی تهیه گردید و جذب نمونه‌ها در ۵۶۰ nm توسط اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. یک واحد فعالیت آنزیم براساس میزان پروتئین آنزیمی لازم برای القاء ۵۰ درصد ممانعت از احیاء NBT در مقایسه با نمونه‌های شاهد بدون عصاره آنزیمی محاسبه شده و به صورت unit mg^{-1} protein بیان گردید.

سنجش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT): فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس کاهش جذب پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در ۲۴۰ nm مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (Simon *et al.*, 1974). عصاره آنزیمی پس از پودر شدن نمونه‌ها در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.4.6]

نیتروژن مایع، در بافر فسفات با غلظت ۵۰ mM و pH=۷ استخراج شده و به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفوژ گردید. برای سنجش فعالیت آنزیم میزان مناسبی از عصاره به محلول واکنش شامل بافر فسفات ۵۰ mM (pH=۷) و ۱۰ mM از H_2O_2 افزوده شده و تغییرات جذب به مدت دو دقیقه توسط اسپکتروفتومتر مورد اندازه گیری قرار گرفت. در نهایت فعالیت آنزیم بر اساس ضریب H_2O_2 ($0.041 mM^{-1}cm^{-1}$) برحسب $\mu M\ H_2O_2\ mg^{-1}\ protein\ min^{-1}$ محاسبه گردید.

سنجش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD): در این مطالعه میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز بر اساس تست تبدیل گایاکول به تتراگایاکول اندازه گیری شد (Chance and Maehly, 1955). نمونه‌های مورد مطالعه در نیتروژن مایع پودر شد و عصاره آنزیمی در بافر فسفات پتاسیم با غلظت ۱۰ mM و pH=۷ تهیه و به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰gسانتریفوژ گردید. سنجش فعالیت آنزیم در بافر فسفات پتاسیم با غلظت ۱۰ mM حاوی ۵mM از H_2O_2 و ٤mM از گایاکول به انجام رسید. واکنش با افزودن عصاره آنزیمی در ۲۵ درجه سانتی‌گراد آغاز شده و جذب نمونه‌ها به مدت سه دقیقه در طول موج ٤۷۰ nm توسط اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. در نهایت فعالیت آنزیم بر اساس ظریب خاموشی تتراگایاکول (mM^{-1} cm^{-1} ۲۵/۵) بر حسب واحد $protein\ min^{-1}\mu Mtetraguaiacol$ mg^{-1} محاسبه شد.

سنجش میزان مالون دی آلدئید (MDA): برای اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدئید ۰/۲ گرم بافت گیاهی تر با ۲ میلی‌لیتر محلول تری‌کلرواستیک‌اسید ۰/۱ استخراج و به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰g سانتریفیوژ شد، سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی با ۲ میلی‌لیتر محلول تری‌کلرواستیک‌اسید ۲۰ درصد حاوی ۵/ درصد تیوباربیتوریک‌اسید مخلوط شده و به مدت۳۰ دقیقه در حمام آب جوش با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. بعد از این مدت لوله‌ها را سریع در یخ سرد کرده و جذب آن‌ها را در طول موج ۵۳۲ نانومتر در مقابل شاهد که به جای عصاره حاوی محلول استخراج است، اندازه گیری کرده و غلظت مالون‌دی‌آلدئید نمونه‌ها با واحد $nmol.g^{-1}.FW^{-1}$ با استفاده ازضریب خاموشی $۱۵۵cm^{-1}.mmol^{-1}$ محاسبه شدند (Heath and Packer 1969).

سنجش میزان پراکسید هیدروژن (H_2O_2): عصاره‌های گیاهی در محلول ۰/۱٪(w/v) از تری‌کلرواستیک اسید (TCA) استخراج شده و به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰g سانتریفوژ شدند. ۰/۵ میلی لیتر از روشناور با ۰/۵ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰mM با pH=۷ و یک میلی لیتر محلول پتاسیم یدید ۱ مولار مخلوط شده و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. همزمان محلول‌های استاندارد H_2O_2 در محدوده صفر تا ۱۲۰ میکرومولار تهیه شده و جذب نمونه‌ها در ۳۹۰nm توسط اسپکتروفتومتر اندازه گیری گردید. در نهایت میزان پراکسید هیدروژن بر حسب واحد g^{-1} FWμM محاسبه شد(Harinasut *et al*., 2003).

روش استخراج و اندازه گیری میزان پروتئین کل: عصاره پروتئینی در بافر فسفات سدیم با غلظت ۵۰mM و pH=٦/۸ استخراج شده و به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰g سانتریفوژ شد. از روشناور حاصل برای سنجش پروتئین کل به روش برادفورد (Bradford, 1976) استفاده شد. برای تهیه معرف برادفورد ۱۰۰ میلی‌گرم کوماسی برلیانت بلو در ۵۰ میلی لیتر اتانل ۹٦ حل شده و به آن ۱۰۰ میلی لیتر اسید فسفریک ۸۵ اضافه شد. حجم محلول با آب دو بار تقطیر به یک لیتر رسانده شد و پس از صاف کردن با کاغذ صافی در دمای یخچال نگهداری شد. برای سنجش پروتئین کل ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره با ۱۵۰ میکرولیتر آب دو بار تقطیر و ۷۵۰ میکرولیتر معرف مخلوط شده و پس از ۱۵ دقیقه جذب آنها در ۵۹۵ nm اندازه گیری شد. همزمان محلول‌های استاندارد پروتئین با استفاده از سرم آلبومین گاوی در محدوده صفر تا $0.2\ mg.ml^{-1}$ تهیه شده و در نهایت غلظت پروتئین کل بر حسب واحد $FWmg.g^{-1}$ محاسبه گردید.

روش‌های تجزیه آماری: برای تجزیه و تحلیل آماری از برنامه Excel و نرم افزار:20SPSS استفاده گردید. داده‌ها از نظر آماری با آنالیز واریانس دو طرفه تجزیه و تحلیل شدند و مقایسه میانگین‌های تمام صفات، مورد بررسی با استفاده از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.4.6]

آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

تیمار شوری موجب کاهش معنی دار در مقدار وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه شد (P≤۰/۰۵) (جدول۱). استفاده از اسید سالیسیلیک وسیلیکات پتاسیم درگیاهان تحت تیمار با شوری موجب افزایش معنی‌دار وزن تر گیاهان شد. بیشترین مقدار افزایش در وزن تر اندام هوایی مربوط به افزایش القا شده توسط سیلیکات پتاسیم می‌باشد کاربرد اسید سالیسیلیک و سیلیکات پتاسیم تغییرات معنی‌داری را در وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان نشان نداد.

