فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۲، شماره ۵۷، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۲ صفحه: ۱۸۱-۱۹۵
https://doi.org/10.22034/12.57.181

مقاله پژوهشی

ارزیابی شاخص‌های بیوشیمیایی تحمل به تنش خشکی در پایه‌ها و ارقام آلو و گوجه (*Prunus* spp.)

حمید طهماسب‌پور[۱]، بهزاد کاویانی*[۱]، محی‌الدین پیرخضری[۲] و داود هاشم‌آبادی[۱]
[۱] گروه باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
[۲] پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات ترویج و آموزش کشاورزی، تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸)

چکیده
خشکی مهم‌ترین تهدید تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان است و تغییرات اقلیمی این تهدید را تشدید می‌کنند. معرفی ارقام و پایه‌های متحمل به خشکی یک راهکار اصولی است. به منظور بررسی تحمل به خشکی برخی پایه‌ها و ارقام تجاری آلو و گوجه، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در مؤسسه تحقیقات باغبانی، کمال‌شهر، کرج، ایران در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام شد. فاکتور اول شامل پایه‌های رویشی میروبالان C_{29}، پنتا، تترا، سنت جولین، ماریانا ۲۶۲۴، GF_{677} و GN_{15} به همراه پایه بذری گوجه به عنوان شاهد، و فاکتور دوم ارقام آلو ژاپنی (سیمکا و NO_{16}) و آلو اروپایی (زوچلو) و گوجه سبز و فاکتور سوم تنش خشکی (با اعمال قطع آبیاری به مدت ۱۴ روز) و شاهد (بدون قطع آبیاری) بود. شاخص‌های بیوشیمیایی مورد بررسی شامل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنول اکسیداز، محتوای پرولین، پروتئین محلول، آنتی‌اکسیدان کل، نشت یونی و محتوای نسبی آب از شاخص‌های فیزیولوژیکی بود. نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش خشکی در زوچلو روی پایه GN_{15} نسبت به شاهد افزایش داشته است. بیشترین میزان پرولین در رقم NO_{16} و پایه GF_{677} مشاهده شد. با توجه به نتایج، رقم زوچلو، NO_{16} و پایه GF_{677} و GN_{15} از نظر صفات مورد بررسی به‌عنوان ارقام و پایه‌های متحمل به خشکی معرفی می‌شوند.

کلمات کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، آلو، پایه، پرولین

مقدمه
آلوها (*Prunus* spp.) به‌عنوان متنوع‌ترین گروه از میوه‌های هسته‌دار، مهم‌ترین میوه مناطق معتدله در جهان (به‌خصوص اروپا) و کشور ایران هستند (Potter *et al.*, 2007). آلوها از نظر اقتصادی پس از هلو در درجه دوم اهمیت قرار دارند (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۸). دامنه پراکندگی آلو و گوجه از سایر میوه‌های خزان‌دار وسیع‌تر است (Kumar and Kishan, 2021). بسته به سیستم طبقه‌بندی گیاه‌شناسی دارای ۱۹ تا ۴۰ گونه و بیش از ۶۰۰۰ رقم، که دو گونه آلوهای اروپایی و ژاپنی تجاری و مابقی ارزش محلی و یا به‌عنوان پایه قابل استفاده هستند (Blazek, 2007). میزان تولید جهانی آلو و گوجه در سال ۲۰۲۱ میلادی، ۱۲/۵ میلیون تن در سطح ۲/۶۵ میلیون هکتار بود. ایران با تولید ۳۷۵ هزار تن و سطح زیرکشت ۱۹ هزار هکتار در رده پنجم جهان قرار دارد (FAO-STAT, 2022).

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: kaviani@iaurasht.ac.ir; b.kaviani@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

گونه آلو مهم‌ترین محصول نواحی معتدله است (Martinez-Garcia *et al*., 2020). در این نواحی، تنش خشکی قابل پیش‌بینی است.

آسیب خشکی و غرقابی، فراوان‌ترین آسیب در سراسر چرخه زندگی درختان هستند که مقاومت و پراکنش گیاهان را تحت تأثیر قرار داده‌اند (Bhusal *et al*., 2020; Lee *et al*., 2022). خسارات ناشی از تنش خشکی و تأثیرات آن بر تولید غذا و محصول‌دهی گیاهان در بخش کشاورزی و باغی چشمگیر و توجه محققین علوم کشاورزی را به خود جلب نموده است. شناسایی ژنوتیپ‌های گیاهی مقاوم به تنش خشکی و نیز شناسایی دقیق مکانیسم‌های عملکرد گیاه تحت تنش خشکی ضروری است (رضوی، ۱۳۹۶). میزان صدمات ناشی از تنش خشکی در گیاه به فرآیندهای بیولوژیکی، مولکولی و توانایی سازش‌پذیری گیاه به خشکی بستگی دارد (جوادی و جعفری، ۱۳۹۵). مکانیزم‌های لازم برای بقاء درختان میوه در شرایط تنش خشکی شامل تحمل و اجتناب است. اغلب گیاهان از طریق بستن روزنه‌ها و کاهش نسبت دی‌اکسید کربن به اکسیژن، به تنش خشکی در مرحله آغازین پاسخ می‌دهند. تنش طولانی‌مدت، فتوسنتز، رشد گیاه و تولید را محدود می‌کند و الگوی تجمع زیست‌توده (بایوماس) را تغییر می‌دهد (Zhang *et al*., 2010). زیست‌توده یک شاخص کلیدی است که روی رشد گیاه و تجمع و توزیع ماده خشک در شرایط تنش خشکی و کم‌آبی تأثیر می‌گذارد (Wu *et al*., 2010). تنش خشکی باعث تغییرات بیوشیمیایی در درون سلول‌ها می‌شود. ترکیبات سازگارکننده و برخی پروتئین‌های ویژه به سرعت در درون سلول جمع می‌شوند. این ترکیبات ساختار ماکرومولکول‌های مهم را حفظ کرده و این مواد پتانسیل داخل سلول را پایین آورده تا جذب آب تسهیل شده و غلظت نمک داخل سلولی به حالت اولیه خود برگردد (Petridis *et al*., 2012). تنش خشکی طولانی‌مدت می‌تواند باعث تغییر در ساختار ژنتیکی گیاهان شود (Bhusal *et al*., 2020). پایه متحمل و سازگار به تنش خشکی از لحاظ جذب عناصر غذایی بهتر عمل می‌کند. پرولین پایدارترین اسیدآمینه بوده که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش به‌سزایی دارد. دلیل تجمع پرولین در شرایط تنش خشکی افزایش سنتز این اسیدآمینه در اثر کاهش اکسیداسیون گلوتامات و نیز کاهش مصرف آن برای سنتز پروتئین‌ها به خاطر توقف رشد گیاه است (Larher *et al*., 2009). گیاهان برای کاهش آسیب ناشی از تنش اکسیداتیو بر سلول‌ها به انواع مکانیسم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدان آنزیمی و غیرآنزیمی مجهزاند (Liu *et al*., 2011). تنش خشکی همانند سایر تنش‌های غیرزنده از طریق افزایش تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن منجر به ایجاد تنش ثانویه اکسیداتیو که این تجمع منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، تخریب غشاء و دستگاه فتوسنتزی و در نهایت تجزیه کلروفیل می‌شود (Noctor *et al*., 2014). در آزمایشی نشان داده شد که برخی فعالیت‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی همچنین وضعیت آبی طی تنش خشکی در دانه‌رست‌های *Prunus mongolica* تغییر یافتند (Guo *et al*., 2015). نتایج مشابه روی چند پایه و گونه وحشی *Prunus*، همچنین روی *Prunus sargentii* و *Prunus yedoensis* نیز گزارش شده است (Martinez-Garcia *et al*., 2020; Bhusal *et al*., 2020; Lee *et al*., 2022). بررسی مقایسه‌ای پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی در ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به خشکی در مطالعات متعدد، نشان‌دهنده ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر ژنوتیپ‌های متحمل بوده است. در میان دو پایه سیب مقاوم و حساس در برابر خشکی، پایه حساس آسیب‌پذیرتر بود و فعالیت پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز به میزان بیشتری در رقم مقاوم در پاسخ به تنش افزایش یافت (Wang *et al*., 2012). شناسایی مکانیزم‌های تکوینی تحمل به خشکی در درختان میوه، نقش مؤثری در تحقیقات به‌نژادی دارند (اکبری و حاج‌نجاری، ۱۴۰۱). در مطالعه روی مکانیزم‌های دفاعی مورفولوژیکی، رشدی و بیوشیمیایی تحمل به خشکی ۹۳ رقم و نژادگان سیب، مشخص شد که این مکانیزم‌ها در این ارقام و نژادگان متفاوت است (اکبری و حاج‌نجاری، ۱۴۰۱). برخی مطالعات دیگر نیز تغییرات در شاخص‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و ژنتیکی را در گونه‌های خانواده رزاسه قرار گرفته در شرایط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

