

تأثیر اسید سالیسیلیک بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی انگور رقم قزل اوزوم در شرایط شور و غیر شور

معصومه عابدینی^{*} و قادر حبیبی چهار برج^۲

^۱ گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور (مرکز تبریز)، ایران، ^۲ گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور (واحد ملکان)، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۲/۰۱)

چکیده:

در این پژوهش، تأثیر کاربرد برگی اسید سالیسیلیک در دو غلظت ۱۰۰ و ۵۰۰ میکرومول در لیتر روی تعدادی از شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی انگور رقم قزل اوزوم در شرایط شور (EC=۱۰) و غیر شور (EC=۲) مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریال در قالب طرح کاملاً تصادفی و با چهار تکرار در شرایط گلخانه‌ای در آزمایشگاه زیست‌شناسی دانشگاه پیام نور تبریز در سال ۱۳۹۳-۱۳۹۲ انجام گرفت. نتایج به دست آمده کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک، محتوای آب گیاه، رنگیزه‌های فتوستترزی، کارآئی فتوشیمیایی فتوسیسم II، غلظت پروتئین کل، نشاسته و یون پتاسیم را در شرایط شور نشان داد، در حالی که غلظت آمینواسید آزاد، قندهای محلول و سدیم افزایش یافت. تأثیر شوری بر سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه با تحریک فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیدی‌سماوتاز، پراکسیداز و کاتالاز و افزایش غلظت مالون‌دی‌الید و پراکسید هیدروژن اندام هوایی همراه بود. کاربرد برگی اسید سالیسیلیک در شرایط غیر شور و در غلظت ۵۰۰ میکرومول در لیتر در شرایط شور تأثیر معنی‌دار و قابل توجهی بر روی شاخص‌های مورد مطالعه نداشت. کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومول در لیتر اسید سالیسیلیک در شرایط شور توانست باعث افزایش معنی‌دار غلظت اسموتیکوم‌ها، رنگیزه‌های فتوستترزی، کارآئی فتوشیمیایی فتوسیسم II، توان سیستم آنتی‌اکسیدانی و به ویژه کاهش انتقال سدیم به اندام‌های در حال رشد شود.

واژگان کلیدی: پتاسیم، سدیم، سیستم آنتی‌اکسیدان، راندمان فتوسیسم II، رنگیزه‌های فتوستترزی.

مقدمه:

سمیت‌یونی، عدم تعادل عناصر غذایی، کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن و افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و القاء تنفس اکسیداتیو باشد (Ashraf, 2004; Chawla *et al.*, 2013). در شرایط تنفس، فتوستترز از طرق مختلفی مانند القاء بسته شدن روزنه‌ها و یا مستقل از روزنه‌ها کاهش می‌یابد که حفظ سرعت مناسب آن در مقاومت گیاه نقش مهمی دارد (Jayakannan *et al.*, 2013).

اسید سالیسیلیک یک هورمون گیاهی است که عملکردهای متفاوتی را در گیاهان موجب می‌شود (Arberg 1981).

تنفس شوری یکی از مهمترین تنفس‌های محیطی است که کمیت و کیفیت محصولات اقتصادی را به شدت کاهش می‌دهد. شوری می‌تواند روی فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف گیاهان از مرحله جوانه‌زنی تا مراحل نهایی تکوین تأثیر منفی داشته باشد و منجر به کاهش رشد و محصول شود (Ashraf, 2004). پیچیدگی پاسخ گیاهان به تنفس شوری می‌تواند مربوط به تأثیر شوری از طریق مکانیسم‌های مختلف مانند ایجاد تنفس اسمزی،

مواد و روش‌ها:

قلمه‌هایی با پنج جوانه برگی از گیاهان انگور (*Vitis vinifera* L. var. *Ghizil Uzum*) سه ساله در اوخر بهمن ماه ۱۳۹۲ جدا شد و در محیط ماسه‌ای مرطوب برای ریشه‌زایی در گلخانه آزمایشگاه زیست‌شناسی دانشگاه پیام نور تبریز کشت شدند. در اواسط اردیبهشت ماه ۱۳۹۳ قلمه‌های دارای ریشه به گلدان‌های حاوی خاک ماسه‌ای لومی با pH=۷/۸۳±۰/۶۱ EC=۲/۰۳±۰/۱۸ نور $\mu\text{M}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ۸۵۰ فتوپریود ۱۴ ساعت، رطوبت نسبی متوسط ۷۵٪ و دمای روز و شب ۲۸ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سه ماه پس از انتقال قلمه‌ها به گلدان، نمک به شکل کلرید سدیم به خاک گلدان‌ها (یک‌دوم گلدان‌ها) اضافه شد و EC نمونه‌های تیمار شوری با EC متر در ۱۰ تنظیم گردید. محلول پاشی برگی اسید سالیسیلیک به غلاظت‌های ۱۰۰ و ۵۰۰ میکرومولار با اعمال شوری آغاز شد و نمونه‌های شاهد با آب مقطر محلول پاشی شدند. محلول پاشی برگی هر هفته یک‌بار تکرار شد و در نهایت پس از گذشت شش هفته از اولین کاربرد برگی اسید سالیسیلیک، نمونه‌های برگی برای اندازه گیری پارامترهای مورد نظر و سنجش فعالیت آنزیم‌ها و متابولیت‌ها برداشت شدند.

مقادیر نسبی آب برگ‌ها با استفاده از وزن تر (Fw)، وزن خشک (Dw) و وزن اشباع (Sw) و بر اساس رابطه زیر محاسبه شد (Lara *et al.*, 2003).

$$\text{RWC}=100 \times (\text{Fw}-\text{Dw})/(\text{Sw}-\text{Dw})$$

سنجش آمینواسیدهای آزاد با استفاده از معروف نین‌هیدرین انجام گرفت (Yemm and Cocking, 1955) و غلاظت آمینواسید نمونه‌ها با استفاده از محلول‌های استاندارد گلیسین و با واحد میلی‌گرم در گرم وزن تر محاسبه شد.

برای سنجش غلاظت رنگیزه‌های فتوسترنی پس از استخراج با استن ۸٪ و سانتریفیوژ در ۴۰۰۰ rpm، جذب نمونه‌ها در طول موج‌های $663/2$ ، $663/8$ و 470 نانومتر خوانده شد و غلاظت رنگیزه‌ها با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد (Lichtenthaler, 1987).

$$\text{Chla} (\mu\text{g/ml}) = 12/25A_{663/2} - 2/79A_{646/8}$$

مطالعات انجام گرفته نشان داده‌اند که کاربرد خارجی این هورمون می‌تواند جوانه‌زنی و رشد (Khan *et al.*, 2003)، فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو (Khodary, 2004)، جذب و انتقال یون (Jayakannan *et al.*, 2013) (Park *et al.*, 2009) و مقاومت گیاه (Harper and Balke, 1981) را تحت تأثیر قرار دهد. پیشنهاد شده است که اسید سالیسیلیک دارای نقش دوگانه می‌باشد به‌طوری‌که در القاء سیستم دفاعی گیاه و حفظ سطح احیایی سلول‌ها نقش دارد. بنابراین این هورمون برای حفاظت گیاهان در برابر تنفس اکسیداتیو ناشی از تنفس‌های متفاوت محیطی ضروری می‌باشد (Borsani *et al.*, 2001).

