DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2026.4281

ارزیابی سازگاری به شوری ارقام مختلف انگور به روش پاسخ آنتی‌اکسیدانی به منظور پایداری تولید در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک (مقالۀ پژوهشی)

۱ - مجید حیدری، دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی جهرم، جهرم، ایران.
۲ - عبدالکریم اجرایی*، دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی جهرم، جهرم، ایران.
soiliran@yahoo.com
۳ - محمدجواد کرمی، دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.
۴ - بهنام بهروزنام، دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی جهرم، جهرم، ایران.
۵ - عبدالحسین محمدی، دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی جهرم، جهرم، ایران.

دریافت: ۱۴۰۵/۰۵/۲۶
پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۰۴

چکیده

شوری آب و خاک یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های تولید و پایداری کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است و انتخاب ارقام سازگار با شرایط شور می‌تواند نقش مهمی در تداوم تولید و بهره‌برداری از اراضی این مناطق داشته باشد. انگور (Vitis vinifera L.) به‌عنوان یکی از محصولات مهم باغی ایران به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، با تنوع ژنتیکی قابل توجهی از ارقام بومی و غیربومی مواجه است که می‌تواند ظرفیت ارزشمندی برای شناسایی منابع ژنتیکی متحمل به شوری در این مناطق فراهم کند. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی ظرفیت سازگاری ارقام مختلف انگور با شرایط شور و شناسایی ارقام دارای پاسخ دفاعی مناسب، با استفاده از شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی انجام شد. در این پژوهش، پاسخ ۱۹ رقم انگور بومی و یک رقم غیر بومی ایران به شوری (شامل سطوح شاهد، ۲/۵ و ۵/۰ دسی‌زیمنس‌بر متر) بررسی و فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز (APX)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در برگ اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که افزایش شوری، به‌ویژه در بالاترین سطح تنش، موجب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در اغلب ارقام می‌شود، اما شدت و الگوی پاسخ بین ارقام متفاوت بود؛ به‌طوریکه در سطح شوری شدید، ارقام «یاقوتی» و «مامی بیرجند» با برخورداری از فعالیت بیشتر برخی آنزیم‌های کلیدی به‌ویژه CAT، APX و SOD، ظرفیت دفاعی بالاتری در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از سطوح بالای شوری نشان دادند و در مقابل، ارقام «ایته زرقان» و «لابروسکا» پاسخ آنتی‌اکسیدانی ضعیف‌تری داشتند. این تفاوت‌ها بیانگر وجود تنوع ژنتیکی در ظرفیت سازگاری ارقام انگور با شرایط شور است. بنابراین ارقام یاقوتی و مامی بیرجند می‌توانند به‌عنوان منابع ژنتیکی مناسب در مطالعات سازگاری به تنش و برنامه‌های انتخاب و اصلاح ارقام مناسب برای کشت در شرایط شور مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد توجه قرار گیرند.

واژگان کلیدی: مناطق خشک و نیمه‌خشک، شوری، سازگاری گیاه، تنش اکسیداتیو، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های تولید پایدار کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، چالش شوری در کنار خشکسالی و کمبود آب است. براساس آخرین برآوردها، حدود ۱/۱ میلیارد هکتار از اراضی جهان تحت تأثیر درجات مختلف شوری قرار داشته که با تغییرات اقلیمی و مدیریت نادرست آبیاری، روندی افزایشی نیز داشته است [۲۹، ۵۴]. به همین دلیل، گسترش اراضی تحت تأثیر شوری همراه با کاهش دسترسی به منابع آب باکیفیت، افزایش نیاز آبی، خشکسالی‌های متوالی و پیامدهای تغییرات اقلیمی موجب شده است که مدیریت هم‌زمان کیفیت و کمیت منابع آب به یکی از چالش‌های اساسی کشاورزی در این مناطق تبدیل شود [۲۹، ۴۶]. در چنین شرایطی، حفظ تولید کشاورزی تنها از طریق افزایش مصرف نهاده‌ها امکان‌پذیر نیست و شناسایی و بهره‌گیری از ظرفیت‌های زیستی گیاهان و ارقام سازگار با شرایط نامساعد محیطی، به‌ویژه شوری، اهمیت فزاینده‌ای یافته است.

انگور (Vitis vinifera L.) از مهم‌ترین محصولات باغی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است که به‌دلیل ارزش اقتصادی، تغذیه‌ای و سازگاری نسبی با اقلیم‌های کم‌بارش، در بسیاری از مناطق دیگر نیز کشت می‌شود [۳، ۱۵]. با این حال، افزایش شوری منابع آب و خاک می‌تواند پایداری تولید تاکستان‌های مناطق خشک و نیمه خشک کشور را با محدودیت‌هایی مواجه کند. شوری با کاهش پتانسیل اسمزی محیط ریشه، اختلال در جذب آب و عناصر غذایی، ایجاد سمیت یونی و برهم‌زدن تعادل متابولیکی گیاه، رشد و عملکرد انگور را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۹، ۳۹، ۶۱]. بنابراین، در مناطقی که امکان جایگزینی منابع آب شور با آب باکیفیت وجود ندارد، انتخاب ارقام سازگار و متحمل به شوری می‌تواند یکی از راهکارهای مؤثر برای تداوم تولید و استفاده پایدارتر از منابع آب و خاک باشد [۲۵].

پاسخ گیاه به شوری فرایندی پیچیده است که مجموعه‌ای از سازوکارهای فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی را دربرمی‌گیرد [۴۷]. یکی از پیامدهای مهم تنش شوری، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و در نتیجه ایجاد تنش اکسیداتیو است. تجمع بیش از حد این ترکیبات می‌تواند موجب آسیب به غشاهای سلولی، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و سایر اجزای سلول شود و در نهایت ظرفیت رشد و تولید گیاه را کاهش دهد [۲۸]. در مقابل، گیاهان برای حفظ تعادل اکسیداسیون–احیا و جلوگیری از آسیب اکسیداتیو، مجموعه‌ای از سازوکارهای دفاعی را فعال می‌کنند که سیستم آنتی‌اکسیدانی یکی از مهم‌ترین اجزای آن است [۲۰، ۳۷].

سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی شامل آنزیم‌هایی نظیر سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD) و آسکوربات پراکسیداز (APX) است که در خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن نقش اساسی دارند SOD. با تبدیل رادیکال سوپراکسید به پراکسید هیدروژن و آنزیم‌هایCAT، POD و APX با تجزیه یا مصرف پراکسید هیدروژن، از تجمع ترکیبات اکسیدکننده و آسیب سلولی جلوگیری می‌کنند [۳۱]. از این رو، تغییرات فعالیت این آنزیم‌ها می‌تواند به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی توانایی گیاه برای مقابله با تنش شوری و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل مورد استفاده قرار گیرد [۱۹، ۲۰].

مطالعات انجام‌شده در انگور نیز نشان داده‌اند که افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی، همراه با تنظیم اسمزی و تجمع ترکیبات سازگار، از سازوکارهای مهم ارقام متحمل در حفظ تعادل سلولی تحت تنش شوری است [۱۲]. همچنین، تفاوت قابل‌توجه میان ارقام انگور از نظر پاسخ‌های بیوشیمیایی به شوری گزارش شده و برخی ارقام، از جمله «یاقوتی»، توانایی بیشتری در مقابله با این تنش نشان داده‌اند [۳۶]. مطالعات دیگر نیز اهمیت انتخاب پایه و رقم مناسب و نقش مسیرهای دفاع

آنتی‌اکسیدانی در تعدیل اثرات شوری را تأیید کرده‌اند [۲۵، ۵۹، ۶۱].

با وجود این، بخش قابل‌توجهی از پژوهش‌های انجام‌شده بر تحمل شوری در انگور، بر تعداد محدودی از ارقام تجاری یا پایه‌های خارجی متمرکز بوده است. این در حالی است که ایران دارای تنوع ژنتیکی ارزشمندی از ارقام بومی انگور است که طی نسل‌های متوالی در شرایط اقلیمی متفاوت، از جمله مناطق خشک و نیمه‌خشک و دارای محدودیت منابع آب مورد کشت و گزینش قرار گرفته‌اند. این تنوع ژنتیکی می‌تواند یک ظرفیت مهم برای شناسایی سازوکارهای سازگاری و انتخاب ارقام مناسب برای شرایطی باشد که شوری آب و خاک به‌عنوان یکی از محدودیت‌های اصلی تولید مطرح است [۳۳، ۳۴، ۴۴].

از سوی دیگر، بیشتر مطالعات موجود پاسخ گیاه به شوری را در یک سطح مشخص از تنش بررسی کرده‌اند و مقایسه هم‌زمان طیف نسبتاً وسیعی از ارقام از نظر تغییرات سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی در سطوح متفاوت شوری کمتر مورد توجه قرار گرفته است [۱۷]. این موضوع از منظر مدیریت منابع آب و گیاه در مناطق خشک اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا میزان تحمل یک رقم تنها به توانایی بقا در شرایط شور محدود نمی‌شود، بلکه نحوه و شدت فعال‌شدن سازوکارهای دفاعی آن در برابر افزایش شوری می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره ظرفیت سازگاری آن فراهم کند. از این منظر، شناسایی ارقامی که بتوانند در شرایط محدودیت کیفیت آب و خاک، تعادل اکسیداتیو خود را بهتر حفظ کنند، می‌تواند گامی در جهت انتخاب مواد ژنتیکی مناسب برای تداوم تولید در تاکستان‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک باشد.

در این چارچوب، ارزیابی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌تواند از یک شاخص صرفاً فیزیولوژیک فراتر رفته و به‌عنوان ابزاری برای غربالگری و شناسایی ارقام سازگار با شرایط شور مورد استفاده قرار گیرد. چنین رویکردی با ضرورت حرکت از مدیریت واکنشی شوری به سمت راهبردهای سازگاری و استفاده هدفمند از ظرفیت‌های ژنتیکی گیاهان بومی همسو است. به‌ویژه در مناطقی که محدودیت آب شیرین، امکان توسعه سطح زیرکشت را کاهش داده و استفاده از منابع آب با کیفیت پایین‌تر اجتناب‌ناپذیر است، انتخاب ارقام مناسب می‌تواند به حفظ بهره‌وری اراضی و کاهش آسیب‌پذیری تولید باغی کمک کند.

بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و مقایسه فعالیت چهار آنزیم کلیدی سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی شامل SOD، CAT، POD و APX در ۲۰ رقم انگور ایرانی و غیربومی در پاسخ به سطوح شوری ۲/۵ و ۵/۰ دسی‌زیمنس‌برمتر و یک سطح تیمار شاهد انجام شد. هدف آن، شناسایی تفاوت‌های ژنتیکی میان ارقام از نظر پاسخ آنتی‌اکسیدانی و تعیین ارقامی است که ظرفیت بیشتری برای مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از شوری دارند. نتایج این مطالعه می‌تواند علاوه‌بر افزایش شناخت سازوکارهای دفاعی انگور در برابر شوری، اطلاعات کاربردی برای انتخاب ارقام مناسب کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای محدودیت شوری آب و خاک و نیز استفاده از منابع ژنتیکی برتر در برنامه‌های اصلاحی فراهم کند. در این میان، فرضیه پژوهش آن است که ارقام بومی سازگارشده با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، به واسطه سابقه سازگاری و فشار انتخاب طبیعی، از ظرفیت دفاع آنتی‌اکسیدانی مؤثرتری در مواجهه با تنش شوری برخوردار باشند.

مواد و روش‌ها

محل اجرای پژوهش

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۲ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زرقان (استان فارس، ایران) واقع در مختصات جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۶ دقیقه و ۲۶ ثانیه عرض شمالی، ۵۲ درجه و ۴۳ دقیقه و ۲۴ ثانیه طول شرقی و ارتفاع ۱۵۳۳ متری از سطح دریا، در فاصله ۲۵ کیلومتری شمال شرقی شهر شیراز انجام شد. منطقه زرقان براساس طبقه‌بندی اقلیمی

دومارتن، دارای اقلیم معتدل و نیمه‌خشک با میانگین دمای سالانه ۱۵/۹ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارندگی سالانه ۳۶۰ میلی‌متر، رطوبت نسبی متوسط ۳۸-۴۲ درصد و مجموع ساعات آفتابی سالانه حدود ۳۲۰۰ ساعت است که دوره رشد فعال گیاهی (دمای بالاتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد) در این منطقه حدود ۱۸۰ تا ۲۲۰ روز (از اسفند تا آبان ماه) به طول می‌انجامد [۳۸، ۵۳]. نتایج آنالیز خاک ایستگاه نشان داد که بافت خاک از نوع لوم رسی شنی با هدایت الکتریکی ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر، pH قلیایی (۷/۶)، ماده آلی نسبتاً پایین (۱/۱ درصد)، آهک فعال بالا (۲۲ درصد) و ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۸.۵ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک است که از مهمترین محدودیت‌های آن برای کشت انگور، می‌توان به ماده آلی پایین، آهک فعال بالا و pH قلیایی اشاره کرد که مدیریت تغذیه‌ای خاصی را طلب می‌کند [۴۲، ۵۲، ۵۷]. همچنین، آنالیز آب آبیاری شاهد (چاه ایستگاه) نشان داد که آب از نظر کیفی در کلاس C2-S1 (غیرشور با خطر سدیمی کم) قرار داشته و دارای هدایت الکتریکی ۸۱۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر (۰/۸۱دسی‌زیمنس بر متر)، pH معادل ۷/۸، نسبت جذب سدیم (SAR) ۲/۵، سختی کل ۲۳۰ ppm و قلیائیت ۱۶۵ ppm می‌باشد که با توجه به غیرشور بودن، به‌عنوان تیمار شاهد در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت [۵، ۵۸]. با توجه به اینکه ایستگاه زرقان دارای یکی از غنی‌ترین کلکسیون‌های ارقام انگور بومی و خارجی کشور بوده و اقلیم نیمه‌خشک آن مشابه بسیاری از مناطق انگورخیز ایران است، انجام این پژوهش در این منطقه از قابلیت تعمیم‌پذیری بالایی به سایر مناطق کشور برخوردار است [۱۷، ۳۳، ۳۴].

روش اجرای پژوهش

در این پژوهش بیست رقم انگور مورد بررسی قرار گرفتند. نوزده رقم از گونه V. vinifera شامل یاقوتی، بی‌دانه سفید، پرلت، خلیلی بی‌دانه قوچان، سبزک کاشمر، عسکری بیرجند، سیاه جشنیون بوانات، بی‌دانه سفید بوانات، کشمشی دره‌گز، انگور آب ارسنجان، فلیم سیدلس، خلیلی دیررس قوچان، مامی بیرجند، ریش بابا ارومیه، سیاه گندمی زرقان، ترکمن ۴، بی‌دانه قرمز، ایته زرقان، رشه (خوشنا) و یک ژنوتیپ از گونه V. labrusca (لابروسکا) بود که از مجموعه انگور ایستگاه تحقیقات زرقان تهیه شدند [۳۴]. قلمه‌های چوب سخت (Hardwood cuttings) به طول ۳۰-۲۵ سانتی‌متر و دارای حداقل سه جوانه از شاخه‌های یکساله سالم تهیه گردیدند [۲۷]. قاعده قلمه‌ها به مدت ۱۰ ثانیه در محلول ایندول -۳- بوتیریک اسید (IBA) با غلظت ۰/۱ درصد غوطه‌ور شده و در بستر ماسه و پرلیت (نسبت ۱:۱) ریشه‌دار شدند [۴، ۳۵،۳۶]. قلمه‌های ریشه‌دار شده به گلدان‌های ۱۶ لیتری حاوی مخلوط خاک، شن و پیت‌ماس (نسبت ۱:۱:۱) منتقل شده و پس از رسیدن به مرحله ۱۴ برگی، به مدت ۸ هفته در معرض تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند. آزمایش به‌صورت مجموعه‌ای از آزمایش‌های تک‌عاملی (رقم) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید که مجموعاً ۱۲۰ گلدان را شامل می‌شد. تیمارهای تنش شوری شامل سه سطح هدایت الکتریکی (کمتر از ۱ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان شاهد، ۲/۵ و ۵/۰ دسی‌زیمنس‌برمتر) بودند که با حل کردن ترکیبی از نمک‌های کلرید سدیم (NaCl) و کلرید کلسیم ($CaCl_2$) به نسبت مولی ۳:۱ (سدیم به کلسیم) در آب آبیاری تهیه و هدایت الکتریکی محلول‌ها با استفاده از دستگاه EC متر تنظیم شد [۵، ۱۶]. آبیاری به‌صورت یک روز در میان و در ساعت مشخص (۷ صبح) با حجم ۱۲۰۰ میلی‌لیتر آب شور برای هر گلدان انجام شد و در طول هر چهار نوبت آبیاری با آب شور، یک نوبت آبیاری با آب غیرشور به منظور آبشویی نمک‌های اضافی از بستر کشت انجام گردید تا از تجمع نمک در ناحیه ریشه جلوگیری شود [۸، ۵۱].

ارزیابی فعالیت‌های آنتی اکسیدانی

پس از ۸ هفته اعمال تیمارهای شوری، نمونه‌برداری از برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته (چهارمین تا ششمین برگ از انتهای شاخه) در ساعت ۹ تا ۱۰ صبح انجام شد و نمونه‌های برگ بلافاصله در نیتروژن مایع انجماد شده و تا زمان انجام آزمایش‌های بیوشیمیایی در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند [۲۳، ۳۵]. برای استخراج عصاره آنزیمی خام، ۰/۵ گرم از بافت برگ پودر شده در هاون سرد به ۹ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۰/۱ مولار (pH=۷/۸) حاوی ۰/۱ میلی‌مولار EDTA-2Na و ۱ درصد پلی‌وینیل‌پیرولیدون (PVP) اضافه شد و مخلوط به مدت ۳ دقیقه هموژن شده و سپس به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید و محلول رویی (عصاره خام) برای سنجش فعالیت آنزیم‌ها مورد استفاده قرار گرفت [۱۸، ۵۵]. غلظت پروتئین کل عصاره با استفاده از روش برادفورد و با استفاده از آلبومین سرم گاوی (BSA) به‌عنوان استاندارد اندازه‌گیری شد [۷]. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) براساس توانایی آنزیم در مهار احیای فتوشیمیایی نیترو بلو تترازولیوم (NBT) و با اندازه‌گیری جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر تعیین گردید که یک واحد SOD به‌عنوان مقدار آنزیمی تعریف شد که ۵۰ درصد از احیای NBT را مهار کند [۱۳، ۲۲]. فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) با اندازه‌گیری نرخ کاهش جذب پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در طول موج ۲۴۰ نانومتر و با استفاده از ضریب خاموشی ۰/۰۳۶ میلی‌مولار$^{-1}$ سانتی‌متر$^{-1}$ محاسبه شد [۲، ۱۰]. فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD) با اندازه‌گیری افزایش جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر ناشی از اکسیداسیون گایاکول به تتراگایاکول و با استفاده از ضریب خاموشی ۲۶/۶ میلی‌مولار$^{-1}$ سانتی‌متر$^{-1}$ تعیین گردید [۴۹، ۵۰]. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) با اندازه‌گیری کاهش جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر ناشی از اکسیداسیون آسکوربات در حضور H_2O_2 و با استفاده از ضریب خاموشی ۲/۸ میلی‌مولار$^{-1}$ سانتی‌متر$^{-1}$ محاسبه شد و برای پایدار نگه داشتن آنزیم، به بافر استخراج، آسکوربات ۱ میلی‌مولار اضافه گردید [۳۰، ۴۸]. همچنین، محتوای پرولین با استفاده از روش بیتس و همکاران و با اندازه‌گیری جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین گردید [۶، ۲۱] و قندهای محلول کل با استفاده از روش فنل-سولفوریک اسید و قرائت جذب در طول موج ۴۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند [۱۱، ۱۴].

تجزیه و تحلیل‌های آماری

داده‌های حاصل از سنجش‌های بیوشیمیایی با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. پس از تأیید نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون، تجزیه واریانس (ANOVA) به‌صورت جداگانه برای هر سطح از تنش شوری انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن (DMRT) در سطح احتمال ۵ درصد ($P\leq$۰/۰۵) صورت گرفت [۴۳، ۵۶].

نتایج

تجزیه واریانس فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای هر یک از سطوح تنش شوری به‌طور جداگانه در جداول ۱ ارائه شده است. یافته‌ها نشان داد که با افزایش سطوح شوری، کلیه پارامترهای بیوشیمیایی مورد مطالعه دستخوش تغییرات معنی‌داری شدند. همچنین، پاسخ ارقام مختلف انگور از نظر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در هر سطح از تنش شوری تفاوت بسیار معنی‌داری ($P>$۰.۰۱) نشان داد که حاکی از تنوع ژنتیکی قابل توجه بین ارقام از نظر توانایی دفاع آنتی‌اکسیدانی در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از شوری است. علائم تنش و آسیب برگ در گیاهان انگور که به مدت ۶۰ روز در معرض تنش شوری قرار داشتند، با افزایش شدت شوری به وضوح قابل مشاهده بود.

نتایج نشان داد که اثر رقم بر فعالیت تمام آنزیم‌های مورد بررسی شامل آسکوربات پراکسیداز (APX)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر تکرار بر APX، CAT و SOD نیز معنی‌دار بود که بیانگر تأثیرپذیری بالای این آنزیم‌ها از شرایط محیطی در تکرارهای مختلف است. ضریب تغییرات (CV) برای صفات مورد بررسی بین ۱/۴۳ درصد (SOD) تا ۱۵/۷۷ درصد (CAT) متغیر بود که نشان‌دهنده دقت قابل قبول آزمایش است. در سطح تنش شوری ۵/۰ دسی‌زیمنس بر متر، اثر رقم بر فعالیت تمام آنزیم‌های مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود که نشان می‌دهد در شرایط تنش شدید نیز تفاوت‌های ژنتیکی بین ارقام از نظر توانایی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن، به وضوح قابل تشخیص است. اثر تکرار تنها بر کاتالاز (CAT) معنی‌دار بود که بیانگر پایداری نسبتاً بالای سایر آنزیم‌ها در مقابل ناهمگونی محیطی بین تکرارها در این سطح تنش است. ضریب تغییرات برای SOD و POD به‌ترتیب ۱۶/۰۰ و ۱۶/۵۷ درصد بود که نشان از تنوع پاسخ ارقام در شرایط تنش شدید دارد (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برگ رقم های انگور در تنش شوری ۲/۵ و ۵/۰ دسی زیمنس‌بر متر

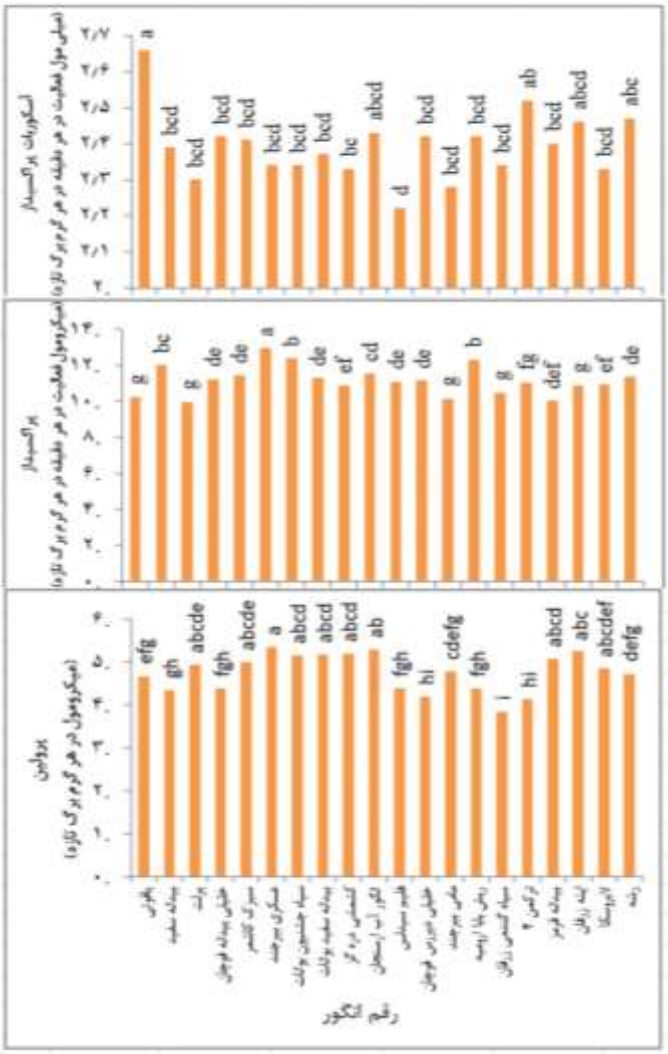
تنش شوری	منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
			آسکوربات پراکسیداز (APX)	کاتالاز (CAT)	پراکسیداز (POD)	سوپراکسید دیسموتاز (SOD)
شاهد	تکرار	۲	۰/۱۷۴	۰/۱۵۷	۱/۱۸۳	۱۱/۰۵۳
	تیمار آزمایشی (رقم)	۱۹	۰/۰۳۱*	۰/۰۰۱ns	۱/۹۴۵**	۳/۷۵۵ns
	خطای آزمایش	۳۸	۰/۰۱۶	۰/۰۰۱	۰/۰۹۵	۲/۴۴۳
	کل	۵۹	۰/۲۲۱	۰/۱۵۹	۳/۲۲۳	۱۷/۲۵۱
	ضریب تغییرات ٪	-	۵/۳	۱۳/۴	۲/۷	۵/۰
۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر	تکرار	۲	۰/۱۷۷	۰/۰۳۱	۲/۷۵۰	۴۸۲/۰۶۹
	تیمار آزمایشی (رقم)	۱۹	۲/۴۵۱**	۰/۰۲۷**	۱۶۶/۶۵۷**	۸۶۴/۳۶۲**
	خطای آزمایش	۳۸	۰/۰۱۱	۰/۰۰۴	۲/۱۲۸	۰/۷۱۷
	کل	۵۹	۲/۶۳۹	۰/۰۶۲	۱۷۱/۵۳۵	۱۳۴۷/۱۴۸
	ضریب تغییرات ٪	-	۲/۲۲	۱۵/۷۷	۵/۴۵	۱/۴۳
۵/۰ دسی زیمنس بر متر	تکرار	۲	۲/۲۳۱	۰/۰۰۱	۴۱/۹۷۰	۵۰۹/۹۴۴
	تیمار آزمایشی (رقم)	۱۹	۹/۱۲۵**	۰/۰۵۵**	۲۹۱/۶۱۸**	۲۷۲۵/۳۲۰**
	خطای آزمایش	۳۸	۱/۳۱۷	۰/۰۰۰۱	۵۷/۱۲۷	۲۲۹/۶۷۲
	کل	۵۹	۱۲/۶۷۳	/۰۵۶۱	۳۹۰/۷۱۵	۳۴۶۴/۹۳۶
	ضریب تغییرات ٪	-	۱۲/۸۸	۱/۵۵	۱۶/۵۷	۱۶/۰۰

نتایج تجزیه واریانس فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در برگ ارقام انگور در شرایط تنش شوری۵/۰ دسی زیمنس برمتر نشان داد که اثر رقم بر فعالیت تمام آنزیم‌های مورد بررسی شامل آسکوربات پراکسیداز (APX)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در سطح ۱٪ معنی‌دار بود.. این نتیجه نشان داد که در شرایط تنش شوری شدید، ارقام مختلف انگور از نظر توانایی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن، تفاوت‌های ژنتیکی بسیار زیادی دارند. اثر تکرار تنها بر کاتالاز (CAT) معنی‌دار بود که بیانگر پایداری نسبتاً بالای سایر آنزیم‌ها در مقابل ناهمگونی محیطی بین تکرارها در این سطح تنش است.

رقم یاقوتی (۲/۶۶ میلی‌مول فعالیت در هر دقیقه در هر گرم برگ تازه) در رتبه نخست قرارگرفت و در رتبه بعد رقم ترکمن ۴ (۲/۵۲میلی‌مول فعالیت در هر دقیقه در هر گرم برگ تازه) قرارداشت و در انتها و در رتبه آخر نیز رقم فلیم سیدلس (۲/۲۲ میلی‌مول فعالیت در هر دقیقه در هر گرم برگ تازه) قرار گرفت. در تیمار شاهد، میانگین مقادیر کاتالاز در ارقام مختلف نشان داد که اختلاف معناداری بین ارقام وجود ندارد. میانگین مقادیر پراکسیداز در ارقام مختلف نشان داد که رقم عسکری بیرجند (۱۲/۹۶ میلی‌مول فعالیت در هر دقیقه در هر گرم برگ تازه) در رتبه نخست قرار گرفته و در رتبه آخر نیز ارقام مامی بیرجند (۱۰/۱۳ میلی‌مول فعالیت در هر دقیقه در هر گرم برگ تازه) و بی‌دانه قرمز (۱۰/۰۳ میلی-مول فعالیت در هر دقیقه در هر گرم برگ تازه) قراردارند. میانگین مقادیر سوپراکسید دیسموتاز در ارقام مختلف نشان داد که اختلاف معناداری بین ارقام وجود ندارد. در تیمار شاهد، میانگین مقادیر پرولین در ارقام مختلف نشان داد که بیش‌ترین مقدار در ارقام عسکری بیرجند (۵/۳۵ میکرومول در هر گرم برگ تازه) وجود دارد و رقم انگورآب ارسنجان (۵/۲۹ میکرومول در هر گرم برگ تازه) در رتبه بعدی قرار گرفت و در رتبه آخر نیز رقم سیاه گندمی زرقان (۳/۸۴ میکرومول در هر گرم برگ تازه) قرار گرفت.

مقایسه میانگین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط شاهد (بدون تنش)

تحت شرایط شاهد (بدون تنش شوری)، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در سطح پایه‌ای قرار داشت و تفاوت معنی‌داری بین بسیاری از ارقام مشاهده نشد، که نشان‌دهنده عدم القای سیستم دفاعی در شرایط عادی است. در تیمار شاهد، بیشترین میزان فعالیت آسکوربات پراکسیداز (APX) در رقم یاقوتی با مقدار ۲/۶۶ میلی‌مول فعالیت در هر دقیقه در هر گرم برگ تازه مشاهده شد که با رقم ترکمن ۴ (۲/۵۲ میلی‌مول) در گروه آماری برتر قرار داشت، درحالیکه کمترین میزان فعالیت APX در رقم فلیم سیدلس با مقدار ۲/۲۲ میلی‌مول ثبت گردید که تفاوت معنی‌داری با سایر ارقام داشت. در مورد فعالیت کاتالاز (CAT) در شرایط شاهد، بین ارقام مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و تمامی ارقام در یک گروه آماری قرار گرفتند؛ فعالیت CAT در شرایط شاهد بین ۰/۲۲ تا ۰/۲۶ میلی‌مول فعالیت در هر دقیقه در هر گرم برگ تازه متغیر بود که نشان‌دهنده سطح پایه‌ای و نسبتاً یکنواخت این آنزیم در ارقام مختلف است. همچنین، در شرایط شاهد بین ارقام مختلف از نظر فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (SOD)نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و تمامی ارقام در یک گروه آماری قرار گرفتند؛ فعالیت SOD در شرایط شاهد بین ۲۳/۹۳ تا ۳۴/۲۳ واحد در هر گرم برگ تازه متغیر بود.



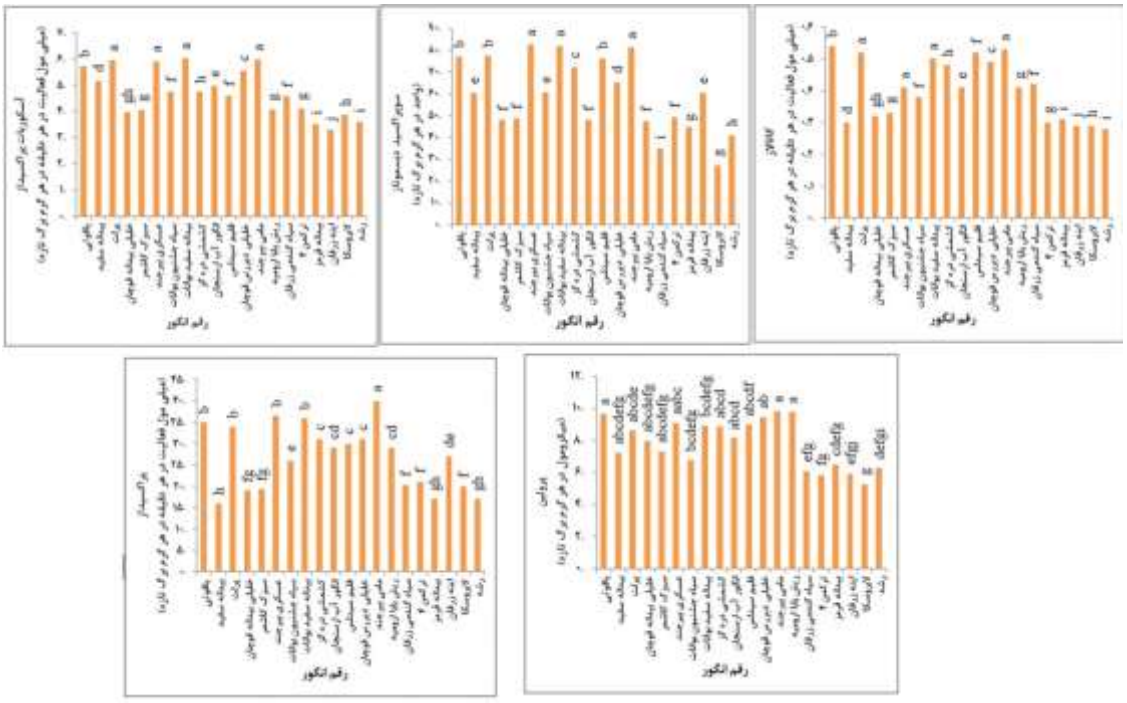
شکل ۱- میانگین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتوای پرولین برگ ارقام انگور در شرایط شاهد (بدون تنش)

بالاترین میزان پراکسیداز (POD) در شرایط شاهد در رقم عسکری بیرجند با مقدار ۱۲/۹۶ میکرومول فعالیت در هر دقیقه در هر گرم برگ تازه مشاهده شد و کمترین میزان فعالیت POD در ارقام مامی بیرجند (۱۰/۱۳ میکرومول) و بی‌دانه قرمز (۱۰/۰۳ میکرومول) ثبت گردید که تفاوت معنی‌داری با سایر ارقام داشتند. همچنین، بیشترین میزان پرولین در شرایط شاهد در رقم عسکری بیرجند با مقدار ۵/۳۵ میکرومول در هر گرم برگ تازه مشاهده شد که با رقم انگور آب ارسنجان (۵/۲۹ میکرومول) در گروه برتر قرار داشت و کمترین میزان پرولین در رقم سیاه گندمی زرقان با مقدار ۳/۸۴ میکرومول ثبت گردید. به‌طورکلی، در شرایط شاهد، فعالیت آنزیم‌های CAT و SOD در بین ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری نشان نداد که نشان‌دهنده سطح پایه‌ای و نسبتاً یکنواخت این آنزیم‌ها در شرایط عادی است، درحالی‌که آنزیم‌های APX و POD و همچنین محتوای پرولین، تنوع بیشتری را در بین ارقام مختلف نشان دادند که می‌تواند ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی در سطح پایه‌ای بیان این آنزیم‌ها باشد. این تفاوت‌های پایه‌ای در شرایط شاهد، هرچند در برخی آنزیم‌ها معنی‌دار بود، اما در مقایسه با افزایش چشمگیر فعالیت آنزیم‌ها در شرایط تنش شوری (به‌ویژه در سطح ۵/۰ دسی‌زیمنس بر متر) بسیار ناچیز بود که نشان می‌دهد القای سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی عمدتاً در پاسخ به تنش انجام می‌شود و سطح پایه‌ای آن‌ها در شرایط عادی، نقش تعیین‌کننده‌ای در تحمل به شوری ندارد (شکل ۱).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در سطح تنش شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر

در سطح تنش ۲/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر، بیش‌ترین میزان فعالیت APX در ارقام بی‌دانه سفید بوانات (۶/۰۲ میلی‌مول)، مامی بیرجند (۵/۹۷ میلی‌مول)، پرلت (۵/۹۵ میلی‌مول) و عسکری بیرجند (۵/۹۱ میلی‌مول) مشاهده شد که در گروه آماری برتر (a) قرار داشتند. رقم یاقوتی (۵/۷۳ میلی‌مول) در رتبه بعدی قرار گرفت. کمترین میزان فعالیت APX در رقم ایته زرقان با مقدار ۳/۲۹ میلی‌مول ثبت شد که در پایین‌ترین گروه آماری (j) قرار داشت. بیش‌ترین میزان فعالیت CAT در رقم یاقوتی با مقدار ۰/۵۴ میلی‌مول در هر دقیقه در هر گرم برگ تازه مشاهده شد که با ارقام مامی بیرجند (۰/۵۳)، فلیم سیدلس (۰/۵۲)، پرلت (۰/۵۲) و بی‌دانه سفید بوانات (۰/۵۰) در گروه برتر (a و ab) قرار داشتند. کمترین میزان فعالیت CAT در رقم رشه با مقدار ۰/۲۸ میلی‌مول ثبت شد که در پایین‌ترین گروه آماری (f) قرار داشت.

همچنین بیش‌ترین میزان فعالیت POD در رقم مامی بیرجند با مقدار ۳۹/۷۰ میکرومول در هر دقیقه در هر گرم برگ تازه مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری از سایر ارقام بالاتر بود. ارقام عسکری بیرجند (۳۶/۵۸ میکرومول)، بی‌دانه سفید بوانات (۳۶/۰۵ میکرومول) و یاقوتی (۱۷/۳۵ میکرومول) در گروه‌های بعدی قرار گرفتند. کمترین میزان فعالیت POD در رقم بی‌دانه سفید با مقدار ۱۶/۱۸ میکرومول ثبت شد. بیش‌ترین میزان فعالیت SODدر ارقام بی‌دانه سفید بوانات (۸۲/۸۳ واحد)، عسکری بیرجند (۸۲/۴۸ واحد) و مامی بیرجند (۸۱/۶۷ واحد) مشاهده شد که در گروه آماری برتر (a) قرار داشتند. در رتبه بعد، ارقام یاقوتی (۷۷/۲۱ واحد)، پرلت (۷۷/۴۱ واحد) و فلیم سیدلس (۷۶/۶۸ واحد) قرار گرفتند. کمترین میزان فعالیت SOD در رقم لابروسکا با مقدار ۲۷/۰۰ واحد ثبت شد که تفاوت بسیار معنی‌داری با سایر ارقام داشت. بیش‌ترین میزان پرولین در ارقام مامی بیرجند (۹/۸۰ میکرومول)، ریش‌بابا ارومیه (۹/۷۵ میکرومول)، یاقوتی (۹/۶۴ میکرومول) و خلیلی دیررس قوچان (۹/۴۳ میکرومول) مشاهده شد که در گروه برتر آماری قرار داشتند. کمترین میزان پرولین در رقم لابروسکا با مقدار ۵/۲۵ میکرومول ثبت گردید (شکل ۲).



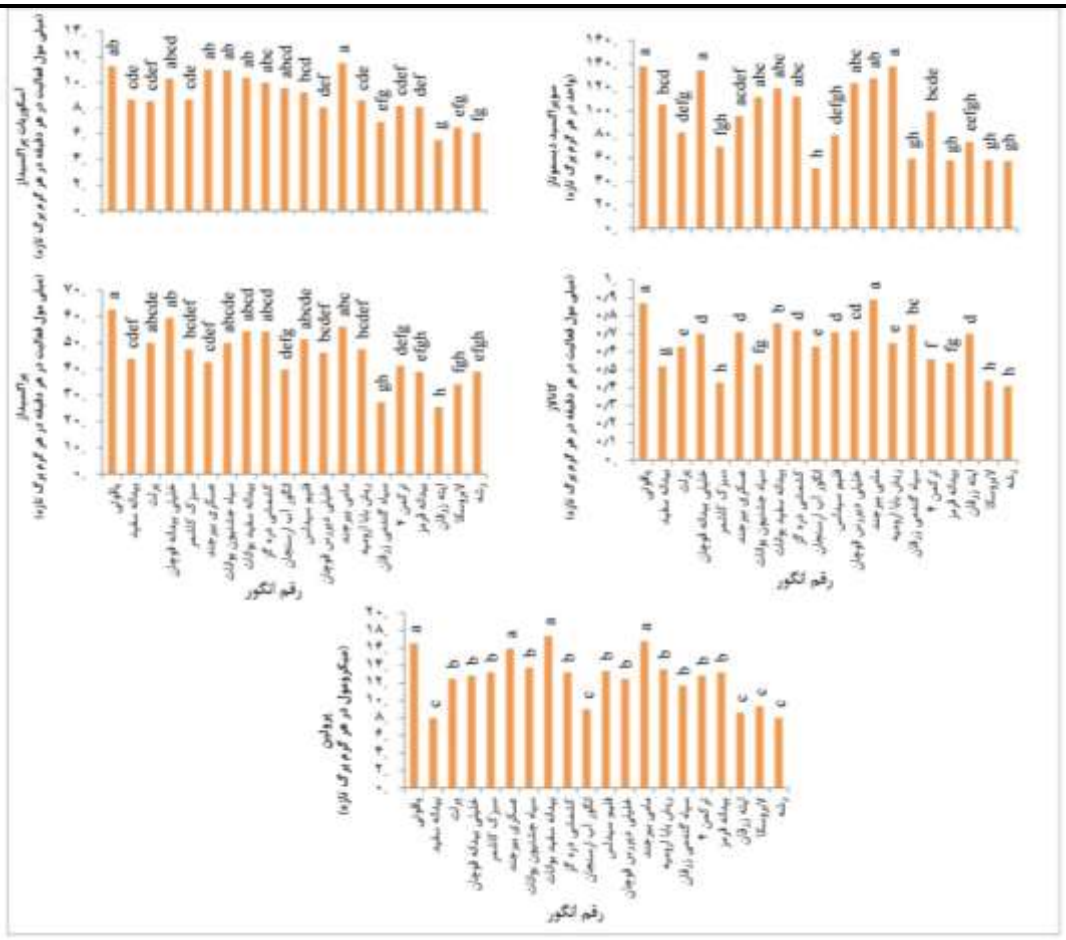
شکل ۲- میانگین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتوای پرولین ارقام انگور در تنش شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در سطح تنش شوری ۵/۰ دسی‌زیمنس بر متر

با افزایش شدت تنش شوری به ۵/۰ دسی‌زیمنس بر متر، فعالیت تمامی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتوای پرولین در مقایسه با سطح شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌طور چشمگیری افزایش یافت که نشان‌دهنده پاسخ شدیدتر سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش شدید است. تحت تنش ۵/۰ دسی‌زیمنس بر متر، بیش‌ترین میزان فعالیت APX در رقم مامی بیرجند با مقدار ۱۱/۵۱ میلی‌مول در هر دقیقه در هر گرم برگ تازه مشاهده شد که با ارقام یاقوتی (۱۱/۲۷ میلی‌مول)، عسکری بیرجند (۱۱/۰۱ میلی‌مول) و سیاه جشنیون بوانات (۱۰/۹۶ میلی‌مول) در گروه برتر آماری (a و ab) و قرار داشتند. کمترین میزان فعالیت APX در رقم ایته زرقان با مقدار ۵/۵۲ میلی‌مول ثبت شد که در پایین‌ترین گروه آماری (g) قرار داشت. به‌طورکلی، میزان افزایش فعالیت APX در سطح تنش ۵/۰ دسی‌زیمنس‌برمتر نسبت‌به شاهد بین ۲/۵ تا ۵ برابر متغیر بود.

بیش‌ترین میزان فعالیت CAT در ارقام مامی بیرجند (۰/۸۹ میلی‌مول) و یاقوتی (۰/۸۷ میلی‌مول) مشاهده شد که در گروه آماری برتر (a) قرار داشتند. رقم بی‌دانه سفید بوانات (۰/۷۶ میلی‌مول) در رتبه بعدی قرار گرفت. کمترین میزان فعالیت CAT در ارقام رشه (۰/۴۱ میلی‌مول)، سبزک کاشمر (۰/۴۳ میلی‌مول) و لابروسکا (۰/۴۴ میلی‌مول) ثبت شد که در پایین‌ترین گروه آماری (h) قرار داشتند. بیش‌ترین میزان فعالیت POD در رقم یاقوتی با مقدار ۶۲/۶۷ میکرومول در هر دقیقه در هر گرم برگ تازه مشاهده شد که با رقم خلیلی بی‌دانه قوچان (۵۹/۵۳ میکرومول) در گروه برتر قرار داشت. ارقام مامی بیرجند (۵۶/۱۳ میکرومول) و بی‌دانه سفید بوانات (۵۴/۴۵ میکرومول) در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. کمترین میزان فعالیت POD در رقم ایته زرقان با مقدار ۲۷/۵۷ میکرومول ثبت شد.

بالاترین میزان فعالیت SOD در ارقام یاقوتی (۱۳۷/۹۷ واحد)، ریش‌بابا ارومیه (۱۳۷/۸۳ واحد) و خلیلی بی‌دانه قوچان (۱۳۴/۵۰ واحد) مشاهده شد که در گروه آماری برتر (a) قرار داشتند. رقم مامی بیرجند (۱۲۷/۸۳ واحد) در رتبه بعدی قرار گرفت. کمترین میزان فعالیت SOD در رقم انگور آب ارسنجان با مقدار ۵۱/۳۳ واحد ثبت شد که تفاوت بسیار معنی‌داری با ارقام برتر داشت. همچنین بیش‌ترین میزان پرولین در ارقام بی‌دانه سفید بوانات (۱۷/۳۹ میکرومول)، مامی بیرجند (۱۶/۷۹ میکرومول)، یاقوتی (۱۶/۵۵ میکرومول) و عسکری بیرجند (۱۵/۹۴ میکرومول) مشاهده شد که در گروه برتر آماری (a) قرار داشتند. کمترین میزان پرولین در ارقام بی‌دانه سفید (۸/۰۰ میکرومول)، رشه (۸/۰۳ میکرومول)، ایته زرقان (۸/۶۱ میکرومول) و انگور آب ارسنجان (۹/۰۰ میکرومول) ثبت شد که در پایین‌ترین گروه آماری (c) قرار داشتند (شکل ۳).



شکل ۳- میانگین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتوای پرولین برگ ارقام انگور در تنش شوری ۵/۰ دسی‌زیمنس بر متر (حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند)

بحث و نتیجه‌گیری

چالش شوری منابع آب و خاک یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که در شرایط تشدید خشکسالی و کاهش کمی و کیفی منابع آب می‌تواند به یکی از عوامل اصلی کاهش پایداری نظام‌های تولید کشاورزی تبدیل شود [۲۹، ۴۶]. افزایش غلظت نمک در محیط ریشه علاوه‌بر ایجاد تنش اسمزی و اختلال در جذب آب و عناصر غذایی، با افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، تعادل اکسیداسیون و احیای سلول را مختل کرده و موجب بروز تنش اکسیداتیو می‌شود [۲۸]. از این منظر، توانایی گیاه در فعال‌سازی سازوکارهای دفاعی و حفظ تعادل فیزیولوژیک، یکی از مؤلفه‌های مهم سازگاری گیاهان زراعی و باغی با شرایط خشک‌بوم محسوب می‌شود. گیاهان برای مقابله با افزایش ROS، مجموعه‌ای از سازوکارهای دفاعی شامل آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD) و آسکوربات پراکسیداز (APX) را فعال می‌کنند [۳۱، ۳۷، ۴۱].

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که افزایش شوری از ۲/۵ به ۵/۰ دسی‌زیمنس‌برمتر، فعالیت تمامی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مورد بررسی را در ارقام مختلف انگور به‌طور معنی‌داری افزایش داد. افزایش فعالیت این آنزیم‌ها را می‌توان واکنشی سازشی در برابر افزایش فشار اکسیداتیو ناشی از شوری دانست. این یافته با نتایج مطالعات پیشین در انگور مطابقت دارد که افزایش فعالیت SOD، POD، CAT و APX را در پاسخ به تنش شوری و شوری- قلیاییت گزارش کرده‌اند [۹، ۴۱]. همچنین، گزارش شده است که مسیر بیوسنتز فلاونوئیدها و ترکیبات فنولی نظیر مشتقات رزوراترول در تنظیم پاسخ انگور به شوری نقش مهمی دارند [۱، ۲۶]. بنابراین، پاسخ

آنتی‌اکسیدانی مشاهده‌شده در این پژوهش را می‌توان بخشی از یک شبکه دفاعی چندلایه دانست که به گیاه امکان می‌دهد در شرایط محدودیت آب و افزایش غلظت نمک، آسیب سلولی را کاهش داده و عملکرد متابولیکی خود را حفظ کند.

این یافته از دیدگاه مدیریت کشاورزی در مناطق خشک و شور اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا در چنین مناطقی شوری و خشکسالی معمولاً به‌صورت مستقل عمل نمی‌کنند. کاهش بارندگی و تداوم خشکسالی موجب کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی و افزایش وابستگی به منابع آب با کیفیت پایین‌تر می‌شود و در صورت استفاده مستمر از این منابع، احتمال تشدید شوری ناحیه ریشه افزایش می‌یابد [۵۱]. بنابراین، شناسایی و استفاده از ارقام دارای سازوکارهای فیزیولوژیک مؤثر برای تحمل شوری می‌تواند یکی از مؤلفه‌های سازگاری نظام‌های باغی با شرایط رو به تشدید خشکی و شوری باشد. به‌عبارت دیگر، استفاده از مواد ژنتیکی متحمل می‌تواند در کنار مدیریت آب و خاک، به حفظ تولید در اراضی در معرض شوری کمک کند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم بر فعالیت تمام آنزیم‌های مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. این نتیجه بیانگر وجود تنوع ژنتیکی قابل‌توجه میان ارقام انگور از نظر ظرفیت دفاع آنتی‌اکسیدانی است [۳۲]. چنین تنوعی از نظر سازگاری کشاورزی در مناطق خشک اهمیت زیادی دارد؛ زیرا نشان می‌دهد واکنش همه ارقام به افزایش شوری یکسان نیست و می‌توان از تنوع موجود در ژرم‌پلاسم بومی برای شناسایی و توسعه مواد ژنتیکی مناسب برای محیط‌های شور استفاده کرد. مطالعات پیشین نیز نقش سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی را در تفاوت تحمل به شوری در پایه‌ها و ارقام مختلف انگور تأیید کرده‌اند [۲۴، ۳۲، ۴۷].

در سطح شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر، ارقام بی‌دانه سفید بوانات، مامی بیرجند، پرلت و عسکری بیرجند بیشترین فعالیت APX و POD را نشان دادند، درحالی‌که رقم یاقوتی بیشترین فعالیت CAT را داشت. همچنین تحت تنش شدیدتر، یعنی ۵/۰ دسی‌زیمنس بر متر، ارقام مامی بیرجند، یاقوتی، عسکری بیرجند و سیاه جشنیون بوانات بیشترین فعالیت APX را نشان دادند و ارقام یاقوتی، مامی بیرجند و بی‌دانه سفید بوانات نیز به‌ترتیب بیشترین فعالیت CAT را داشتند. استمرار فعالیت بالای چندین آنزیم آنتی‌اکسیدانی در برخی ارقام، به‌ویژه یاقوتی و مامی بیرجند، نشان می‌دهد که تحمل شوری احتمالاً حاصل عملکرد هماهنگ چند سازوکار دفاعی است و نمی‌توان آن را صرفاً به افزایش فعالیت یک آنزیم نسبت داد [۴۷، ۶۰].

مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین نیز وجود تفاوت میان ارقام را تأیید می‌کند. در مطالعه‌ای بر روی ده رقم تجاری انگور، ارقام رشه، فلیم سیدلس و یاقوتی به‌عنوان ارقام متحمل و ارقام بی‌دانه سفید، پرلت و تامسون سیدلس به‌عنوان ارقام حساس به شوری معرفی شدند [۱۷]. در پژوهش حاضر نیز رقم یاقوتی در هر دو سطح تنش از فعالیت آنزیمی بالایی برخوردار بود و این موضوع با گزارش پیشین درباره تحمل این رقم همخوانی دارد. با این حال، رقم رشه در شرایط تنش شدید در پژوهش حاضر فعالیت آنزیمی نسبتاً پایینی نشان داد، درحالی‌که در مطالعه ابراهیمی و همکاران [۱۷] به‌عنوان رقم متحمل معرفی شده بود. این تفاوت را می‌توان ناشی از اختلاف در شدت و مدت تنش، شرایط محیطی، مرحله رشدی گیاه، نوع بافت مورد ارزیابی و تفاوت در مواد ژنتیکی دانست. بنابراین، ارزیابی تحمل به شوری براساس یک شاخص منفرد یا در یک شرایط آزمایشی خاص، ممکن است تصویر کاملی از سازگاری یک رقم در شرایط مزرعه ارائه نکند.

از منظر کاربردی، یافته‌های این پژوهش فراتر از شناسایی یک پاسخ بیوشیمیایی بوده و می‌تواند در راهبرد سازگاری باغ‌های انگور مناطق خشک و شور مورد استفاده قرار گیرد و در مناطقی که کاهش بارندگی، تداوم خشکسالی، افت کیفیت آب آبیاری و افزایش شوری خاک، پایداری تولید باغی را تهدید می‌کند، انتخاب ارقام متحمل می‌تواند به‌عنوان یکی

از اجزای مدیریت سازگار با شرایط محیطی مورد توجه قرار گیرد [۲۵، ۴۰]. البته تحمل یک رقم به شوری نباید صرفاً براساس فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تعیین شود، بلکه لازم است شاخص‌هایی مانند رشد و زیست‌توده، عملکرد و کیفیت محصول، تجمع یون‌های Na^+ و Cl^-، نسبت K^+/Na^+، وضعیت آب گیاه و ویژگی‌های خاک و آب آبیاری نیز در ارزیابی‌های تکمیلی لحاظ شوند [۳۹، ۴۵]. چنین رویکردی امکان انتقال نتایج آزمایشگاهی به شرایط واقعی باغ و نظام تولید را افزایش می‌دهد.

اهمیت این موضوع در شرایط تغییر اقلیم نیز دوچندان است. افزایش دما، کاهش یا بی‌نظمی بارندگی و تداوم دوره‌های خشکی می‌تواند فشار بیشتری بر منابع آب وارد کرده و استفاده از آب‌های با کیفیت پایین‌تر را در برخی مناطق اجتناب‌ناپذیر کند [۳۸، ۵۳]. در چنین شرایطی، انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به شوری در کنار مدیریت بهینه آب آبیاری، بهبود زهکشی، مدیریت خاک و جلوگیری از تجمع نمک در ناحیه ریشه، می‌تواند بخشی از راهبرد سازگاری باغ‌های انگور با تغییرات محیطی باشد. بنابراین، توسعه ارقام متحمل در کنار مدیریت پایدار آب و خاک، باید به‌عنوان یکی از اجزای یک بسته مدیریتی جامع برای حفظ تولید در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک در نظر گرفته شود. در نهایت، مطالعه حاضر نشان داد که تنوع ژنتیکی موجود در ارقام انگور می‌تواند ظرفیت مهمی برای سازگاری تولید باغی با شوری و خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک فراهم کند. از این منظر، استفاده از ارقام متحمل، در کنار مدیریت پایدار منابع آب و خاک، می‌تواند به کاهش آسیب‌پذیری باغ‌ها در برابر تشدید شوری و محدودیت منابع آب کمک کند. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، ارقام دارای عملکرد آنتی‌اکسیدانی برتر در شرایط مزرعه و در ارتباط با ویژگی‌های آب آبیاری، شوری و سدیمی‌شدن خاک، وضعیت منابع آب زیرزمینی و عملکرد و کیفیت میوه ارزیابی شوند. همچنین، ترکیب شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی با روش‌های نوین فنوتیپ‌برداری و سنجش از دور می‌تواند امکان شناسایی سریع‌تر و دقیق‌تر ژنوتیپ‌های متحمل و پایش وضعیت باغ‌های مناطق خشک و شور را فراهم سازد [۴۰، ۵۹].

References

[1]. Aazami, M. A., Maleki, M., Rasouli, F., & Gohari, G. (2023). Protective effects of chitosan based salicylic acid nanocomposite (CS-SA NCs) in grape (*Vitis vinifera* cv.'Sultana') under salinity stress. *Scientific reports*, *13*(1), 883. https://doi.org/10.1038/s41598-023-27618-z

[2]. Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. Methods in Enzymology, *105*, 121-126. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3

[3]. Ahmadi, K., Hatami, F., Hosseinpour, R., Abdshah, H., & Ebadzadeh, H. (2021). Agricultural statistics for the year 2019: Horticultural products (3). Information and Communication Technology Center of the Ministry of Agricultural Jihad, Iran. https://elmnet.ir/doc/32062444-33032 [In Farsi]

[4]. Alizadeh, M., Ghasemi, Y., & Naderi, R. (2021). Effect of IBA and cutting type on rooting of grapevine (*Vitis vinifera* L.) hardwood cuttings. *Journal of Horticultural Science*, *35*(2), 245-258. https://jhs.um.ac.ir/ [in Farsi]

[5]. Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rome. https://www.fao.org/4/t0234e/t0234e00.htm

[6]. Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*(1), 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

[7]. Bradford, M. 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(1-2), 248-

254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

[8]. Buesa, I., Pérez-Pérez, J. G., Visconti, F., Strah, R., Intrigliolo, D. S., Bonet, L., Gruden, K., Pompe-Novak, M., & de Paz, J. M. (2022). Physiological and Transcriptional Responses to Saline Irrigation of Young 'Tempranillo' Vines Grafted Onto Different Rootstocks. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 866053. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.866053

[9]. Bybordi, A. (2012). Study effect of salinity on some physiologic and morphologic properties of two grape cultivars. *Life Science Journal*, 9(4), 1092-1101. https://lifesciencesite.com/lsj/life0904/166_10684life0904_1092_1101.pdf

[10]. Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalase and peroxidases. Methods in Enzymology, *11*, 764-775. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8

[11]. Chow, P. S., & Landhäusser, S. M. (2004). A method for routine measurements of total sugar and starch content in woody plant tissues. *Tree Physiology*, 24(10), 1129-1136. https://doi.org/10.1093/treephys/24.10.1129

[12]. Conde, A., Breia, R., Pereira, V., Moutinho-Pereira, J., Grimplet, J., & Gerós, H. (2016). Metabolic rearrangement in grapevine response to salt stress: A molecular and ecophysiological perspective. *In Grapevine in a Changing Environment* (pp. 279-298). DOI: 10.1002/978118735985.ch12

[13]. Dhindsa, R. S., Plumb-Dhindsa, P., & Thorpe, T. A. (1981). Leaf senescence: Correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, 32(1), 93-101. https://doi.org/10.1093/jxb/32.1.93

[14]. Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350–356. https://doi.org/10.1021/ac60111a017

[15]. Dutta, S., Singh, R. K., Yadav, S., & Singh, V. (2023). Salinity stress in grapevine: A review of physiological, biochemical, and molecular responses. *Scientia Horticulturae*, 310, 111750. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111750

[16]. Ebrahim, M. K., & El-Kobia, E. A. (1986). Response of grapevine to salinity stress. *Alexandria Journal of Agricultural Research*, 31(2), 147-162. https://doi.org/10.1016/alexu.edu.2022.111750

[17]. Ebrahimi, M., Hassanpour Asil, M., Hatamzadeh, A., & Karimi, R. (2024). Salinity tolerance evaluation of rooted cuttings of some commercial grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.). *Iranian Journal of Plant Biology*, 16(2), 71–94. https://doi.org/10.22108/ijpb.2025.144929.1406

[18]. Elavarthi, S., & Martin, B. (2010). Spectrophotometric assays for antioxidant enzymes in plants. *Methods in Molecular Biology*, *639*, 273-287. https://doi.org/10.1007/978-1-60761-702-0_16

[19]. El-Banna, M. F., Abd El-Mageed, T. A., & El-Sherif, A. M. (2022). Role of antioxidant enzymes in salt tolerance of plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, *41*(2), 623-638. https://doi.org/10.1007/97814-2347-7561

[20]. García-Caparrós, P., De Filippis, L., Gul, A., Hasanuzzaman, M., Ozturk, M., Altay, V., & Lao, M. T. (2021). Oxidative Stress and Antioxidant Metabolism under Adverse Environmental Conditions: a Review. *The Botanical Review*, *87*(4), 421–466. https://doi.org/10.1007/s12229-020-09231-1

[21]. Ghosh, U. K., Islam, M. N., Siddiqui, M. N., Cao, X., & Khan, M. A. R. (2022). Proline, a multifaceted signalling molecule in plant responses to abiotic stress: Understanding the physiological mechanisms. *Plant Biology*, *24*(2), 227-239. https://doi.org/10.1111/plb.13363

[22]. Giannopolitis, C. N., & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases: I.

Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, *59*(2), 309-314. https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309

[23]. Gohari, G., Panahirad, S., Sadeghi, M., Akbari, A., Zareei, E., Zahedi, S. M., Bahrami, M. K., & Fotopoulos, V. (2021). Putrescine-functionalized carbon quantum dot (put-CQD) nanoparticles effectively prime grapevine (*Vitis vinifera* cv. 'Sultana') against salt stress. *BMC Plant Biology*, *21*(1), 120. https://doi.org/10.1186/s12870-021-02901-1

[24]. Hakeem, A., Li, S., Iqbal, S., Alatafi, A., Aziz, R. B., Mulligan, A., Liu, S., Chen, S., Zhang, R., Shangguan, L., & Fang, J. (2025). Effects of salt stress on growth, physio-biochemical traits, and tolerance mechanisms in grapevine rootstocks. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. *221*(8), 122. https://doi.org/10.1007/s42729-025-02345-6.

[25]. Han, J., & Li, X. (2024). Current progress in research focused on salt tolerance in *Vitis vinifera* L. *Frontiers in Plant Science*, *15*, 1353436. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1353436

[26]. Hanzouli, F., Zemni, H., Gargouri, M., Boubakri, H., Mliki, A., Vincenzi, S., & Daldoul, S. (2024). Evidence of an active role of resveratrol derivatives in the tolerance of wild grapevines (*Vitis vinifera* ssp. sylvestris) to salinity. *Journal of Plant Research*, *137*(2), 265–277. https://doi.org/10.1007/s10265-023-01512-1

[27]. Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2014). Plant Propagation: Principles and Practices (8th ed.). Pearson. . https://www.pearson.com/

[28]. Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Mahmud, J. A., ... & Fotopoulos, V. (2021). Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*, *10*(1), 52. https://doi.org/10.3390/antiox10010052

[29]. Hopmans, J. W., Qureshi, A. S., Kisekka, I., Munns, R., Grattan, S. R., Rengasamy, P., Ben-Gal, A., Assouline, S., Javaux, M., Minhas, P. S., Raats, P. A. C., Skaggs, T. H., Wang, G., De Jong van Lier, Q., Jiao, H., Lavado, R. S., Lazarovitch, N., Li, B., & Taleisnik, E. (2021). Critical knowledge gaps and research priorities in global soil salinity. *Advances in Agronomy*, *169*, 1–191. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.03.001

[30]. Hossain, M. A., Bhattacharjee, S., Armin, S. M., Qian, P., Xin, W., Li, H. Y., Burritt, D. J., Fujita, M., & Tran, L. S. P. (2021). Assay of ascorbate peroxidase activity in plant tissues. Plant Stress, *12*, 100245. https://doi.org/10.3389/ plant-stress.2016.20544

[31]. Hossain, M. S., & Dietz, K. J. (2016). Tuning of Redox Regulatory Mechanisms, Reactive Oxygen Species and Redox Homeostasis under Salinity Stress. *Frontiers in Plant Science*, 7, 548. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00548

[32]. Jamshidi Goharrizi, K., Riahi-Madvar, A., Rezaee, F., Pakzad, R., Jadid Bonyad, F., & Ghazizadeh Ahsaei, M. (2020). Effect of salinity stress on enzymes' activity, ions concentration, oxidative stress parameters, biochemical traits, content of sulforaphane, and CYP79F1 gene expression level in Lepidium draba plant. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(3), 1075–1094. https://doi.org/10.1007/s00344-019-10046-7

[33]. Karami, M. J. (2012). Characteristics of white grape cultivars of Fars province, Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, *28*(3), 353-381. https://doi.org/10.22092/spij.2017.111113

[34]. Seyedimoradi, H., Talebi, R., Hassani, D. and Karami, F. (2012). Comparative genetic diversity analysis in Iranian local grapevine cultivars using ISSR and DAMD molecular markers. *Environmental and Experimental* Biology, 10(4), 125-132. https://www.vitis-vea.de/volltext/W0%2021%202562.pdf

[35]. Karimi, R., Ghabooli, M., Rahimi, J., & Amerian, M. (2020). Effects of foliar selenium application on some physiological and phytochemical parameters of *Vitis vinifera* L. cv. Sultana under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, *43*(14), 2226–2242. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1771579

[36]. Karimi, R., Merati, M., & Shayganfar, A. (2023). Phytochemical characterization of five commercial Vitis vinifera cultivars in response to salinity. Acta Physiologiae Plantarum, *45*(8), 108. https://doi.org/10.1007/s11738-023-03581-0

[37]. Kaya, C., Ashraf, M., & Alyemeni, M. N. (2020). The role of nitric oxide in improving salinity tolerance in plants. Plant Physiology and Biochemistry, *154*, 11-21. https://doi.org/10.3390/ijms23116167

[38]. Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, *15*(3), 259–263. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130

[39]. Lai, Y., Zhang, C., Yan, H., Nai, G., Bao, J., Sun, P., Liu, Y., Zhang, J., Pu, Z., Li, S., & Ma, S. (2025). Research Progress on Grapevine Response Mechanisms and Alleviation Measures Under Salt Stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, *44*(7), 3411. https://doi.org/10.1007/s00344-025-11640-8

[40]. Li, Y., Liu, M., Yang, X., Zhang, Y., Hui, H., Zhang, T., & Shu, J. (2022). Multi-walled carbon nanotubes enhanced the antioxidative system and alleviated salt stress in grape seedlings. *Scientia Horticulturae*, *293*, 110698. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110698

[41]. Lu, X., Chen, G., Ma, L., Zhang, C., Yan, H., Bao, J., Nai, G., Wang, W., Chen, B., Ma, S., & Li, S. (2023). Integrated transcriptome and metabolome analysis reveals antioxidant machinery in grapevine exposed to salt and alkali stress. *Physiologia Plantarum*, *175*(3), e13950. https://doi.org/10.1111/ppl.13950

[42]. Marschner, H. (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants (3rd ed.). Academic Press. https://www.elsevier.com/books/mineral-nutrition-of-higher-plants/marschner/978-0-12-384905-2

[43]. McDonald, J. H. (2014). Handbook of Biological Statistics (3rd ed.). Sparky House Publishing. http://www.biostathandbook.com/

[44]. Mirfatah, S. M., Rasouli, M., Gholami, M., & Mirzakhani, A. (2024). Phenotypic diversity of some Iranian grape cultivars and genotypes (*Vitis vinifera* L.) using morpho-phenological, bunch and berry traits. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, *7*(2), 155–170. https://doi.org/10.22077/jhpr.2023.6532.1313

[45]. Mohammadkhani, N., Heidari, R., Abbaspour, N., & Rahmani, F. (2013). Comparative study of salinity effects on ionic balance and compatible solutes in nine Iranian table grape (*Vitis vinifera* L.) genotypes. *OENO One*, *47*(2), 99-114. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2013.47.2.1556

[46]. Mukhopadhyay, R., Sarkar, B., Jat, H. S., Sharma, P. C., & Bolan, N. S. (2021). Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. *Journal of Environmental Management*, *280*, 111736. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111736

[47]. Mustapha, A., Hakeem, A., Li, S., Mustafa, G., Elatafi, E., Fang, J., & Zhou, C. (2025). Grapevine rootstocks and salt stress tolerance: Mechanisms, omics insights, and implications for sustainable viticulture. *International Journal of Plant Biology*, *16*(4), 129. https://doi.org/10.3390/ijpb16040129

[48]. Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, *22*(5), 867-880.

https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232

[49]. Nazarian, M., & Ghanati, F. (2020). The role of melatonin in reinforcement of antioxidant system of rice plant (Oryza sativa L.) under arsenite toxicity. Plant Physiology Reports, *25*(3), 395–404. https://doi.org/10.1007/s40502-020-00526-4

[50]. Rao, M. V., Paliyath, G., & Ormrod, D. P. (1996). Ultraviolet-B- and ozone-induced biochemical changes in antioxidant enzymes of Arabidopsis thaliana. *Plant Physiology*, *110*(1), 125-136. https://doi.org/10.1104/pp.110.1.125

[51]. Rhoades, J. D., Kandiah, A., & Mashali, A. M. (1992). The use of saline waters for crop production. FAO Irrigation and Drainage Paper 48, Rome. https://www.fao.org/3/t0667e/t0667e00.htm

[52]. Richards, L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook No. 60, Washington, D.C. https://www.ars.usda.gov/

[53]. Sharafati, A., Nabaei, S., & Shahid, S. (2020). Spatial assessment of meteorological drought features over different climate regions in Iran. *International Journal of Climatology*, *40*(3), 1864–1884. https://doi.org/10.1002/joc.6307

[54]. Singh, A. (2022). Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management*, *38*(1), 39-67. https://doi.org/10.1111/sum.12772

[55]. Stancheva, I., Geneva, M., Hristozkova, M., Markovska, Y., & Salamon, I. (2010). Antioxidant capacity of sage grown on heavy metal-polluted soil. Russian *Journal of Plant Physiology*, *57*(6), 799–805. https://doi.org/10.1134/S1021443710060089

[56]. Steel, R. G. D., Torrie, J. H., & Dickey, D. A. (1997). Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach (3rd ed.). McGraw-Hill. https://www.mheducation.com/

[57]. USDA. (2015). Soil Quality Indicators: Electrical Conductivity. Natural Resources Conservation Service. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Soil%20Electrical%20Conductivity.pdf

[58]. Wilcox, L. V. (1955). Classification and use of irrigation waters. USDA Circular No. 969, Washington, D.C. https://www.ars.usda.gov/

[59]. Xu, J., Sui, C., Ge, J., Ren, R., Pang, Y., Gan, H., Du, Y., Cao, H., & Sun, Q. (2024). Exogenous spermidine improved salt-alkali stress tolerance in grapevine (*Vitis vinifera*) by regulating antioxidant system, Na^+/K^+ homeostasis and endogenous polyamine content. *Scientia Horticulturae*, *328*, 112944. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112944

[60]. Xu, Y., Bao, G., Chen, S., Yuan, Y., Li, N., Hu, J., Fu, Z., Wang, Y., & Jiang, H.-B. (2025). The regulatory network of antioxidant enzyme synergy in ROS homeostasis and Photosynthesis: Multilevel response mechanisms of rye seedlings under nicosulfuron-atrazine-freeze-thaw combined stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, *229*(Pt A), 110401. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.110401

[61]. Zhou-Tsang, A., Wu, Y., Henderson, S. W., Walker, A. R., Borneman, A. R., Walker, R. R., & Gilliham, M. (2021). Grapevine salt tolerance. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 27(2), 149-168. https://doi.org/10.1111/ajgw.12487

Evaluation of Salinity Adaptation of Some Grapevine Cultivars using the Antioxidant Response Method for Production Sustainability in Arid and Semi-Arid Ecosystems
(Research Paper)

1- Majid Heydari ، PhD Student ، Department of Horticultural Sciences ، Faculty of Agriculture and Natural Resources ، Islamic Azad University of Jahrom ، Jahrom ، Iran.

2- Abdolkarim Ejraee* ، Associate Professor ، Department of Horticultural Sciences ، Faculty of Agriculture and Natural Resources ، Islamic Azad University of Jahrom ، Jahrom ، Iran.

soiliran@yahoo.com

3- Mohammad Javad Karami ، Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center ، Agricultural Research ، Education and Extension Organization ، Shiraz ، Iran.

4- Behnam Behrouznam ، Associate Professor ، Department of Horticultural Sciences ، Faculty of Agriculture and Natural Resources ، Islamic Azad University of Jahrom ، Jahrom ، Iran.

5- Abdolhossein Mohammadi ، Associate Professor ، Department of Horticultural Sciences ، Faculty of Agriculture and Natural Resources ، Islamic Azad University of Jahrom ، Jahrom ، Iran

Received: 17 Aug. 2026
Accepted: 26 Sep. 2026

Abstract

Water and soil salinity is one of the major constraints to agricultural production and sustainability in arid and semi-arid regions. Therefore, the selection and use of cultivars adapted to saline conditions can play an important role in maintaining agricultural production and enabling the sustainable use of salt-affected lands. Grapevine (*Vitis vinifera* L.), one of the economically important horticultural crops in Iran, particularly in arid and semi-arid regions, exhibits considerable genetic diversity among native and introduced cultivars. This genetic diversity provides a valuable resource for identifying and utilizing salinity-tolerant genotypes in regions affected by water and soil salinity. The present study aimed to evaluate the salinity tolerance of different grape cultivars and identify genotypes with effective physiological and biochemical defense responses based on antioxidant activity. In this study, the response of 19 native grape cultivars and one introduced cultivar to salinity (including control, 2.5, and 5.0 dS m^{-1}) was investigated, and the activities of ascorbate peroxidase (APX), catalase (CAT), peroxidase (POD), and superoxide dismutase (SOD) were measured in leaves. The results showed that increasing salinity, particularly under highest stress level, significantly enhanced the activities of antioxidant enzymes in most cultivars. However, the magnitude and pattern of these responses varied considerably among cultivars. Under severe salinity, the cultivars ‘Yaghouti’ and ‘Mami Birjand’ exhibited a stronger defense response, as indicated by higher activities of key enzymes, particularly CAT, APX, and SOD, whereas ‘Iteh Zarghan’ and ‘Labrusca’ showed comparatively weaker antioxidant responses. These differences indicate the existence of genetic diversity in the adaptation capacity of grape cultivars to saline conditions. Overall, the cultivars Yaghouti and Mami Birjand have considerable potential as suitable genetic resources for stress adaptation studies and for selection and breeding programs aimed at developing grape cultivars suitable for cultivation in saline environments, particularly in arid and semi-arid regions.

Keywords: Arid and semi-arid regions, Salinity, Plant adaptation, Oxidative stress, Antioxidant enzymes.