مطالعه اثر محلول‌پاشی براسینواستروئید بر برخی صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گلابی وحشی (*Pyrus biossieriana* Buhse) طی تنش خشکی

سید مرتضی زاهدی*[۱]، مرجان السادات حسینی[۲] و مهدیه کریمی[۳]

[۱]گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران، [۲]گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، [۳]گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۳۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۸/۱۷)

چکیده

گلابی‌های وحشی علی‌رغم تولید میوه‌های با بازار پسندی ضعیف، به عنوان پایه در مناطق معتدله دارای تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی و غرقابی می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند که براسینواستروئیدها می‌توانند به صورت مؤثری مقاومت به تنش خشکی را در محصولات زراعی و باغی افزایش دهند. جهت بررسی تأثیر کاربرد براسینواستروئید بر برخی صفات رشدی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نهال گلابی وحشی (*Pyrus biossieriana* Buhse) تحت تنش خشکی آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف تنش خشکی (۱۰۰ (شاهد)، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و غلظت‌های مختلف براسینواستروئید (صفر، ۳ و ۱۰ میلی‌مولار) بود. در این آزمایش صفات وزن خشک برگ، ریشه و ساقه، ارتفاع گیاه، محتوای رطوبت نسبی، نشت الکترولیت، کلروفیل *a* و *b*، کاروتنوئید، پرولین، قندهای محلول، مالون دآلدئید، پراکسید هیدروژن، آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک برگ، ریشه و ساقه، ارتفاع گیاه، محتوای رطوبت نسبی، کلروفیل *a*، *b* و کاروتنوئید گردید؛ اما براسینواستروئید باعث افزایش معنی‌دار این صفات و تقلیل اثرات منفی تنش خشکی روی گلابی وحشی گردید. برهمکنش کاربرد براسینواستروئید در غلظت ۱۰ میلی‌مولار و تنش خشکی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بالاترین تجمع قندهای محلول، پرولین، پراکسید هیدروژن و بالاترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز را نشان داد. به نظر می‌رسد در شرایط تنش، محلول‌پاشی براسینواستروئید با افزایش غلظت اسمولیت‌هایی مانند قندهای محلول و پرولین و در نتیجه کمک به حفظ فشار اسمزی در سلول‌ها و افزایش تولید پراکسید هیدروژن تا حد متوسط، در افزایش تحمل به تنش خشکی گیاه کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، گلابی وحشی، کاروتنوئید، پراکسید هیدروژن، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز

مقدمه

گلابی (*Pyrus*) از خانواده گلسرخیان (Rosaceae) بوده و منشأ پیدایش آن کوهستان‌های شمال چین است. در ایران بیش از ده گونه از این جنس وجود دارد و کشور ایران به ویژه جنگل‌های شمال و ترکمنستان، منبع غنی از ژنوتیپ‌های گلابی وحشی محسوب می‌شود. گلابی بعد از انگور و سیب مهم‌ترین میوه مناطق معتدله به شمار می‌رود و بنابراین استفاده کردن از پایه‌های مناسب برای تولید گلابی بسیار حائز اهمیت است.

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: s.m.zahedi@maragheh.ac.ir

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.21.3]

پژوهشگران معتقدند که گلابی‌های وحشی علی‌رغم تولید میوه‌هایی با بازار پسندی ضعیف، به عنوان پایه در مناطق معتدله دارای تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی و غرقابی می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند. پژوهش‌ها نشان داده است که کنترل هدایت روزنه‌ای، افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها و سطح ویژه برگ از جمله مکانیسم‌های این گیاه در مقابله با تنش‌های محیطی است (زرافشار و همکاران، ۱۳۹٤). درختان این گونه اندازه متوسطی دارند که حداکثر به ۵ متر می‌رسند و برگ‌ها سبز براق و بیضی شکل هستند. این گونه علاوه بر اینکه پایه مناسبی برای ارقام مختلف گلابی در مناطق خشک است، دارای ویژگی‌های دارویی نیز می‌باشد. برگ‌ها و پوست نهال دارای نوعی فنل گلوکوزیدی به نام آربوتین (Arbutin) است و این گیاه دارای آنتی‌اکسیدان‌ها و ویژگی‌های دارویی فراوانی است که از این مواد در محصولات ضد آفتاب استفاده می‌شود (Couteau and Coiffard, 2000).

تنش خشکی به عنوان یکی از جدی‌ترین تنش‌های محیطی، اثرات زیان‌بار فراوانی بر رشد رویشی و زایشی گیاهان می‌گذارد و در کشور ایران به علت موقعیت جغرافیایی، تنش کمبود آب یکی از محدودکننده‌ترین تنش‌های غیرزیستی است (هاشمی‌دزفولی و کوچکی، ۱۳۷٤). خشکی یک فرآیند فیزیکی- شیمیایی پیچیده است و گونه‌های فعال اکسیژن ایجاد شده توسط تنش می‌توانند با مولکول‌های زیستی مانند: لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک واکنش داده و منجر به پراکسیداسیون لیپید و جهش در اسیدهای نوکلئیک و تغییر پروتئین‌ها شوند که این امر به مختل شدن متابولیسم طبیعی، کاهش بازدهی آب و دی اکسیدکربن و در نهایت باردهی گیاه منجر خواهد شد (Kusvuran, 2012). درختان چوبی مکانیسم‌های متفاوتی برای مقابله با کم آبی از جمله کم کردن رشد، تجمع اسمولیت‌ها و تغییرات هورمونی دارند. تیمار تنش خشکی منجر به افزایش کاروتنوئید، ماده خشک و پرولین و تغییرات تبادل گازی در روزنه‌های گلابی وحشی گردیده است (Zarafshar *et al.*, 2014).

براسینواستروئیدها گروهی از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی با ویژگی‌های شناخته شده بر افزایش تقسیم و رشد سلول در ریشه‌ها، ساقه‌ها و افزایش رشد گیاه هستند که به صورت ویژه سبب کم کردن اثرات منفی تنش‌های محیطی در گیاهان می‌گردند (Choudhary *et al.*, 2012). براسینواستروئیدها توانایی بالایی در افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش شوری (Hayat *et al.*, 2010)، خشکی (Fariduddin *et al.*, 2009) و دمای بالا (Fariduddin *et al.*, 2011) دارند. مطالعات نشان می‌دهد براسینواستروئیدها منجر به کاهش اثرات کمبود آب در برخی از گیاهان از جمله آرابیدوپسیس، کلزا (Kagale *et al.*, 2007) و گوجه‌فرنگی (Yuan *et al.*, 2010) می‌شوند. افزایش بازدهی آب و دی اکسید کربن از طریق تنظیم تولید آبسیزیک اسید (Farooq *et al.*, 2009) و بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی از جمله تنظیم بیان ژن‌های تولید کننده آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز از دیگر اثرات براسینواستروئیدها در زمان تنش خشکی گزارش شده است (Fariduddin *et al.*, 2009).