تنش خشکی گزارش کرده‌اند (آتشکار و همکاران، ۱۳۹۷؛ Bassett *et al*., 2013; Wang *et al*., 2018; Galindo *et al*., 2018). در شرایط تنش خشکی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گونه‌ها و ارقام مختلف متفاوت است، به‌طوریکه معمولاً این فعالیت در ارقام مقاوم‌تر بیشتر از ارقام دیگر است (Ebtedaie and Shekafandeh, 2017). به نظر می‌رسد که فراوانی و شدت خشکی به واسطه تغییر اقلیم افزایش می‌یابد (Bhusal *et al*., 2020)، در نتیجه، تحمل به خشکی گونه‌های درختی قبل از کشت به منظور بقای بیشینه در مزرعه باید ارزیابی شود. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر، مقایسه تحمل به تنش خشکی چند رقم تجاری پایه آلو و گوجه و تعیین متحمل‌ترین آنها از روی الگوی تجمع پرولین، پروتئین، آنتی‌اکسیدان کل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش روی درختان چهار ساله در حال رشد در ایستگاه تحقیقاتی باغبانی کمال‌شهر-کرج مؤسسه تحقیقاتی علوم باغبانی کشور در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام شد. این درختان از پایه‌های کشت بافتی تکثیرشده تهیه شدند، سال ۹۴ پیوندها بین آنها انجام گرفتند و رشد داده شدند. و اسفند ۹۶ به زمین اصلی منتقل شد که حدوداً ۷۰ تا ۸۰ سانتی‌متر بودند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه فاکتور تنش خشکی، پایه‌های رویشی (میروبالان C_{29}، پنتا، تترا، سنت‌جولین، ۲۶۲۴ماریانا، GF_{677} و GN_{15}) به همراه پایه بذری گوجه به عنوان شاهد و فاکتور سوم ارقام آلو ژاپنی (سیمکا و NO_{16})، آلو اروپایی (زوچلو) و گوجه‌سبز انجام شد. تنش خشکی (با اعمال قطع آبیاری به مدت ۱۴ روز و شاهد بدون قطع آبیاری بود.

شاخص‌های بیوشیمیایی: به منظور سنجش صفات بیوشیمیایی، برگ‌های تازه و کاملاً توسعه‌یافته گیاه جمع‌آوری و بلافاصله در ازت مایع منجمد و تا زمان استفاده، در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. غلظت پرولین آزاد برگ با استفاده از ناین‌هیدرین (Bates *et al*., 1973) و برحسب میکرومول در گرم وزن تر برگ محاسبه گردید.

برای سنجش غلظت پروتئین کل برگ از روش برادفورد (Bradford, 1976) استفاده شد. برای تعیین غلظت پروتئین، یک میلی‌لیتر از محلول برادفورد و ۵۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی به آن اضافه کرده و جذب در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. منحنی استاندارد پروتئین با استفاده از سرم آلبومین گاوی (BSA) تهیه و استفاده شد. فعالیت آنزیم کاتالاز طبق روش اسپکتروفتومتری ارائه‌شده توسط Aebi (۱۹۸۴) و براساس میزان ناپدید شدن آب اکسیژنه (H_2O_2) در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم پراکسیداز توسط روش Ponce و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Cary 100، تولید شرکت Merck آلمان، در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر ارزیابی شد. سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز با روش Pizzocaro و همکاران (۱۹۹۳) و بر اساس اکسیداسیون کاتکول انجام شد. تغییرات جذب در طول‌موج ۴۲۰ نانومتر به مدت ۳ دقیقه یاداشت گردید. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز براساس فرمول زیر صورت گرفت.

فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز = $25 \times 1000/0.001 \times \Delta A$

با توجه به این فرمول، یک واحد فعالیت آنزیمی عبارت است از: میزان تغیرات پلی‌فنل اکسیداز به مقدار ۰/۰۰۰۱ در دقیقه در یک میلی‌لیتر از عصاره آنزیمی. جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۱۷ nm در مقابل محلول بلانک (متانول) خوانده شد و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با فرمول زیر اندازه‌گیری شد (شجاع و همکاران، ۱۳۹۰).

$$DPPH\% = (Acont - Asamp)/Acont \times 100$$

که در آن؛ Acont DPPH میزان جذب DPPH و Asamp میزان جذب نمونه است.

تجزیه و تحلیل‌های آماری توسط نرم‌افزار Minitab 17، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی پایه‌ها و ارقام آلو و گوجه در شرایط تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	کاتالاز	پراکسیداز	پلی‌فنل اکسیداز	پروتئین محلول	آنتی‌اکسیدان کل	پرولین	محتوی نسبی آب برگ	نشت یونی
رقم	۳	۰/۰۲۰**	۰/۰۰۰۴۳**	۳۹۵۹۱۹۶**	۴/۵۸**	۹۱/۹۷**	۴/۵۴**	۲۹۱/۲۴**	۲۱۴۷/۳۹**
پایه	۷	۰/۰۰۸**	۰/۰۰۰۶۱**	۱۱۷۰۱۶۶**	۱/۲۶**	۹/۳۷**	۱/۸۸**	۱۵۷/۱۲^{ns}	۲۳۵/۱۲*
تنش	۱	۰/۰۳۶**	۰/۰۰۰۱۸**	۳۶۷۷۱۷۷**	۲/۱۸**	۳۹/۷۵**	۴۸/۳۵**	۸/۳۸^{ns}	۰/۰۶^{ns}
متقابل رقم و تنش	۳	۰/۰۰۳۰**	۰/۰۰۰۱۲**	۱۷۵۶۵۹۵*	۱/۲۸**	۱۱/۲۹**	۰/۳۴۴۳**	۱۱۲/۵۳^{ns}	۶۰۷/۱۹**
متقابل پایه و تنش	۷	۰/۰۰۰۹**	۰/۰۰۰۰۱۹**	۴۵۰۸۵۸۶**	۱/۹۲**	۲/۰۲**	۰/۹۵۵۶**	۴۲/۵۴^{ns}	۲۹۴/۵۷*
متقابل پایه و رقم	۲۱	۰/۰۰۳۸**	۰/۰۰۰۲۴**	۸۶۶۸۰۳۲**	۰/۵۵**	۱۰/۱۰**	۰/۰۰۹۹**	۲۴۲/۰۳**	۲۲۸/۶۹**
متقابل پایه و رقم و تنش	۲۱	۰/۰۰۰۹**	۰/۰۰۰۰۷**	۲۹۷۸۳۷۳**	۰/۹۴**	۸/۰۲**	۰/۸۲۹۷**	۱۶۶/۹۹*	۱۱۹/۰۴^{ns}
خطا	۱۲۸	۰/۰۰۰۲۰	۰/۰۰۰۰۰۲	۶۰۳	۰/۰۰۰۹	۰/۰۵	۰/۰۰۱۷	۸۵/۶۲	۱۱۰/۶۷
ضریب تغییرات	-	۱۴/۲	۴/۵	۲/۱	۴/۱	۴/۲	۵/۲	۳/۵	۴/۱

*، ** و ^{ns} به ترتیب وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل تیمارها بر همه شاخص‌های بیوشیمیایی به‌جز پلی‌فنل اکسیداز و اثر متقابل رقم در تنش (در سطح پنج درصد) در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

پرولین آزاد برگ: مقایسه میانگین اثر تیمارها روی پرولین آزاد برگ نشان داد که همسو با تنش خشکی و تفاوت ارقام و پایه‌ها، میزان این ماده نیز افزایش یافت، به نحوی که بین هر سه فاکتور، تفاوت‌های معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲). میزان پرولین در شرایط تنش ۲/۱۱ و آبیاری ۱/۱۰ میکرومول در یک گرم وزن تر برگ بود. بین ارقام بیشترین میزان پرولین در شرایط تنش به ترتیب در ارقام NO_{16} و گوجه‌سبز با ۱/۹۰ میکرومول در یک گرم وزن تر و کمترین میزان در رقم زوچلو با ۱/۳۳ میکرومول در یک گرم وزن تر مشاهده شد. بین پایه‌ها بیشترین مقدار پرولین در شرایط تنش به ترتیب مربوط به پایه GN و GF_{677} با ۲/۱۴ و ۱/ ۸۲ میکرومول در یک گرم وزن تر برگ بود. از طرف دیگر، کمترین میزان پرولین در پایه ماریانا با ۱/۲۷ میکرومول مول در یک گرم وزن تر بود که نشان می‌دهد دو پایه GN و GF_{677} متحمل به شرایط خشکی هستند و حتی از پایه گوجه بذری که پایه معمول در کشور است نیز متحمل‌تر هستند. پایه گوجه بذری یک پایه نسبتاً متحمل به خشکی است. در برهم‌کنش سه‌گانه، بیشترین و کمترین میزان پرولین در تیمار تنش GF_{677} و NO_{16} ۴/۳۷ و شاهد، GF و سیمکا ۰/۰۱۷ میکرومول در گرم وزن تر برگ به‌دست آمد (جدول ۲).