طبق نتایج بدست آمده، شوری تأثیر منفی بر شاخص‌های رشد داشت. به نظر می‌رسد که تغییرات القاء شده در متابولیسم گیاه توسط شوری عامل کاهش رشد گیاه می‌باشد (Erdal *et al*., 2011). در این مطالعه، اسید سالیسیلیک و سیلیکات پتاسیم در کاهش اثرات منفی شوری بسیار مؤثر بوده و سبب بهبود رشد گیاهان تحت تیمار شدند. تأثیر مثبت کاربرد اسید سالیسیلیک در کاهش اثرات منفی ناشی از تنش شوری که در این مطالعه مشاهده شد، در طیف وسیعی از گونه‌های گیاهی در غلظت‌های پائین (≥ ۱۰۰µM) و اثرات منفی آن در غلظت-های بالاتر (≤ ۱mM) توسط محققین متعدد گزارش شده است (Ashraf *et al*., 2010, Hayat *et al*., 2010, Rivas-San Vicente and Plasencia, 2011). اثر اسید سالیسیلیک بر رشد گیاهان بستگی به گونه گیاهی، مرحله تکوین و غلظت اسید سالیسیلیک دارد (Rivas-San Vicente and Plasencia, 2011). به نظر می‌رسد که تأثیر مثبت اسید سالیسیلیک بر فرایند رشد می‌تواند در ارتباط با تغییرات هورمونی (Abedini. and Daie-Hassani, 2015) و یا بهبود فتوسنتز، تنفس و هدایت روزنه‌ای باشد (Stevens *et al*., 2006).افزایش سرعت تقسیم سلولی مشاهده شده در دانه رست‌های گندم تیمار شده با ۵۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک با افزایش سطح درون‌زای اکسین هم‌بستگی نشان می‌دهد (Shakirova *et al*., 2003). که نشان دهنده نقش واسطه‌گری اکسین در بروز پاسخ رشدی القاء شده توسط اسید سالیسیلیک است(Rivas-San Vicente and Plasencia, 2011). گزارشات نشان داده که استفاده از سیلیکات پتاسیم موجب افزایش وزن تر و وزن خشک در گیاه گندم شده است (Moyer *et al*., 2008). بهبود شاخص‌های رشدی گیاهان تحن تنش با کاربرد سیلیسیم توسط محققین متعددی گزارش شده است، برای مثال بهبود رشد در گیاه کلزا (Bayat *et al*.,2012)، برنج (Hwang *et al*., 2008) و رازیانه (Rahimi *et al*., 2012) تحت تنش شوری با کاربرد این عنصر مشاهده شده است. تحقیقات نشان داده‌اند که سیلیسیم باعث افزایش غلظت GA1 و پیش‌ساز آن GA20 در کولتیوارهای برنج شده است (Hwang *et al*., 2008). جیبرلین به‌عنوان یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد در تقسیم سلولی و افزایش طول سلول‌ها نقش مهمی دارد.

محتوای کلروفیل و کاروتنویید: داده‌های حاصل از سنجش مقدار کلرفیل a، b و کل برگ‌ها نشان داد که تیمار شوری باعث کاهش در میزان کلرفیل a، b و کل و کارتنوییدها شده که این کاهش ازنظرآماری در سطح احتمال ۰/۰۵ تفاوت معنی‌داری با گیاهان شاهد نشان داد. استفاده از اسید سالیسیلیک وسیلیکات‌پتاسیم در شرایط شور باعث افزایش معنی‌دار غلظت رنگیزه‌های ذکر شده در مقایسه با گیاهان شاهد گردید (P<۰/۰۵). افزایش غلظت کلروفیل a تحت تأثیر تیمارهای بکار رفته اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). تأثیر سیلیکات‌پتاسیم در افزایش غلظت کلروفیل b تحت شرایط شوری بالاتر از از اسید سالیسیلیک بود (جدول۲). کاربرد سیلیکات پتاسیم بیشترین تأثیر را در افزایش میزان کلروفیل در شرایط شور داشت. با این حال کاربرد اسید سالیسیلیک نیز سطح کلروفیل کل را نسبت به شرایط تنشی به‌طور معنی‌دار افزایش داد. همچنین با کاربرد اسید سالیسیلیک و سیلیکات پتاسیم میزان کاروتنوئیدها به سطحی بالاتر از سطح گیاهان شاهد رسید، که این افزایش با کاربرد اسید سالیسیلیک بیشتر بود (جدول ۲).

شوری سبب تغییرات کمی و کیفی در میزان رنگدانه‌های گیاهی می‌گردد که این روند به گیاه مورد مطالعه و میزان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.4.6]

جدول ۱- شاخص‌های مربوط به وزن خشک و تر ریشه و اندام هوایی گیاه گندم رقم چمران رشد یافته تحت شرایط تیماری مختلف.

تیمار	وزن تر اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه
	(گرم)			
شاهد	٤/٤٤±۰/۲۸^{a}	۱/٤۷±۰/٤۷^{a}	۰/۳٦ ±۰/۰٥^{a}	۰/۱٤±۰/۰۳^{a}
شوری	۱/۲۱±۰/۰۷^{d}	۰/۸۳±۰/۱۹^{c}	۰/۱۷±۰/۰٥^{b}	۰/۰٥±۰/۰۱^{b}
شوری+ اسید سالیسیلیک	۱/۹۹±۰/۳۱^{c}	۱/۳۲±۰/۸۲^{b}	۰/۱٥ ±۰/۰۳^{b}	۰/۰٥±۰/۰۱^{b}
شوری+سیلیکات پتاسیم	۲/۳۱±۰/۱۷^{b}	۱/۲۹±۰/۲۳^{b}	۰/۱۸±۰/۰٥^{b}	۰/۰٦ ±۰/۰۲^{b}

اختلاف بین مقادیر مربوط به هر شاخص که دارای حروف غیر مشترک است، از لحاظ آماری معنی دار می‌باشد (n=3، P < 0.05).

جدول ۲- شاخصهای مربوط به رنگیزه‌های فتوسنتزی گندم رقم زراعی چمران رشد یافته تحت شرایط تیماری مختلف.

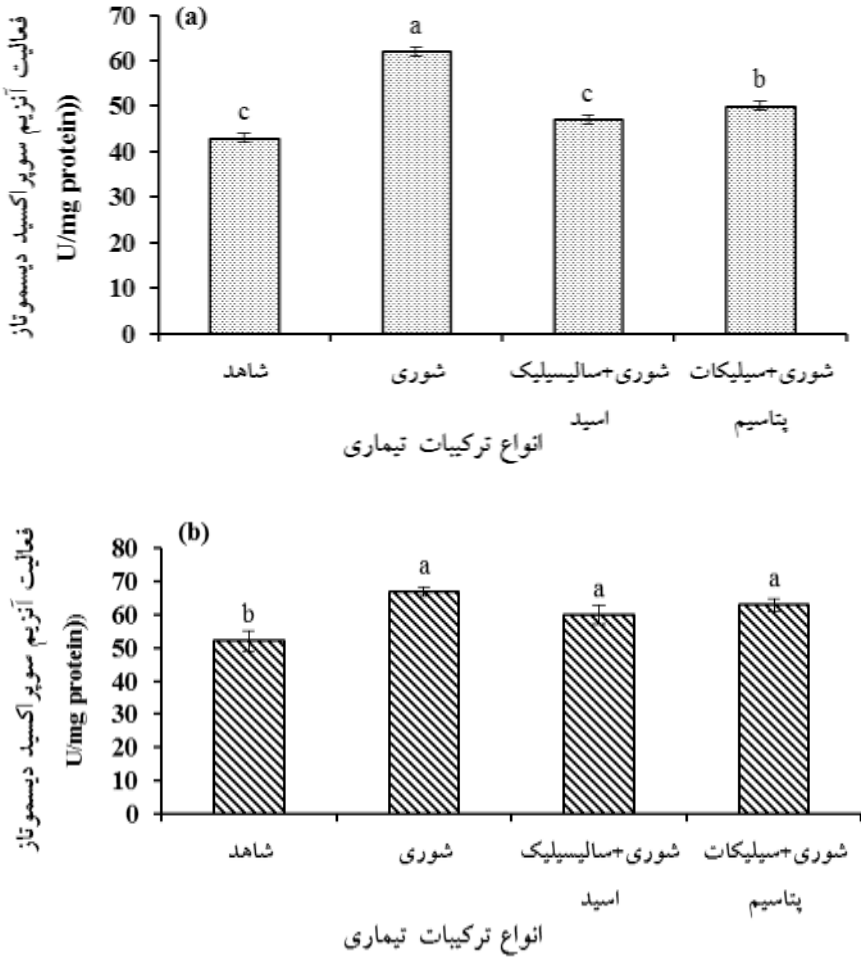
تیمار	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
	(mg/gFW)			
شاهد	۳/۱۲±۰/۰٦^{a}	۲/۷۳± ۰/۰۷^{a}	٥/۸۹±۰/۰۲^{a}	۰/۹۹ ± ۰/۰۸^{b}
شوری	۲/۰٤± ۰/۰۷^{c}	۱/٦۰ ± ۰/۰۱^{c}	۳/٦۲±۰/۰۱^{d}	۰/٦٦ ± ۰/۰۷^{c}
شوری+اسیدسالیسیلیک	۲/٥۷±۰/۰۳^{b}	۱/۷۰ ± ۰/۰۱^{c}	٤/۱۳±۰/۰٤^{c}	۱/۸۲ ± ۰/۰۳^{a}
شوری+سیلیکات پتاسیم	۲/٥٤±۰/۰۲^{b}	۱/۹۰ ± ۰/۰۱^{b}	٤/٤٤±۰/۰۱^{b}	۱/۱٥±۰/۰٥^{b}