بسیاری از گزارش‌ها نشان داده‌اند که براسینواستروئیدها می‌توانند با ایجاد تغییرات مثبت روی صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و فعال کردن مکانیسم‌های دفاعی به صورت مؤثری مقاومت به تنش خشکی را در محصولات زراعی و باغی افزایش دهند. مطالعات اندکی روی بررسی اثرات آن‌ها بر افزایش مقاومت به خشکی گونه‌های چوبی وجود دارد و هیچ مطالعه‌ای در مورد ارزیابی فعالیت نسبی آنها در بالا بردن مقاومت گونه‌های گلابی تحت تنش خشکی یافت نشد. به همین منظور پژوهشی جهت بررسی نقش احتمالی کاربرد بیرونی این هورمون در افزایش و بهبود مقاومت به خشکی گلابی وحشی بر پایه ارزیابی تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در این گونه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت گلخانه‌ای و در بهار و تابستان سال ۱۳۹۵ انجام شد. جهت انجام آزمایش از بذور گلابی وحشی در منطقه لیسار (°۳۷ شمالی و °٤۸ شرقی) استان گیلان

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.21.3]

استفاده شد. پس از کشت بذور و رشد آن‌ها، نهال‌های دوساله گلابی وحشی که از نظر رشد و قطر ساقه یکسان و همگن بودند، انتخاب شدند و بعد از استقرار مناسب، اعمال تنش با چهار سطح، بدون تنش آبیاری (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، شاهد)، تنش ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی)، تنش متوسط (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) صورت گرفت. به منظور اعمال تنش از روش وزن کردن گلدان‌ها استفاده گردید و برای جلوگیری از تبخیر، سطح گلدان با پلاستیک پوشانده شد. وزن خاک اشباعی که با بیرون رفتن آب از انتهای گلدان به وزن ثابت رسیده بود از وزن خاک خشک کم شد و میزان ظرفیت زراعی به این روش به دست آمد. تیمارهای ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نسبت به ظرفیت زراعی سنجیده شد و سپس گلدان‌ها روزانه وزن (با توجه به افزایش روزانه وزن خود گیاه) و برای رسیدن به سطح هر تنش، مقدار آب محاسبه شده اضافه می‌شد. محلول‌های براسینواستروئید (سیگما- آلدریچ، آمریکا) در دو غلظت شامل ۳ و ۱۰ میلی‌مولار با حل کردن در محلول اتانول و به حجم رساندن با آب مقطر، تهیه(Behnamnia *et al.*, 2015) و برای اعمال تیمار از روش محلول‌پاشی بر روی اندام هوائی استفاده شد. تیمار شاهد بدون محلول‌پاشی بود. تیمارهای براسینواستروئید بعد از شروع دوره تنش خشکی و آبیاری آخر و فقط یک مرتبه به صورت محلول‌پاشی بر روی نهال‌ها انجام شد (زرافشار و همکاران، ۱۳۹٤).

برای اندازه‌گیری وزن خشک برگ، ساقه و ریشه، بعد از قرارگیری این اندام‌ها به مدت ٤۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد در داخل آون، وزن آن‌ها توسط ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته از خط کش میلی‌متری استفاده شد و ارتفاع گیاه از سطح خاک تا آخرین برگ ثبت و گزراش گردید.

محتوای نسبی آب برگ (Relative Water Content) با روش Turner (۱۹۸۱) و با جایگذاری در معادله ۱ اندازه‌گیری شد.

(معادله ۱)

$$\text{محتوای نسبی آب برگ} = \frac{FW- DW}{TW- DW} \times ۱۰۰$$

FW: وزن تازه برگ، DW: وزن خشک برگ و TW: وزن آماس می‌باشد.

اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت‌ها با استفاده از روش Lutts و همکاران (۱۹۹٦) انجام شد. به این منظور قطعات برگی به اندازه ۲cm×۱به لوله‌های حاوی۱۰میلی‌لیتر آب مقطر انتقال داده شد. لوله‌ها به مدت ۱۷ ساعت در محیط تاریک روی شیکر قرار گرفتند و میزان هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) با استفاده از دستگاه EC متر(مدل اینولب ۷۲۰) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه و فشار ۱/۵ اتمسفر قرار داده و بعد از خنک شدن در دمای اتاق هدایت الکتریکی بیشینه (EC_2) اندازه‌گیری و درصد نشت الکترولیت (EC) از طریق معادله ۲ محاسبه شد.

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

جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کاروتنوئید، ۰/۲ گرم از برگ تازه در یک هاون چینی با ۵ میلی‌لیتر استون سایبده و به صورت یک توده یکنواخت درآمد. محلول حاصل با سانتریفیوژ (مدل فرولبو، فرانسه) به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ٤ هزار دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. پس از جدا کردن عصاره رویی مرحله بالا دو بار دیگر تکرار گردید و در نهایت با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل کری ۱۰۰، واریان آمریکا)، میزان جذب آن در طول موج‌های ٦٤٥ و ٦٦٤ نانومتر قرائت گردید و کلروفیل‌های *a*، *b* و کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) توسط روابط ذیل محاسبه گردید (Porra, 2002).

(معادله ۳)

$$\text{کلروفیل } a = (۱۲/۲۵\times A_{٦٦٤}) - (۲/۵۵ \times A_{٦٤٥})$$

(معادله ٤)

$$\text{کلروفیل } b = (۲۰/۳۱ \times A_{٦٤٥}) - (٤/۹۱ \times A(_{٦٦٤}))$$

(معادله ۵)

$$\text{کاروتنوئید} = [(۱۰۰۰\times A_{٤۷۰} - ۳/۲۷\times \text{کلروفیل } b) - ۱۰٤\times \text{کلروفیل } b]/۲۲۷$$

در معادله‌های بالا $A_{٦٦٤}$ و $A_{٦٤٥}$ و $A_{٤۷۰}$ به ترتیب میزان جذب در طول موج‌های ٦٦٤ و ٦٤٥ و ٤۷۰ نانومتر می‌باشد.