با تنش خشکی در بسیاری از درختان میوه، میزان و نوع متابولیت‌های ثانویه تغییر می‌کند. به عنوان مثال، با افزایش سطح تنش خشکی، میزان پرولین سنتز شده در برگ‌ها افزایش می‌یابد که این عمل باعث اصلاح فرایند تثبیت کربن و در نهایت تعدیل فعالیت آنزیم روبیسکو می‌شود. پرولین به‌عنوان منبع انرژی تنفسی در بازیافت و بهبودی گیاه نقش ایفا می‌کند. تجمع پرولین در گیاهان با دو مسیر بیولوژیکی شامل مسیر وابسته به گلوتامات و مسیر وابسته به اورنیتین انجام می‌شود. ظاهراً، مسیر وابسته به گلوتامات در شرایط تنش خشکی مسیر غالب است. تنش خشکی سبب افزایش نسخه‌برداری ژن کدکننده آنزیم‌های مسیر mRNA پرولین کربوکسیلات سنتاز و دلتا پرولین کربوکسیلات ردوکتاز و در نهایت افزایش بیوسنتز پرولین می‌شود. افزایش میزان پرولین در ارقام زیتون تحت تنش خشکی و کاهش آن متعاقب آبیاری گزارش شده است (Arji and Arzani., 2003). همچنین نتایج بررسی حاضر در مورد پرولین در توافق با نتایج مشاهده‌شده در گونه‌ها وارقام بادام است (Zokaee *et al*., 2014; Sorkheh *et al*., 2012; Karimi

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه تنش و پایه‌ها و تنش و ارقام بر صفات بیوشیمیایی آلو و گوجه

فاکتور	پرولین		پروتئین		کاتالاز		پراکسیداز	
	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش
پایه (میانگین)	۱/۵۰^{h}	۱/۸۲^{f}	۰/۷۱^{g}	۰/۴۱^{i}	۰/۰۵^{i}	۰/۰۷^{f}	۰/۰۰۸^{bc}	۰/۰۰۷$^{b-d}$
GF	۱/۱۶^{j}	۲/۴^{b}	۰/۹۹^{d}	۱/۱۴^{c}	۰/۰۶^{gh}	۰/۰۸۹^{d}	۰/۰۱۷^{a}	۰/۰۱۹^{a}
GN	۱/۶۱^{g}	۲/۶^{a}	۰/۷۱^{fg}	۰/۷۶^{f}	۰/۰۶^{hi}	۰/۰۸۷^{de}	۰/۰۰۸^{b}	۰/۰۰۶$^{c-e}$
تترا	۱/۵۰^{h}	۱/۸۲^{f}	۰/۷۱^{g}	۰/۴۱^{i}	۰/۰۵^{i}	۰/۰۷^{f}	۰/۰۰۸^{bc}	۰/۰۰۷$^{b-d}$
پنتا	۰/۶۰^{n}	۲/۱۱^{d}	۰/۸۹^{e}	۰/۹۰^{e}	۰/۰۵^{hi}	۰/۰۶^{fg}	۰/۰۰۳$^{g-i}$	۰/۰۰۳^{gh}
سنت‌جولین	۱/۰۱^{k}	۱/۸۰^{f}	۰/۸۷^{e}	۰/۷۴^{fg}	۰/۰۵^{hi}	۰/۰۸۹^{d}	۰/۰۰۶^{def}	۰/۰۰۷$^{b-d}$
C_{29}	۰/۹۳^{l}	۲/۲۸^{c}	۰/۰۸^{k}	۱/۴۲^{a}	۰/۰۸۹^{d}	۰/۱۴^{b}	۰/۰۰۳^{gh}	۰/۰۰۴$^{f-h}$
ماریانا	۰/۷۷^{m}	۱/۷۷^{f}	۰/۴۳^{i}	۰/۲۲^{j}	۰/۰۸۷^{de}	۰/۱۲^{c}	۰/۰۰۳^{gh}	۰/۰۰۲^{hi}
شاهد بذری	۱/۲۵^{i}	۱/۹۴^{e}	۰/۵۲^{h}	۱/۳۴^{a}	۰/۰۸۱^{e}	۰/۱۱^{fg}	۰/۰۰۱^{i}	۰/۰۰۴$^{e-g}$
رقم (میانگین)	۱/۳۹^{e}	۲/۲۹^{b}	۰/۵۳^{e}	۱/۰۱^{c}	۰/۰۸۰^{d}	۰/۱۱۲^{a}	۰/۰۰۵^{e}	۰/۰۰۵^{de}
زوچلو	۰/۸۲^{h}	۱/۸۴^{c}	۱/۱۲^{b}	۱/۲۲^{a}	۰/۰۹۶^{c}	۰/۱۰۵^{b}	۰/۰۱۰^{b}	۰/۰۰۷۱^{cd}
سیمکا	۰/۹۳^{g}	۱/۷۸^{d}	۰/۵۳^{e}	۰/۳۳^{g}	۰/۰۳۲^{f}	۰/۰۷۸^{d}	۰/۰۰۲^{f}	۰/۰۰۳^{f}
گوجه‌سبز	۱/۳۹^{e}	۲/۲۹^{b}	۰/۵۳^{e}	۱/۰۱^{c}	۰/۰۸۰^{d}	۰/۱۱۲^{a}	۰/۰۰۵^{e}	۰/۰۰۵^{de}
NO_{16}	۱/۲۹^{f}	۲/۵۲^{a}	۰/۴۳^{f}	۰/۹۰^{d}	۰/۰۷۴^{e}	۰/۰۹۸^{c}	۰/۰۰۷^{c}	۰/۰۱۱^{a}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

ادامه جدول ۲-

فاکتور	پلی‌فنل اکسیداز		آنتی‌اکسیدان کل		محتوی نسبی آب برگ		نشت یونی	
	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش
پایه (میانگین)	۱۲۲۰^{g}	۱۸۳۶/۰^{c}	۸۲/۹^{e}	۸۱/۸^{gh}	۵۴/۸۳^{a}	۵۵/۲۵^{a}	۴۸/۱۶^{a}	۴۸/۱۹^{a}
GF	۱۱۸۹۶^{h}	۱۸۴۶/۷^{c}	۸۳/۴^{c}	۸۳/۰۵^{de}	۵۳/۴۷^{a}	۵۲/۸۸^{a}	۴۵/۳۱^{ab}	۴۳/۱۴^{ab}
GN	۲۱۸۸/۸^{g}	۱۲۸۱/۶^{g}	۸۳/۸^{ab}	۸۲/۳۱^{f}	۵۵/۱۹^{a}	۵۳/۱۳۲^{a}	۴۲/۷۹^{ab}	۳۴/۰۲^{ab}
تترا	۱۲۲۰^{g}	۱۸۳۶/۰^{c}	۸۲/۹^{e}	۸۱/۸^{gh}	۵۴/۶۸	۵۴/۳۲^{a}	۳۱/۳۷^{b}	۳۶/۲۹^{ab}
پنتا	۱۸۲۹/^{c}	۱۴۷۷/۵^{e}	۸۳/۳۵^{cd}	۸۲/۳۵^{f}	۵۵/۱۲^{a}	۵۵/۱۶^{a}	۳۴/۹۵^{ab}	۳۷/۶۸^{ab}
سنت‌جولین	۱۸۴۷^{c}	۱۳۰۸^{ab}	۸۳/۶۰^{bc}	۸۲/۳۰^{f}	۵۸/۷۸^{a}	۵۶/۳۴^{a}	۳۸/۵^{ab}	۳۶/۷۶^{ab}
C_{29}	۶۴۱/۰۵^{j}	۲۴۷۹/۱^{a}	۸۳/۰۲^{d}	۸۲/۰۹^{fg}	۵۱/۳^{a}	۵۵/۶^{a}	۴۱/۸۲^{ab}	۳۲/۵۵^{ab}
ماریانا	۱۴۱۰/۷^{f}	۱۷۱۵/۴^{d}	۸۲/۰۸^{fg}	۸۱/۶۱^{h}	۵۷/۷۳^{a}	۶۲/۳۱^{a}	۳۵/۶۵^{ab}	۳۸^{ab}
شاهد بذری	۷۰۲/۵^{i}	۱۰۹۷/۵^{g}	۸۴/۰۲^{a}	۸۳/۹^{a}	۵۲/۱۴^{a}	۵۲/۲۱^{a}	۳۴/۹۱^{ab}	۴۶/۵۷^{a}
رقم (میانگین)	۱۰۱۹/۴^{h}	۱۲۸۲/۷^{f}	۸۳/۳^{b}	۸۴/۸^{a}	۵۳/۴ ^{a}	۵۲/۳^{a}	۶۰/۴۱^{a}	۳۶/۹^{ab}
زوچلو	۱۷۴۷/۱^{b}	۱۵۲۱/۵^{d}	۸۱/۸^{d}	۷۹/۹^{e}	۵۰/۶۷^{cd}	۴۷/۰۹d	۴۵/۶۹^{a}	۴۲/۴۲^{ab}
سیمکا	۱۲۵۲/۹^{g}	۱۶۵۷/۹^{c}	۸۳/۴^{b}	۸۳/۱^{c}	۵۸/۱۴^{abc}	۶۰/۱۷^{ab}	۴۴/۶۸^{a}	۳۷/۶۵^{ab}
گوجه‌سبز	۱۰۱۹/۴^{h}	۱۲۸۲/۷^{f}	۸۴/۸^{a}	۸۳/۳^{b}	۵۷/۷۹^{abc}	۶۱/۲۳^{a}	۳۸/۳۹^{ab}	۳۸/۹۸^{ab}
NO_{16}	۱۴۹۴/۷^{e}	۲۱۵۹^{a}	۸۳/۳^{b}	۸۳/۴^{b}	۵۲/۷۴^{bcd}	۵۲/۵۲^{bcd}	۲۳/۸۹^{c}	۳۳/۴۴^{b}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

et al., 2013; Yadollahi *et al*., 2011). بالاترین مقادیر پرولین مربوط به تیمار خشکی در انار غلظت آن از ۰/۹۶ بدون تنش به ۱/۶۲ میلی‌مول در گرم بافت تازه در شرایط تنش رسید (راد و همکاران، ۱۳۹۴). زاهدی و همکاران (۱۳۹۸)، بیشترین میزان پرولین (۰/۰۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) را در گلابی وحشی در تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی گزارش کرد. نتایج پژوهش مرادی و همکاران (۱۳۹۸)، نیز در برهم‌کنش تنش خشکی، پایه‌ها وارقام بادام بر میزان پرولین حاکی از انباشت بیشتر این ماده در ارقام مقاوم بود.

پروتئین‌های محلول: جدول ۲ اثرات متقابل تنش، ارقام و پایه‌ها را بر غلظت پروتئین‌های محلول معنی‌دار نشان داد. زوچلو ۱/۱۷ دارای بیشترین و سیمکا ۰/۴۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر کمترین میزان پروتئین را دارا بودند. در بین پایه‌ها، بیشترین و کمترین میزان پروتئین (GF_{677} ۱/۰۶ و ماریانا و ۰/۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود. در برهم‌کنش سه‌گانه، بیشترین و کمترین میزان پروتئین (تنش، گوجه‌سبز و GF ۲/۱۸ و تنش، سیمکا و ماریانا ۰/۰۲۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود. براساس گزارش‌های موجود، پروتئین کل علامت مهمی از وضعیت بیوشیمیایی گیاهان است (Doganlar *et al.*, 2010) و افزایش تجمع پروتئین‌ها، موجب سازگاری فیزیولوژیکی در شرایط تنش خشکی می‌شود (Yang and Miao, 2010). تنش‌های محیطی سبب تغییر در بیان ژن و نهایتاً به شکل تولید پروتئین‌هایی مشخص می‌شود که قبل از القا تنش وجود نداشتند. این پروتئین‌ها به رشد گیاه در شرایط تنش کمک نموده و سبب پایداری غشا می‌شوند (Barteles and Salamini, 2001). در واقع، سنتز پروتئین موجب بهبود تحمل به تنش خشکی می‌شود. گزارش فتحی و همکاران (۱۳۹۶)، حاکی از اثر معنی‌دار تنوع ارقام بادام و تنش بر مقدار پروتئین کل است. کمترین مقدار ۶/۸ میلی‌گرم در تیمار شاهد و بیشترین مقدار آن ۱۹/۳۵ و ۱۹/۲۹ میلی‌گرم در رقم سهند و فرانیس در تنش شدید سنجش شد که احتمال می‌رود این افزایش یکی دیگر از سازوکارهای مهم تحمل به تنش خشکی باشد که به سازگاری آن تحت این شرایط کمک کند.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل: مقایسه میانگین (جدول ۲) برای شاخص بیوشیمیایی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل نشان داد که به لحاظ آماری تفاوتی بین تیمار تنش خشکی و شرایط بدون تنش وجود دارد، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در شرایط تنش ۸۲/۴۵٪ بود که با شاهد ۸۳/۳۶٪ تفاوت معنی‌دار داشت. در بین ارقام، بیشترین و کمترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل به ترتیب مربوط به گوجه‌سبز ۸۴/۶٪ و زوچلو ۸۰/۸۹٪ بود. در مقایسه اثر ساده پایه‌ها، بیشترین و کمترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، شاهد بذری ۸۳/۹۹٪ و ماریانا ۸۱/۸۴٪ بودند (جدول ۲). در مقایسه اثر متقابل سه‌گانه، بیشترین و کمترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (شاهد، سیمکا، GF، ۸۵/۶۴ و تنش، زوچلو و تترا ۷۶/۴۳٪) بودند (جدول ۳). نتایج نشان داد که تحمل به تنش خشکی تنها در ارتباط با بالابودن فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی نبوده بلکه توأم با این موضوع ارتباط با سایر عوامل از جمله صفات مورفولوژیکی و سایر عوامل فیزیولوژیکی ارقام و پایه‌ها دارد. تحقیقات نشان داده است که یک ارتباط قوی بین تحمل به تنش اکسیداتیو که به دلیل حضور برخی تنش‌های محیطی ایجاد می‌شود و افزایش در غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان فتوسنتزکننده وجود دارد (Sairam and Srivastava, 2002). بررسی مقایسه‌ای پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی در ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به خشکی در مطالعات متعدد، نشان‌دهنده ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر ژنوتیپ‌های متحمل بوده است. در میان دو پایه سیب مقاوم و حساس در برابر خشکی، پایه حساس آسیب‌پذیرتر بود و در نتیجه در شرایط تنش خشکی افزایش بیشتری در میزان پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید نسبت به رقم مقاوم نشان داد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به میزان بیشتری در رقم مقاوم در پاسخ به تنش افزایش یافت (Wang *et al*., 2012).

کاتالاز: نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات ساده، متقابل و برهم‌کنش ارقام، پایه‌ها و تنش در سطح پنج درصد به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۲). بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در رقم زوچلو و در پایه C_{29} به‌دست آمد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه پایه‌ها، ارقام و تنش خشکی بر برخی صفات میوه آلو و گوجه

فاکتور	پرولین		پروتئین		کاتالاز		پراکسیداز	
	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش
زوچلو × GF	۱/۴۲۳^{qr}	۱/۷۲۰$^{m-o}$	۱/۳۶۳^{fg}	۱/۳۲۳$^{f-h}$	۰/۰۵۳$^{q-t}$	۰/۰۵۸$^{o-r}$	۰/۰۴۸۰^{a}	۰/۰۳۲^{b}
زوچلو× GN	۱/۲۸۰st	۲/۵۲۳^{ef}	۰/۶۲۰^{rs}	۲/۱۷۰^{a}	۰/۰۶۰$^{n-q}$	۰/۰۶۰$^{n-r}$	۰/۰۰۷$^{f-h}$	۰/۰۰۷$^{f-i}$
زوچلو × تترا	۱/۱۲۰^{uv}	۱/۷۹۱$^{k-m}$	۱/۴۰۶۶۷^{f}	۰/۰۹۶	۰/۰۶۴$^{m-p}$	۰/۰۹۴$^{e-h}$	۰/۰۱۷^{c}	۰/۰۰۷$^{f-i}$
زوچلو× پنتا	۰/۲۸۱	۲/۳۰۱^{hi}	۱/۹۴۲^{c}	۲/۰۴۶^{bc}	۰/۰۸۰$^{h-}$	۰/۰۷۱$^{j-o}$	۰/۰۰۳$^{i-n}$	۰/۰۰۳$^{i-m}$
زوچلو×سنت‌جولین	۰/۳۱	۰/۷۴۶	۱/۱۳۳^{jk}	۱/۱۲۳^{jk}	۰/۰۷۰۶$^{k-o}$	۰/۰۶۶$^{l-o}$	۰/۰۰۳$^{i-n}$	۰/۰۰۳$^{j-m}$
زوچلو× C_{29}	۰/۵۴۳	۲/۵۱۳^{ef}	۰/۰۲۶۳۳	۱/۵۹۶^{e}	۰/۱۴۴^{bc}	۰/۱۴۶^{bc}	۰/۰۰۳^{n}	۰/۰۰۱$^{l-n}$
زوچلو×ماریانا	۰/۶۸۳	۱/۸۱۳$^{k-m}$	۱/۲۵۰۰۰^{hi}	۰/۲۴۳	۰/۱۵۲^{b}	۰/۱۹۴^{a}	۰/۰۰۳$^{i-n}$	۰/۰۰۲$^{k-n}$
زوچلو×بذری	۱/۱۹۰$^{s-u}$	۱/۳۲۱^{rs}	۱/۲۶۳$^{g-i}$	۱/۲۰۳۳۳ ^{ij}	۰/۱۴۹^{b}	۰/۱۵۴^{b}	۰/۰۰۰۴^{n}	۰/۰۰۰۲
سیمکا× GF	۰/۱۷۵	۰/۲۴۱	۱/۰۴۶$^{k-m}$	۰/۲۶۵۳۳	۰/۰۲۸^{wx}	۰/۰۶۶$^{l-p}$	۰/۰۰۶$^{g-k}$	۰/۰۰۲$^{j-m}$
سیمکا× GN	۱/۴۹۰^{q}	۲/۷۹۰^{d}	۰/$_{۲۹}$۶	۰/۲۱۵	۰/۰۵۶$^{p-t}$	۰/۰۷۶$^{i-m}$	۰/۰۰۱$^{l-n}$	۰/۰۰۴$^{g-j}$
سیمکا × تترا	۰/۲۱۳	۰/۲۶۶۶۷	۰/۶۸۸^{qr}	۰/۶۰۲۶۷$^{r-t}$	۰/۰۲۱^{x}	۰/۰۳۱^{wx}	۰/۰۰۱$^{l-n}$	۰/۰۰۲$^{k-n}$
سیمکا × پنتا	۰/۸۸۱^{x}	۲/۲۰۳^{i}	۰/۹۲۰۰۰^{no}	۰/۵۳$^{s-u}$	۰/۰۰۸	۰/۰۴۱$^{t-w}$	۰/۰۰۰۳^{n}	۰/۰۰۳$^{i-l}$
سیمکا× سنت	۰/۹۲۳^{wx}	۲/۵۹۷^{e}	۰/۵۲۰$^{s-v}$	۰/۴۸۷$^{u-w}$	۰/۰۲۰^{x}	۰/۱۳۳^{cd}	۰/۰۰۲$^{j-n}$	۰/۰۰۲$^{j-m}$
سیمکا× C_{29}	۰/۶۸	۱/۸۳۶$^{k-m}$	۰/۱۱	۰/۵۱۲$^{t-w}$	۰/۰۴۷$^{r-v}$	۰/۱۳۳^{cd}	۰/۰۰۳$^{i-n}$	۰/۰۰۴$^{h-l}$
سیمکا×ماریانا	۱/۷۸۰$^{l-o}$	۲/۶۱۰^{e}	۰/۲۷	۰/۰۲۰	۰/۰۴۴$^{s-v}$	۰/۰۹۶$^{e-g}$	۰/۰۰۳$^{i-n}$	۰/۰۰۱$^{l-n}$
سیمکا× بذری	۱/۴۶۳^{qr}	۱/۷۶۱$^{l-o}$	۰/۴۲۰$^{v-x}$	۰/۰۴۲	۰/۰۳۲$^{u-x}$	۰/۰۵۲$^{q-t}$	۰/۰۰۱^{mn}	۰/۰۰۶$^{g-k}$
گوجه× GF	۲/۱۹۶^{i}	۳/۶۰۰^{b}	۰/۵۱۵۰۰$^{s-v}$	۲/۱۸۰۶۷^{a}	۰/۱۰۵^{e}	۰/۱۳۲^{cd}	۰/۰۰۷$^{e-h}$	۰/۰۰۷$^{f-j}$
گوجه× GN	۲/۴۹۰$^{e-g}$	۲/۳–۶^{e}	۱/۰۱۱$^{l-n}$	۰/۳۷۰^{x}	۰/۰۶۸$^{k-o}$	۰/۱۲۶^{d}	۰/۰۱۵^{cd}	۰/۰۰۶$^{g-k}$
گوجه× تترا	۱/۵۶۰^{pq}	۱/۶۴۳^{op}	۰/۵۳۲$^{s-u}$	۰/۶۸۷ ^{qr}	۰/۰۸۱$^{h-k}$	۰/۰۹۰$^{e-h}$	۰/۰۰۲$^{k-n}$	۰/۰۰۵$^{g-l}$
گوجه × پنتا	۱/۱۵۰$^{t-v}$	۲/۰۲۳^{j}	۰/۶۰۱$^{r-t}$	۰/۰۳۶	۰/۰۶۴$^{m-p}$	۰/۰۷۶$^{i-m}$	۰/۰۰۵$^{g-n}$	۰/۰۰۴$^{h-n}$
گوجه×سنت‌جولین	۱/۱۶۳$^{t-v}$	۱/۹۹۳^{j}	۱/۰۷۷^{kl}	۰/۵۶۰$^{s-u}$	۰/۰۷۲$^{j-m}$	۰/۰۷۳$^{j-m}$	۰/۰۰۲$^{j-n}$	۰/۰۰۹$^{e-g}$
گوجه × C_{29}	۱/۲۶۶st	۲/۴۰۳$^{f-h}$	۰/۱۰۷	۱/۸۰۲^{d}	۰/۰۸۱$^{h-l}$	۰/۱۴۰$^{b-d}$	۰/۰۰۶$^{g-m}$	۰/۰۰۵$^{g-m}$
گوجه× ماریانا	۰/۱۳۶	۱/۷۲۳$^{m-o}$	۰/۲۰۱	۰/۴۱۲^{wx}	۰/۱۰۱^{ef}	۰/۱۳۱^{cd}	۰/۰۰۲$^{k-n}$	۰/۰۰۲^{n}
گوجه× بذری	۱/۱۸۶$^{s-u}$	۲/۳۶۰۰۰^{gh}	۰/۲۱۴	۲/۰۶۲^{b}	۰/۰۷۲$^{j-o}$	۰/۱۳۲^{cd}	۰/۰۰۲$^{k-n}$	۰/۰۰۶$^{g-k}$
NO_{16} × GF	۱/۰۲۶^{vw}	۴/۳۷^{a}	۱/۰۴۴$^{k-m}$	۰/۸۲۰^{op}	۰/۰۹۲$^{e-h}$	۰/۱۰۲^{e}	۰/۰۳۴۹^{b}	۰/۰۰۶$^{g-k}$
NO_{16} × GN	۱/۱۸۳$^{s-u}$	۲/۸۱۳^{d}	۰/۹۴۶^{mn}	۰/$_{۲۹}$۴	۰/۰۷۱$^{j-o}$	۰/۰۸۶۳$^{f-i}$	۰/۰۱۱$^{d-f}$	۰/۰۰۸$^{e-h}$
NO_{16} × تترا	۳/۱۲۰^{c}	۳/۵۲۳^{b}	۰/۲۳۲	۰/۲۸۳	۰/۰۷۲$^{j-o}$	۰/۰۸۳$^{g-j}$	۰/۰۱۲^{de}	۰/۰۱۵^{cd}
NO_{16} × پنتا	۰/۳۶۳	۱/۹۳۳^{jk}	۰/۱۲۸	۰/۹۹۰$^{l-n}$	۰/۰۷۴$^{j-n}$	۰/۰۸۶$^{f-i}$	۰/۰۰۳$^{i-m}$	۰/۰۰۳$^{i-n}$
NO_{16}×سنت‌جولین	۱/۶۶۰$^{n-p}$	۱/۸۹۰$^{j-l}$	۰/۷۸۶^{pq}	۰/۷۹۶۰۰^{p}	۰/۰۷۲$^{j-o}$	۰/۰۸۰$^{h-k}$	۰/۰۱۵^{cd}	۰/۰۱۶۲^{cd}
NO_{16} × C_{29}	۱/۲۶۶st	۲/۳۹۰$^{f-h}$	۰/۱۰۷	۱/۷۷۱^{d}	۰/۰۸۰$^{h-l}$	۰/۱۴۰$^{b-d}$	۰/۰۰۶$^{g-k}$	۰/۰۰۶$^{g-m}$
NO_{16} × ماریانا	۰/۵۱۳	۰/۹۶۳^{wx}	۰/۰۲۶	۰/۲۳۸	۰/۰۶۱$^{m-p}$	۰/۰۷۳$^{j-n}$	۰/۰۰۳$^{i-n}$	۰/۰۰۳$^{i-n}$
NO_{16}× بذری	۱/۱۸۶$^{s-u}$	۲/۳۲۶^{hi}	۰/۲۱۴	۲/۰۵۷^{b}	۰/۰۷۲$^{j-m}$	۰/۱۲۶^{d}	۰/۰۰۲$^{k-n}$	۰/۰۰۶$^{g-l}$

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

ادامه جدول ۳-

فاکتور	پلی‌فنل اکسیداز		محتوی نسبی آب برگ		نشت یونی	
	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش
زوچلو × GF	۱۹۰۷^{jk}	۱۸۵۰/۳۳^{kl}	۶۰/۰۴^{abcd}	۴۳/۹۶^{cd}	۵۱/۶۶^{ab}	۳۳/۷۷^{ab}
زوچلو× GN	۵۷۳۶/۶^{b}	۱۸۳۰^{kl}	۳۷/۵۱d	۴۷/۹۱^{abcd}	۴۷/۶۳^{ab}	۵۰/۳^{ab}
زوچلو × ترا	۱۳۱۰^{qr}	۱۰۷۰^{s}	۴۸/۶۵^{abcd}	۴۳/۸۷^{cd}	۴۰/۱۷^{ab}	۳۸/۳۸^{ab}
زوچلو× پنتا	۱۵۸۶/۶۷^{m}	۲۲۷۰^{h}	۴۵/۳۴^{bcd}	۴۴/۴۱^{cd}	۳۹/۳۶^{ab}	۳۸/۶۲^{ab}
زوچلو× سنت‌جولین	۱۲۶۱/۶۷^{r}	۱۲۳۵/۰۰^{r}	۵۴/۶۷^{abcd}	۵۱/۹^{abcd}	۵۲/۵۴^{ab}	۴۶/۳۵^{ab}
زوچلو× C_{29}	۲۳۵	۲۳۵۰^{h}	۴۷/۸۵^{abcd}	۴۶/۸۵^{abcd}	۴۶/۴۷^{ab}	۳۷/۷۳^{ab}
زوچلو× ماریانا	۴۳۰	۱۵۶/۶۷	۵۹/۸۴^{abcd}	۵۱/۱۷^{abcd}	۴۵/۸۷^{ab}	۴۵/۷۷^{ab}
زوچلو× بذری	۱۵۱۰^{mn}	۱۴۱۰^{op}	۵۱/۴۵^{abcd}	۴۶/۶۶^{abcd}	۴۱/۸^{ab}	۴۸/۴۷^{ab}
سیمکا× GF	۶۴۰	۷۱۰^{x}	۵۹/۵۳^{abcd}	۵۶/۲^{abcd}	۴۵/۴۹^{ab}	۴۹/۷۴^{ab}
سیمکا× GN	۷۹۷^{w}	۱۵۵۰^{m}	۷۶/۳۶^{ab}	۶۰/۶۲^{abcd}	۴۲/۸۴^{ab}	۲۳/۵^{b}
سیمکا × ترا	۳۹۱۰^{e}	۲۱۵۰^{i}	۶۶/۴۷^{abcd}	۶۱/۶^{abcd}	۳۸/۵۴^{ab}	۳۷/۲۶^{ab}
سیمکا × پنتا	۵۹۶/۶۷	۱۷۷۶/۶۷^{l}	۵۶/۵۴^{abcd}	۶۴/۷۴^{abcd}	۴۷/۱۲^{ab}	۴۴/۱^{ab}
سیمکا× سنت	۸۳۰^{vw}	۷۱۰^{x}	۶۷/۶۹^{abcd}	۶۴/۹۴^{abcd}	۴۸/۰۶^{ab}	۳۷/۸۴^{ab}
سیمکا× C_{29}	۵۵۰	۵۱۰۰^{c}	۴۸/۹۳^{abcd}	۶۱/۹۴^{abcd}	۵۴/۰۲^{ab}	۲۵/۲۷^{ab}
سیمکا× ماریانا	۵۹۰	۳۵۶/۶۷	۴۹/۰۲^{abcd}	۴۶/۸۳^{abcd}	۴۴/۵۱^{ab}	۳۹/۳۳^{ab}
سیمکا× بذری	۲۱۱۰^{i}	۹۱۰^{uv}	۴۰/۶۱^{cd}	۶۱/۴۶^{abcd}	۳۶/۸۹^{ab}	۴۴/۱۷^{ab}
گوجه× GF	۷۸۰^{wx}	۹۵۶/۶۷^{tu}	۳۸/۹۸^{cd}	۵۷/۱۴^{abcd}	۵۹/۸۷^{a}	۴۷/۷۴^{ab}
گوجه× GN	۶۷۰	۷۹۶/۶۷^{w}	۵۲/۲۶^{abcd}	۵۶/۷^{abcd}	۵۹/۸۶^{a}	۳۶/۶۲^{ab}
گوجه× ترا	۵۵۰	۳۱۵۰^{g}	۵۱/۶۴^{abcd}	۶۲/۸۳^{abcd}	۲۱/۷۳^{b}	۴۰/۵۵^{ab}
گوجه × پنتا	۷۵۰^{wx}	۸۳۰^{vw}	۶۷/۰۵^{abcd}	۵۹/۲۹^{abcd}	۳۲/۶۸^{b}	۳۷/۲۶^{ab}
گوجه×سنت‌جولین	۳۷۵۰^{f}	۱۳۵۰^{pq}	۶۳/۳۹^{abcd}	۶۲/۲۴^{abcd}	۳۳/۶^{ab}	۳۷/۰۷^{ab}
گوجه × C_{29}	۷۵۰^{wx}	۱۲۳۵^{r}	۵۸/۲۵^{abcd}	۶۶/۷^{abcd}	۴۴/۲۷^{ab}	۳۵/۶۷^{ab}
گوجه× ماریانا	۵۵۰	۵۱۵	۶۵/۲^{abcd}	۷۰/۲^{abc}	۳۰/۷۹^{ab}	۳۵/۸۱^{ab}
گوجه× بذری	۳۵۵	۱۴۳۰$^{n-p}$	۶۵/۵۴^{abcd}	۵۴/۸^{abcd}	۲۴/۳۱^{ab}	۴۱/۱۷^{ab}
NO_{16} × GF	۱۴۳۱/۶$^{n-p}$	۳۸۷۰^{e}	۵۶/۴^{abcd}	۵۴/۲۴^{abcd}	۲۴/۲۲^{ab}	۴۱/۲۹^{ab}
NO_{16} × GN	۱۵۵۱/۶^{m}	۹۵۰^{tu}	۵۴/۶۴^{abcd}	۴۷/۲۹^{abcd}	۲۰/۸۲^{b}	۲۵/۶۵^{ab}
NO_{16} × ترا	۹۱۰^{uv}	۹۷۴/۰^{tu}	۵۱/۹۵^{abcd}	۴۹/۰۱^{abcd}	۲۵/۰۶^{ab}	۲۸/۹۸^{ab}
NO_{16} × پنتا	۱۰۷۰^{s}	۱۰۳۳/۳st	۵۱/۵۳^{abcd}	۵۲/۲۱^{abcd}	۲۰/۶۶^{b}	۳۰/۷۵^{ab}
NO_{16}× سنت‌جولین	۱۷۸۰^{l}	۱۹۴۰^{j}	۴۹/۳۵^{abcd}	۴۶/۲۹^{abcd}	۱۹/۷۹^{b}	۲۵/۷۹^{ab}
NO_{16} × C_{29}	۷۵۰^{wx}	۵۸۳۳/۳۳^{a}	۵۰/۱۶^{abcd}	۴۷/۱۶^{abcd}	۲۲/۵۱^{b}	۳۱/۵۴^{ab}
NO_{16} × ماریانا	۴۱۱۰^{d}	۱۲۳۱/۶۷^{r}	۵۶/۸۵^{abcd}	۷۸/۰۴^{a}	۲۱/۴۱^{b}	۳۱/۰۹^{ab}
NO_{16}× بذری	۳۵۵	۱۴۴۰^{no}	۵۰/۹۷^{abcd}	۴۵/۹۲^{bcd}	۳۶/۶۳^{ab}	۵۲/۴۷^{ab}

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

بررسی اثرات متقابل تنش و رقم نشان داد که رقم گوجه‌سبز در شرایط تنش از مقادیر بالایی برخوردار بود که البته زوچلو هم در شرایط تنش از آنزیم کاتالاز بالایی برخوردار بود. فعالیت آنزیم کاتالاز در اثرات متقابل تنش و پایه، مربوط به C_{29} بود. فعالیت آنزیم در برهم‌کنش سه‌گانه، بیشترین (تنش، زوچلو، ماریانا ۰/۱۹۴ و کمترین، شاهد و سمیکا و پنتا ۰/۰۰۸ واحد آنزیمی در میلی‌لیتر) بود (جدول ۳). گیاهان علاوه بر سیستم غیرآنزیمی دارای سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی آنزیمی نیز هستند که می‌توانند رادیکال‌های آزاد را از بین برده و یا خنثی نمایند. این سیستم دفاعی شامل چندین آنزیم آنتی‌کسیدان است که کاتالاز یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان موجود در سلول‌های گیاهان است (Xu *et al.*, 2009). فعالیت بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از مقدار تنش اکسیداتیو می‌کاهد و از فرآیندهای سوخت‌وساز در سلول گیاهی که ضامن بقای سلول و گیاه هستند، محافظت می‌کند (Jiang and Hung, 2001). نتایج به دست آمده با نتایج حاصل در پایه گیلاس (Sivritepe *et al.*, 2008)، زیتون (Sofo *et al.*, 2005; Rapoport *et al.*, 2012; Amin *et al.*, 2014; Elhami *et al.*, 2015؛ احمدی‌پور و همکاران، ۱۳۹۸) و موز (Chai *et al.*, 2005) مطابقت داشت.

پراکسیداز: اثر تنش، ارقام، پایه‌ها، اثرات متقابل و برهم‌کنش سه فاکتور پایه‌ها، ارقام و تنش خشکی بر محتوی پراکسیداز به لحاظ آماری در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار داشت. بیشترین فعالیت آنزیم در رقم NO_{16} و پایه GN_{15} به‌دست آمد (جداول ۲ و ۳). فعالیت بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در رقم یاقوتی، می‌تواند به محافظت از غشاهای سلولی و دستگاه فتوسنتزی در برابر آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی و در نتیجه تحمل بیشتر این رقم، کمک کند. فعالیت بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ارقام مقاوم به خشکی نسبت به ارقام حساس، در انواع دیگری از تنش‌های محیطی از جمله سرما و شوری نیز گزارش شده است (Wang *et al*, 2006).

پلی‌فنل اکسیداز: اثر تنش، ارقام، پایه‌ها، اثرات متقابل و برهم‌کنش سه فاکتور پایه‌ها، ارقام و تنش خشکی بر محتوی پلی‌فنل اکسیداز به لحاظ آماری در سطح پنج درصد تفاوت آماری داشت. طبق نتایج به‌دست آمده، افزایش قابل توجهی در فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در برگ ارقام و پایه‌ها در مقایسه با گیاهان شاهد مشاهده شد (جدول ۳). بهترین رقم، NO_{16} است که به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با بقیه ارقام داشت. در پایه GF_{677}، فعالیت خوبی از این آنزیم مشاهده شد. در اثر متقابل پایه و رقم، NO_{16} و GF مناسب تشخیص داده شدند. در برهم‌کنش سه‌گانه در شرایط تنش، زوچلو و GF شرایط مناسبی را نسبت به بقیه تیمارها داشتند. به نظر می‌رسد در همپوشانی اثر خشکی، پایه‌ها و ارقام مقاوم می‌توانند مقاومت را از طریق افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش دهند و از پراکسیداسیون غشای سلولی جلوگیری نمایند. پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز همانند آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در مسیر فنیل پروپانوئید (مسیر تولید متابولیت‌های ثانویه گیاهی) در تولید انواع ترکیبات فنلی با ساختار دفاعی درگیر هستند که شرایط تنش، پایه و رقم اثر در افزایش آنریم‌های مذکور داشت. در یک تحقیق مشابه، اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در دو رقم انار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که فعالیت این آنزیم‌ها در شرایط تنش افزایش یافت. در شرایط تنش شدید، تفاوت معنی‌داری بین دو رقم انار مورد مطالعه از نظر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مشاهده شد (Ebtedaie and Shekafandeh, 2017). در صورتی‌که فعالیت بالای پلی‌فنل اکسیداز با افزایش فعالیت مکانیسم‌های حذف پراکسید هیدروژن مانند فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز همراه باشد، می‌تواند به عنوان مکانیسم مهمی برای مقابله با تنش اکسیداتیو حاصل از کمبود آب در شرایط تنش خشکی عمل کند (Chakraborty and Pradhan, 2011).

محتوی نسبی آب برگ: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ارقام سیمکا و گوجه، بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۵۹/۱۵ و ۵۹/۵۱) را داشتند. در مقایسه بین پایه‌ها، پایه ماریانا محتوی نسبی آب برگ برابر با ۶۰/۲۲ داشت (جدول ۲). در بررسی اثر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

متقابل سه‌گانه مشخص شد که بیشترین محتوی نسبی آب مربوط به تیمار تنش، NO_{16}/ماریانا با ۷۸ درصد بود. در گوجه/ماریانا و سیمکا/GN نیز محتوی نسبی آب برگ بالا بود. احتمالاً این ارقام و پایه‌ها توانایی جذب آب بیشتری از خاک را داشته‌اند و یا اسمولیت‌های درون‌سلولی آنها منجر به افزایش محتوی نسبی آب برگ بیشتر در آنها شده است. کاهش محتوی نسبی یا پتانسیل آب برگ تحت تنش خشکی، عکس‌العملی طبیعی است که در بسیاری از گیاهان از جمله برخی گونه‌های بادام (Sorkheh *et al*., 2012; Zokaee *et al*., 2014)، ارقام بادام (Yadollahi *et al*., 2011; Karimi *et al*., 2013) و پایه‌های بادام (Isaakidis *et al*., 2004) گزارش شده است. بررسی‌های انجام‌شده در سیب نشان داد که کاهش محتوی نسبی آب برگ در ارقام مختلف یکسان نیست (Vahdati and Leslie, 2013) که با نتایج این پژوهش تطابق دارد. در مطالعه تنش خشکی بر ارقام توت‌فرنگی (Ghaderi and Sivsemardeh, 2013)، تنش باعث کاهش محتوی نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، تعرق و فتوسنتز شد. ژنوتیپ‌های با محتوای نسبی آب بیشتر، برای مناطق خشک مناسب‌تر هستند (Kafi *et al*., 2009).

نشت یونی: بیشترین درصد نشت یونی (۴۴/۰۵) مربوط به رقم زوچلو بود که به لحاظ آماری تفاوتی با سیمکا و گوجه سبز نداشت. رقم NO_{16} کمترین میزان درصد نشت یونی (۲۸/۶۷) را دارا بود. در اثر متقابل تنش و رقم، کمترین میزان درصد نشت یونی (۲۳/۸۹) مربوط به رقم NO_{16} و شاهد بود. پایه شاهد بذری در تنش، بالاترین درصد نشت یونی (۴۶/۵۷) را ثبت کرد. در بررسی اثر متقابل ارقام و پایه‌ها مشخص شد که رقم گوجه‌سبز و پایه GF دارای نشت یونی بالاتر و رقم NO_{16} و پایه‌های GN و سنت‌جولین دارای نشت یونی پایین‌تری نسبت به بقیه بودند، اگرچه اختلاف آنها معنی‌دار نبود. در برهم‌کنش سه‌گانه، شاهد، زوچلو/پنتا و شاهد، زوچلو/ سنت‌جولین) پایین‌ترین درصد نشت یونی را دارا بودند (جداول ۲ و ۳). پایه‌ها و ارقام مذکور توانایی پایداری غشای سلولی را دارند و می‌توانند از غشای سلولی در برابر تنش‌ها محافظت کنند (زاهدی و همکاران، ۱۳۹۸). نشت الکترولیت‌ها در ارتباط با حفظ و یکپارچگی غشای سلولی تحت تنش خشکی است. یافته‌های پژوهش حاضر و برخی یافته‌های دیگر نشان دادند که حفظ و یکپارچگی غشاهای سلولی در برگ‌های گیاهان متحمل به تنش خشکی، بیشتر است (Karimi *et al*., 2015). در شرایط تنش خشکی، غشای سلول به واسطه پراکسیداسیون لیپیدها در نتیجه تجمع انواع اکسیژن واکنش‌گر دچار صدمات ساختاری می‌شود (Sorkheh *et al*., 2012). از میزان پایداری غشای سلولی هم به عنوان شاخصی برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی در گونه‌ها و ارقام مختلف بادام استفاده شده است (Rouhi *et al*., 2007; Yadollahi *et al*., 2011).

نتیجه‌گیری

شاخص‌های بیوشیمیایی مورد بررسی در چهار رقم و هشت پایه آلو و گوجه‌سبز، الگوهای متفاوتی در پاسخ به تنش خشکی نشان دادند، به‌طوریکه پرولین در رقم NO_{16} و پایه GF_{677} از میزان بالایی برخوردار بود. پرولین یکی از اسیدهای آمینه فعال در پدیده تنظیم اسمزی است که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش به‌سزایی دارد. تجمع پرولین به منزله محلولی سازگار عمل می‌کند که به‌طور طبیعی در سیتوزول واقع می‌شود و علاوه بر تنظیم فشار اسمزی سلول، از ماکرومولکول‌ها حمایت می‌کند و سبب حفظ ساختارهای سلولی، طی تنش اسمزی می‌شود. همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان رقم زوچلو و پایه‌های GN15 و جلوگیری از آسیب‌های غشایی نشان داد که در شرایط تنش خشکی از سیستم حفاظتی بهتری در مقابل آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از آن برخوردار است و قابلیت معرفی این پایه‌ها و ارقام برای شرایط تنش خشکی که مورد ابتلا در ایران و سایر کشورها است را خواهد داشت. بنابراین، ترکیب NO_{16}/GF_{677} و زوچلو/ GN معرفی می‌گردد.

سپاسگزاری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

در پایان لازم می‌دانیم از تمامی زحمات کارشناسان مؤسسه تحقیقات باغبانی کشور که در انجام این پژوهش با ما نهایت همکاری را داشتند، تشکر نمائیم.

منابع

آتشکار، داریوش، ارشادی، احمد، طاهری، مهدی، و عبدالهی، حمید (۱۳۹۷). غربال‌گری برخی پایه‌های هیبرید انتخابی سیب برای تحمل به تنش خشکی براساس صفات مرتبط با فتوسنتز. *علوم باغبانی ایران*، ۴۹ (۴)، ۱۰۱۳-۱۰۲۴. https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.239276.1299

احمدی‌پور، صمیرا، ارجی، عیسی، عبادی، علی، و عبدوسی، وحید (۱۳۹۸). تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاهان جوان سه رقم زیتون (*Olea europaea* L.) در شرایط تنش خشکی. *علوم باغبانی ایران*، ۵ (۲)، ۲۷۵-۲۸۶. https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.242485.1326

اکبری، حامد، و حاج‌نجاری، حسن (۱۴۰۱). سازوکارهای دفاعی مورفولوژیک، رشدی و بیوشیمیایی تحمل به خشکی در ارقام انتخابی تجاری سیب. *علوم باغبانی ایران*، ۵۳ (۳)، ۶۲۹-۶۴۶. https://doi.org/10.22059/ijhs.2022.319911.1903

جوادی، تیمور، و جعفری، مرجان (۱۳۹۵). اثر تنش خشکی بر صفات رشدی و فیزیولوژیکی نهال‌های آلبالوی رقم میکرز. *پژوهش در میوه‌کاری*، ۲، ۵۶-۷۳. https://rip.urmia.ac.ir/article_20264.html#ar_info_pnl_cite

راد، محمدهادی، اصغری، محمدرضا، و عصاره، محمدحسن (۱۳۹۴). اثر تنش خشکی بر رشد، عملکرد و کیفیت میوه انار (*Punica granatum* L.) رقم رباب نیریز در شرایط اقلیمی خشک. *مجله به‌زراعی نهال و بذر*، ۲ (۳۱)، ۷۵-۹۰. https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110567

رضوی، فرزانه (۱۳۹۶). شیوه‌های مدیریت و حفاظت باغات در مقابل خشکسالی. مجموعه مقالات یافته‌های تحقیقاتی کشاورزی و منابع طبیعی.

زاهدی، سیدمرتضی، حسینی، مرجان السادات، و کریمی، مهدیه (۱۳۹۸). مطالعه اثر محلول‌پاشی براسینواستروئید بر برخی صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گلابی وحشی (*Pyrus biossieriana* Buhse) طی تنش خشکی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۸ (۲۹)، ۱۱۴-۱۲۰. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1398.8.29.21.3

شجاع، آزاده، قاسم‌نژاد، محمود، و مرتضوی، سید نجم‌الدین (۱۳۹۰). تغییرات ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و کیفیت پس از برداشت میوه پرتقال‌های تامسون ناول و خونی در طی انبارداری. *نشریه علوم باغبانی*، ۲۵ (۲)، ۱۴۷-۱۵۵. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1390i0.9984

شعبانی، زهرا، عابدی، بهرام، و گنجی‌مقدم، ابراهیم (۱۳۹۸). افزایش انبوه درون‌شیشه‌ای میروبالان C_{29} یک پایه رویشی برای میوه‌های هسته‌دار. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۱۶۷-۱۷۷. https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V0I0.33469

فتحی، حسین، امیری، محمد اسماعیل، ایمانی، علی، حاجیلو، جعفر، و نیکبخت، جعفر (۱۳۹۶). تحمل به تنش کم‌آبیاری نژادگان‌های بادام روی پایه GN15 براساس برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و دمای برگ. *مجله علوم و فنون باغبانی ایران*، ۱۸ (۲)، ۱۵۹-۱۶۵. URL: http://journal-irshs.ir/article-1-255-fa.html

مرادی، حسین، اثنی‌عشری، محمود، و ارشاد، احمد (۱۳۹۸). ارزیابی برخی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی پایه‌های پیوند شده و غیرپیوندی بادام به تنش خشکی. *علوم باغبانی ایران*، ۵۰ (۲)، ۳۱۱-۳۲۳. https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.246776.1356

Aebi, H. (1984). Catalase *in vitro*. *Methods in Enzymology*, *105*, 121-126. DOI: 10.1016/s0076-6879(84)05016-3

Amin, Z., Moalemi, N., & Saadati, S. (2014). Effect of water deficit on proline content and activity of antioxidant enzymes among three olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Journal of Plant Researches*, *27* (2), 156-167. https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.242485.1326

Arji, I. & Arzani, K. (2003). Effect of drought stress on physiological, morphological and biochemical characteristics of some olive cultivars. *Acta Horticulturae*, *834*, 42-55. https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.242485.1326

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

Blazek, J. (2007). A survey of the genetic resources used in plum breeding. *Acta Horticulturae*, *734*, 31-45. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.734.2

Barteles, A. & Salamini, A. (2001). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Crop and Pasture Science, 56* (11), 1159-1168. 10.1071/AR05069

Bassett, C., Vahdati, K., & Leslie, C. (2013). Water use and drought response in cultivated and wild apples. In: Abiotic Stress. Pp. 249-275. Intech Open. DOI: 10.5772/55537

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil, 39*, 205-207.

Bhusal, N., Lee, M., Han, A. R., Han, A., & Kim, H. S. (2020). Response to drought stress in *Prunus sargentii* and *Larix kaempferi* seedlings using morphological and physiological parameters. *Forest Ecology and Management, 465* (1), 118099. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118099

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annals of Biochemistry, 7* (72), 248-254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999

Chai, T. T., Fadzillah, N. M., Kusnan, M., & Mahmood, M. (2005). Water stress-induced oxidative damage and antioxidant responses in micropropagated banana plantlets. *Biologia Plantarum*, *49*, 153-156. DOI: 10.1007/s00000-005-3156-9

Chakraborty, U. & Pradhan, D. (2011). High temperature-induced oxidative stress in *Lens culinaris*, role of antioxidants and amelioration of stress by chemical pre-treatments. *Journal of Plant Interactions*, *6* (1), 43-52. https://doi.org/10.1080/17429145.2010.513484

Doganlar, Z. B., Demir, K., Basak, H., & Gul, I. H. (2010). Effects of salt stress on pigment and total soluble protein contents of three different tomato cultivars. *African Journal of Agricultural Research, 5*(15), 2056-2065. https://doi.org/10.5897/AJAR10.258

Ebtedaie, M. & Shekafandeh, A. (2017). Antioxidant and carbohydrate changes of two pomegranate cultivars under deficit irrigation stress. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *14*, 1-9. http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2016144-9317

Isaakidis, A. T., Sotiropoulos, A., & Shekafandeh, A. (2004). Response to severe water stress of the almond (*Prunus amygdalus*) 'Ferragnès' grafted on eight rootstocks. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *32*, 355-362. http://dx.doi.org/10.1080/01140671.2004.9514316

Elhami, B., Zaare-Nahandi, F., & Jahanbakhsh-Godehkahriz, S. (2015). Effect of sodium nitroprusside (SNP) on physiological and biological responses of olive (*Olea europaea* cv. Conservolia) under water stress. *International Journal of Biosciences*, *6* (4), 148-156. DOI: 10.1016/j.plaphy.2021.11.013

FAO. (2022). Statistics. database. Avalible online at: http://apps.fao.org.

Galindo, A., Collado-Gonzlez, J., & Gri, N. I. (2018). Deficit irrigation and emerging fruit crops as a strategy to save water in Mediterranean semiarid agrosystems. *Agricultural Water Management*, *202*, 311-324. http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.015

Guo, Y., Yu, H., Kong, D., Yan, F., Liu, D., & Zhang Y. (2015). Effects of gradual soil drought stress on the growth, biomass partitioning, and chlorophyll fluorescence of *Prunus mongolica* seedlings. *Turkish Journal of Biology*, *39*, 532-539. https://doi.org/10.3906/biy-1412-20

Ghaderi, N. & Sivsemardeh, A. (2013). Effect of water stress on some physiological characteristicsin three strawberry cultivars. *Iranian Jornal of Horticultural Sciences*, *44* (2), 129-136 (in Farsi). https://doi.org/10.22059/ijhs.2013.35046

Jiang, Y. & Hung, B. (2001). Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science*, *6*, 436-442. http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2001.412436x

Kumar, R. & Kishan (2021). A review on european plum (*Prunus domestica*) for its pharmacological activities and phytochemicals. *Research Research Journal of Pharmacy and Technology*, *14*, 36-44.

Karimi, S., Yadollahi, A., Arzani, K., & Imani, A. (2013). Leaf pigments help almond explants tolerating osmotic stress. *International Journal of Food, Agriculture and Veterinary*, *7*, 167-170. https://zenodo.org/badge/DOI/10.5281/zenodo.1326810.svg

Karimi, S., Yadollahi, A., Arzani, K., Imani, A., & Aghaalikhani, M. (2015). Gas-exchange response of almond genotypes to water stress. *Photosynthetica*, *53*, 29-34. DOI: 10.1007/s11099-015-0070-0

Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., & Nabati, J. (2009). Physiology of environmental stress in plants. *Academic Center for Education, Culture and Research* (in Farsi). DOI: 10.4236/jcc.2015.310003

Lee, K. C., Kweon, H., Sung, J. W., Kim, Y. S., Song, Y. G., