تاثیر اسید سالیسیلیک در بهبود خسارت تنش سرمازدگی در هیبرید ذرت سینگل کراس ٤٠٠ (*Zea mays* L.)

محسن طریق الاسلامی[1]، محمد کافی*[1]، احمد نظامی[1] و رضا ضرغامی[2]

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. [2] عضو هیئت علمی پژوهشکده بیوتکنولوژی (ابری) کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ١٣٩٤/٠٩/٢٨، تاریخ پذیرش نهایی: ١٣٩٤/١٢/١٢)

چکیده:

تنش سرمازدگی معمولا بیشتر در گیاهان مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری و یا گیاهان رشد یافته در این مناطق مشاهده می شود. به طور کلی، گیاهان این مناطق از جمله ذرت در دوره رشد فعال خود و در طی مراحل اولیه نمو بسیار حساس به تنش سرمازدگی می باشند. به همین منظور آزمایشی برای بررسی تأثیر تنش سرما زدگی و اسید سالسیلیک بر فعالیت صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی هیبرید ذرت سینگل کراس ٤٠٠، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تنش سرمازدگی در دو سطح (عدم تنش سرمازدگی (شاهد) و تنش سرمازدگی در دمای پنج درجه سانتیگراد در مرحله چهار برگی به مدت ١٢ ساعت) و سه غلظت محلول پاشی اسید سالسیلیک (عدم محلول پاشی (شاهد)، ٢٠٠و٤٠٠ میکرو مولار) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد در شرایط تنش سرمازدگی غلظت مالون دی آلدئید، دی تیروزین و پرولین افزایش و غلظت آنزیم های سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون پراکسیداز و کاتالاز کاهش یافت. محلول پاشی ٢٠٠و ٤٠٠ میکرو مولار اسید سالسیلیک باعث کاهش اثرات تنش سرمازدگی شد. در شرایط تنش سرمازدگی نشت الکترولیت افزایش و محتوی آب نسبی، وزن خشک و سطح برگ کاهش پیدا کرد. محلول پاشی باعث افزایش محتوی کلروفیل گردید. همچنین همبستگی معنی داری بین میزان خسارت سرما، تیمار اسید سالیسیلیک و صفات مورد بررسی وجود داشت که نشان دهنده پاسخ مثبت گیاهچه ذرت نسبت به کاربرد اسید سالسیلیک در شرایط تنش سرمازدگی بود. بیشترین میزان پرولین مربوط به محلول پاشی ٤٠٠ میکرو مولار اسید سالسیلیک به میزان ٣٩/٥ میکرومول در گرم وزن تر بود.

واژه های کلیدی: آنتی اکسیدانت، کاتالاز، کلروفیل، گیاهچه ذرت، مالون دی آلدئید، محلول پاشی اسید سالیسیلیک

مقدمه:

خسارت ناشی از سرما در مراحل حساس رشد و نمو گیاهان یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد گیاهان زراعی است (Wang and Adams, 1980). بسیاری از گونه های گیاهی به ویژه گونه های مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری مانند ذرت در معرض دمای پایین، ولی بالای صفر آسیب می بینند (احمدی و همکاران، ١٣٨٣). ذرت به عنوان منبع اصلی تأمین انرژی در تغذیه طیور از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. درمناطق معتدله به دلیل برخورد زمان برداشت گیاه با سرمای زودرس پاییزه گیاه دچار خسارت می شود، به همین علت کاشت زودهنگام ذرت به عنوان یکی از راهکارهای احتمالی بهبود تولید این گیاه ذکر شده است (کافی و همکاران، ١٣٨٣). در این وضعیت نیز تنش سرمازدگی در ابتدای فصل ممکن است رشد گیاه را تحت تاثیر قرار دهد. به همین دلیل اطلاع از واکنش ذرت به تنش سرمازدگی در این مرحله از اهمیت خاصی برخوردار است (Arvin and Donnelly, 2008). اسید

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: m.kafi@ferdowsi.um.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.22.0]

سالیسیلیک می تواند در ایجاد مقاومت به سرما و تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و سوخت و ساز و متابولیسم پراکسید هیدروژن نقش داشته باشد(Janda *et al.*, 2003). اسید سالیسیلیک و سایر مشتقات فنلی در ایجاد مقاومت گیاهان به انواع تنشهای زیستی و غیرزیستی مؤثرند. این اسید جزئی از مسیرهای سیگنالی است که به وسیلهٔ برخی تنش های زیستی و غیرزیستی در گیاه القا می‌شود (Raskin, 1991). اسید سالیسیلیک به عنوان نوعی تنظیم کنندهٔ رشد، در رشد گیاه، القای گلدهی، حرکت مواد و فتوسنتز مؤثر است (Hayat and Ahmad, 2007). غلظتهای مختلف اسید سالیسیلیک و مدت زمان تأثیرگذاری آن واکنشهای متعددی را در گیاه سبب می شود (Hare and Cress, 2004 , Senaratna *et al*., 2003).

مقدار پرولین آزاد در بسیاری از گیاهان در واکنش به تنشهای محیطی مانند تنش سرمازدگی به مقدار زیادی افزایش می‌یابد و سبب تثبیت غشا در هنگام تنش سرما می شود (Ranney, 1991). تجمع پرولین آزاد اغلب با مقاومت گیاهان در وضعیت تنش های زیاد به ویژه دمای کم در ارتباط است (Ranney, 1991). پرولین نقش مهمی در متابولیسم گیاهان تحت تنش دارد و در تنظیمات اسمزی سلول و نیز در محافظت پروتئین‌ها نیز مؤثر است (Yelonsky, 1979). وقتی بافت های گیاهی در معرض سرما قرار می گیرند تولید مولکول های گونه های فعال اکسیژن در آن ها افزایش می یابد. این مولکول ها می توانند باعث تخریب پروتئین ها و اسیدهای نوکلئیک سلول ها و در نهایت غشاهای زیستی شوند. سلول های گیاهی برای کاهش اثرات تخریبی این مولکول ها، فعالیت سیستم آنتی اکسیدانت خود از جمله آنزیم های سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) و کاتالاز (CAT) را افزایش می دهند (Apel and Hirt, 2004). وقتی اسید سالیسیلیک در غلظت های مناسب اعمال می شود، این هورمون باعث بالا رفتن توان سیستم آنتی اکسیدانت بافت های گیاهی از طریق فعال کردن آنزیم های آنتی اکسیدانت سوپر اکسید دیسموتاز و کاتالاز می شود (Cao *et al*., 2010, Luo *et al*., 2012).

Pennycooke و همکاران (۲۰۰۵) با کاربرد تیمار دمایی و بررسی اثر آن بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در گل اطلسی مشاهده کردند که فعالیت در دماهای کمتر کاهش می یابد. این نتیجه می تواند به دلیل تولید کمتر رادیکال های آزاد در دمای پایین و یا کلاً متابولیسم کمتر در دمای پایین باشد (Pennycooke *et al.*, 2005). نتایج کریمی (۱۳۹۳) بر روی گل میخک مشابه نتایج ذکر شده باعث کاهش آنزیمهای آنتی اکسیدانت در شرایط تنش دمایی بود. همچنین اسدی و همکاران (۱۳۹٤) نتایج مشابهی بر روی سر خار گل بدست آوردند. Farooq و همکاران (۲۰۰۸) بر روی ذرت، Karlidag و همکاران (۲۰۰۹) بر روی توت فرنگی و Tao و همکاران (۲۰۰۹) بر روی خیار تخفیف اثرات سرما توسط اسید سالیسیلیک را از طریق افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت از جمله کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز گزارش کردند. Senaratna و همکاران (۲۰۰۱) اثرات تنش اکسیداتیو ناشی از سرما و خشکی در دو گیاه لوبیا و گوجه فرنگی را مورد بررسی قرار دادند، نتایج آن ها نشان داد که به کار بردن اسید سالسیلیک به صورت خارجی در شرایط تنش، فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان از جمله سوپر اکسید دیسموتاز و کاتالاز را بهبود می‌بخشد Janda و همکاران (۲۰۰۱) طبق یک تحقیق مشابه نیز میزان فعالیت این دو آنزیم را تحت تنش سرما در گیاه ذرت گزارش کردند. هدف از این آزمایش بررسی تأثیر اسید سالسیلیک بر فعالیتهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در مرحله چهار برگی ذرت سینگل کراس ٤۰۰ تحت شرایط تنش سرمازدگی بود.

مواد و روش‌ها:

این تحقیق در سال ۱۳۹٤ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد به اجرا در آمد. طی آن اثر تنش سرمازدگی در دو تیمار (عدم تنش (شاهد) و تنش سرمازدگی (دمای پنج درجه سانتی گراد) در مرحله چهار برگی) محلول پاشی اسید سالسیلیک در سه غلظت (محلول پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول پاشی ۲۰۰و٤۰۰ میکرو

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.22.0]

مولار) در نظر گرفته شد. در تاریخ اول اردیبهشت دو عدد بذر در گلدان‌های کاغذی حاوی مخلوطی از ماسه، پرلیت، خاک مزرعه و خاکبرگ به نسبت مساوی و در عمق پنج سانتیمتری کشت گردید و تا زمان استقرار کامل گیاه آبیاری به صورتی که سطح خاک گلدان‌ها رطوبت مورد نیاز را حفظ کند صورت پذیرفت. تا مرحله چهار برگی گیاهچه‌ها در شرایط گلخانه قرار داشتند و در این مرحله برای اعمال تنش سرمازدگی گیاهچه‌های ذرت به داخل اطاقک سرد انتقال داده شدند. ٢٤ ساعت قبل از انتقال گیاهچه‌ها به اطاقک سرد توسط اسید سالسیلیک محلول پاشی گردید. دمای اطاقک در شروع آزمایش ۲۵ درجه سانتیگراد بود و پس از قرار دادن نمونه‌ها با سرعت دو درجه سانتی گراد درساعت کاهش یافت و در دمای پنج درجه به مدت ۱۲ ساعت باقی ماند. کلیه اندازه‌گیری های صورت گرفته ٢٤ ساعت پس از تنش سرمازدگی صورت گرفت.

میزان مالون دی آلدئید (MDA): به روش گو و همکاران (Guo *et al.*, 2005) و بیو مارکر دی تیروزین از روش اورهنل و همکاران (Orhanl *et al.*, 2004) اندازه‌گیری شد. همچنین آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (SOD) با استفاده از روش مینامیا و یوشیکاوا (Minami and Yoshikawa, 1979) و فعالیت آنزیم گلو تاتیون پر اکسیداز (GPX) از روش پاگلیا (Paglia, 1987)، آنزیم کاتالاز (CAT) با استفاده از روش آبی (Aebi, 1984) و اندازه-گیری پرولین به روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد.

برای اندازه‌گیری محتوای آب نسبی، برگ جوان و توسعه یافته انتخاب گردید و سپس دو قطعه هم اندازه به میزان دو سانتیمتری تهیه و پس از توزین وزن تر نمونه ها، قطعات برگی در پتری دیش حاوی آب مقطر به مدت ۱۲ ساعت، اشباع و توزین شده، سپس نمونه های توزین شده در آون ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ٢٤ ساعت قرار گرفته و وزن خشک آنها تعیین گردید. سپس محتوای آب نسبی از معادله ۱ محاسبه شد.

معادله(۱) $RWC=Ww-Dw/\ Wsw-Dw$

W_w= وزن تر برگ، D_W=وزن خشک برگ، W_{sw}= وزن تر اشباع برگ

به منظور تعیین درصد نشت الکترولیت ابتدا جوانترین برگ کاملاً توسعه یافته از هر بوته جدا شد و در ویال‌های حاوی ۵۰ میلی لیتر آب دوبار تقطیر شده قرار گرفتند. پس از گذشت ٢٤ ساعت از قرار گیری نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه، هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه EC متر (مدل Jenway) اندازه گیری شد (EC_1). به منظور اندازه‌گیری کل نشت الکترولیت‌ها پس از مرگ سلول‌ها، نمونه ها به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو با فشار یک بار و دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها در شرایط آزمایشگاه قرار داده شده و پس از ٢٤ ساعت هدایت الکتریکی آنها اندازه‌گیری شد (EC_2). با استفاده از معادله۲ درصد نشت الکترولیت‌ها محاسبه شد.

معادله (۲) $EL\% = (EC_1 / EC_2) \times 100$

اندازه‌گیری میزان کلروفیل نسبی برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل متر دستی (SPAD Konica Minolta, Spad-502) در مرحله چهار برگی در پنج زمان (۱، ۳، ۷، ١٤ و ۲۱ روز پس از تنش سرمازدگی) انجام شد. به این منظور از کلیه برگ های گیاهچه، به این صورت که میزان کلروفیل آنها از محل میانه برگ گیاهچه ثبت شد. جهت تعیین سطح برگ (از دستگاه سطح برگ سنج) و وزن خشک پس از سه هفته سه گیاهچه از هر گلدان برداشت شده و صفات مذکور اندازه‌گیری گردید. پس از خروج گیاهان از اطاقک سرما خسارت سرمازدگی با توجه به ظاهر گیاه پس از اعمال تنش در طول یک هفته با توجه به تغییر رنگ و نکروزه شدن درجه‌بندی گردید. به این صورت که گیاهچه کاملاً سالم درجه یک، کلروزه شدن نوک برگ‌ها درجه دو، کلروزه شدن برگ‌ها و پایین ساقه درجه سه، تغییر رنگ و نکروزه شدن درجه چهار و گیاه کاملاً نکروزه درجه پنج در نظر گرفته شد (نظامی و همکاران، ۱۳۸۹). تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار MSTAT-C صورت گرفت و برای رسم نمودارها از نرم افزار EXCEL استفاده شد. میانگین‌ها در سطح ۵ درصد نیز با استفاده از آزمون LSD مقایسه شدند.

نتایج و بحث:

مالون دی آلدئید: اثرات تنش سرمازدگی و اسید سالسیلیک بر میزان مالون دی آلدئید در سطح یک درصد معنی‌دار بود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.22.0]

جدول۱- منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات اثر تنش سرما زدگی و اسید سالسیلیک بر آنزیمهای آنتی اکسیدانت، پرولین، نشت الکترولیت و محتوی آب نسبی ذرت در شرایط گلخانه ای

منابع تغییر	درجه آزادی	مالون دی آلدهید	دی تیروزین	سوپراکسید دیسموتاز	گلوتاتیون پراکسیداز	کاتالاز	پرولین
تنش سرمازدگی	۱	٦۰/۸٦۷ **	٤/۰۲۳ **	۰/۳۲٥ *	۰/۰۰٤ ns	۰/۰٦۱ *	۱٦۰/۳۲٤ **
اسید سالسیلیک	۲	۳۸٦/٦۸٥ **	۸/٥۷۲ **	۱/۱۹٦ **	۰/٦۲۸ **	۰/۸۸٤ **	٦۱۳/۹۹۸ **
سرما×سالسیلیک	۲	۱/٥۹۱ ns	۰/۳۰۰ ns	۰/۰۱۱ ns	۰/۰٤۹ ns	۰/۰۱۲ ns	۰/۸۹٥ ns
خطای آزمایش	۱۲	۸/۳۹٤	۰/٥٤٤	۰/۰٤۰	۰/۰۲۳	۰/۰۲٥	۹/۸٤٥
ضریب تغییرات	–	۱۲/٤٦	۹/٤٥	۷/٥۸	۱۱/۳۷	۱۰/٤۳	۱۰/۷۸

ns، *، ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد.

جدول۲- مقایسه میانگین اثرات تنش سرما زدگی و اسید سالسیلیک بر آنزیمهای آنتی اکسیدانت و پرولین ذرت در شرایط گلخانه‌ای

تیمار	مالون دی آلدهید ($\mu mol\ g^{-1}\ fw$)	دی تیروزین ($nMol\ g^{-1}fw$)	سوپراکسید دیسموتاز	گلوتاتیون پراکسیداز	کاتالاز	پرولین ($\mu mol\ g^{-1}\ fw$)
			(Umg^{-1} Protein)			
			تنش سرمازدگی			
عدم تنش سرمازدگی (شاهد)	۲۱/٤ b	۷/۳۳ b	۲/۷۸ a	۱/۳٤ a	۱/٥٦ a	۲٦/۱ b
تنش سرمازدگی	۲٥/۱ a	۸/۲۷ a	۲/٥۱ b	۱/۳۱ a	۱/٤٥ b	۳۲/۱ a
			اسید سالسیلیک			
عدم محلول پاشی (شاهد)	۳۱/٤ a	۹/۰٦ a	۲/۲۲ c	۱/۰۱ c	۱/۱٥ c	۱۹/۳ c
۲۰۰ میکرو مولار	۲۳/۰ b	۷/٦٦ b	۲/٦۰ b	۱/۳۱ b	۱/٤٦ b	۲۸/٥ b
٤۰۰ میکرو مولار	۱٥/۳ c	٦/٦۸ c	۳/۱۱ a	۱/٦٥ a	۱/۹۱ a	۳۹/٥ a

میانگین‌های هر عامل که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ٥ درصد باهم تفاوت معنی داری ندارند.

(جدول ۱). غلظت مالون دی آلدئید در شرایط تنش سرمازدگی نسبت به عدم تنش (شاهد) ۱۷/۳ درصد افزایش پیدا کرد. محلول پاشی اسید سالیسلیک با غلظت ٤۰۰ میکرو مولار سبب کاهش ٥۰ درصدی غلظت مالون دی آلدئید نسبت به عدم محلول پاشی (شاهد) شد (جدول ۲). پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلولی از طریق تجمع مالون دی آلدئید موجب ایجاد آسیب سرمازدگی در گیاهان می گردد و تیمار اسید سالیسیلیک با کاهش مالون دی آلدئید می تواند با جلوگیری از پراکسیداسیون چربیها آسیب سرمازدگی را کاهش دهد (Asgharia and Aghdam, 2010). Hodges و همکاران (۱۹۹۹) بیان کردند مالون دی آلدئید محصول نهایی اکسیداسیون اسیدهای چرب می باشد و می تواند به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپید غشای سلولی که در اثر تولید گونه های فعال اکسیژن (Reactive oxygen species) بوجود می آید مورد توجه قرار گیرد. اسید سالسیلیک باعث بالا رفتن توان سیستم آنتی اکسیدانت بافت های گیاهی از طریق فعال کردن آنزیم های آنتی اکسیدانت سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز می شود و در نهایت میزان مالون دی آلدئید را در گیاهان تحت تنش کاهش می دهد (Popova *et al*., 2007).

دی تیروزین: تنش سرمازدگی باعث افزایش (۱۲/۸ درصد) معنی دار (در سطح یک درصد) فعالیت دی تیروزین نسبت به شاهد شد و کاربرد ٤۰۰ میکرو مولار اسید سالیسیلیک منجر به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.22.0]

کاهش ۲۶/۳ درصدی دی تیروزین نسبت به عدم کاربرد آن شد (جدول ۲). بین مقادیر دی تیروزین و مالون دی آلدئید همبستگی مثبت و بسیار معنی داری (r=۰/۸۲**) مشاهده شد (جدول ۵) که نشاندهنده افزایش مقادیر دی تیروزین با افزایش مالون دی آلدهید است. در بررسی Hodges و همکاران (۱۹۹۹) نیز مشاهده شد که بین دی تیروزین و مالون دی آلدئید همبستگی مثبت وجود دارد. در زمان بروز تنش های محیطی آزاد شدن رادیکالهای آزاد، باعث تخریب پروتئین ها می شود. در این حالت اسیدهای آمینه آزاد شده و از اتصال دو اسید آمینه تیروزین، دی تیروزین ایجاد می شود (Dhindsa *et al*, 1980). ذکر شده است که افزایش این ترکیب نشان دهنده اثرات مخرب تنش های محیطی، از جمله تنش خشکی، بر پروتئین ها می‌باشد (Dhindsa *et al*, 1980). و لذا به نظر می رسد که آسیب وارده به غشا سلول ها تحت تاثیر تنش سرما (افزایش مالون دی آلدئید) منجر به بروز تنش اکسیداتیو در گیاه شده و به دنبال آن مقادیر دی تیروزین افزایش یافته است.

سوپراکسیددیسموتاز: اثر تنش سرمازدگی و اسید سالسیلیک بر میزان سوپر اکسید دیسموتاز معنی دار بود (جدول ۱). تنش سرما سبب کاهش ۱۴/۷ درصدی سوپراکسیددیسموتاز نسبت به تیمار عدم تنش سرمازدگی شد (جدول ۲). همچنین استفاده از اسید سالیسیلیک با غلظت ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرو مولار به ترتیب منجر به افزایش غلظت سوپراکسیددیسموتاز (به ترتیب ۱۴/۶ و ۲۸/۶ درصد) نسبت به عدم کاربرد آن شد (جدول ۲). بین مقادیر سوپر اکسید دیسموتاز و دی تیروزین با مالون دی آلدئید همبستگی منفی و بسیار معنی داری (r= -۰/۸۹** و r= -۰/۷۸**) مشاهده شد (جدول ۵). کاربرد اسید سالسیلیک در زمان تنش سرمازدگی آنزیمهای آنتی اکسیدانت از جمله سوپر اکسید دیسموتاز را فعال می کند و از این طریق تحمل در برابر تنش سرمازدگی را افزایش می دهد (Wang *et al*., 2006). تنش سرما موجب افزایش تولید آنیون های مخرب از جمله آنیون های سوپر اکسید در میتوکندری سلول و خسارت اکسیداتیو می شود .در چنین شرایطی، فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز به عنوان یک آنزیم از بین برنده یون سوپراکسید افزایش می یابد (Mittova *et al*., 2004). این افزایش فعالیت، احتمالاً می تواند سمیت زدایی یون سوپراکسید را افزایش داده و با تبدیل یون سوپراکسید به پراکسید هیدروژن و اکسیژن مولکولی سبب کاهش آسیب های اکسیداتیو حاصله از آن شود .در توافق با این نتایج، بسیاری از پژوهش ها افزایش فعالیت آنزیم سوپر اکسید را، در کاهش تنش اکسیداتیو در شرایط سرما نشان دادند، Ortega و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که تحت تنش سرما فعالیت آنزیم های متفاوت جاروکننده ROS از جمله افزایش می یابد. Jing- Hua و همکاران (۲۰۰۸) در هندوانه و Kang and Saltveit (۲۰۰۲) در ذرت نیز، به نتایج مشابهی دست یافتند.

گلوتاتیون پراکسیداز: اثر تنش سرمازدگی بر گلوتاتیون پراکسیداز معنی دار نبود اما اثر اسید سالسیلیک در سطح یک درصد بر این آنزیم معنی دار بود. (جدول ۲). بیشترین میزان فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز مربوط به تیمار کاربرد۴۰۰ میکرو مولار اسید سالیسیلیک بود که ۶۳ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۲). این آنزیم کاهش پراکسید هیدروژن را با استفاده از گلوتاتیون احیا شده (GSH) کاتالیز می‌کند و بدین وسیله از سلولها در برابر آسیب‌های ناشی از اکسایش حفاظت می‌کند. در واقع متابولیسم گلوتاتیون یکی از مکانیزهای دفاعی ضد اکسنده و ضروری می‌باشد (Stewart, 1982). بین مقادیر گلوتاتیون پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز همبستگی مثبت و معنی داری (r=۰/۸۵**) وجود داشت. همچنین این آنزیم با دی تیروزین و مالون دی آلدئید همبستگی منفی و معنی داری نشان داد (جدول ۵). طبق نظرات محققان مشخص گردیده است که میزان گلوتاتیون پراکسیداز در مواجه با تنش سرما کاهش یافته است (Eugenia *et al*., 2003). نتایج مشابهی مبنی بر کاهش فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدان در دمای پایین گزارش شده است (Hassan and Mahfouz, 2012).

فعالیت کاتالاز: تنش سرمازدگی باعث کاهش معنی دار کاتالاز نسبت به تیمارعدم تنش سرمازدگی شد (جدول ۲). بیشترین میزان فعالیت کاتالاز مربوط به تیمار کاربرد۴۰۰ میکرو

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.22.0]

مولار اسید سالسیلیک بود که ٦٦/۱ درصد بیشتر از تیمار عدم محلول پاشی بود (جدول ۲). بین کاتالاز با سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز همبستگی مثبت و معنی داری (r=۰/۸۵** و r=۰/۷۷**) وجود داشت، در حالی که بین مقادیر کاتالاز با مالون دی آلدئید و دی تیروزین همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۵). اسیدسالسیلیک با تغییر فعالیت آنزیمهای سوپر اکسیددیسموتاز و کاتالاز باعث بهبود گیاه در شرایط تنش سرمازدگی می‌کند (Horvath *et al*., 2007) اسید سالسیلیک باعث بالا رفتن توان سیستم آنتی اکسیدانت بافت های گیاهی از طریق فعال کردن آنزیم های آنتی اکسیدانت سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز می شود و در نهایت میزان مالون دی آلدئید را در گیاهان تحت تنش کاهش می دهد (Popova *et al*., 2007). Shima و همکاران (۲۰۰۳) عنوان کردند که کاهش آنزیم کاتالاز پدیده ای است که در بسیاری از گونه های گیاهی در اثر تنش اکسیداتیو روی می دهد. این محققین نشان دادند که در ارقام گندم، برنج و خیار همبستگی بسیار بالایی بین افزایش اسید سالسیلیک و کاهش فعالیت کاتالاز وجود دارد و چنین نتیجه گیری کردند که فعالیت کاتالاز در گیاهان تحت تأثیر تنش، یک امر ضروری برای غلبه بر آسیب های ناشی از تنش می باشد، به ویژه زمانی که فعالیت آنزیم کاتالاز یک عامل محدود کننده برای مهار گونه های فعال اکسیژن می گردد.

پرولین: اثر تنش سرمازدگی و اسیدسالسیلیک بر میزان پرولین در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). تنش سرمازدگی سبب افزایش ۲۳ درصدی پرولین نسبت به عدم تنش سرمازدگی شد (جدول ۲). بیشترین میزان پرولین مربوط به تیمار کاربرد٤۰۰ میکرو مولار اسید سالسیلیک بود که ۵۱/۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۲). بین مقادیر پرولین با سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون پراکسیداز و کاتالاز همبستگی مثبت و معنی داری (r=۰/۸٦**، r=۰/۸۸** و r=۰/۹۰**) مشاهده شد. در صورتی که بین پرولین با مالون دی آلدئید و دی تیروزین همبستگی مثبت و معنی داری (r=۰/۹۲** و r=۰/۸۲**) وجود داشت (جدول ۵). تجمع پرولین به عنوان یک سازوکار مقاومت در برابر تنش سرمازدگی در گیاهان مطرح می باشد. در گیاهان پرولین تجمع یافته در پاسخ به تنش سرمازدگی نقش مهمی در سمیت زدایی انسجام غشای سلولی ایفا می کند (Yadegari *et al*., 2007). Apostolova و همکاران (۲۰۰۸) مشاهده کردند که سرما باعث افزایش پرولین در گندم بهاره شد. Fabro و همکاران (۲۰۰٤) گزارش نمودند اسید سالسیلیک می تواند منجر به افزایش بیوسنتز و تجمع پرولین گردد افزایش میزان پرولین می تواند منجربه افزایش مقاومت به تنش سرمازدگی شود.

محتوی نسبی آب برگ: اثر تنش سرمازدگی و محلول پاشی اسیدسالسیلیک بر محتوی آب نسبی معنی دار بود (جدول ۳). تنش سرما سبب کاهش ۱٦/۳ درصدی محتوی آب نسبی برگ نسبت به تیمار عدم تنش سرما شد (جدول ٤). کاربرد ۲۰۰ و ٤۰۰ میکرو مولار اسید سالیسیلیک نیز منجر به افزایش محتوی نسبی اب برگ (به ترتیب ۷/۸ و ۱۲/۸ درصد) نسبت به تیمار عدم محلول پاشی شد (جدول ٤). محتوی آب نسبی همبستگی معنی داری با میزان مالون دی آلدئید، دی تیروزین، سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون پراکسیداز، کاتالاز و پرولین داشت (جدول ۵). محتوای نسبی آب برگ بالاتر به معنای توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتری آب در شرایط تنش است که از طریق قابلیت تنظیم اسمزی و یا توانایی ریشه در جذب آب حاصل می شود (Kiara and Roy, 1999).

نشت الکترولیت : اثر تنش سرمازدگی بر میزان نشت الکترولیت معنی‌دار بود (جدول۳). به طوری که بر اثر سرما، میزان نشت الکترولیت ها ۱۳ درصد افزایش یافت (جدول ٤). از آنجا که تنش سرما سبب اختلال در غشای سلولی و به دنبال آن نشت الکترولیتها از سلول می‌شود، لذا اندازه گیری میزان نشت از بافت‌های تحت تنش، معیار قابل قبولی برای مقاومت به تنش سرمازدگی است (Wongsheree *et al*., 2008). همچنین با بررسی جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) مشخص شد که اثر محلول پاشی اسید سالسیلیک بر درصد نشت الکترولیت‌ها معنی‌دار بود. به طوری که حداکثر درصد نشت الکترولیت‌ها در تیمار عدم محلول پاشی به دست آمد و میزان نشت الکترولیت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.22.0]

جدول۳- منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات اثر تنش سرما زدگی و اسید سالسیلیک بر نشت الکترولیت، محتوی آب نسبی و وزن خشک ذرت در شرایط گلخانه ای

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوی آب نسبی	نشت الکترولیت	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک کل
تنش سرمازگی	۱	۸۸٤/۸۰۲ **	۳۸۹/۲۰۵ **	۰/٦٤۲ **	۰/۰۰۱ ns	۰/۵۸۷ **
اسید سالسیلیک	۲	۱۷۵/۹۵۲ **	٤۷/۵۷٤ **	۰/۱۵۳ **	۰/۰۳۵ ns	۰/۲٤۹ **
سرما×سالسیلیک	۲	۷/۷۸٤ ns	٤/٦۸۵ ns	۰/۰۰۸ **	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۱۸ ns
خطای آزمایش	۱۲	۳/٦۸۷	۳/۷٤۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱
ضریب تغییرات	–	۲/٤۳	۲/۵۵	۲/۱۸	٦/۷۷	۳/۸٤

ns، *، ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح پنج و یک درصد.

جدول٤- مقایسه میانگین اثرات تنش سرما زدگی و اسید سالسیلیک بر نشت الکترولیت، محتوی آب نسبی و اوزان خشک در شرایط گلخانه

تیمار	محتوی آب نسبی (%)	نشت الکترولیت (%)	وزن خشک برگ (g)	وزن خشک ساقه (g)	وزن خشک کل (g)
تنش سرمازدگی					
عدم تنش سرمازدگی (شاهد)	۸٦/۱ a	۷۱/۲ b	۱/۲۰۱ a	۱/٦۸٦ a	۲/۸۸۷ a
تنش سرمازدگی	۷۲/۱ b	۸۰/۵ a	۰/۸۲۳ b	۱/۷۰۲ a	۲/۵۲٦ b
اسید سالسیلیک					
عدم محلول پاشی (شاهد)	۷۳/٤ c	۷۸/۹ a	۰/۸٤۵ c	۱/٦۳ a	۲/٤۷ b
۲۰۰ میلی مولار	۷۹/٦ b	۷۵/۵۵ b	۱/۰۳ b	۱/۷۷ a	۲/۸۰ a
٤۰۰ میلی مولار	۸٤/۲ a	۷۳/۳ b	۱/۱٦ a	۱/٦۸ a	۲/۸٤ a

میانگین‌های که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد باهم تفاوت معنی‌داری ندارند.

در تیمارهای محلول پاشی با اسید سالسیلیک در یک گروه آماری قرار گرفتند. تیمار اسید سالسیلیک موجب کاهش نشت الکترولیت می‌گردد (Wang *et al.*, 2006). Rab و Saltveit (۱۹۹٦) بیان کرند که تنش سرما موجب افزایش نشت الکترولیت‌ها می‌شود و غلظت ترکیب‌های مضر اکسیژن افزایش می‌یابد. تجمع این ترکیبات سمی ممکن است منجر به پراکسیداسیون لیپیدی غشا سلولی و اندامک ها شود که در نهایت موجب اختلالات فیزیولوژیکی و بروز صدمات تنش سرما در گیاهان می شود (Takac, 2004). در آزمایشی بر روی گیاهچه ذرت در شرایط تنش سرما میزان نشت الکترولیت افزایش یافت (علی و همکاران، ۱۳۸۹). نتایج مشابهی نیز در مطالعه بر روی ارقام گلرنگ گزارش شده است (نظامی و ناقدی نیا، ۱۳۸۹). در این مطالعه همبستگی معنی‌داری (** r= ۰/۸٦) بین درصد نشت الکترولیت ها و میزان خسارت گیاهان وجود داشت (جدول ۵). به عبارت دیگر با افزایش درصد نشت الکترولیتها، میزان خسارت گیاهان کاهش یافته است. با وجود اینکه در مطالعه حاضر جهت ارزیابی نشت الکترولیت‌ها از برگ گیاهان ٢٤ ساعت پس از سرمازدگی استفاده شد و سرمازدگی گیاهان پس از یک هفته مورد ارزیابی قرار گرفت، ولی همبستگی بین دو پارامتر مورد مطالعه نشان دهنده این است که احتمالاً استفاده از شاخص نشت الکترولیت‌ها در تخمین تحمل به سرمازدگی این گیاه از اعتبار نسبتاً مناسبی برخوردار باشد. در برخی از آزمایشات نشت الکترولیت همبستگی بسیار بالایی با بروز خسارتهای قابل مشاهده در گیاه داشته است. کانسلون و

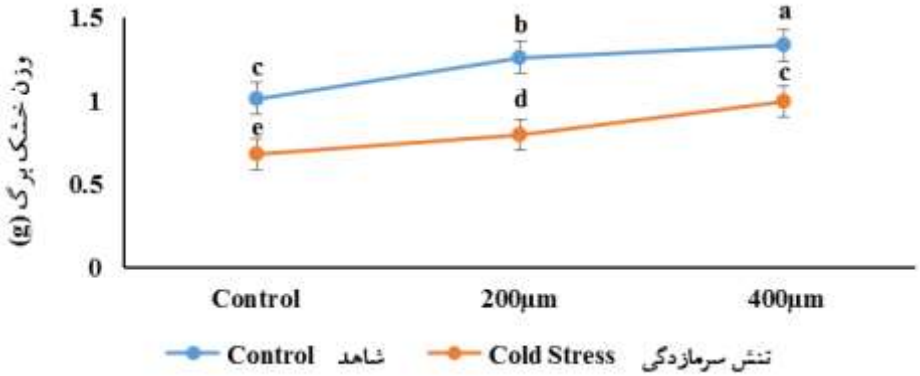
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.22.0]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.22.0] [Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

جدول۵- همبستگی میزان آنزیمهای آنتی اکسیدانت، پرولین، نشت الکترولیت، محتوی آب نسبی و میزان کلروفیل، هیبرید ذرت سینگل کراس ۴۰۰ در شرایط گلخانه ای

	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥	۱٦	۱۷
۱	۱/۰۰																
۲	۰/۸۲**	۱/۰۰															
۳	-۰/۸۹**	-۰/۷۸**	۱/۰۰														
٤	-۰/۷۹**	-۰/٦۷**	۰/۸٥**	۱/۰۰													
٥	-۰/۸٥**	-۰/۷۳**	۰/۸٥**	۰/۷۷**	۱/۰۰												
٦	۰/۹۲**	۰/۸۲**	۰/۹۰**	۰/۸٦**	۰/۸۸**	۱/۰۰											
۷	-۰/٦۸**	-۰/۷٤**	۰/۷۳**	۰/٥۰**	۰/٥۸**	۰/۷۲**	۱/۰۰										
۸	۰/٦۲**	۰/٦۳**	-۰/٦٥**	-۰/۳٤*	-۰/٥۸**	-۰/٦٥**	-۰/۹۰**	۱/۰۰									
۹	-۰/۷۱**	-۰/۷٦**	۰/۷۳**	۰/٥۲**	۰/٦۱**	۰/۷۷**	۰/۹۷**	-۰/۹۱**	۱/۰۰								
۱۰	-۰/۱٤	-۰/۰٤	-۰/۰۲	-۰/۰٥	۰/۲٦*	۰/۰۷٦	-۰/۰٦	-۰/۱٦	-۰/۰٤	۱/۰۰							
۱۱	-۰/٦۹**	-۰/٦۹**	۰/٦۳**	۰/٤٥**	۰/٦٥**	۰/۷۱**	۰/۸۳**	-۰/۸۸**	۰/۹۰**	۰/٤۷**	۱/۰۰						
۱۲	-۰/۷۸**	-۰/۸۰**	-۰/۷۷**	۰/٦٥**	۰/۷۲**	۰/۷۹**	۰/٦٤**	-۰/٥٥**	۰/۷۲**	-۰/۲۸**	۰/٦۳**	۱/۰۰					
۱۳	-۰/۷٦**	-۰/۸٦**	-۰/۷۷**	۰/٥٦**	۰/٦٥**	۰/۷۷**	۰/۷۹**	-۰/۷٥**	۰/۸۰**	-۰/۱٤	۰/٦۱**	۰/۸٦**	۱/۰۰				
۱٤	-۰/٤٥**	-۰/٤۸**	۰/٥٤**	۰/۲۹*	۰/۳۳*	۰/٥٤**	۰/۸۰**	-۰/۸٥**	۰/۸۰**	-۰/۷۰	۰/٦۷**	۰/۳٤*	۰/٦۱**	۱/۰۰			
۱٥	-۰/٥۱**	-۰/٥۷**	-۰/٥٤**	۰/۳۰**	۰/٥۲**	۰/٥۷**	۰/۸۸**	-۰/۹۲**	۰/۸۸**	۰/۰٦	۰/۸۹**	۰/٤۸*	۰/٦۷**	۰/۸۳**	۱/۰۰		
۱٦	-۰/٥۰**	-۰/٦۱**	-۰/٥۷**	۰/٤۱**	۰/٦۰**	۰/٦۷**	۰/۸۱**	-۰/۸۲**	۰/۸۷**	۰/۰۳	۰/۷۸**	۰/٤۸*	۰/۷۲**	۰/۷٥**	۰/٦٤**	۱/۰۰	
۱۷	۰/٦۱**	۰/۷۰**	-۰/٥٦**	-۰/۳۲**	-۰/٥٤**	-۰/٦٤**	-۰/۷۸**	۰/۸٦**	-۰/۸٤**	-۰/۱۸*	-۰/۸٤**	-۰/٥۹**	-۰/۷۹**	-۰/۸۲**	-۰/۸٤**	-۰/۷٤**	۱/۰۰

شماره ها به ترتیب نشانگر ۱-مالون دی آلدهید،۲- دی تیروزین،۳- سوپراکسیددیسموتاز،٤- گلوتاتیون پراکسیداز، ٥-کاتالاز، ٦-پرولین، ۷-محتوی آب نسبی، ۸-نشت الکترولیت، ۹-وزن خشک برگ، ۱۰-وزن خشک ساقه، ۱۱-وزن خشک کل، ۱۲- عدد کلروفیل متر ۱، ۱۳-عدد کلروفیل متر ۲، ۱٤-عدد کلروفیل متر ۳، ۱٥-عدد کلروفیل متر ٤، ۱٦-عدد کلروفیل متر ٥، ۱۷-خسارت سرما



شکل۱- اثرمتقابل تنش سرمازدگی و سالیسیلیک اسید بر وزن خشک برگ هیبرید ذرت سینگل کراس ٤۰۰. از سمت چپ به ترتیب عدد اول : ۱و۲- عدم تنش سرمازدگی (شاهد) و تنش سرمازدگی و عدد دوم ۲،۱ و۳- عدم محلول پاش اسید سالسیلیک، محلول پاشی ۲۰۰ میکرو مولار و ٤۰۰ میکرو مولار اسید سالسیلیک

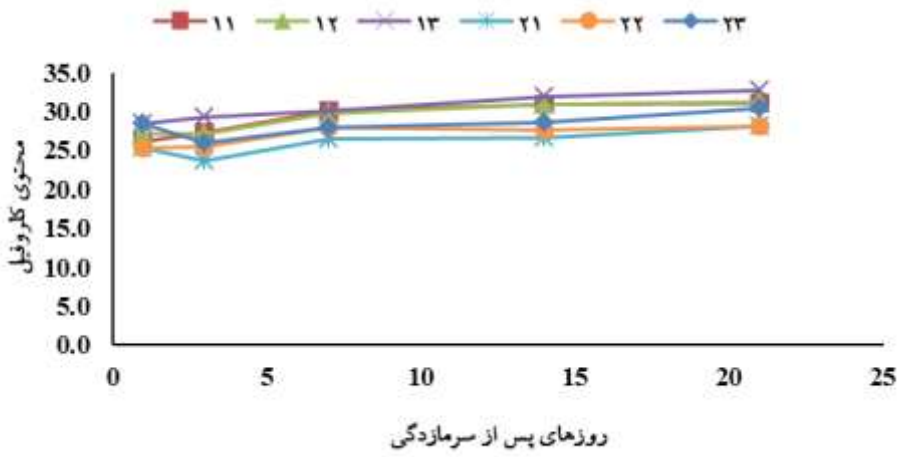
همکاران (Concellon *et al.*, 2007) نیز گزارش دادند که بین آثار ظاهری تنش سرما روی میوه های بادنجان و نشت الکترولیت همبستگی وجود داشت. مقادیر بالای نشت یونی نشان دهنده عدم توانایی غشاء در حفظ ترکیبات درون سلولی، خروج بیشتر الکترولیت‌ها از غشاء و خسارت به غشاء سلولی می‌باشد.

وزن خشک: اثر تنش سرمازدگی و محلول پاشی اسید سالسیلیک بر وزن خشک برگ و وزن خشک کل گیاه در سطح یک درصد معنی دار بود ولی این دو عامل تاثیر معنی داری بر وزن ساقه نداشتند (جدول ۳). اعمال تنش سرمازدگی سبب کاهش وزن برگ و کل گیاه (به ترتیب ۳۱/۵ و ۱۲/۵ درصد) نسبت به عدم تنش شد (جدول ٤). کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت ۲۰۰ و ٤۰۰ میکرومولار سبب افزایش وزن خشک برگ (به ترتیب ۱۷/۹ و ۲۷/۱ درصد) و گیاه (به ترتیب ۱۱/۸ و ۱۳درصد) نسبت به عدم کاربرد آن شد (جدول ٤). اثر متقابل تنش سرما و کاربرد اسید سالیسیلیک بر وزن خشک برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، به طوری که بیشترین وزن خشک برگ در تیمار عدم تنش سرمازدگی و کاربرد ٤۰۰ میکرو مولار اسید سالسیلیک با افزایشی ۲۵ درصدی نسبت به تنش سرمازدگی با کاربرد ٤۰۰ میکرو مولار اسید سالسیلیک بود (شکل ۱). وزن خشک کل با میزان مالون دی آلدئید، دی تیروزین، سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون پراکسیداز، کاتالاز ، پرولین، محتوی آب نسبی، نشت الکترولیت و وزن خشک برگ و ساقه همبستگی معنی داری داشت (جدول ۵). تیمار گیاهان با اسید سالسیلیک باعث افزایش رشد و سرعت فتوسنتز می‌شود (Wang *et al.*, 2006). کاربرد اسید سالیسیلیک بصورت محلول پاشی باعث افزایش بیوماس در گیاه سویا می شود (Eraslan *et al.*, 2007). طبق گزارش Khan و همکاران (۲۰۰۳) اسیدسالسیلیک باعث افزایش وزن خشک در گیاه ذرت و لوبیا گردید، به این صورت که میزان فتوسنتز کل گیاه افزایش یافته و باعث تجمع ماده خشک در گیاه می شود.

کلروفیل: با بررسی روند محتوی کلروفیل در مراحل مختلف مشخص گردید محلول پاشی اسید سالسیلیک باعث افزایش کلروفیل در شرایط تنش سرمازدگی شده است. (شکل ۲). همچنین روند گیاهچه در پنج مرحله اندازه‌گیری نشان دهنده بهبود میزان کلروفیل در برگ‌های پیر بود. در تمامی مراحل همبستگی منفی معنی‌داری بین محتوی کلروفیل با میزان خسارت سرمازدگی وجود داشت (جدول ۵). محتوی کلروفیل در شرایط تنش سرمازدگی طبق آزمایشی که بر روی گیاهچه‌های ذرت انجام شد کاهش پیدا کرد (علی و همکاران،۱۳۸۹). که این نتایج با تحقیق صورت گرفته مطابقت داشت.

خسارت سرمازدگی: در بررسی‌های گیاهچه‌ها به مدت سه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.22.0]



شکل۲- روند محتوی کلروفیل هیبرید ذرت سینگل کراس ٤۰۰ تحت تاثیر تنش سرما و کاربرد سالیسیلیک اسید از سمت چپ به ترتیب عدد اول : ۱و۲- عدم تنش سرمازدگی (شاهد) و تنش سرمازدگی و عدد دوم ۲،۱ و۳- عدم محلول پاش اسید سالسیلیک، محلول پاشی ۲۰۰ میکرو مولار و ٤۰۰ میکرو مولار اسید سالسیلیک

هفته پس از تنش سرمازدگی و با توجه به صفات مورد بررسی در جدول همبستگی (جدول ۵) نشان دهنده همبستگی مثبت و معنی‌داری با مالون دی آلدئید، دیتروزین و نشت الکترولیت و با بقیه صفات مورد آزمایش همبستگی منفی و معنی‌داری وجود داشت.

نتیجه‌گیری:

به طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که قرار گرفتن هیبرید ذرت سینگل کراس ٤۰۰ در معرض تنش سرمازدگی موجب بروز خسارت در گیاهچه ذرت شد. احتمالاً تنش سرما باعث افزایش تنش اکسیداتیو در بافت‌های گیاهی می‌شود و گیاه برای مقابله با اثرات تنش اکسیداتیو فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت خود را افزایش می‌دهد. میزان افزایش فعالیت این آنزیم‌ها با افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی همبستگی دارد. از طرفی به نظر می‌رسد افزایش بیوماس در اثر استفاده از اسید سالیسیلیک بخاطر فعالیت آنتی اکسیدانی این ماده در غشا سلولی باشد. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید باعث افزایش مقدار بیوماس در گیاهچه‌های ذرت شد. با افزایش غلظت اسید سالیسلیک مقادیر بیوماس افزایش یافت از طرفی می‌توان گفت اسید سالیسیلیک با افزایش میزان کلروفیل در برگ‌هایی که در آغاز فرآیند پیری هستند، می‌تواند سبب افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش رشد شود. می‌توان گفت محلول پاشی اسید سالسیلیک برای کاهش تنش سرمازدگی برای گیاهچه‌های هیبرید ذرت سینگل کراس ٤۰۰ که با این شرایط مواجه می‌شوند راهکار مناسبی می‌باشد.

منابع:

احمدی، ع.، احسان زاده، پ.، و جباری، ف. (۱۳۸۳) مقدمه ای بر فیزیولوژی گیاهی. انتشارات دانشگاه تهران .

اسدی صنم، س.، زواره، م.، پیردشتی، ه.، سفیدکن، ف.، و نعمت زاده، ق. (۱۳۹٤) بررسی پاسخ های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاه دارویی سرخار گل (*Echinacea purpurea* (L) Moench) به تنش دمای پایین. فرآیند و کارکرد گیاهی ٤ : ۲۸-۱۱.

علی، س.، اسلامی، س.، بهدانی، م.، و جامی الاحمدی ، م. (۱۳۸۹) تأثیر کاربرد خارجی گلایسین بتائین در افزایش تحمل به سرما در گیاهچه های ذرت. مجله نشریه پژوهشهای زراعی ایران ۸: ۹٤۵-۹۳۹.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.22.0]

کافی، م.، برزوئی، ا.، صالحی، م.، کمندی، ع.، معصومی، ع و نباتی، ج.(۱۳۸۳) فیزیولوژی تنشهای محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

کریمی، م. (۱۳۹۳) اثر دمای پایین و تیمارهای بازدارنده اتیلن روی فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدان و اتیلن تولیدی در میخک مینیاتوری (*Dianthus caryophyllus* L.). فرآیند و کارکرد گیاهی ۳: ۶۸-۵۹.

نظامی، ا.، صداقت خواه، ح.، پرسا، ح.، پارسا، م.، و باقری، ع. (۱۳۸۹) ارزیابی کشت پاییزه ژنوتیپهای نخود متحمل به سرما در شرایط آبیاری تکمیلی در مشهد. مجله پژوهشهای زراعی ایران ۳ : ۴۲۳-۴۱۵.

Aebi, H. (1984) Catalase in Vitro. In Methods in Enzymology; Packer, L., Ed.; Academic Press Inc.: San Diego, California, USA.

Apel, K. and Hirt, H. (2004) Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Annual Review Plant Biology 55:373-399.

Apostolova, P., Yordanova, R. and Popova, L. (2008). Response of antioixidative defence system to lowtemperature stress in two wheat ultivar. Gen. Appl. Plant Physiology, Special Issue 34:281-294.

Arvin, M. J., and Donnelly, D. J. (2008) Screening potato cultivars and wild species to abiotic stresses using an electrolyte leakage bioassay. Journal of Agriculture Science Technology 10:33-42.

Asgharia, M. R and Aghdam, M. S. (2010) Impact of salicylic acid on post-harvest physiology of horticultural crops. Trends in Food Science and Technology 21:502-509.

Bates, L. S., Waldern R. P. and Tear, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plants Physiology 39: 205-207.

Cao, S. F., Hu, Z. C., Zheng, Y. H. and Lu, B. H. (2010) Synergistic effect of heat treatment and salicylic acid on alleviating internal browning in cold-stored peach fruit. Postharvest Biology and Technolology 58: 93-97.

Concellon, A., Anon, M. C. and Chaves, A. R. (2007). Effect of low temperature storage on physical and physiological characteristics of eggplant fruit (*Solanum melongena* L.). LWT–Food Science and Tecnology 40: 389-396.

Dhindsa, R.S., Dhindsa, P.P., and Thorpe, T.A. (1980) Leaf senescence correlated with increased levels of membrane permeability and lipid-peroxidation and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. Experimental Botany 32: 93-101.

Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A., and Alpaslan, M. (2007) Impact of exogenous salicylic acid on growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. Scientia Horticulturae 113: 120–128.

Eugenia, M., S. Nunes, and G. Ray Smith. (2003) Electrolyte leakage assay capable of quantifying freezing resistance in rose clover. Crop Science 43: 1349-1357.

Fabro, G., Kovacs, I., Pavet, V., Szabados, L. and Alvarez, M. E. (2004) Proline accumulation and AtP5CS2 gene activation are induced by plantpathogen incompatible interactions in Arabidopsis. Mol. Plant–Microbe Interact 17: 343–350.

Farooq, M., Aziz, T., Basra, S. M. A., Cheema, M. A., Rehman, H. (2008) Chilling tolerance in hybrid maize induced by seed priming with salicylic acid. Journal Agronomy and Crop Science 194 : 161-168.

Guo, Z., Tan, H., Zhu, Z., Lu, S. and Zhou, B. (2005) Effect of intermediates on ascorbic acid and oxalate biosynthesis of rice and in relation to its stress resistance. Biotechnology Laboratory for Turfgrass and Forages, College of Life Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China. Plant Physiology Biochemstry 43: 955–

Hare, P. D. and Cress, W. A. (2004) Implications of stress induced proline accumulation in plant. African Journal of Biotechnology 9:1008-1015.

Hassan, F. A. S. and Mahfouz, S. A. (2012) Effect of 1- methylcyclopropene (1-MCP) on the postharvest senescence of coriander leaves during storage and its relation to antioxidant enzyme activity. Scientia Horticulturae 141: 69–75.

Hayat, S and Ahmad, A. (2007) Salicylic Acid: A Plant Hormone. Springer, Dordrecht. The Netherlands.

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.

Hodges, D., Delong, J. M., Forney, C. F. and Prange, R. K. (1999) Improving the thiobarbituric acidreactive substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. Planta 207: 604–611.

Kang, H. M. and Saltveit, M. E. (2002) Chilling tolerance of maize, cucumber and rice seedling leaves and roots are differentially affected by salicylic acid. Physiologia Plantarum 115: 571-576.

Karlidag, H., Yildirim, E., Turan, M. (2009) Exogenous applications of salicylic acid affect quality and yield of strawberry grown under antifrost heated greenhouse conditions. Journal Plant Nutrition Soil Science 172 : 270-276.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.22.0]

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

Kiara, D.V. and Roy, D. N. (1999) Oxidative stress and antioxidative defense with an emphasis on plants antioxidants. Environmental Reviews 7:31-51.

Luo, Z., Wu, X., Xie, Y., Chen, C. (2012) Alleviation of chilling injury and browning of postharvest bamboo shoot by salicylic acid treatment. Food Chemestry 131 : 456-461.

Janda, T., Szalai, G., Gonzalez, R. K., Veisz, O. and Paldi, E. (2003) Comparative study of frost tolerance and antioxidant activity in cereals. Plant Science 164: 301-306.

Jing-Hua, Y., Gao, Y., Li, Y. M., Qi, X. H. and Zhang, M. F. (2008) Salicylic acid-induced enhancement of cold tolerance through activationof antioxidative capacity in watermelon. Scientia Horticulturae 118: 200–205.

Minami, M., and Yoshikawa, H. (1979) A simplified assay method of superoxide dismutase activity for clinical use. Clinica Chimica Acta 92: 337–342.

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

Ortega, F. and Peragon, J. (2009) The response of phenylalanine ammonialyase, polyphenol oxidase and phenols to cold stress in the olive tree (*Olea europaea* L. cv. Picual). Journal of the Science of Food Agriculture 89: 1565–1573.

Orhanl, H., Vermeulen, N. P. E., Tump, C., Zappey, H., Meerman, J. H. N. (2004) Simultaneous determination of tyrosine, phenylalanine and deoxyguanosine oxidation products by liquid chromatography–tandem mass spectrometry as non-invasive biomarkers for oxidative damage. Chromato 799: 245–254.

Paglia, D. (1987) Studies on the quantitative and qualitative characterization of glutathione peroxidase. Journal Lab Medicen 70:158-165.

Pennycooke, J. C., Cox, S. and Stushnoff, C. (2005) Relationship of cold acclimation, total phenolic content and antioxidant capacity with chilling tolerance in petunia (*Petunia* x hybrid). Environmental and Experimental Botany 53:225- 232.

Popova, L., Maslenkova, L., Yordanova, R., Krantev, A., Szalai, G. and Janda, T. (2008) Salicylic acid protects photosynthesis against cadmium toxicity in pea plants. Plant Physiology 34: 133-148

Takac, T. (2004) The relationship of antioxdidant enzymes and some physiological parameters in maize during chilling. Journal of Plant Soil and Environment 50: 27-32.

Tao, L., Hong, F., Xin, S., Lin, D. Q., Fan, Z., Guo, L. H., Hui, L. H.(2010) The alternative pathway in cucumber seedlings under low temperature stress was enhanced by salicylic acid Plant Growth Regulation 60: 35-42.

Rab, A. and Saltveit, M. E. (1996) Differential chilling sensitivity in cucumber seedling. Plant Physiology 96: 375-382.

Ranney, T. G., Bassuk, N. L. and Whitlow. T. H. (1991) Osmotic adjustment and solute constituents in leaves and roots of- waterstressed cherry trees. The American Society for Horticultural Science 116: 684-688.

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

Senaratna, T., Merrit, D., Dixon, K., Bunn, E., Touchell, D. and Sivasithamparam, K. (2003) Benzoic acid may act as the functional group in salicylic acid and derivatives in the induction of multiple stress tolerance in plants. Plant Growth Regulation 39: 77-81.

Shim, I.-S., Momose, Y., Yamamoto, A., Kim, D. W. and Usui, K. (2003) Inhibition of catalase activity by oxidative stress and its relationship to salicylic acid accumulation in plants. Plant Growth Regulation 39: 285-292

Stewart, C. R. (1982) In physiology and Biochemistry of drought Resistance in plants, et. L.G. poley and D. Aspinall. New York. Acadamic.

Yadegari, L. Z., Heidari, R. and Carapetian, J. (2007) The influence of cold acclimation on proline, malondialdehyde, total protein and pigments contents in soybean (*Glycine max*) seedlings. Biology Science 7:1436–1441.

Yelonsky, G. (1979) Accumulation of free proline in citrus leaves during cold hardening of young tree in controlled temperature regimes. Plant Physiology 64: 425-427.

Wang, C.Y. and Adams, D.O. (1980) Ethylene production by chilled cucumbers (*Cucumis sativus* L.). Plant Physiology 66: 841- 843.

Wang, L., Chen, S., Kong, W., Li, S. and Archbold, D. D. (2006) Salicylic acid pretreatment alleviates chilling injury and effects the antioxidant system and heat shock proteins of peaches during cold storage. Postharvest Biology and Technology 41: 244-251.

Wongsheree, T., Ketsa, S. and Van Doorn, W. G. (2008) The relationship between chilling injury and membrane damage in lemon basil (*Ocimum×citriodourum*) leaves. Postharvest Biology and Technology 51:91-96.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.22.0]