پرولین با روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.21.3]

شد. مقدار ۲ میلی‌لیتر از محلول به دست آمده از ترکیب ۰/۵ گرم بافت تازه برگ همراه با ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳٪ با ۲ میلی لیتر اسید استیک و ۲ میلی‌لیتر ناین هیدرین ترکیب شده و پس از ۲ ساعت قرار گرفتن در بن‌ماری، ٤ میلی‌لیتر تولوئن به آن اضافه گردید و جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید و با جایگذاری در معادله ٦ (میلی‌گرم بر وزن تر) به دست آمد.

(معادله ٦)

پرولین= [وزن نمونه(۰/۵ گرم)/حجم عصاره(۱۰میلی‌لیتر)] ×[۱۰۰۰/عدد قرائت شده]

اندازه‌گیری قندهای محلول با روش Paquin و Lechasseur (۱۹۷۹) انجام شد. بدین منظور ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ پس از کوبیده شدن با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹٦٪، با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ همگن و سانتریفیوژ شد. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی با ۳ میلی‌لیتر آنترون مخلوط گردید و به مدت ۱۰ دقیقه در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. میزان جذب با اسپکتروفتومتر در طول موج ٦۲۵ نانومتر قرائت شد و با معادله ۷ به دست آمد.

(معادله ۷)

قندهای محلول (میلی‌گرم بر وزن تر)= {برگ (۰/۵ گرم)/ عصاره (۱۵میلی لیتر)}×{۱۰۰۰/ عدد قرائت شده}

غلظت مالون دآلدئید به عنوان شاخص پراکسیداسیون غشاء، بر اساس روش Heath و Packer (۱۹٦۹) اندازه‌گیری شد. بر طبق این روش ۰/۲ گرم از بافت تازه برگ در ۵ میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید ۱ درصد کوبیده و سانتریفوژ شد. به یک میلی‌لیتر از محلول رویی ٤ میلی‌لیتر محلول تری کلرواستیک اسید ۲۰ درصد که حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید است، اضافه شد. مخلوط در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و بعد از قرارگیری روی یخ، غلظت مالون دآلدئید با استفاده از معادله ۸ محاسبه شد.

(معادله ۸) $A=EBC$

A= جذب E= ضریب خاموش معادل $mM^{-1}cm^{-1}$ ۱۵۵، B= عرض کووت، C= غلظت کمپلکس بر حسب میلی‌مولار.

برای اندازه‌گیری غلظت پراکسید هیدروژن از روش (Sergiev *et al*., 2001) استفاده گردید. ۰/۱ گرم نمونه برگ با پنج میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید ۰/۱ درصد ساییده و مخلوط سانتریفیوژ شد. پس از آن ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره به همراه ۵۰۰ میکرولیتر بافر فسفات و ۲ میلی‌لیتر معرف یک مولار یدید پتاسیم به مدت یک ساعت در تاریکی قرار داده شد. میزان جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۹۰ نانومتر قرائت گردید. غلظت پراکسید هیدروژن نمونه‌ها بر حسب میلی‌مول بر گرم وزن تر محاسبه گردید (معادله ۹).

(معادله ۹)

پراکسید هیدروژن= [وزن تر نمونه (0.1g)/حجم عصاره (ml۵)] ×[1000/عدد قرائت شده]

فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۲٤۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. محلول‌ها شامل ۳۰۰۰ میکرولیتر بافر فسفات (pH=۷) ۵۰ میلی‌مولار، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود و در نهایت ۵ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد به آن اضافه و فعالیت آنزیم به مدت ۲ دقیقه در فواصل ۲۰ ثانیه‌ای ثبت گردید. میزان فعالیت آنزیم (بر حسب میلی‌گرم در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) از رابطه زیر محاسبه گردید (Aebi, 1984).

(معادله ۱۰)

$$\text{Activity } U_{ml} = \frac{(A240\,(t2) - A240\,(t1)) \times l \times Vt \times dt}{E \times l \times t \times Vs}$$

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۵٦۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. محلول واکنش شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات سدیم (۷/۸ =pH)، ۱ میلی‌مول NBT، ۲۰ میلی‌مول متیونین، ۰/۱ مول EDTA و ۰/۲ میلی‌مول ریبوفلاوین بود که برای تهیه هر ۱۰۰ میلی‌لیتر از آن، مقدار ۱/۷۹ گرم فسفات سدیم آبدار ($Na_2HPO_4.12H_2O$) در ۸۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل گردید و پس از افزودن ۰/۰۸۸ گرم NBT، ۰/۷٤۵ گرم متیونین، ۰/۳۷۲ گرم EDTA و ۰/۰۰۷۵ گرم ریبوفلاوین به حجم نهایی رسانده شد. دو شاهد که هر دو بدون عصاره آنزیمی بود مورد استفاده

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.21.3]

قرار گرفت. شاهد اول بدون دریافت نور (برای صفر کردن دستگاه اسپکتروفتومتر) و شاهد دوم ۱۵ دقیقه در مقابل منبع نوری قرار گرفت. فعالیت آنزیم (بر حسب میلی‌گرم در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) از رابطه زیر محاسبه گردید:

(معادله ۱۱)

$$\text{Activity U}_{\text{ml}} = \frac{\text{(A560 (control) - A560 (sample)}}{\text{A560 (control)}} \times 100$$

که در آن، A_{560} (control) و A_{560} (sample) به ترتیب مقادیر جذب نور محلول شاهد و نمونه مورد بررسی در طول موج ۵۶۰ نانومتر هستند(Beauchamp and Fridovich, 1971).

آزمایش به صورت فاکتوریل (فاکتور اول سطوح تنش در چهار سطح و فاکتور دوم محلول‌پاشی با براسینواستروئید در سه سطح) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. سپس تجزیه واریانس صفات با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/٤ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام‌های مختلف و ارتفاع گیاه: تیمارهای مورد مطالعه بر صفات وزن خشک برگ، ریشه، ساقه و ارتفاع نهال اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت. تیمار خشکی سبب کاهش وزن خشک شد و تیمارهای براسینواستروئید تا حدود زیادی این کاهش وزن را جبران کردند. با افزایش شدت تنش ارتفاع نهال کاهش پیدا کرد و کمترین وزن خشک برگ، ریشه و ساقه و ارتفاع در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول‌پاشی مشاهده گردید (جدول ۱). تیمارهای براسینواستروئید سبب افزایش طول ساقه شدند و بالاترین طول ساقه نهال در تیمار ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی ۱۰ میلی‌مولار براسینواستروئید دیده شد. مطالعات نشان می‌دهد براسینواستروئید سبب افزایش بیان ژن‌های مربوط به پرآوری و افزایش طول شاخساره کلزا شدند (Sahni *et al.*, 2016).