مطالعات انجام گرفته در این زمینه افزایش مقاومت در برابر تنفس ناشی از ازن، اشعه UV-B، عناصر سنگین، دما، خشکی، (Panda and Patra 2007; Sing and Borsani *et al.*, 2001) تنفس اکسیداتیو و شوری (Gautam, 2013) را در گیاهان با کاربرد این هورمون گزارش کرده‌اند. دومین جنبه از نقش اسید سالیسیلیک که در غلاظت‌های بالای آن اتفاق می‌افتد القاء مسیر مرگ برنامه‌ریزی شده‌ی سلول‌ها می‌باشد که منجر به حساسیت افزایش یافته در برابر تنفس‌های محیطی می‌شود (Yuan *et al.*, 2001; Lin, 2008; Kovacik *et al.*, 2009; Nazar *et al.*, 2015). انگور یکی از محصولات مهم باقی در دنیا و ایران بشمار می‌رود که در اغلب نقاط شمال غرب ایران به وفور کشت می‌گردد. با جدی‌تر شدن مشکل کم آبی دریاچه ارومیه و خشکی حوضه‌های آبریز آن، شوری حاصل از کم آبی در خاک‌های سطحی این مناطق افزایش یافته است. بنابراین افزایش تحمل شوری ارقام انگور مورد کشت در این نقاط، حداقل از طریق اعمال محافظت کننده‌های بیرونی، بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به اینکه غلاظت مناسب اسید سالیسیلیک در تخفیف اثرات ناشی از تنفس از گونه‌ای به گونه دیگر و در مراحل مختلف تکوین گیاه متفاوت می‌باشد، این مطالعه به منظور بررسی تأثیر کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک در شرایط غیر شور و شور بر روی گیاه انگور رقم قزل‌اوزوم و تعیین غلاظت مناسب آن در تخفیف اثرات ناشی از تنفس انجام گرفت.

۲۶/۶ برای گایاکول فعالیت پراکسیداز محاسبه گردید. مقدار آنزیم لازم برای تولید یک میکرومول تراگایاکول در دقیقه بر میلی گرم پروتئین به عنوان یک واحد آنزیم پراکسیداز در نظر گرفته شد (Chance and Maehly, 1955).

فعالیت کاتالاز با دنبال نمودن تجزیه H_2O_2 در طول موج 240 nm و اعمال ضریب خاموشی $39/4\text{ cm}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ محاسبه گردید. مخلوط واکنش از $1/5\text{ mL}$ بافر سیترات-فسفات-بورات $0/1\text{ mol/L}$ ($\text{pH}=7/5$), $50\text{ }\mu\text{L}$ عصاره آنزیمی و 10 mmol/L H_2O_2 تشکیل شده بود. مقدار آنزیم لازم برای تجزیه یک میکرومول آب‌اکسیژنه در دقیقه به عنوان یک واحد آنزیم کاتالاز معرفی می‌شود (Obinger *et al.*, 1997).

برای سنجش مالوندی‌آلدئید (MDA) عصاره برگ در محلول $0/1\text{ % (w/v)}$ تری کلرواستیک اسید (TCA) استخراج و پس از پنج دقیقه سانتریفوژ در 10000 g , نسبت ۱ به ۴ از روشنایور با محلول 20 % از TCA حاوی $0/5\text{ %}$ تیوباریتوريک اسید مخلوط شد و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب با دمای 95°C قرار گرفت. پس از سرد کردن لوله‌ها و سانتریفوژ مجدد جذب نمونه‌ها در 532 nm اندازه‌گیری شد. برای محاسبه غلظت مالوندی‌آلدئید نمونه‌ها از محلولهای استاندارد صفر تا 100 نانومول $1,1,3,3$ -تترا اتوکسی پروپان استفاده شد (Boominathan and Doran, 2002).

برای اندازه‌گیری غلظت پراکسیدهیدروژن بر روی عصاره‌ی برگی استخراج شده با TCA, $0/5\text{ میلی لیتر}$ بافر فسفات 10 میلی مولار و 1 میلی لیتر یدید پتاسیم یک مولار اضافه شد و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای 25°C نگهداری شد. سپس جذب نمونه‌ها در طول موج 390 nm در مقابل شاهد H_2O_2 اندازه‌گیری شد (Harinsaut *et al.*, 2000). غلظت H_2O_2 نمونه‌ها به کمک منحنی جذب محلولهای استاندارد H_2O_2 که از صفر تا 100 میکرومولار تهیه شده بودند، محاسبه گردید. عصاره پروتئینی در بافر فسفات سدیم با غلظت 50 mM و $pH=6/8$ استخراج شده و به مدت ۲۰ دقیقه در 15000 g سانتریفوژ شد. از روشنایور حاصل برای سنجش پروتئین کل به روش برادفورد (Bradford, 1976) استفاده شد.

$$\text{Chlb} (\mu\text{g/ml}) = 21/5\text{A}_{646/8} - 5/1\text{A}_{663/2}$$

$$\text{Total Ch} = \text{Cha} + \text{Chb}$$

$$\text{C(x+c)} = 100\text{A}_{470} - 1/82\text{Chb} - 85/0.2\text{Chb}/198$$

راندمان فتوشیمیایی فتوسیستم II (Fv/Fm) توسط دستگاه فلورومتر کلروفیل بعد از بیست دقیقه سازش برگ‌ها به تاریکی اندازه‌گیری شد (Maxwell and Johnson, 2000).

اندازه‌گیری قندهای محلول و نامحلول به روش فنل-اسیدسولفوریک انجام گرفت (Dubois *et al.*, 1956) و غلظت قندها با استفاده از محلول‌های استاندارد گلوکز و با واحد میلی گرم در گرم وزن خشک محاسبه شد.

فعالیت آنزیم سوپراکسیدیسموتاز (SOD) بر اساس درصد ممانعت از احیاء نیتروبلوترازوبلیوم (NBT) به ترکیب دی فورمازان توسط رادیکال سوپراکسید حاصل از فتولیز ریبوفلاوین، توسط آنزیم موجود در عصاره مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (Winterbourn *et al.*, 1976). عصاره آنزیمی در $(\text{pH}=7/8)$ $EDTA, 0/1\text{ mM}$ 25 mM حاوی $100\text{ }\mu\text{L}$ استخراج و پس از ۱۵ دقیقه سانتریفوژ در 15000 g , 25 mM از روشنایور با 1 mL از محلول واکنشی شامل هپس $Na_2CO_3 50\text{ mM}$, $EDTA 0/1\text{ mM}$, $(\text{pH}=7/6)$, $1\text{ }\mu\text{M NBT}$ و 12 mM L-متیونین , $pH=10/2$ ریبوفلاوین مخلوط و به مدت ۲۰ دقیقه در شدت نور $8000\text{ }\mu\text{M}$ لوكس به منظور انجام واکنش قرار گرفت. برای تهیه نمونه‌های شاهد مخلوط فوق بدون افزودن عصاره آنزیمی تهیه گردید و جذب نمونه‌ها در 560 nm اندازه‌گیری شد. یک واحد فعالیت آنزیم بر اساس مقدار پروتئین آنزیمی لازم برای القاء 50 درصد ممانعت از احیاء NBT در مقایسه با نمونه‌های شاهد بدون عصاره آنزیمی محاسبه شده و به صورت واحد/میلی گرم پروتئین بیان گردید.