اختلاف بین مقادیر مربوط به هر شاخص**که دارای حروف غیر مشترک است، از لحاظ آماری معنی دار می‌باشد (n=3، P < 0.05).**

شوری بستگی دارد. کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط شور در اغلب گیاهان حساس به شوری گزارش شده است (Ashraf and Bhatti, 2000). کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در تنش شوری می‌تواند به دلیل اثر مهاری ناشی از انباشته شدن یون در کلروپلاست‌ها (Chookhampaeng, 2011)، کاهش پایداری کمپلکس‌های رنگیزه-پروتئین به دلیل حضور یون‌ها و فعال شدن آنزیم کلروفیلاز باشد(Saha *et al.*, 2010). افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی بعنوان شاخصی از مقاومت به شوری گزارش شده است (Khodary, 2004). که در این مطالعه توسط هر دو ترکیب بکار برده شده مشاهده شد. کاروتنوئیدها بعنوان یکی از ترکیبات مورد نیاز برای مقاومت گیاهان در برابر شوری معرفی شده‌اند (Hermandez *et al.*, 1995). افزایش غلظت کلروفیل و کاروتنوئیدها در گیاهان تحت تنش با کاربرد اسید سالیسیلیک (Arfan *et al.*, 2007) و سیلیکات پتاسیم (Liang *et al.*, 2003) توسط محققین متعددی گزارش شده است که در راستای افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه جهت حفاظت از سیستم فتوسنتزی بوده و با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق همسو می‌باشد. جلوگیری از کاهش غلظت کلروفیل‌ها، بویژه کلروفیل a و کاروتنوئیدها در شرایط شور یکی از عوامل حفظ نرخ طبیعی فتوسنتز تحت شرایط تنشی می‌باشد (Arfan *et al.*, 2007).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: نتایج حاصل از سنجش‌ها نشان داد که شوری سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز اندام‌هوایی و ریشه شد (P ≤ ۰/۰٥). بررسی تأثیر تیمارهای بکار رفته در شرایط تنشی بر سطح فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز نشان داد که هر دو ترکیب باعث کاهش فعالیت آنزیم در گیاه می‌شوند که این کاهش‌ها تفاوت معنی‌دار با گیاهان تحت تنش داشتند. بررسی مقایسه‌ای تأثیر تیمارهای بکار رفته نشان دهنده تأثیر دو برابری کاربرد اسید سالیسیلیک در مقایسه با کاربرد سیلیکات پتاسیم در کاهش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در مقایسه با شرایط شوری بود. با این حال، بین دو ترکیب بکار برده شده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.4.6]



شکل۱- تأثیر تیمارهای مختلف بر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در نمونه‌های ریشه (a) و برگ (b)گیاه گندم. اختلاف بین مقادیر مربوط به ستون‌هایی که دارای حروف غیر مشترک هستند، ازلحاظ آماری نسبت به یکدیگر معنی‌دار می‌باشند (n=3، P < 0.05).

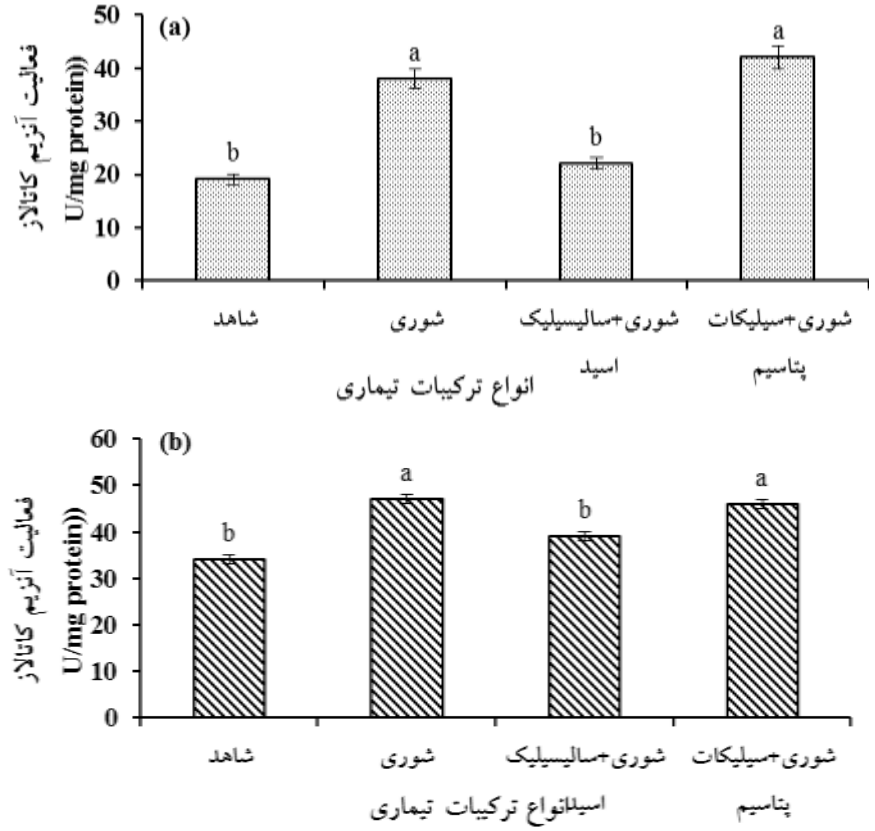
از نظر القاء کاهش تفاوت معنی داری در اندام‌هوایی و ریشه مشاهده نشد (شکل ۱).

فعالیت آنزیم کاتالاز: شوری سبب افزایش معنی دار فعالیت آنزیم کاتالاز اندام‌هوایی و ریشه گیاهان گندم شد به طوریکه میزان فعالیت این آنزیم در ریشه گیاهان رشد یافته تحت شرایط تنش شوری دقیقاً دو برابر میزان فعالیت آن در گیاهان شاهد شد. استفاده ازاسید سالیسیلیک درگیاهان تحت تیمار با شوری موجب کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز اندام هوایی تا سطح گیاهان شاهد شد. کاربرد سیلیکات پتاسیم در کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز اندام هوایی در مقایسه با گیاهان رشد یافته تحت تنش شوری تغییرات معنی داری را نشان نداد. در ریشه، صرفا کاربرد اسید سالیسیلیک موجب کاهش ۴۲ درصدی فعالیت این آنزیم در مقایسه با شرایط تنش شد (شکل ۲).

فعالیت آنزیم پراکسیداز: شوری سبب افزایش معنی دار فعالیت آنزیم پراکسیداز در اندام‌هوایی و ریشه گندم شد (P<۰/۰۵). تأثیر کاربرد اسید سالیسیلیک و سیلیکات پتاسیم در کاهش فعالیت آنزیم پراکسیداز اندام هوایی به ترتیب ۷۲/۷ و ۶۲/۷ درصد در مقایسه با شرایط تنشی بود. در ضمن کاربرد این ترکیبات فعالیت این آنزیم را در ریشه گیاهان در مقایسه با شرایط تنشی تا حدود ۵۰ درصد کاهش داد. (شکل ۳).

آنزیم‌هایی مانند، کاتالاز و پراکسیداز، از آنزیم‌های مهم سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی درگیاهان می‌باشند. اگرچه سوپر اکسید دیسموتاز در خط مقدم دفاع علیه گونه‌های فعال

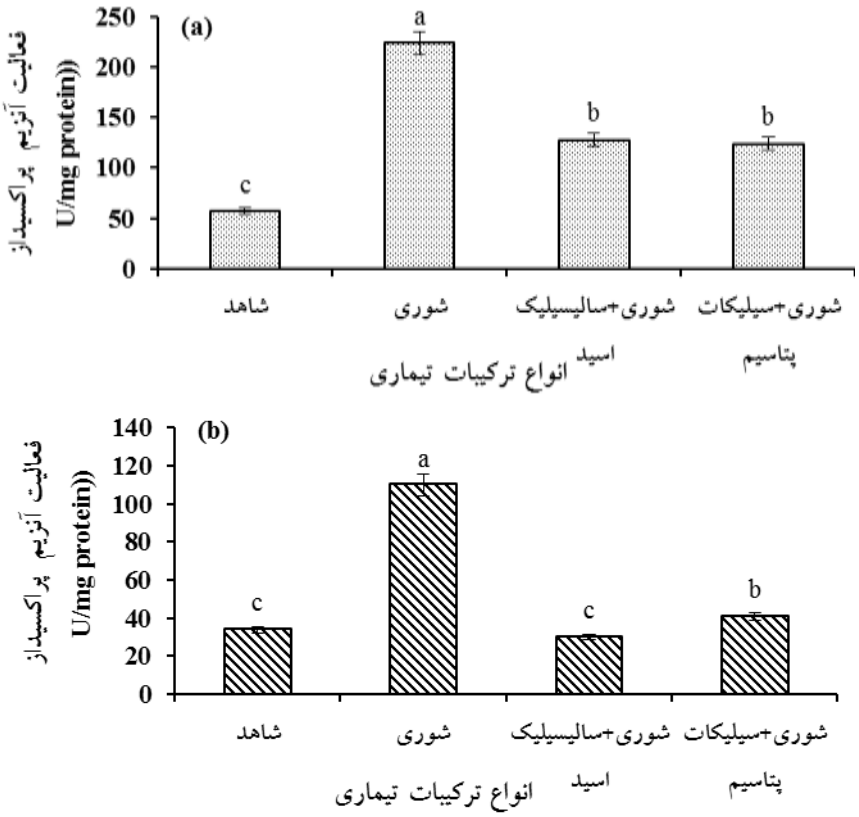
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.4.6]



شکل۲- تأثیر تیمارهای مختلف بر فعالیت آنزیم کاتالاز در نمونه‌های ریشه (a) و برگ (b) گیاه گندم. اختلاف بین مقادیر مربوط به ستون-هایی که دارای حروف غیرمشترک هستند، از لحاظ آماری نسبت به یکدیگر معنی‌دارمی‌باشند (n=3، P < 0.05)

اکسیژن عمل می‌نماید، اما برخی آنزیم‌ها نظیر کاتالاز و پراکسیداز در حذف محصول که همچنان برای سلول سمی است، نقش مهمی دارند. در این مطالعه افزایش معنی‌دار در فعالیت آنزیم‌های سیستم آنتی‌اکسیدان در شرایط شور مشاهده شد که با کاربرد اسید سالیسیلیک و سیلیکات پتاسیم فعالیت آنها تعدیل شد. اندازه‌گیری غلظت مالون‌دی‌آلدئید بعنوان فرآورده پراکسیداسیون لیپیدی غشاء و پراکسید هیدروژن نیز افزایش آنها را تحت تنش شوری نشان داد که با کاربرد ترکیبات ذکر شده کاهش معنی‌دار در غلظت هر دوی آنها مشاهده شد. تنش شوری باعث تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) می‌شود که افزایش این رادیکال‌ها با آغاز واکنش‌های زنجیره‌ای می‌تواند منجر به آسیب ماکروملکول‌هایی مانند پروتئین‌ها، لیپیدها و اسیدهای نوکلئیک شود (Mc cord, 2000). سلول‌های گیاهی با داشتن سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان و افزایش ظرفیت آن در شرایط تنش‌زا تا حد امکان در مقابل تنش اکسیداتیو مقاومت می‌کنند (Turkan and Demiral, 2009). تحقیقات در گیاهانی مانند گندم (Abedini and Daie-Hassani, 2015)، برنج (Chawla *et al*., 2013) و گوجه‌فرنگی (Mittova *et al*., 2004) نشان داده است که گیاهان مقاوم دارای سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی کارآمدتری می‌باشند. مطالعات نشان داده است که کاربرد اسید سالیسیلیک می‌تواند تولید گونه‌های فعال اکسیژن را در گیاهان تعدیل کند (Parida *et al*., 2004). این یافته‌ها نشان دهنده نقش تنظیمی مستقیم و یا غیرمستقیم اسید سالیسیلیک بر فعالیت آنزیم‌های سیستم آنتی‌اکسیدان بوده و این ترکیب می‌تواند در افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش نقش داشته باشد (Singh and Gautam, 2013). افزایش فعالیت آنزیم‌های سیستم آنتی‌اکسیدان تحت تأثیر تیمار اسید سالیسیلیک درگیاهانی مانند جو و گوجه فرنگی در تنش‌های مختلف محیطی گزارش شده است (Multu *et al*., 2009). گزارش‌هایی نیز مبنی بر عدم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.4.6]

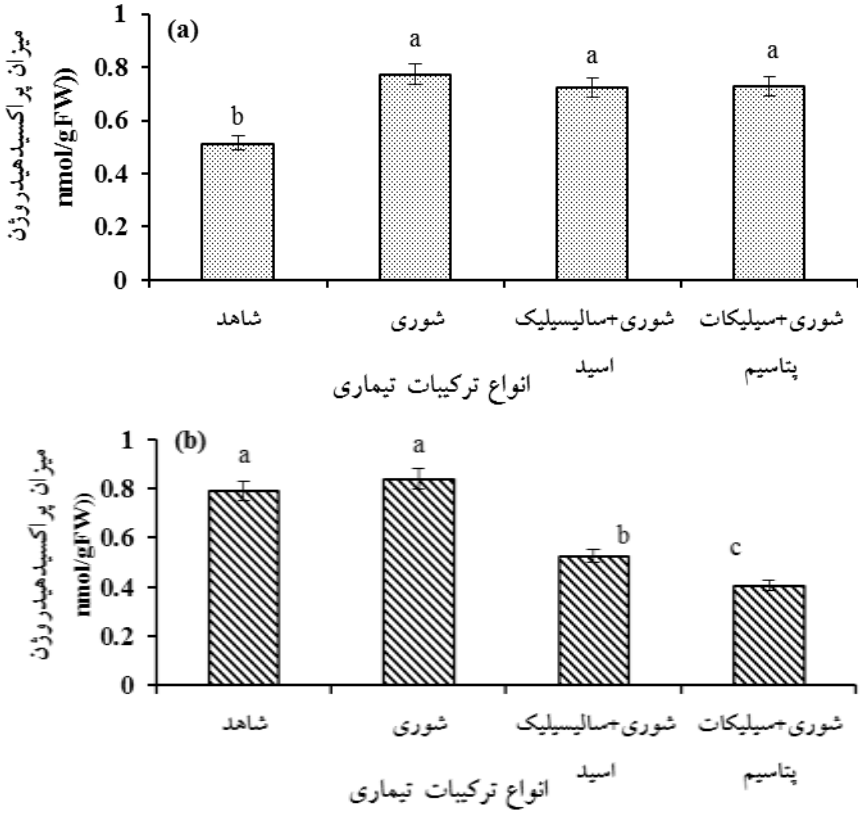


شکل۳- تأثیر تیمارهای مختلف بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در نمونه‌های ریشه (a) و برگ (b) گیاه گندم. اختلاف بین مقادیر مربوط به ستون‌هایی که دارای حروف غیرمشترک هستند، از لحاظ آماری نسبت به یکدیگر معنی‌دار می‌باشند (n=3، P < 0.05).