درصد محتوای رطوبت نسبی: برهمکنش سطوح تنش و غلظت‌های مختلف محلول‌پاشی استروئید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. درصد محتوای رطوبت نسبی با افزایش سطوح تنش کاهش نشان داد. محلول‌پاشی گیاهان تحت تنش با براسینواستروئید سبب بهبود محتوای آب برگ شد. کمترین (٦١/٨) و بیشترین (۹۵) درصد محتوای رطوبت به ترتیب در تیمارهای ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و بدون محلول‌پاشی و ظرفیت زراعی با ۱۰ میلی‌مولار محلول‌پاشی براسینواستروئید دیده شد (جدول ۲). مشابه این نتایج در خردل وحشی نیز گزارش شده است (Fariduddin *et al.*, 2009). کم آبی در گیاه توازن آب در گیاه را بر هم می‌زند. براسینواستروئیدها کمک به تجمع آبسیزیک اسید در گیاه می‌کنند و این هورمون با کم کردن هدایت روزنه‌ای و افزایش بازدهی و نگهداری آب نقش مهمی در افزایش تحمل گیاه به خشکی دارد (Xia *et al.*, 2009).

درصد نشت الکترولیت‌ها: برهمکنش اثر تیمار خشکی و محلول‌پاشی براسینواستروئید بر درصد نشت الکترولیت‌ها اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت. با افزایش سطح تنش از ۷۵ درصد به ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، درصد نشت الکترولیت‌ها بالا رفت. بالاترین نشت (۷۵/٦ درصد) در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و بدون محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۲). کاربرد براسینواستروئید به ویژه در غلظت ۱۰ میلی‌مولار سبب کاهش درصد نشت یون‌ها گردید. مشابه این نتایج در خردل (Li *et al.*, 2012) و گوجه‌فرنگی (Behnamnia *et al.*, 2015) گزارش شده است. براسینواستروئیدها با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی، سبب کاهش آسیب و پراکسیداسیون غشاهای پلاسمایی و درصد نشت الکترولیت‌ها می‌شوند (Mazorra *et al.*, 2011).

کلروفیل *a*، *b* و کاروتنوئیدها: نتایج نشان داد برهمکنش سطوح خشکی و محلول‌پاشی براسینواستروئید تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر میزان کلروفیل *a*، *b* و کاروتنوئیدها دارا بودند (جدول ۲). با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل *a*، *b* و کاروتنوئیدها کاهش یافت. استفاده از براسینواستروئید در تمام سطوح خشکی سبب افزایش و تجمع کلروفیل *a*، *b* و کاروتنوئیدها در برگ گلابی وحشی گردید و تا حدودی این کاهش را طی تنش جبران کرد. کاروتنوئیدها رنگدانه‌هایی هستند که از تخریب کلروفیل‌ها در تنش‌های

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.21.3]

جدول ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تیمارهای خشکی و غلظت‌های مختلف براسینواستروئید بر وزن خشک و ارتفاع گلابی وحشی

تیمارهای آبیاری	براسینواستروئید	وزن خشک برگ	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه	ارتفاع گیاه
		(گرم در بوته)			(سانتی‌متر)
	عدم محلول‌پاشی	۸/۳۵^{c}	۱۹/۵۷^{c}	۲۰/۶۰^{c}	۱۳/۴۵^{c}
(شاهد)	3mM	۸/۶۲^{b}	۲۰/۴۳^{b}	۲۲/۳۳^{b}	۱۶/۲۶^{b}
	10mM	۸/۹۲^{a}	۲۲/۴۳^{a}	۳۷/۲۵^{a}	۱۷/۶۱^{a}
	عدم محلول‌پاشی	۷/۲۶^{f}	۱۲/۶۰^{f}	۱۳/۴۳^{f}	۱۰/۶۴^{f}
تیمار ۱	3mM	۷/۸۲^{e}	۱۵/۳۳^{e}	۱۶/۴۷^{e}	۱۱/۵۰^{e}
	10mM	۸/۰۲^{d}	۱۸/۶۰^{d}	۱۹/۳۰^{d}	۱۲/۶۹^{d}
	عدم محلول‌پاشی	۶/۵۳^{i}	۸/۵۹^{i}	۸/۹۱^{i}	۷/۳۵^{i}
تیمار ۲	3mM	۶/۸۸^{h}	۹/۲۳^{h}	۱۰/۱۳^{h}	۸/۲۰^{h}
	10mM	۶/۹۹^{g}	۱۱/۶۳^{g}	۱۲/۵۶^{g}	۸/۴۵^{g}
	عدم محلول‌پاشی	۴/۵۳^{l}	۴/۷۹^{l}	۷/۶۸^{k}	۶/۳۱^{l}
تیمار ۳	3mM	۵/۶۴^{k}	۶/۸۲^{k}	۸/۴۴^{j}	۶/۷۹^{k}
	10mM	۶/۱۲^{j}	۷/۳۳^{j}	۸/۵۰^{j}	۷/۱۳^{j}

حروف مشابه در هر ستون و گروه تیماری نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن است. شاهد: ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی؛ تیمار ۱: ۷۵ درصد ظرفیت زراعی؛ تیمار ۲: ۵۰ درصد ظرفیت زراعی؛ ۲۵ درصد ظرفیت زراعی

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تیمارهای خشکی و غلظت‌های مختلف براسینواستروئید بر محتوای آب نسبی، نشت الکترولیت، کلروفیل *a*، *b* و کاروتنوئید نهال‌های گلابی وحشی