کاتالیز پلیمریزاسیون گایاکول توسط پراکسیداز مبنای سنجش فعالیت این آنزیم قرار گرفت. مخلوط واکنش از $1/5\text{ mL}$ بافر سیترات-فسفات-بورات-بورات $0/1\text{ mol/L}$, $(\text{pH}=7/5)$, $50\text{ }\mu\text{L}$ گایاکول, $15\text{ }\mu\text{L}$ $25\text{ }\mu\text{M}$ عصاره آنزیمی و $50\text{ }\mu\text{L}$ پراکسیدهیدروژن شده بود. با استفاده از افزایش جذب در 470 nm و ضریب خاموشی $cm^{-1}\cdot\text{mol}$

بر روی فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند فتوستتر، هموستازی یون و ظرفیت آنتیاکسیدانی کاهش می‌دهد (Ashraf and Harris, 2009). تأثیر مثبت کاربرد اسید سالیسیلیک در تخفیف اثرات منفی ناشی از تنفس شوری که در این مطالعه در غلظت μM ۱۰۰ مشاهده شد، در طیف وسیعی از گونه‌های گیاهی در غلظت‌های پائین ($\geq \mu\text{M}$ ۱۰۰) و اثرات منفی آن در غلظت‌های بالاتر ($\leq \text{mM}$ ۱) توسط محققین متعدد Ashraf *et al.*, 2010; Rivas-San Visente (and Plasencia, 2011) نقش اسید سالیسیلیک در تخفیف عوارض ناشی از تنفس‌ها از طریق تأثیر روی فرایندهای متعدد مانند عملکرد روزنه، مقدار کلروفیل، تعرق و فتوستتر می‌باشد (Jayakannan *et al.*, 2015). تأثیر مثبت اسید سالیسیلیک در تخفیف تنفس‌های مختلف محیطی به غلظت بکار برده شده از آن بستگی دارد و این غلظت بین گونه‌ها و ارقام مختلف متفاوت می‌باشد (Borsani *et al.*, 2001; Yuan and Lin, 2008).

در این مطالعه، غلظت μM ۵۰۰ اسید سالیسیلیک اگرچه به اندازه‌ای بالا نبود که باعث القاء اثرات منفی شود ولی قادر تأثیر قابل توجهی در تخفیف اثرات منفی ناشی از شوری بر روی رشد گیاه بود.

اسید آمینه و پروتئین کل: نتایج حاصل از این مطالعه افزایش معنی‌دار غلظت اسید آمینه کل و کاهش معنی‌دار پروتئین کل را تحت شرایط شور نشان داد. کاهش مقدار پروتئین و افزایش غلظت اسیدهای آمینه توسط محققین متعددی در شرایط شور گزارش شده است. یکی از دلایل کاهش غلظت پروتئین کاهش فعالیت آنزیم‌های درگیر در متابولیسم ازت مانند نیترات‌ردوکتاز می‌باشد (Zahra *et al.*, 2010). در شرایط غیرشور کاربرد اسید سالیسیلیک در سطح μM ۱۰۰ باعث کاهش و در سطح μM ۵۰۰ موجب افزایش جزئی اسید آمینه کل شد، ولی تأثیر آن بر غلظت پروتئین کل با افزایش در سطح μM ۱۰۰ و کاهش در μM ۵۰۰ همراه بود که قابل توجه نبودند. با توجه به این‌که غلظت پروتئین تابعی از سرعت سترز و تجزیه آن می‌باشد، نتایج حاصل از این مطالعه افزایش سترز پروتئین را در غلظت μM ۱۰۰ و افزایش تجزیه آن را در غلظت μM ۵۰۰ نشان داد. نقش غلظت‌های مناسب

برای سنجش عناصر، هضم نمونه‌های خشک شده ابتدا در مخلوط اسید نیتریک و اسید پرکلریک غلیظ (با نسبت حجمی ۱:۴) در دمای ۱۳۰°C بمدت یک ساعت و سپس در اسید کلریدریک غلیظ به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۱۵°C انجام گرفت. پس از به حجم رساندن نمونه‌های حاصل با آب دوبار تقطیر از محلول‌های بدست آمده برای تعیین سدیم و پتانسیم (ICP-OES spectrometer) با استفاده از اسپکترومتر نشر اتمی (Munns *et al.*, 2010) Integra XL₂, GBC استفاده شد (Integra XL₂, GBC).

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبات آماری با کمک نرم افزارهای اکسل و سیگما استات (نسخه ۳/۵) انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث:

شاخص‌های رشد: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که شوری باعث کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک و مقدار نسبی آب گیاه می‌شود. در محیط‌های غیرشور، کاربرد اسید سالیسیلیک در غلظت $۱۰۰ \mu\text{M}$ میکرومولار باعث افزایش جزئی وزن تر، وزن خشک و مقدار آب گیاه شد و در غلظت $۵۰۰ \mu\text{M}$ موجب کاهش جزئی این شاخص‌ها گشت که از نظر آماری معنی‌دار نبودند. در محیط شور استفاده از اسید سالیسیلیک در غلظت $۱۰۰ \mu\text{M}$ باعث افزایش معنی‌دار وزن تر، وزن خشک و مقدار آب گیاه شد، ولی افزایش القاء شده توسط غلظت $۵۰۰ \mu\text{M}$ اسید سالیسیلیک غیر قابل توجه بود (جدول ۲). کاهش شاخص‌های رشد گیاه در پاسخ به حضور نمک در محیط گشت، نشان دهنده حساسیت رقم مورد مطالعه انگور به شوری می‌باشد. این نتیجه در راستای نتایج حاصل از مطالعه انجام گرفته توسط کریمی و یوسف‌زاده Karimi and Yusef-Zadeh, 2013 روی همین رقم از گیاه انگور می‌باشد (Erdal *et al.*, 2011).

جدول ۱-نتایج تجزیه واریانس دوفاکتوره (میانگین مربعات) بررسی اثر شوری، هورمون و اثر متقابل شوری با هورمون بر شاخص‌های رشد و غلظت پروتئین و اسیدآمینه کل انگور رقم قزل اوژوم.

پارامترها	شوری	هورمون	شوری × هورمون
وزن تر	۱/۹۳**	۱/۴۳**	۰/۳۳** ۰/۰۱۶** ۰/۰۰۷** ۱۳۹*
وزن خشک	۰/۱۲**	۰/۰۳۳**	۰/۰۰۳** ۱۳۳*
اسید آمینه کل	۰/۲۵**		۱/۵۶** ۵/۵۸**
مقدار نسبی آب	۲۰۷۲***		
پروتئین کل	۱۲۲***		

ns، ** و ***: به ترتیب غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک‌هزارم، یک‌صدم، پنج‌صدم با استفاده از آزمون دانکن.

جدول ۲-تأثیر اسید سالیسیلیک روی شاخص‌های رشد و غلظت پروتئین و اسیدآمینه کل انگور رقم قزل اوژوم تحت شرایط شور و غیرشور.

تیمار	وزن تر (g)	وزن خشک (g)	مقدار نسبی آب (%)	اسید آمینه کل (mg/g.FW)	پروتئین (mg/g.FW)
شاهد	۲/۹۷±۰/۱۲ ^{ab}	۰/۳۸±۰/۰۷ ^a	۸۰±۴ ^a	۰/۲۴±۰/۰۲ ^c	۱۶/۷±۱/۹ ^a
اسید سالیسیلیک ۱۰۰ μM	۳/۲۹±۰/۳۲ ^a	۰/۳۹±۰/۰۸ ^a	۸۱±۷ ^a	۰/۲۱±۰/۰۷ ^c	۱۷/۸±۱/۸ ^a
اسید سالیسیلیک ۵۰۰ μM	۲/۳۱±۰/۴۰ ^{bc}	۰/۲۴±۰/۱۰ ^{ab}	۷۴±۵ ^a	۰/۲۷±۰/۰۲ ^{bc}	۱۵/۴±۲/۰ ^{ab}
شوری ۱۰	۱/۸۷±۰/۲۷ ^c	۰/۱۰±۰/۰۳ ^b	۵۱±۶ ^c	۰/۴۴±۰/۱۱ ^{ab}	۱۱/۴±۱/۲ ^{bc}
شوری ۱۰۰ اسید سالیسیلیک μM	۲/۸۹±۰/۴۲ ^{ab}	۰/۳۰±۰/۰۷ ^a	۷۰±۴ ^{ab}	۰/۵۴±۰/۱۲ ^a	۱۱/۳±۲/۴ ^{bc}
شوری ۵۰۰ اسید سالیسیلیک μM	۱/۹۷±۰/۳۰ ^c	۰/۱۱±۰/۰۶ ^b	۶۱±۴ ^{bc}	۰/۴۷±۰/۱۰ ^a	۱۰/۹±۲/۱ ^c