تأثیراسید سالیسیلیک بر آنزیم‌های آنتی اکسیدان با کاهش فعالیت این آنزیم‌ها وجود دارد که با نتایج این تحقیق همسو می‌باشد (Palma *et al*., 2009). اسید سالیسیلیک به عنوان یک مولکول پیام رسان مهم در پاسخ‌های گیاه به تنش‌های متعدد زیستی و غیر زیستی شناخته شده است (Ruan *et al*., 2002) که با تأثیر بر آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیدازها و تنظیم‌کننده‌های اسمزی مثل پرولین، گلیسین بتائین آثار ناشی ازتنش خشکی، فلزات سنگین، گرما، سرما و شوری راکاهش می‌دهد (Larque-Saavedra, 1979). بررسی‌های انجام گرفته در ارتباط با کاربرد سیلیسیم بر سیستم آنتی‌اکسیدانی تعدادی از گیاهان تحت تیمار تنش‌های مختلف نشان داده است که این ترکیب باعث تحریک فعالیت آنزیم‌های CAT، POD، SOD و کاهش غلظت MDA و پراکسیدهیدروژن می‌شود (Tale Ahmad and Haddad, 2011). طبق نتایج حاصل از این تحقیق، غلظت MDA و پراکسیدهیدروژن در گیاهان گندم تحت تنش شوری با کاربرد سیلیکات‌پتاسیم کاهش یافته است. با این حال، فعالیت آنزیم‌های سیستم آنتی‌اکسیدانی با کاربرد سیلیسیم و اسید سالیسیلیک اگرچه نسبت به گیاهان شاهد افزایش قابل توجه پیدا کردند ولی در مقایسه با گیاهان تحت تنش شوری کاهش نشان دادند که به‌نظر می‌رسد که کاربرد ترکیبات ذکر شده با مهار تولید رادیکال‌های آزاد موجب تعدیل فعالیت آنزیم‌های سیستم آنتی‌اکسیدان می‌شوند.

محتوای پراکسیدهیدروژن: نتایج حاصل از سنجش پراکسید هیدروژن نشان داد که تیمار شوری باعث افزایش محتوای پراکسید هیدروژن در اندام هوایی و ریشه گیاهان مورد مطالعه شد که این افزایش ازنظرآماری در سطح احتمال ۰/۰۵با گیاهان شاهد تفاوت معنی‌دار نشان داد. استفاده از اسید سالیسیلیک و سیلیکات پتاسیم در اندام هوایی گیاهان تحت تیمار با شوری به ترتیب موجب کاهش ۳۷ و ۵۱ درصدی در میزان پراکسید هیدروژن شد. (شکل ٤). در ریشه‌ها نیز استفاده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.4.6]



شکل٤- تأثیر تیمارهای مختلف بر میزان پراکسیدهیدروزن در نمونه‌های ریشه (a) و برگ (b) گیاه گندم. اختلاف بین مقادیر مربوط به ستون‌هایی که دارای حروف غیر مشترک هستند، از لحاظ آماری نسبت به یکدیگر معنی‌دارمی‌باشند (n=3، P < 0.05).

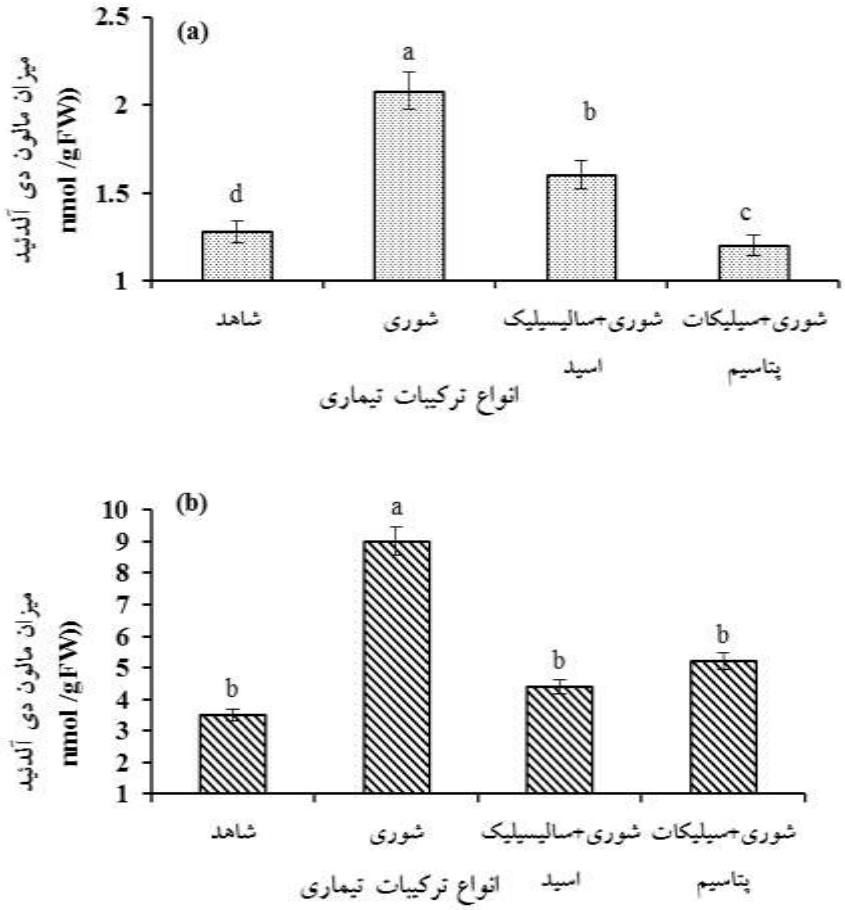
از این ترکیبات باعث کاهش جزیی محتوای پراکسید هیدروژن شد که تفاوت معنی‌دار با شرایط تنش و همچنین در مقایسه با یکدیگر نداشتند.

محتوای مالون‌دی‌آلدئید: نتایج حاصل از سنجش غلظت مالون‌دی‌آلدئید تیمارها نشان داد که شوری باعث افزایش معنی‌دار در سطح این متابولیت در اندام‌هوایی و ریشه‌های گیاه گندم شد (P<۰/۰۵). استفاده از ترکیبات اسید سالیسیلیک و سیلیکات پتاسیم در گیاهان تحت تنش موجب کاهش قابل‌توجه و معنی‌دار این متابولیت شد. بررسی مقایسه‌ای تأثیر ترکیبات بکار برده شده به‌منظور تخفیف اثرات تنش نشان داد که در اندام‌هوایی اسید سالیسیلیک و در ریشه سیلیکات‌پتاسیم تأثیر بیشتری داشتند (شکل ۵).