تیمارهای آبیاری	براسینواستروئید	محتوای نسبی رطوبت (درصد)	نشت الکترولیت (درصد)	کلروفیل *a*	کلروفیل *b*	کاروتنوئید
				(میلی‌گرم در گرم برگ تازه)		
	عدم محلول‌پاشی	۹۰/۵۷^{c}	۳۸/۷۳^{j}	۰/۷۰^{c}	۰/۶۲^{c}	۱/۷۰^{c}
شاهد	3mM	۹۲/۰۶^{b}	۳۲/۳۳^{k}	۰/۷۵^{b}	۰/۶۵^{b}	۱/۷۶^{b}
	10mM	۹۵/۰۰^{a}	۲۷/۶۳^{l}	۰/۸۲^{a}	۰/۶۸^{a}	۱/۸۱^{a}
	عدم محلول‌پاشی	۸۱/۵۷^{f}	۵۲/۸۰^{g}	۰/۵۲^{f}	۰/۵۲^{f}	۱/۵۴^{f}
تیمار ۱	3mM	۸۵/۵۰^{e}	۴۸/۷۷^{h}	۰/۵۶^{e}	۰/۵۵^{e}	۱/۵۹^{e}
	10mM	۸۷/۳۳^{d}	۴۵/۳۰^{i}	۰/۶۶^{d}	۰/۵۹^{d}	۱/۶۴^{d}
	عدم محلول‌پاشی	۷۲/۲۳^{i}	۶۵/۴۰^{d}	۰/۳۸^{i}	۰/۳۲^{i}	۱/۴۲^{h}
تیمار ۲	3mM	۷۶/۲۳^{h}	۶۲/۱۳^{e}	۰/۴۱^{h}	۰/۳۹^{h}	۱/۴۷^{g}
	10mM	۷۸/۵۰^{g}	۵۹/۶۳^{f}	۰/۴۶^{g}	۰/۴۲^{g}	۱/۵۵^{f}
	عدم محلول‌پاشی	۶۱/۸۰^{l}	۷۵/۶۰^{a}	۰/۲۹^{l}	۰/۲۳^{l}	۱/۲۴^{j}
تیمار ۳	3mM	۶۴/۲۰^{k}	۷۱/۴۳^{b}	۰/۳۲^{k}	۰/۲۵^{k}	۱/۳۷i
	10mM	۶۶/۸۶^{j}	۶۸/۲۶^{c}	۰/۳۵^{j}	۰/۲۸^{j}	۱/۴۷^{g}

حروف مشابه در هر ستون و گروه تیماری نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن است. شاهد: ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی؛ تیمار ۱: ۷۵ درصد ظرفیت زراعی؛ تیمار ۲: ۵۰ درصد ظرفیت زراعی؛ ۲۵ درصد ظرفیت زراعی

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.21.3]

اکسیداتیو جلوگیری می‌کنند. براسینواستروئیدها سبب افزایش میزان کاروتنوئیدها و به دنبال آن جلوگیری از تخریب کلروفیل‌ها در خردل (Fariduddin *et al*., 2009) و نخود (Ali *et al*., 2007) شده‌اند.

پرولین: برهمکنش اثر سطوح تنش و براسینواستروئید بر میزان پرولین برگ در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. با اعمال تنش شدید میزان پرولین افزایش و محلول‌پاشی براسینواستروئید سبب افزایش پرولین توسط گیاه شد. بیشترین میزان پرولین (۰/۰۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی غلظت ۱۰ میلی‌مولار براسینواستروئید مشاهده شد (شکل ۱). تنش خشکی از طریق افزایش بیان آنزیم‌های سنتز کننده پرولین و کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب پرولین باعث افزایش میزان این اسید آمینه در گیاه می‌شود (Verslues and Sharma, 2010). کاربرد بیرونی براسینواستروئید در ذرت مقاومت به خشکی را با افزایش پرولین و محتوای آب نسبی برگ افزایش داد (Anjum *et al*., 2011).

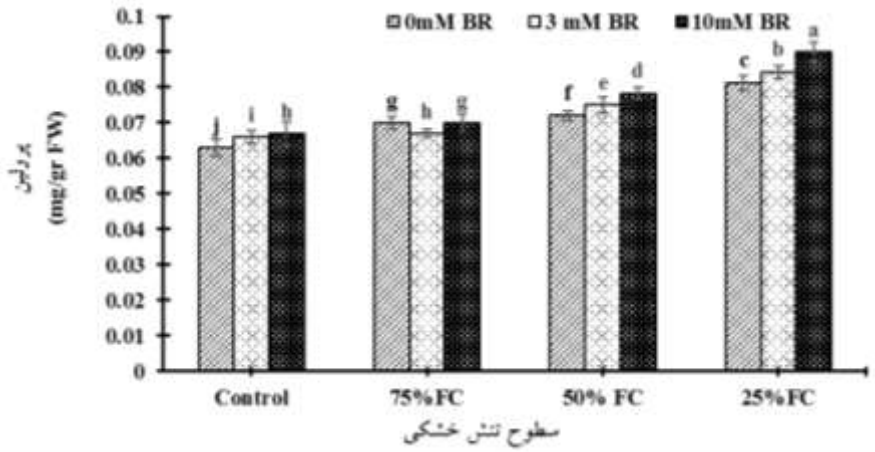
قندهای محلول: برهمکنش تنش خشکی و محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف براسینواستروئید اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر تجمع قندهای محلول موجود در برگ گلابی وحشی دارد. تجمع قندهای محلول با افزایش شدت تنش خشکی افزایش یافت (شکل ۲). در تیمار تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و بالاترین غلظت براسینواستروئید کاربردی (۱۰ میلی‌مولار) بالاترین میزان تجمع قندهای محلول (۵۱/۲٤ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به دست آمد. بعد از آن تیمار ۳ میلی‌مولار براسینواستروئید در همین سطح تنش بالاترین تجمع قندهای محلول را داشت که با تنش متوسط (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و تیمار ۱۰ میلی‌مولار براسینواستروئید اختلاف معنی‌داری نداشت. کاربرد براسینواستروئید با افزایش میزان اسمولیت‌هایی مانند پرولین و قندهای محلول سبب افزایش ویژگی اسمزی برگ و افزایش مقاومت به خشکی می‌گردد. این موضوع در دانهال‌های پرورش یافته در شرایط تنش خشکی در اقاقیای سیاه (*Robinia pseudoacacia*) گزارش شده است (Li *et al*., 2008). همچنین محتوای قندهای محلول برگ دانهال‌های گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی، با تیمار براسینواستروئید افزایش یافت (Behnamnia *et al*., 2015).

مالون دآلدئید: برهمکنش سطوح تنش کمبود آب و براسینواستروئید در سطح احتمال پنج درصد بر میزان مالون دآلدئید برگ معنی‌دار شد. بالاترین میزان مالون دآلدئید (۰/۳۲۳ میلی‌مول بر گرم وزن تر) در تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بدون محلول‌پاشی براسینواستروئید به دست آمد. تنش ظرفیت زراعی در تمام غلظت‌های براسینواستروئید از نظر میزان مالون دآلدئید اختلاف معنی‌داری نداشتند. در زمان تنش خشکی به ویژه در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، کم شدن غلظت مالون دآلدئید و در نتیجه کاهش پراکسیداسیون غشا در تیمارهای براسینواستروئید کاملاً قابل مشاهده است (شکل ۳). محلول‌پاشی براسینواستروئید غلظت مالون دآلدئید برگ را در سویا (Zhang *et al*., 2008) و گوجه‌فرنگی (Yuan *et al*., 2010) کاهش داد. به نظر می‌رسد براسینواستروئیدها به عنوان پیغام‌بر ثانویه، القای سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدان‌ها و از بین‌بردن گونه‌های فعال اکسیژن و جلوگیری از پراکسیداسیون غشاهای پلاسمایی در زمان تنش را به عهده دارند (Mazorra *et al*., 2011).