اختلاف بین مقادیر مربوط به هر شاخص که دارای حروف مشترک است، بر اساس آزمون دانکن از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد ($P < 0.05$ ، $n=3$).

a/b شد. در محیط‌های غیرشور کاربرد اسید سالیسیلیک تأثیر چندانی روی غلظت کلروفیل‌ها نداشت و اثر آن روی غلظت کاروتینوئیدها در سطح μM ۱۰۰ با افزایش و در سطح μM ۵۰۰ با کاهش جزئی همراه بود، که از لحاظ آماری معنی‌دار نبودند. کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط شور موجب افزایش غلظت کلروفیل کل و کاروتینوئیدها و نسبت کلروفیل a/b شد که این افزایش در سطح μM ۱۰۰ معنی‌دار، ولی در سطح μM ۵۰۰ از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳ و ۴). کاهش مقدار کلروفیل‌ها، نسبت کلروفیل a/b و کاروتینوئیدها در شرایط شور در اغلب گیاهان حساس به شوری گزارش شده است (Ashraf and Bhatti, 2000). کاهش رنگیزه‌های فتوسترنزی در تنفس شوری می‌تواند به دلیل اثر مهاری ناشی از انباسته شدن یون در کلروپلاست‌ها، کاهش پایداری کمپلکس‌های رنگیزه‌پروتئین به دلیل حضور یون‌ها و فعال شدن آنزیم کلروفیلاز باشد (Saha *et al.*, 2010).

اثرات مثبت کاربرد اسید سالیسیلیک در تحریک ستنز پروتئین‌ها توسط محققین گزارش شده است (El Tayeb, 2005). در شرایط شور اسید سالیسیلیک در هر دو غلظت بکار رفته توانست باعث افزایش جزئی اسیدآمینه کل شود که در سطح μM ۱۰۰ اسید سالیسیلیک این افزایش نسبتاً بیشتر بود، ولی تأثیر آن بر روی پروتئین کل با کاهش ناچیز همراه بود (جداوی ۱ و ۲). افزایش غلظت اسمولیت‌ها در شرایط تنفس زا یک مکانیسم شناخته شده برای سازش اسمرزی در برابر غلظت‌های بالای یونی می‌باشد که هیدرولیز پروتئین‌ها و افزایش اسیدآمینه‌های آزاد مثال مناسبی در این زمینه می‌باشد (Singh and Gautam, 2013). در شرایط شور اسید سالیسیلیک باعث تحریک هیدرولیز پروتئین‌های محلول می‌شود و بدین ترتیب مخزن مناسبی از اسمولیت‌ها را برای گیاه تأمین می‌کند (Ashraf and Harris, 2009).

رنگیزه‌های فتوسترنزی: در این مطالعه شوری باعث کاهش معنی‌دار غلظت کلروفیل کل و کاروتینوئیدها و نسبت کلروفیل

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس دوفاکتوره (میانگین مربعات) بررسی اثر شوری، هورمون و اثر متقابل شوری با هورمون بر غلظت رنگیزه‌های فتوستزی، قند محلول و نشاسته انگور رقم قزل اوژوم.

پارامترها	نشاسته	قند محلول	کاروتوئید	شوری	هورمون	شوری × هورمون
a کلروفیل	۳۲/۵ ***	۲۱۴۴ ***	۱۷۲۱۶ ***	۵۳۷۰ ns	۱۲۰۶۹ *	۲۳۸۱ ns
b کلروفیل	۳۲/۵ ***	۲۱۴۴ ***	۱۷۲۱۶ ***	۳۰۵۷۰ ***	۸۱۳۴ ***	۶۰/۵ ns
کاروتوئید	۳۲/۵ ***	۲۱۴۴ ***	۱۷۲۱۶ ***	۳۰۵۷۰ ***	۸۱۳۴ ***	۱/۴۳ ns
قند محلول	۳۲/۵ ***	۲۱۴۴ ***	۱۷۲۱۶ ***	۳۰۵۷۰ ***	۱۲۰۶۹ *	۲۳۸۱ ns
نشاسته	۳۲/۵ ***	۲۱۴۴ ***	۱۷۲۱۶ ***	۳۰۵۷۰ ***	۸۱۳۴ ***	۶۰/۵ ns

ns، ** و ***: به ترتیب غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک‌هزارم، یک‌صدم، پنج‌صدم با استفاده از آزمون دانکن.

جدول ۴- تأثیر اسید سالیسیلیک روی غلظت رنگیزه‌های فتوستزی، قند محلول و نشاسته در انگور رقم قزل اوژوم تحت شرایط شور و غیرشور.

تیمار	a/b	کلروفیل کل	کاروتوئید	قند محلول	نشاسته (mg/g.FW)
شاهد	۲/۸۵±۰/۴۲ a	۸۱۰±۳۸ a	۲۸۲±۲۰ bc	۵۴±۴/۷ b	۴/۹±۱/۴ a
اسید سالیسیلیک μM	۲/۵۲±۰/۲۲ a	۸۱۰±۲۲ a	۳۵۲±۲۹ ab	۵۰±۵/۰ b	۴/۴±۰/۷ ab
اسید سالیسیلیک $500 \mu\text{M}$	۲/۹۹±۰/۶۱ a	۸۱۴±۴۳ a	۲۷۵±۳۱ c	۵۲±۶/۴ b	۳/۸±۱/۱ abc
شوری ۱۰	۱/۹۸±۰/۷۷ b	۶۱۷±۴۸ b	۲۰۰±۴۳ d	۷۴±۹/۲ a	۲/۱±۰/۳ c
شوری ۱۰+اسید سالیسیلیک $100 \mu\text{M}$	۲/۵۰±۰/۷۲ a	۷۷۰±۳۷ a	۳۹۲±۲۸ a	۸۲±۱۲ a	۲/۵±۰/۷ bc
شوری ۱۰+اسید سالیسیلیک $500 \mu\text{M}$	۲/۳۲±۰/۶۷ ab	۷۰۰±۷۳ ab	۲۱۰±۲۷ d	۷۸±۱۰ a	۲/۰±۰/۸ c

اختلاف بین مقادیر مربوط به هر شاخص که دارای حروف مشترک است، بر اساس آزمون دانکن از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد ($P < 0.05$ ، $n=3$).

تیمار شوری در این مطالعه افزایش و غلظت نشاسته کاهش قابل توجه نشان داد. کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط شور در هر دو سطح باعث افزایش جزئی غلظت قند محلول و در سطح $500 \mu\text{M}$ باعث افزایش جزئی غلظت نشاسته شد که از نظر آماری معنی‌دار نبودند. کاربرد اسید سالیسیلیک در هر دو سطح در محیط‌های غیرشور باعث افزایش ناچیز قند محلول و کاهش ناچیز نشاسته شد (جدول ۳ و ۴). نتایج بدست آمده از تحقیقات نشان داده است که تنش‌های محیطی بویژه تنش خشکی و شوری باعث افزایش قندهای محلول مانند گلوکر، ساکاراز و فروکتوز می‌شوند (Fahad and Bano, 2012)، زیرا این قندها به عنوان اسمولیت نقش مهمی در تنظیم اسمزی ایفا می‌کنند، افزایش در قندهای محلول معمولاً با کاهش قندهای نامحلول همراه است که از کاهش بیوسنتر آنها یا افزایش تجزیه آنها ناشی می‌شود (Zahra et al., 2010).