قندهای محلول: تیمار شوری باعث افزایش محتوای قندهای محلول در اندام‌هوایی و ریشه گیاهان شد که این افزایش ازنظرآماری در سطح احتمال ۰/۰۵با گیاهان شاهد تفاوت معنی‌دار نشان داد (شکل ٦). استفاده از اسید سالیسیلیک وسیلیکات پتاسیم در گیاهان تحت تیمار با شوری موجب افزایش غلظت قندهای محلول شد. تأثیر سیلیکات پتاسیم در افزایش غلظت قندهای محلول در ریشه گیاهان تحت تنش به‌طور معنی‌دار از اسید سالیسیلیک بیشتر بود.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که شوری سبب افزایش معنی‌دار غلظت قندهای محلول شد که با کاربرد سیلیکات پتاسیم و اسید سالیسیلیک غلظت آنها بیشتر شد. نتایج به‌دست آمده از تحقیقات نشان داده است که تنش‌های محیطی بویژه تنش خشکی و شوری باعث افزایش قندهای محلول مانند گلوکز، ساکارز و فروکتوز می‌شوند (Fahad and Bano, 2012). که این قندها بعنوان اسمولیت نقش مهمی در تنظیم اسمزی ایفا می‌کنند. افزایش در قندهای محلول معمولاً با کاهش قندهای نامحلول همراه است که از کاهش بیوسنتز آنها یا افزایش تجزیه آنها ناشی می‌شود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.4.6]



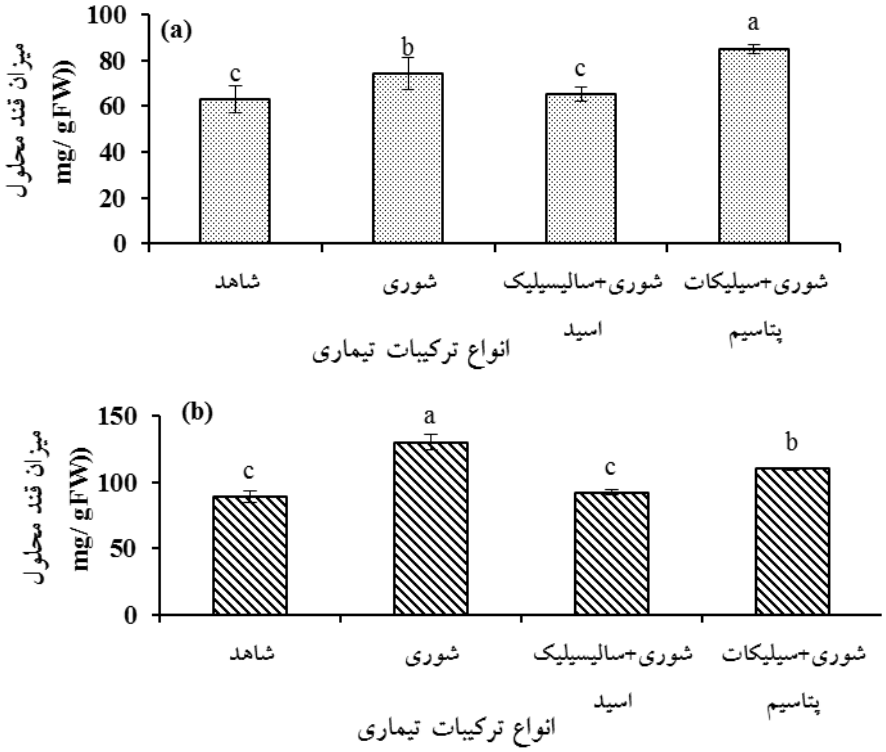
شکل۵- تأثیر تیمارهای مختلف بر میزان مالون‌دی‌آلدئید در نمونه‌های ریشه (a) و برگ (b) گیاه گندم. اختلاف بین مقادیر مربوط به ستون-هایی که دارای حروف غیر مشترک هستند، از لحاظ آماری نسبت به یکدیگر معنی‌دار می‌باشند (n=3، P < 0.05).

(Zahra *et al*., 2010). برای مثال، کاهش در مقدار نشاسته و افزایش در مقدار قندهای احیا کننده و غیر احیا کننده در برگ‌های گیاه *Bruguiera parviflora* در تنش شوری گزارش شده است (Parida *et al*., 2004). در گوجه‌فرنگی (Khavarinejad and Ghafarzadeh ,1998)، برنج (Karimi *et al*., 2005) ، گندم و جو (Keles and Once, 2004) به دنبال تنش اکسیداتیو مقدار تجمع قندها با تیمار هورمون اسید سالیسیلیک افزایش می‌یابد. افزایش قندها با ایجاد شیب اسمزی در گیاهان، مقاومت گیاه گندم را در برابر از دست دادن آب، محتوای آب برگ و رشد در شرایط تنش افزایش می‌دهند (Tasgin *et al*., 2003).

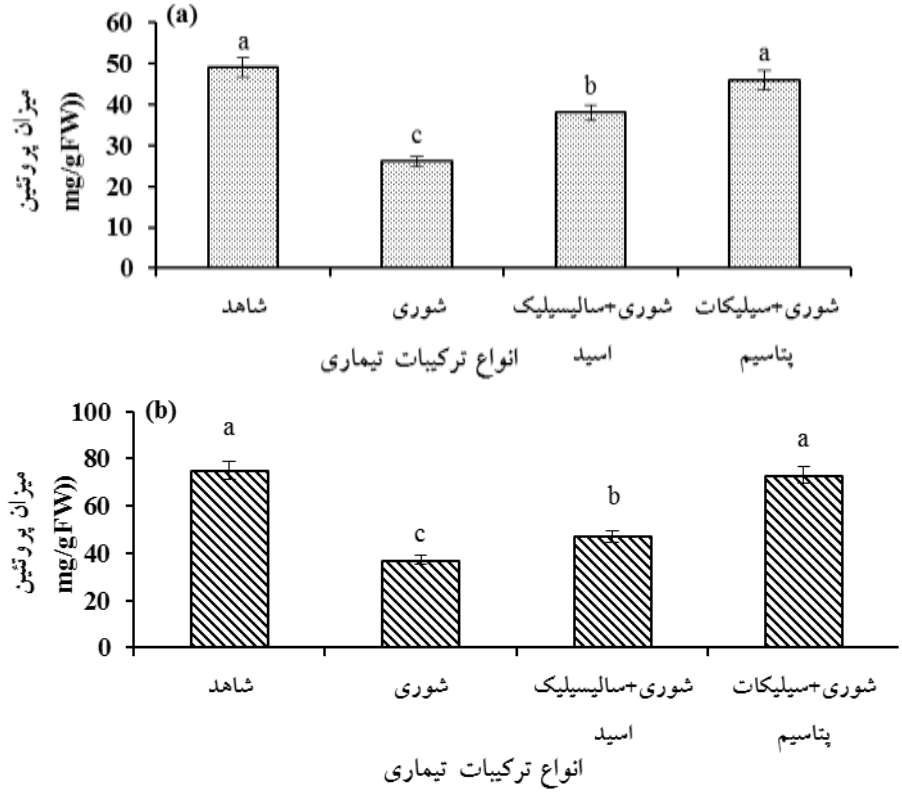
محتوای پروتئین‌های محلول کل: تیمار شوری باعث کاهش معنی‌دار غلظت پروتئین‌های اندام‌هوایی و ریشه گیاه گندم شد (شکل ۷). استفاده از اسید سالیسیلیک وسیلیکات‌پتاسیم درگیاهان تحت تیمار با شوری موجب افزایش معنی‌دار غلظت پروتئین‌های محلول کل نسبت به شرایط تنشی در اندام‌های مورد مطالعه گیاه شد. استفاده ازسیلیکات‌پتاسیم در شرایط شور بیشترین تأثیر مثبت را در بهبود سطح پروتئین‌های کل دراندام‌هوایی و ریشه گیاهان داشت، به‌طوری‌که توانست سطح پروتئین‌ها را تا حد گیاهان شاهد بالا ببرد.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که شوری سبب کاهش مقدار پروتئین کل شد، اما کاربرد سیلیکات پتاسیم و اسید سالیسیلیک تا حدودی از کاهش پروتئین جلوگیری کرد. اسید سالیسیلیک و سیلیکات‌پتاسیم با افزایش آنزیم‌های آنتی اکسیدان و توان آنتی‌اکسیدانی از اکسیداسیون پروتئین‌ها

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.4.6]



شکل٦- تأثیر تیمارهای مختلف بر میزان قند محلول در نمونه‌های ریشه (a) و برگ (b) گیاه گندم. اختلاف بین مقادیر مربوط به ستون‌هایی که دارای حروف غیر مشترک هستند، از لحاظ آماری نسبت به یکدیگر معنی‌دار می‌باشند ($n=3$، $p < 0.05$).



شکل۷- تأثیر تیمارهای مختلف بر میزان پروتئین در نمونه‌های ریشه (a) و برگ (b)گیاه گندم. اختلاف بین مقادیر مربوط به ستون‌هایی که دارای حروف غیر مشترک هستند، ازلحاظ آماری نسبت به یکدیگرمعنی‌دارمی‌باشند ($n=3$، $P < 0.05$).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.4.6]

جلوگیری می‌کند (Eraslan *et al*., 2008, Shabala, 2011). اسید سالیسیلیک بر تشکیل پروتئین‌های دفاعی، پروتئین کینازها و روبیسکو اثر گذاشته و همچنین سنتز پروتئین‌های مهار کننده پروتئازها را القا می‌کند (Horvath *et al*., 2007). کاربرد سیلیکات پتاسیم سبب افزایش مقدار پروتئین کل می‌شود که با نتایج این پژوهش مطابق تدارد (Dong *et al*., 2010). همچنین گزارش شده است که کاربرد سیلیکات پتاسیم و اسید سالیسیلیک منجر به القای بیان ژن‌های پروتئین‌های عامل مقاومت می‌شود (Dong *et al*., 2010, Senaratna *et al*., 2000).

به طور کلی، شوری باعث تنش اکسیداتیو گیاه گندم شد و کاربرد اسید سالیسیلیک و سیلیکات‌پتاسیم، سبب بهبود تنش اکسیداتیو گیاه گندم گردید. هر یک از این مواد از جنبه‌های مختلف در تخفیف آثار شوری نقش ایفا کرده و سبب کاهش اثرات تنش شدند.

منابع

حیدری، م. ف. مصری و کیخا، ز. (۱۳۸۸) بررسی اثر تنش شوری بر متابولیسم اسیدهای توکلئیک، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان ، فلورسانس کلروفیل و تنظیم کننده‌های اسمزی پنج رقم کلزا، نشریه علوم گیاهان زراعی ایران ٤١: ١٩٩-٢١٢.

Abedini, M. and Daie-Hassani, B. (2015) Salicylic acid affects wheat cultivars antioxidant system under saline and non-saline condition. Russian Journal of Plant Physiology 62: 604–610.

Abreu, M. E. and Munn_e-Bosch, S (2009) Salicylic acid deficiency in NahG transgenic lines and sid2mutants increases seed yield in the annual plant *Arabidopsis thaliana*. Journal of Experimental Botany 60: 1261–1271.

Agarie, S., H. Uchida, W. Agata, F. Kubota, and Kaufman, P. B (1992) Physiological role of silicon in photosynthesis and dry matter production in rice plants. Crop Protection Improvement Technology 61: 200-206.

Arfan, M., Athar, H. R and Ashraf, M (2007) Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? Journal of Plant Physiology 6: 685-694.

Ashraf, M. and Bhatti, A. S (2000) Effect of salinity on growth and chlorophyll content in rice. Pakistan Journal of scientific and. Industrial Research 43: 130-131.

Ashraf, M. (2009) Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. Biotechnology Advances 27: 84–93

Ashraf, M., Akram, N. A., Arteca, R .N and Foolad, M. R. (2010) The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance.Critical Reviews in Plant Sciences Journal 29: 162-190.

Bayat, H., Alirezaie, M and Neamati, H (2012) Impact of exogenous salicylic acid on growth and ornamental characteristics of calendula (*Calendula officinalis L.*) under salinity stress. Journal of Stress Physiology and Biochemistry 8:258-267.

Bradford, M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding.Analytical Biochemistry 72: 248-254.

Chakraboyty, U and Tongden, C (2005) Evaluation of heat acclimation and salilylic acid treatments as potent inducers of thermotolerance in *Cicer arietinum* L.Current Science 89 :384-389

Chance, B and Maehly.A. C (1955) Assay of catalases and peroxidase. Methods in Enzymology 2: 764-781.

Cha-um, S., Pokasombat, Y and Kirdmanee, C (2011) Remediation of salt-affected soil by gypsum and farmyard manure − Importance for the production of Jasmine rice. Australian Journal of Crop Science 5: 458-465.

Chawla, S., Jain, S and Jain, V (2013) Salinity induced oxidative stress and antioxidant system in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of rice (*Oryza sativa* L.) Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology 22:27–34.

Chookhampaeng, S (2011) The effect of salt stress on growth, chlorophyll content proline content and antioxidative enzymes of pepper (*Capsicum annuum* L.) seedling. Euroupian Journal of Scientific Research 49: 103- 109.

Demiral, T and Turkan, I (2005) Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. Environmental and Experimental Botany53:247-257.

Dixon, P., Weinig, C and Schmitt, J. (2001) Susceptibility to UV Damage in Impatiens capensis (*Balsaminaceae)*: testing for opportunity costs to shade-avoidance and population differentiation. American Journal of Botany 88: 1401-1408.

Dong, H., Li, W., Tang, W and Zhang, D. (2010) Furrow seeding with plastic mulching increases stand establishment and lint yield of cotton in a saline field. Agronomy Journal 100: 1640-1646.

Eraslan, F., Inal, A., David, J and Gunes, A. P. (2008) Interactive effects of salicylic acidand silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (*Spinacia oleracea* L.cv). Matadorgrown under boron toxicity and salinity .Plant Growth Regulation 55: 207-219.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.4.6]

Erdal, S., Aydın, M., Genisel, M., Taspınar, M. S., Dumlupinar, R., Kaya, O. and Gorcek, Z. (2011) Effects of salicylic acid on wheat salt sensitivity. African Journal of Biotechnology10:5713-5718.

Fahad, S. and Bano, A. (2012) Effect of salicylic acid on physiological and biochemical characterization of maize grown in saline area. Pakistan Journal of Scientific and. Industrial Research. 44: 1433-1438.

Giannopolitis, C. N. and Ries, S. K. (1977) Superoxide dismutase: occurrence in higher plants. Plant Physiology 59: 309-314.

Gong, H. J., Chen, K. M., Chen, G. C., Wang, S. M and Zhang, C. L. (2003) Effect of silicon on growth of wheat under drought. Journal of Plant Nutrition 26: 1055-1063.

Harinasut, P., Poonsopa, D., Roengmongkol, K. and Charoensataporn, R. (2003) Salinity effects on antioxidant enzymes in mulberry cultivar. Science Asia 29: 109-113.

S. Hayat., Heath, R. L and Packer, L (1969) Photoperoxidation in isolated chloroplast .I .Kinetics and Stoichiometry of fatty acid peroxidation .Archives of Biochemistry and Biophysics125:189-198

Hayat, S. S., Hasan, A. Mori, M., Fariduddin, Q.and Ahmad, A. (2010) Nitric oxide: Chemistry, biosynthesis, and physiological role. In: Nitric Oxide in Plant Physiology (eds. Hayat, S. Mori, M. Pichtel, J. and Ahmad, A. WILEY-VCH Verlag Gm.bH. and KGa, Co. Weinheim, A.)

Hernandez, J. A., Olmos, E., Corpas, F. J ., Sevilla, F. and Del Rio, L. A. (1995) Salt-induced oxidative stress in chloroplasts of *Pea* plants. Plant Science 105: 151-167.

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

Hwang, S. J., Hamayun, M., Kim, H. Y., Na, C. I., Kim, K. U., Shin, D. H., Kim, S. Y and Lee, I. J. (2008) Effect of nitrogen and silicon nutrition on bioactive gibberellin and growth of rice under field conditions. Journal of Crop Science and Biotechnology 10: 281-286.

Jayakannan, M., Bose, J., Babourina, O., Rengel, Z and Shabala, S. (2013) Salicylic acid improves salinity tolerance in Arabidopsis by restoring membrane potential and preventing salt-induced K^+ loss via a GORK channel. Journal of Experimental Botany 64: 2255–2268.

Jaleel C. A., Gopi, R., Manivannan, P. and Panneerselvam, R. (2007) Antioxidative potentials as a protective mechanism in *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. plants under salinity stress. Turkish Journal of Botany 31: 245-251.

Karimi, G., Ghorbanli, M., Heidari, H., Khavarinejad, R. A. and Assareh, M. H. (2005) The effects of NaCl on growth, water relations, osmolytes and ion content in *Kochia* prostrate .Biologica Plantarum 492 :301-304.

Kaya, C., Tuna, L and Higgs, D. (2006) Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water – stress condition. Journal of Plant Nutrition 29:1469-1480.

Keles, Y and Once, I. (2004) Growth and solute composition in two wheat species experiencing combined influence of stress conditions .Russian Journal of Plant Physiol. 51 :203-208.

Khavarinejad, R. A. and Ghafarzadeh, N. (1998) The effects of NaCl and $CaCl_2$ on photosynthesis and growth of alfalfa plants. Photosynthetica 35: 461-466.

Khodary, S. F. A. (2004) Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants.Intenational Journal of Agricultural and Biological Engineering 6: 5-8.

Kholova, J., Sairam, R. K and Meena, R. C (2010) Osmolytes and metal ions accumulation, oxidative stress and antioxidant enzymes activity as determinants of salinity stress tolerance in maize genotypes. Acta Phisiologiae Plantarum 32:477–486.

Larque-Saavedra, A. (1979) Stomatal closure in response to acetalsalicylic acid treatment. Journal of Plant Physiology 93: 371-375.

Liang, YC., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W. H and Ding, R. X. (2003) Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid per oxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.).Journal of Plant Physiology 160: 1157-1164.

Lichtenthaler, H. K. (1978) Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembrane. Methods in Enzymology 148: 350-382.

Ma, J. F (2004) Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. Soil Science and Plant Nutrition 50: 11–18.

Manchanda, G. and Garg, N. (2008) Salinity and its effects on the functional biology of legumes. Acta Physiologiae. Plantarum 30: 595–618.

Mc cord, Joe, M. (2000) The evolution of free radicals and oxidative stress. The American Journal of Medicine 108: 652–659.

Meloni, D. A., Oliva, M. A., Martinez, C. A and Cambraia, J (2003) Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress.Environmental and Experimental Botany 49: 69-76.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.4.6]

Mittova, V., Guy, M., Tal. M. and Volokita, M. (2004) Salinity upregulates the antioxidative system in root mitochondria and peroxisomes of the wild salt-tolerant tomato species *Lycopersicon pennellii*. Journal of Experimental Botany 55:1105–1113.

Moyer, C., Peres, N. A., Datnoff, L. E., Simonne, E. H and Deng, Z. (2008) Evaluation of silicon for managing powdery mildew on gerbera daisy. Journal of Plant Nutrition 31:2131–44.

Multu, S., Alici, O. and Nalbantoglu, B. (2009) Effects of salicylic acid and salinity on apoplastic antioxidant enzymes in two wheat cultivars differing in salt tolerance. Biologia Plantarum 53: 344-338.

Palma, F., Lluch, C., Iribarne, C., Garcia-Garrid, J. and Tejera Garcia, N. (2009) Combined effect of salicylic acid and salinity on some antioxidant activities, oxidative stress and metabolite accumulation in *Phaseolus vulgaris*.Plant Growth Regulation 58 307–316.

Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effect on plants: a review. Ecotoxicol.Ecotoxicology and Envirenmental Safety 60: 324–349.

Parida, A. K., Das, A. B. and Mohanty, P. (2004) Defense potentials to NaCl in a mangrove, *Bruguiera parviflora*: differential changes of isoforms of some antioxidative enzymes. Journal of Plant Physiology 161: 531–542.

Rafiq, M. (1990) Soil resources and soil related problems in Pakistan. In: Soil Physics - Application under Stress Environments (ed. Ahmad, M.) Pp. 127-151. BARD, PARC, Islamabad.

Rahimi, R., Mohammakhani, A., Roohi, V. and Armand, N. (2012) Effects of salt stress and silicon nutrition on cholorophyll content, yield and yield components in fennel (*Foeniculum vulgarMill.*). International Journal of Agriculture and Crop Science 4: 1591-1595.

Reezi, S., Babalar., M. and Kalantari, S. (2009) Silicon alleviates salt stress, decreases malondialdehyde content and affects petal color of salt stressed cut rose (*Rosa xhybrida* L.) Hot Lady.African Journal of Biotechnology 8: 1502-1508.

Rivas-San Vicente, M. and Plasencia, J. (2011) Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and Development. Journal of Experimental Botany 62:3321-38.

Romero-Aranda M. R., Jurado, O. and Cuartero, J. (2006) Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. Journal Plant Physiology 163: 847–855.

Ruan, S., Xue, Q. and Tylkowska, R. (2002) Effects of seed priming on germination and health of rice (*Oryza sativa* L.). Journal Seed Science Technology 30: 451-458.

Saha, P., Chatterjee, P. and Biswas, A. K. (2010) NaCl pretreatment alleviates salt stress by enhancement of antioxidant defense and osmolyte accumulation in mungbean (*Vigna radiataL.* Wilczek). Indian Journal of Experimental Biology 48: 593-600.

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

Senaratna T., Touchell, D., Bunn, E. and Dixon, K. (2000) Acetyl salicylic acid (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants.Plant Growth Reguationl 30 157–161.

Shabala, S. (2011) Physiological and cellular aspects of phytotoxicity tolerance in plants: The role of membrane transporters and implications for crop breeding for waterlogging tolerance. New Phytologist 190:289–298.

Shakirova, F. M., Sakhabutdinova., A. R., Bozrutkova, 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 164 :317-322.

Shu, L. Z. and Liu, Y. H. (2001) Effects of silicon on growth of maize seedlings under salt stress.Agro-environmental Protection 20: 38–40.

Simon, L. M., Fatrai, Z., Jonas, D. E. and Matkovics, B. (1974) Study of peroxide metabolism enzymes during the development of *Phaseolus vulgaris*. Biochemieund Physiologie der Pflanzen (BPP) 166: 387-392.

Singh, P. K. and Gautam, S. (2013) Role of salicylic acid on physiological and biochemical mechanism of salinity stress tolerance in plants. Acta Physiologiae Plantarum 35: 2345–2353.

Stevens, J., Senaratna, T. and Sivasithamparam, K. (2006) Salicylic acid induces salinity tolerance in tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Roma): associated changes in gas exchange, water relations and membrane stabilisation. Plant Growth Regulation 49: 77–83

Tale Ahmad, S. and Haddad, R. (2011) Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. Czech JournalOf Genetics and Plant Breeding 47: 17-27.

Tasgin, E., Atici, Q. and Nalbantogle, B. (2003)Effects of salicylic acid and cold on freezing tolerance in winter wheat leves .Plant Growth Regulation 41: 231-236.

Türkan, I. and Demiral, T. (2009) Recent developments in understanding salinity tolerance . Environmental and Experimental Botany 67: 2-9.

Zahra, S., Amin, B., Ali, M. V. S., Ali, Y. and Mehdi, Y. (2010) The salicylic acid effect on the tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) sugar, protein and proline contents under salinity stress (NaCl). Journal of Biophysics and Structural Biology 2: 35-41.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.4.6]