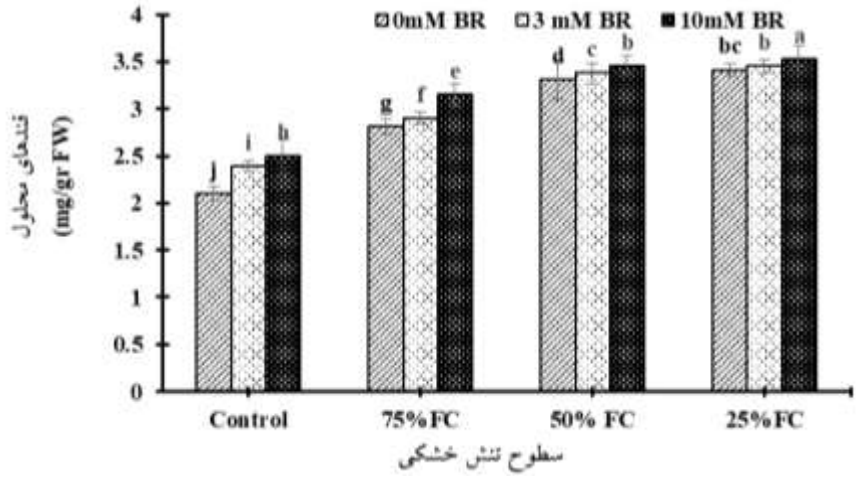
پراکسید هیدروژن: برهمکنش اثر سطوح تنش خشکی و براسینواستروئید بر میزان پراکسید هیدروژن برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. بیشترین (۳/۵۳ میلی‌مول بر گرم وزن تر) و کمترین (۲/۱ میلی‌مول بر گرم وزن تر) میزان پراکسید هیدروژن به ترتیب در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی ۱۰ میلی‌مولار براسینواستروئید و تیمار شاهد بدون محلول‌پاشی مشاهده گردید (شکل ٤). در واقع براسینواستروئید در زمان تنش خشکی تجمع پراکسید هیدروژن را افزایش داده است. تیمار تنش خشکی شدید با محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار براسینواستروئید با تیمار تنش خشکی متوسط با محلول‌پاشی ۱۰ میلی‌مولار براسینواستروئید بدون اختلاف معنی‌دار بود. فرآیند عمل براسینواستروئیدها در افزایش تحمل به تنش هنوز به طور کامل شناخته نشده است. مطالعات نشان داده‌اند که براسینواستروئیدها با افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن مانند پراکسید هیدروژن، کمک به فعال

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

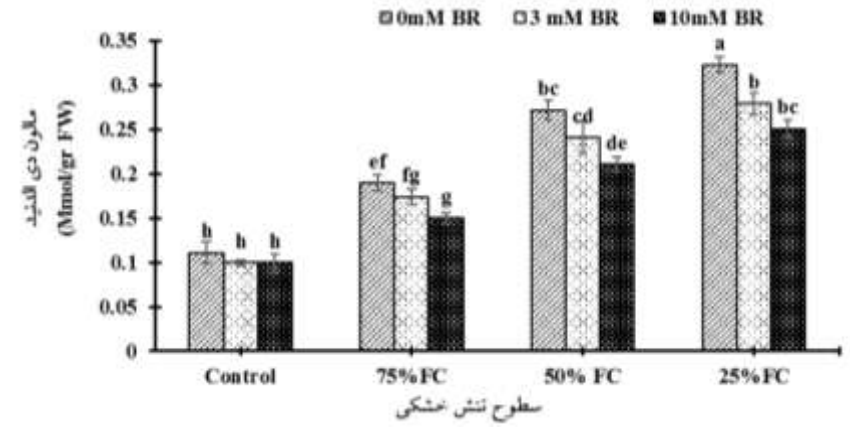
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.21.3]



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای خشکی در سطوح براسینواستروئید در میزان پرولین برگ نهال گلابی وحشی، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای خشکی در سطوح براسینواستروئید در میزان قندهای محلول برگ نهال گلابی وحشی، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

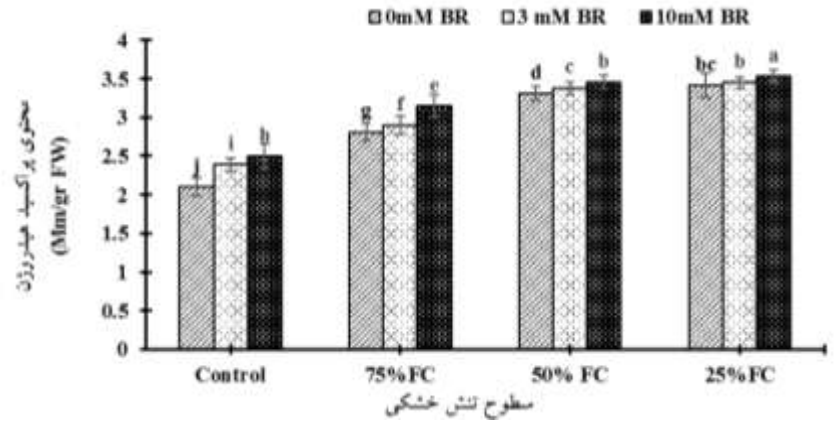


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای خشکی در سطوح براسینواستروئید در میزان مالون دی‌آلدئید برگ نهال گلابی وحشی، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

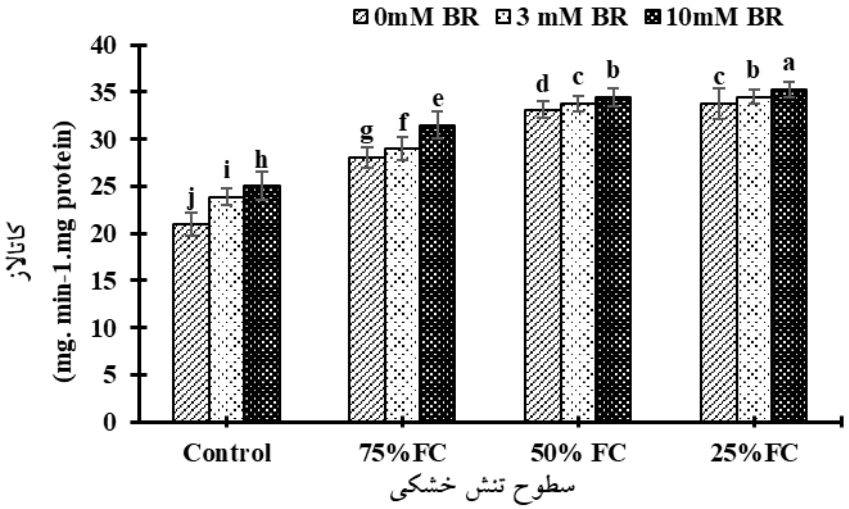
کردن ژن‌های مسیرهای مقابله با تنش می‌کنند و از این طریق سبب افزایش تحمل به تنش می‌شوند (Zhou *et al.*, 2014).

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.21.3]



شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای خشکی در سطوح براسینواستروئید در میزان پراکسید هیدروژن برگ نهال گلابی وحشی، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.



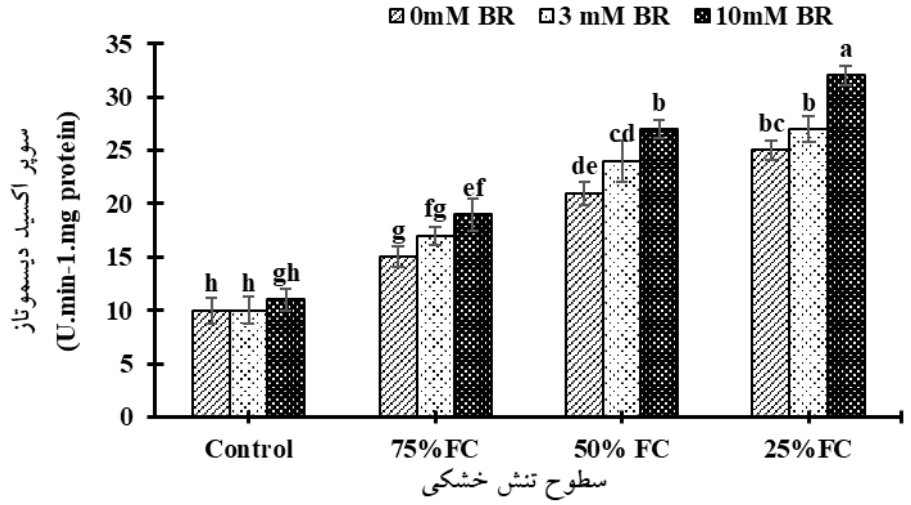
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای خشکی در سطوح براسینواستروئید در میزان فعالیت آنزیم کاتالاز برگ نهال گلابی وحشی، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

همچنین براسینواستروئیدها، آبسیزیک اسید را افزایش می‌دهند که این هورمون نیز کمک به تجمع آپوپلاستی پراکسید هیدروژن می‌کند (Xia *et al.*, 2009).

کاتالاز: با توجه به نتایج مقایسه میانگین در شکل ۵، برهمکنش سطوح مختلف تنش خشکی و غلظت‌های مختلف براسینواستروئید در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. با افزایش شدت تنش فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافت. بیشترین فعالیت این آنزیم (۳۵/۳ میلی‌گرم در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) در تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی با محلول‌پاشی ۱۰ میلی‌مولار براسینواستروئید بود. گیاهان در طی تنش برای فرونشاندن سمیت حاصل از تولید گونه‌های فعال اکسیژن، تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش می‌دهند و سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز از جمله مهم‌ترین این آنزیم‌ها هستند (Hayat *et al.*, 2010). گزارش‌های متعددی وجود دارد که نشان‌دهنده اینست که کاربرد براسینواستروئیدها میزان آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز را در گیاهان تحت تنش افزایش داده‌اند (Fariduddin *et al.*, 2009; Yuan *et al.*, 2010).

سوپراکسید دیسموتاز: با توجه به نتایج مقایسه میانگین در شکل ٦، برهمکنش سطوح مختلف تنش خشکی و غلظت‌های مختلف تیمار براسینواستروئید در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. بالاترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.21.3]



شکل ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای خشکی در سطوح براسینواستروئید در میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز برگ نهال گلابی وحشی، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

دیسموتاز (۳۲ میکروگرم در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) در سطح ۲۵ درصد و در تیمار محلول‌پاشی ۱۰ میلی‌مولار مشاهده شد. در گوجه‌فرنگی کاربرد براسینواستروئید طی تنش خشکی سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز گردید (Yuan *et al*., 2010) و محتوای کل پروتئین‌ها و آنزیم‌هایی که در افزایش تحمل به خشکی نقش دارند را افزایش داد (Behnamnia *et al*., 2015). به نظر می‌رسد براسینواستروئیدها در افزایش تحمل به خشکی گلابی وحشی از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی نقش مهمی دارند.

نتیجه‌گیری

با افزایش میزان تنش خشکی وزن خشک اندام‌های نهال، ارتفاع، محتوای رطوبت، کلروفیل و کاروتنوئید گیاه به صورت معنی‌داری کاهش پیدا کرد. در زمان تنش خشکی شدید، تیمار با غلظت بالای براسینواستروئید، صفات مهمی که در افزایش تحمل به کم آبی نقش دارند، مانند محتوای آب نسبی، قندهای محلول و پرولین را به طور مثبتی تحت تأثیر قرار داد و در کل این نهال‌ها وضعیت مساعدتری داشتند. به نظر می‌رسد براسینواستروئید از راه‌های افزایش وزن خشک اندام‌ها، ارتفاع، محتوای آب نسبی، رنگدانه‌هایی مانند کلروفیل و کاروتنوئید و تجمع قندهای محلول، پرولین و پراکسید هیدروژن و کاهش نشت یون‌ها و پراکسیداسیون غشا و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی از جمله کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز، به گیاه در زمان تنش خشکی و کمبود آب کمک می‌کند و می‌تواند به عنوان یک تنظیم کننده رشد برای افزایش تحمل به خشکی در گلابی وحشی در نظر گرفته شود.

منابع

زرافشار، م.، اکبرینیا، م، عسکری، ح. حسینی، س.م. و رهایی، م. (۱۳۹٤) اثر محلول‌پاشی نانوذرات دیاکسید تیتانیوم بر تعدیل اثرات مخرب خشکی در گیاه گلابی وحشی (*Pyrus biosseriana* buhse.). حفاظت زیست بوم گیاهان ۳: ۹٤-۸۱.