کارآیی سیستم فتوستزی: در این مطالعه کارآیی

سالیسیلیک در افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوستزی و نسبت کلروفیل a/b بعنوان شاخصی از مقاومت به شوری توسط Khodary (۲۰۰۴) گزارش شده است که در مطالعه حاضر در غلظت $100 \mu\text{M}$ اسید سالیسیلیک قابل توجه بود. کاروتوئیدها به عنوان یکی از ترکیبات مورد نیاز برای مقاومت گیاهان در برابر شوری معرفی شده‌اند (Perez-Rodriguez, 2009).

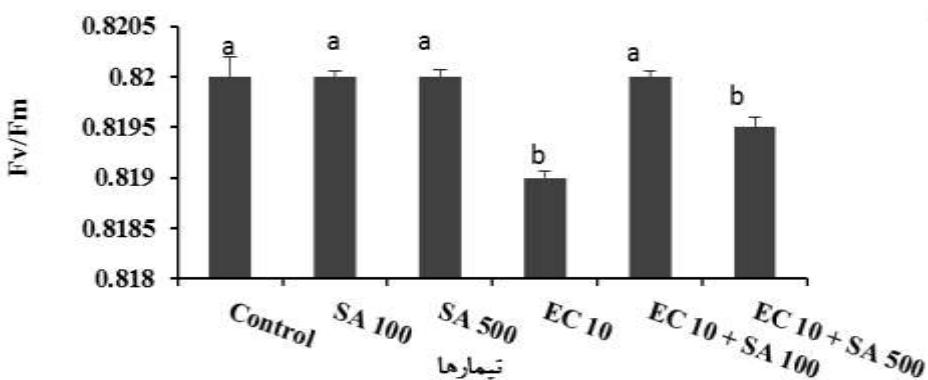
افزایش غلظت کاروتوئیدها با کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاهان گندم تحت تنش شوری گزارش شده است که در راستای افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه جهت حفاظت از سیستم فتوستزی بود (Arfan et al., 2007) و با نتایج بدست آمده در این تحقیق همسو می‌باشد. جلوگیری از کاهش غلظت کلروفیل‌ها، به ویژه کلروفیل a و کاروتوئیدها با کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط شور یکی از عوامل حفظ نرخ طبیعی فتوستز تحت شرایط تنش می‌باشد (Arfan et al., 2007).

نشاسته و قند محلول: غلظت قندهای محلول در گیاهان تحت

جدول ۵-نتایج تجزیه واریانس دوفاکتوره (میانگین مربعات) بررسی اثر شوری، هورمون و اثر متقابل شوری با هورمون بر غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم برگ‌های پیر و جوان و نسبت فلورسانس متغیر/بیشینه (Fv/Fm) انگور رقم قزل‌اوزوم.

پارامترها	شوری	هورمون	شوری × هورمون
F_v/F_m	۰/۰۲۸***	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۲**
سدیم برگ جوان	۵۶۴***	۶۳/۸**	۶۱/۲*
سدیم برگ پیر	۶۰۴***	۹/۱۵ns	۵/۱۰ns
پتاسیم برگ جوان	۵۸۶***	۷/۵۱ns	۲۵/۷*
پتاسیم برگ پیر	۸۱۴***	۲/۹۵ns	۳/۰۴ns

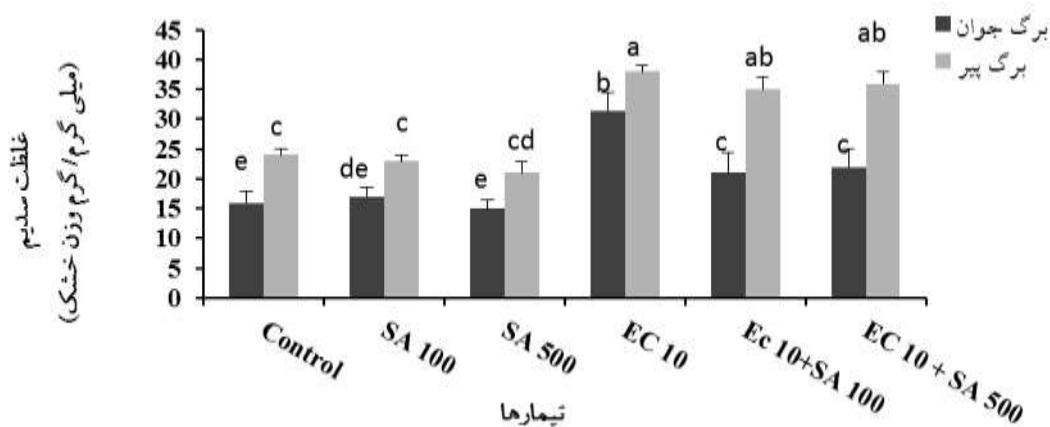
Ns، ***، ** و *: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک‌هزارم، یک‌صدم، پنج‌صدم با استفاده از آزمون دانکن.



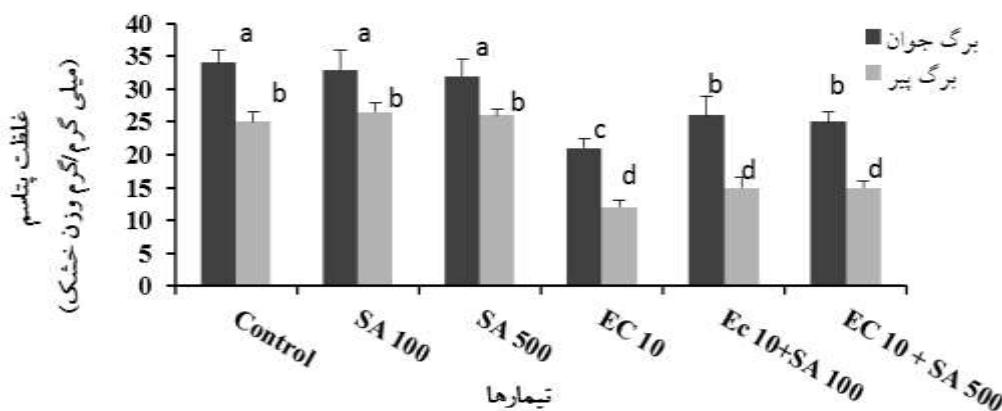
شکل ۱-تأثیر اسید سالیسیلیک روی نسبت فلورسانس متغیر/بیشینه (Fv/Fm) در انگور رقم قزل‌اوزوم تحت شرایط شور و غیرشور. اختلاف بین مقادیر (mean±SE) ستون‌هایی که دارای حروف مشترک است، بر اساس آزمون دانکن از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد ($p<0.05$).