هاشمی‌دزفولی، ا. و کوچکی، ع. (۱۳۷٤) افزایش عملکرد گیاهان زراعی. جهاد دانشگاهی دانشگاه مشهد. ۳٦۰ صفحه.

Aebi, H. (1984) Catalase *in Vitro*. Method Enzyme 105: 121-126.

Ali, B., Hayat, S. and Ahmad, A. (2007) 28-Homobrassinolide ameliorates the saline stress in chickpea (*Cicer arietinum* L). Environmental and Experimental Botany 59: 217–223.

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.21.3]

Anjum, S. A., Wang, L. C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L. L. and Zou, C. M. (2011) Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. Journal of Agronomy and Crop Science 197: 177–185.

Bates, L. S., Waldern, R. P. and Teare, M. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Beauchamp, C. and Fridovich, I. (1971) Superoxide dismutse: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry 44: 276-287.

Behnamnia, M. (2015) Protective roles of brassinolide on tomato seedlings under drought stress. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 8: 455- 462.

Choudhary, S. P., Yu, J. Q., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. and Lam-Son, P. T. (2012) Benefits of brassinosteroid crosstalk. Trends Plant Science 17: 594-605.

Couteau, C. and Coiffard, L. J. (2000) Photostability determination of arbutin, a vegetable whitening agent. Farmaco 55:410-3.

Fariduddin, Q., Khanam, S., Hasan, S. A., Ali, B., Hayat, S. and Ahmad, A. (2009) Effect of 28-homobrassinolide on drought stress induced changes in photosynthesis and antioxidant system of *Brassica juncea* L. Acta Physiology Plant 31: 889-897.

Fariduddin, Q., Yusuf, M., Chalkoo, S., Hayat, S. and Ahmad, A. (2011) 28-homobrassinolide improves growth and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. through an enhanced antioxidant system in the presence of chilling stress. Photosynthetica 49: 55-64.

Farooq, M.,Wahid, A., Basra, S. M. A. and Din, I. U. (2009) Improving water relations and gas exchange with brassinosteroids in rice under drought stress. Journal of Agronomy and Crop Science 195: 262–269.

Hayat, S., Hasan, S. A., Yusuf, M., Hayat, Q. and Ahmad, A. (2010) Effect of 28-homobrassinolide on photosynthesis, fluorescence and antioxidant system in the presence or absence of salinity and temperature in *Vigna radiata*. Environmental and experimental Botany 69: 105- 112.

Heath, R. L. and Packer, L. (1969) Photoperoxidation in isolated chloroplast I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archive of Biochemistry and Biophysics 125:189–198.

Kagale, S., Divi, U. K., Krochko, J. E., Keller, W. A. and Krishna, P. (2007) Brassinosteroid confers tolerance in *Arabidopsis thaliana* and *Brassica napus* to a range of abiotic stresses. Planta 225: 53–364.

Kusvuran, S. (2012) Influence of drought stress on growth, ion accumulation and antioxidative enzymes in okra genotypes. International Journal of Agriculture and Biology 14: 401–406.

Li, K. R., Wang, H. H., Han, G., Wang, Q. J. and Fan, J. (2008) Effects of brassinolide on the survival, growth and drought resistance of *Robinia pseudoacacia* seedlings under water-stress. New Forests 35: 255–266.

Li, Y. H., Liu,Y. J., Xu, X. L., Jin, M., An, L. Z. and Zhang, H.(2012).Effect of 24 epibrassinolide on drought stress-induced changes in *Chorispora bungeana*. Biology Plant 56: 192–196.

Lutts, S., Kinet, J. M. and Bouharmont, J. (1996) NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Journal of Annual Botany 78: 389-398.

Mazorra, L. M., Holton, N., Bishop, G. J. and Nunez, M. (2011) Response in tomato brassinosteroid mutants indicates that thermotolerance is independent of brassinosteroid homeostasis. Plant Physiology Biochemistry 49: 1420–1428.

Paquin, R. and Lechasseur, P. (1979) Observations sur une methode de dosage de la praline libre dansles extraits de plants. Canadian Journal of Botany 57: 1851-1854.

Porra, R. J. (2002) The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosynthesis Research 73: 149-156.

Sahni, S., Prasad, B. D., Liu, Q., Grbic, V., Sharpe, A., Singh S. P. and Krishna, P. (2016) Overexpression of the brassinosteroid biosynthetic gene *DWF4* in *Brassica napus* simultaneously increases seed yield and stress tolerance. Scientific Reports 6:1-4.

Sergiev, I., Alexieva, V., Karanov, E. and Mapelli, S. (2001) The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. Plant, Cell and Environment 24:1337-1344.

Turner, N. C. (1981) Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water stress. Plant and Soil 58: 339-366.

Verslues P. E. and Sharma S. (2010) Proline metabolism and its implications for plant-environment interaction. Arabidopsis Book 8: 140.

Xia, X. J., Wang, Y. J., Zhou, Y. H., Tao, Y., Mao, W. H., Shi, K., Asami, T., Chen, Z. X. and Yu, J. Q. (2009) Reactive oxygen species are involved in brassinosteroid-induced stress tolerance in cucumber. Plant Physiology 150: 801–814.

Yuan, G. F., Jia, C. G., Li, Z., Sun, B., Zhang, L. P., Liu, N. and Wang, G. M. (2010) Effect of brassinosteroids on drought resistance and abscisic acid concentration in tomato under water stress. Scientia Horticulturae 126: 103–108.

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.21.3]

Zarafshar, M. Akbarinia, M. Askari, H. Hosseini, S. M., Rahaie, M. Struve, D. and Striker, G. G. (2014) Morphological, physiological and biochemical responses to soil water deficit in seedlings of three populations of wild pear tree (*Pyrus boisseriana*). Biotechnology, Agronomy, Society and Environment 18: 353-366.

Zhang, M. C., Zhai, Z. X., Tian, X. L., Duan, L. S., and Li, Z. H. (2008). Brassinolide alleviated the adverse effect of water deficits on photosynthesis and the antioxidant of soybean (*Glycine max* L.). Plant Growth Regulars 56: 257–264.

Zhou, J., Wang, j. Li, X., Xia, X. J., Zhou, Y. H., Shi, K. Chen, Z. and Yu, J. Q. (2014) H_2O_2 mediates the crosstalk of brassinosteroid and abscisic acid in tomato responses to heat and oxidative stresses. Journal of Exprimental Botany 65: 4371–4383.

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

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.21.3]