پروتئین‌کینازها و فسفویلاسیون قابل برگشت پروتئین‌ها از شدت آسیب در شرایط تنفسی می‌کاهد (Hui-Jie *et al.*, 2011). در هر حال باید توجه کرد که پاسخ از گونه‌ای به گونه دیگر می‌تواند متفاوت باشد برای مثال Arfan و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه خود روی گیاه گندم نشان دادند که کارآیی فتوسیستم II تحت تأثیر شوری و سالیسیلیک اسید قرار نمی‌گیرد و این ویژگی در کاهش فتوسترنز گیاه در شرایط شور بی‌تأثیر است. **غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم:** اندازه‌گیری غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم در برگ‌های پیر و جوان انگور نشان داد که غلظت سدیم برگ‌ها در شرایط شور افزایش و غلظت پتاسیم کاهش معنی‌دار داشت. تأثیر استفاده از اسید سالیسیلیک در شرایط غیر شور کاربرد نداشت. تأثیر استفاده از اسید سالیسیلیک در شرایط شور شاید نشانه‌ای از آسیب به فتوسیستم II است که احتمالاً از کمبود آب ناشی شده است و با آسیب به مراکز واکنشی و ظرفیت انتقال الکترون فتوسیستم همراه می‌باشد (Kalaji *et al.*, 2011). گزارش شده است که کاربرد اسید سالیسیلیک با تسريع ترمیم و واژگردی پروتئین D1 و القاء

فتوسیستم II (Fv/Fm) در شرایط شور کاهش معنی‌دار نشان داد که این کاهش با کاربرد μM ۱۰۰ اسید سالیسیلیک جبران شد، ولی طبق نتایج کاربرد μM ۵۰۰ اسید سالیسیلیک بر بهبود آن تأثیر چندانی نداشت، همچنین کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط غیر شور این شاخص را تحت تأثیر قرار نداد (جدول ۵ و شکل ۱). بازده کوآنتمومی فتوسیستم II یکی از عوامل موثر در فتوسیسترنز است که کاهش آن در شوری و بهبود آن با کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاهانی مانند گلرنگ گزارش شده است Ghassemi-Golezani and Hosseinzadeh-Mahootchi, 2015. کاهش نسبت Fv/Fm در شرایط شور شاید نشانه‌ای از آسیب به فتوسیستم II است که احتمالاً از کمبود آب ناشی شده است و با آسیب به مراکز واکنشی و ظرفیت انتقال الکترون فتوسیستم همراه می‌باشد (Kalaji *et al.*, 2011). گزارش شده است که کاربرد اسید سالیسیلیک با تسريع ترمیم و واژگردی پروتئین D1 و القاء



شکل ۲- تأثیر اسید سالیسیلیک روی غلظت یون سدیم در برگ‌های پیر و جوان رقم قزل‌اوزوم انگور تحت شرایط شور و غیرشور. اختلاف بین مقادیر ستون‌هایی (mean \pm SE) که دارای حروف مشترک است، از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد ($P < 0.05$ n=3).



شکل ۳- تأثیر اسید سالیسیلیک روی غلظت یون پتاسیم در برگ‌های پیر و جوان رقم قزل‌اوزوم انگور تحت شرایط شور و غیرشور. اختلاف بین مقادیر ستون‌هایی (mean \pm SE) که دارای حروف مشترک است، از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد ($P < 0.05$ n=3).

را بعد از کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک نشان داده است (Ashraf *et al.*, 2010). مطالعات اخیر انجام گرفته توسط Jayakannan و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که تیمار با غلظت‌های فیزیولوژیک اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار > 0.5) در گیاهان آراییدوپسیس تحت تنش شوری باعث کاهش نشت پتاسیم از طریق کanal‌های خارج کننده در شرایط شور و حفظ پتاسیم می‌شود. خروج پتاسیم در گیاهان تحت تیمار کلرید سدیم از طریق کanal‌های خارج کننده K^{+}_{OUT} در بیشتر گیاهان گزارش شده است (Anschutz *et al.*, 2014).

آنزیم‌ها و متابولیت‌های سیستم آنتی اکسیدان: بررسی فعالیت آنزیم‌های سیستم آنتی اکسیدانی انگور رقم قزل‌اوزوم نشان داد که شوری باعث افزایش قابل توجه فعالیت آنزیم‌های

شد، بطور مشابه کاربرد این هورمون تأثیری روی غلظت یون پتاسیم در برگ‌های پیر نداشت، ولی در برگ‌های جوان باعث افزایش معنی‌دار آن بویژه در سطح ۱۰۰ میکرومولار شد (جدول ۵ و شکل ۲ و ۳). افزایش سدیم و کاهش پتاسیم که در جریان تنش شوری اتفاق می‌افتد، نتیجه‌ی افزایش جذب یون سدیم توسط ناقلین و کاهش جذب پتاسیم و یا نشت آن از طریق کanal‌های خارج کننده می‌باشد (Shabala, 2009). کاهش پتاسیم سلول‌ها با ایجاد اختلال در عملکردهای متابولیک نهایتاً منجر به مرگ سلول‌ها می‌شود، بنابراین حفظ هموستازی پتاسیم یک جزء اصلی از مکانیسم مقاومت به شوری محاسب می‌شود. مطالعات انجام گرفته روی تعدادی از گونه‌های گیاهی افزایش غلظت پتاسیم و کاهش غلظت سدیم

جدول ۶-نتایج تجزیه واریانس دوفاکتوره (میانگین مربعات) بررسی اثر شوری، هورمون و اثر مقابل شوری با هورمون بر فعالیت آنزیم‌ها و غلظت متابولیت‌های سیستم آنتی‌اسیدان انگور رقم قزل‌اوژوم

پارامترها	شوری	هورمون	شوری × هورمون
فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز	۳۸/۰***	۱۷/۵**	۴/۳۸*
فعالیت آنزیم کاتالاز	۳۱۳***	۱/۴۰ ns	۷/۸۰ ns
فعالیت آنزیم پراکسیداز	۰/۰۳۶***	۰/۰۰۶ ns	۰/۰۰۲ ns
غلظت پراکسید هیدروژن	۳/۰۳***	۰/۵۶۱**	۰/۲۸۵ ns
غلظت مالون دی‌آلدید	۱۳۵۵***	۱۷۷**	۱۵۹**

Ns، **، *** و *: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک‌هزارم، یک‌صدم، پنج‌صدم با استفاده از آزمون دانکن.

که فعالیت آن طبق نتایج افزایش نشان داد. در شرایط سور کاربرد اسید سالیسیلیک در سطح μM ۱۰۰ باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و افزایش پراکسیداز و در غلظت μM ۵۰۰ باعث افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز و کاهش فعالیت آنزیم پراکسیداز شد که از نظر آماری قابل توجه نبودند (جدول ۶ و ۷). آنیون سوپراکسید که در شرایط تنفس تولید می‌شود با فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به پراکسید هیدروژن تبدیل می‌شود. کاهش فعالیت آنزیم‌های سیستم آنتی‌اسیدان در این مطالعه با کاربرد اسید سالیسیلیک μM ۱۰۰ احتمالاً در ارتباط با نقش مستقیم اسید سالیسیلیک در از بین بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌باشد. افزایش ناچیز القاء شده در فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز با کاربرد اسید سالیسیلیک μM ۵۰۰ نتوانست تأثیری در کاهش غلظت پراکسید هیدروژن ایفا کند.

در این مطالعه غلظت مالون دی‌آلدید فراورده پراکسید اسیدیون لیپیدهای غشایی و پراکسید هیدروژن تحت تنفس شوری افزایش نشان داد. تنفس شوری باعث تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) می‌شود که افزایش این رادیکال‌ها با آغاز واکنش‌های زنجیره‌ای می‌تواند منجر به آسیب مacro و ملکول‌هایی مانند پروتئین‌ها، لیپیدها و اسیدهای نوکلئیک شود (McCord, 2000). سلول‌های گیاهی با داشتن سیستم دفاع آنتی‌اسیدان و افزایش ظرفیت آن در شرایط تنفس زرا تا حد امکان در مقابل تنفس اکسیداتیو مقاومت می‌کنند (Turkan and Demiral, 2009).

تحقيقات در گیاهانی مانند گندم سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز می‌شود. افزایش فعالیت آنزیم‌های سیستم آنتی‌اسیدانی گیاهان در شرایط سور یک پدیده رایج جهت سمزدایی رادیکال‌های آزاد تولید شده‌ی اکسیژن محسوب می‌شود (Saikachout *et al.*, 2013; Abedini and Daie, 2015). در محیط‌های غیرشور، کاربرد اسید سالیسیلیک در سطح μM ۱۰۰ باعث کاهش جزئی فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز و افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و در سطح μM ۵۰۰ باعث افزایش جزئی فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز و کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز شد. مطالعات Sakhabutdinova و همکاران (۲۰۰۴) نشان داده است که کاربرد اسید سالیسیلیک می‌تواند تولید ROS را در گیاهان تعديل کند، این یافته‌ها نشان می‌دهند که فعالیت آنزیم‌های سیستم آنتی‌اسیدان بطور مستقیم و یا غیر مستقیم توسط اسید سالیسیلیک تنظیم می‌شوند (Singh and Guatam, 2013). کاهش مشاهده شده در فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح μM ۵۰۰ اسید سالیسیلیک احتمالاً ناشی از تأثیر مهار کنندگی این ترکیب بر فعالیت آنزیم کاتالاز می‌باشد که گزارش شده است اسید سالیسیلیک با اتصال به پروتئین آنزیم کاتالاز باعث کاهش فعالیت آن می‌شود (Horváth *et al.*, 2002). آنزیم کاتالاز در تجزیه پراکسید هیدروژن نقش دارد و با کاهش فعالیت آن، سطح پراکسید هیدروژن در گیاه افزایش پیدا می‌کند (Horváth *et al.*, 2002)، که نتایج به دست آمده از این تحقیق نیز آن را تأیید می‌کنند. به‌نظر می‌رسد که در غلظت μM ۵۰۰ اسید سالیسیلیک آنزیم پراکسیداز نقش مهمتری را در سمزدایی پراکسید هیدروژن ایفا می‌کند، به‌طوری

جدول ۷- تأثیر اسیدسالیسیلیک روی فعالیت آنزیم‌ها و غلظت متابولیت‌های آنتی‌اکسیدان در انگور رقم قزل اوژوم تحت شرایط شور و غیرشور.

تمار	SOD (U/mg.pro.min)	CAT (U/mg.pro.min)	POD (U/mg.pro.min)	H_2O_2 ($\mu\text{mol.g}^{-1}\text{FW}^{-1}$)	MDA (nmol.g ⁻¹ .FW ⁻¹)
شاهد	۵/۹۷±۰/۱۲ ^b	۱۰/۶±۱/۱ ^b	۰/۱۲±۰/۰۷ ^b	۰/۸۳±۰/۲۲ ^b	۲۰±۳/۱ ^b
اسیدسالیسیلیک μM	۴/۴۲±۰/۳۰ ^b	۱۱/۱±۲/۳ ^b	۰/۱۰±۰/۰۲ ^b	۰/۷۲±۰/۳۴ ^b	۲۱±۲/۷ ^b
اسیدسالیسیلیک $500\text{ }\mu\text{M}$	۷/۲۰±۱/۲ ^b	۹/۷±۲/۰ ^b	۰/۱۴±۰/۰۳ ^{ab}	۰/۹۱±۰/۱۲ ^b	۲۳±۲/۸ ^b
شوری ۱۰	۹/۱۷±۰/۸۴ ^a	۱۸/۶±۲/۷ ^a	۰/۲۴±۰/۰۶ ^a	۱/۸±۰/۳۶ ^a	۴۲±۷/۵ ^a
شوری ۱۰+اسیدسالیسیلیک $100\text{ }\mu\text{M}$	۵/۲۲±۰/۵۲ ^a	۱۶/۹±۲/۳ ^a	۰/۲±۰/۰۴ ^a	۰/۹۳±۰/۱۹ ^b	۲۴±۴/۱ ^b
شوری ۱۰+اسیدسالیسیلیک $500\text{ }\mu\text{M}$	۱۰/۳±۲/۱ ^a	۱۹/۲±۳/۵ ^a	۰/۱۹±۰/۰۷ ^{ab}	۱/۹±۰/۵۳ ^a	۴۰±۷/۲ ^a

اختلاف بین مقادیر مربوط به هر شاخص که دارای حروف مشترک است، بر اساس آزمون دانکن از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد ($P<0/05$ n=۳).

نشان داد که با کاهش رشد، غلظت رنگبازهای فتوستترزی، غلظت پتاسیم و کارآیی فتوسیستم II و افزایش غلظت مالوندی‌آلدئید، پراکسیدهیدروژن، فعالیت آنزیم‌های سیستم آنتی‌اکسیدان و غلظت سدیم در گیاه همراه بود. در این گیاه کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت $500\text{ }\mu\text{M}$ میکرومولار نتوانست در بهبود پارامترهای متأثر از شوری مفید باشد ولی کاربرد غلظت $100\text{ }\mu\text{M}$ میکرومولار آن توانست از طریق افزایش معنی‌دار کاروتونوئیدها از آسیب به فتوسیستم II در شرایط شوری ممانعت کند و با کاهش انتقال یون سمی سدیم به برگ‌های جوان و در حال رشد و همچنین حفظ مقادیر مناسبی از اسموتیکوم‌ها مانند پتاسیم، اسیدهای آمینه و قندهای محلول در این برگ‌ها، اثرات مخرب شوری در انداههای در حال رشد را تخفیف دهد. همچنین، کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت $100\text{ }\mu\text{M}$ میکرومولار در شرایط شور توانست تولید پراکسیدهیدروژن و مالوندی‌آلدئید را کاهش و فعالیت آنزیم‌های سیستم آنتی‌اکسیدان را تعدیل کند.

(Chawla *et al.*, 2013) (Abedini and Daie, 2015) و گوجه‌فرنگی (Mittova *et al.*, 2004) نشان داده است که گیاهان مقاوم دارای سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی کارآمدتری می‌باشند. در این مطالعه اگرچه شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های سیستم آنتی‌اکسیدان شد ولی این افزایش نتوانست در کاهش غلظت رادیکال‌های اکسیژن تولید شده موثر باشد. با کاربرد اسید سالیسیلیک در غلظت $100\text{ }\mu\text{M}$ کاهش معنی‌دار در غلظت مالوندی‌آلدئید و پراکسیدهیدروژن مشاهده شد، ولی کاربرد غلظت $500\text{ }\mu\text{M}$ اسید سالیسیلیک تأثیر قابل توجهی بر روی آنها نداشت.

استفاده از اسید سالیسیلیک با غلظت $500\text{ }\mu\text{M}$ در محیط‌های غیرشور با افزایش این دو ترکیب و با غلظت $100\text{ }\mu\text{M}$ با کاهش پراکسیدهیدروژن همراه بود که از نظر آماری معنی‌دار نبودند (جدول ۶ و ۷).

نتیجه‌گیری کلی:

این پژوهش حساسیت رقم قزل اوژوم انگور را به شرایط شور

منابع:

- 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.
- Anschutz, U., Becke, D. and Shabala, S. (2014) Going beyond nutrition: regulation of potassium homoeostasis as a common denominator of plant adaptive responses to environment. Journal of Plant Physiology 171:670–687.
- Arberg, B. (1981) Plant growth regulators. Monosubstituted benzoic acid. Swedish Journal of Agriculture Research 11: 93–105.
- Arfan, M. (2007) Exogenous application of salicylic acid through rooting medium modulates ion accumulation and antioxidant activity in spring wheat under salt stress. International Journal of Agriculture and Biology 11: 437–442.
- Ashraf , M. (2004) Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora 199: 361–76.

- Ashraf, M. and Harris, P. (2009) Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Sciences* 166: 3-16.
- Ashraf, M. Y. 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., Akram, N. A., Arteca, R. N., 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* 29: 162-190.
- Boominathan, R. and Doran, P. M. (2002) Ni-induced oxidative stress in roots of the Ni hyper accumulator, *Alyssum bertolonii*. *New Phytologist* 156: 205-215.
- Borsani, O., Valpuesta, V. and Botella, M. (2001) Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in arabidopsis seedlings. *Plant Physiology*, 126: 1024-1030.
- Bradford, M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annual Review of Biochemistry* 72: 248-254.
- Chance, B. and Maehly, A. C. (1955) Assay of catalases and peroxidases, *Methods in Enzymology*. Academic Press, New York.
- 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 Biotechnology and Biochemistry* 1: 27-34.
- DuBois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. and Smith, F. (1956) Colorometric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28: 350-356.
- El-Tayeb, M.A. (2005) Response of barley grains to interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation* 45: 215-225.
- Erdal, S., Aydin, M., Genisel, M., Taspinar, M. S., Dumluipinar, R., Kaya, O. and Gorcek, Z. (2011) Effect of salicylic acid on wheat salt sensitivity. *African Journal of Biotechnology* 30: 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 Botany* 44: 1433-1438.
- Ghassemi-Golezani, K. and Hosseinzadeh-Mahootchi, A. (2015) Improving physiological performance of safflower under salt stress by application of salicylic acid and jasmonic acid. *Walia Journal* 31: 104-109.
- Harinasut, P., Poonsopa, D., Roengmongkol, K. and Charoensataporn, R. (2003) Salinity effects on antioxidant enzymes in mulberry cultivars. *Science Asia* 29: 109-113.
- Harper, J. P. and Balke, N. E. (1981) Characterization of the inhibition of K⁺ absorption in oat roots by salicylic acid. *Plant Physiology* 68: 1349-1353.
- Horváth, E., Janda, T., Szalai, G. and Páládi, E. (2002) In vitro salicylic acid inhibition of catalase activity in maize: differences between the isoenzymes and a possible role in the induction of chilling tolerance. *Plant Science* 163: 1129-1135.
- Hui-Jie Z., Xue-Juan, Z. H., Pei-Fang, M., Yue-Xia, W., Wei-Wei, H., Hong, L. and Yi-Dan, Z. (2011) Effects of salicylic acid on protein kinase activity and chloroplast D1 protein degradation in wheat leaves subjected to heat and high light stress. *Acta Ecologica Sinica* 31: 259-263.
- Jayakannan, M., Bose, J., Babourina, O., Rengel, Z., Shabala, S. (2013) Salicylic acid improves salinity tolerance in plants by restoring membrane potential and preventing salt-induced K⁺ loss via a GORK channel. *Journal of Experimental Botany* 64:2255-2268.
- Jayakannan, M., Jayakumar, B., Olga, B., Zed, R. and Shabala, S. (2015) Salicylic acid in plant salinity stress signaling and tolerance. *Plant Growth Regulation* 76: 25-40.
- Karimi, H. and Yusef-Zadeh, H. (2013) The effect of salinity on the morphological and physiological traits of two grape (*Vitis vinifera L.*) cultivars. *International Journal of Agronomy and Plant Production* 4: 1108-1117.
- Khan, W., Prithiviraj, B. and Smith, D. L. (2003) Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology* 160:485-92.
- Khodary, S. E. A. (2004) Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. *International Journal of Agriculture and Biology* 6:5-8.
- Kovacik, J., Grúz, J., Baèkor, M., Strnad, M. and Repcák, M. (2009) Salicylic acid-induced changes to growth and phenolic metabolism in *Matricaria chamomilla* plants. *Plant Cell Reports* 28:135-143.
- Lara, M. V., Disante, K. B., Podesta, F. E., Andreo, C. S. and Drincovich, M. F. (2003) Induction of a Crassulacean acid like metabolism in the C₄ succulent plant, *Portulaca oleracea L.*: physiological and morphological changes are accompanied by specific modifications in phosphoenolpyruvate carboxylase. *Photosynthesis Research* 77: 241-254.
- Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148: 350-382.
- Maxwell, K. and Johnson, N. G. 2000. Chlorophyll fluorescence a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51: 659-668.
- McCord, J. M. (2000) The evolution of free radicals and oxidative stress. *American Journal of Medicine* 108:652-659.

- Mitrova, V., Guy, M., Tal, M. and Volokita, M. (2004) Salinity up-regulates the antioxidative system in root mitochondria and peroxisomes of the wild salt-tolerant tomato species *Lycopersicon pennellii*. Journal of Experimental Botany 55:1105–1113.
- Munns, R., Wallace, P. A., Teakle, N. L. and Colmer, T. D. (2010) Measuring soluble ion concentrations (Na^+ , K^+ , Cl^-) in salt-treated plants. Methods in Molecular Biology 639: 371-82.
- Nazar, R., Umar, S. and Khan, N. A. (2015) Exogenous salicylic acid improves photosynthesis and growth through increase in ascorbate-glutathione metabolism and S assimilation in mustard under salt stress. Plant Signaling and Behavior e1003751-10.
- Obinger, C., Maj, M., Nicholls, P. and Loewen, P. (1997) Activity, peroxide compound formation and heme d synthesis in *Escherichia coli* HPII catalase. Archives of Biochemistry and Biophysics 342: 58-67.
- Panda, S. and Patra, H. (2007) Effect of salicylic acid potentiates cadmium induced oxidative damage in *Oryza sativa* L. leaves. Acta Physiologia Plantarum 29: 567–575.
- Park, S. W., Liu, P. P., Forouhar, F., Vlot, A. C., Tong, L. and Klessig, F. (2009) Use of a synthetic salicylic acid analog to investigate the roles of methyl salicylate and its esterases in plant disease resistance. The Journal of Biological Chemistry 284: 7307–7317.
- Perez-Rodríguez, L. (2009) Carotenoids in evolutionary ecology: re-evaluating the antioxidant role. BioEssays 31: 1116–1126.
- 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.
- Saha, P., Chatterjee, P. and Biswas, A. K. (2010) NaCl pretreatment alleviates salt stress by enhancement of antioxidant defense system and osmolyte accumulation in mungbean. Indian Journal of Experimental Biology 48: 593-600.
- Sakhabutdinova, A. R., Fatkhutdinova, D. R. and Shakirova, F. M. (2004) Effect of salicylic acid on the activity of antioxidant enzymes in wheat under conditions of salination. Applied Biochemistry and Microbiology 40:501–505.
- Saikachout, S., Jaffel Hamza., K., Karray Bouraoui, N., Leclerc, J. C. and Ouerghi, Z. (2013) Salt-induced changes in antioxidative enzyme activities in shoot tissues of two *triplex* varieties. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 41:115-121.
- Shabala, S. (2009) Salinity and programmed cell death: unraveling mechanisms for ion specific signaling. Journal of Experimental Botany 60:709–712.
- Singh, P. K. and Gautam, S. (2013) Role of salicylic acid on physiological and biochemical mechanism of salinity stress tolerance in plants. Acta Physiologia Plantarum 35: 2345–2353.
- Tuřkan, I. and Demiral, T. (2009) Recent developments in understanding salinity tolerance. Environmental Experimental Botany 67:2–9.
- Winterbourn, C. C., McGrath, B. M. and Carrell, R. W. (1976) Reactions involving superoxide and normal and unstable haemoglobins. The Biochemical Journal 3: 493–502.
- Yemm, E. W. and Cocking, E. C. (1955) The determination of amino-acids with ninhydrin. Analyst 80: 209-213.
- Zahra, S., Amin, B., Ali, V. S. M., 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.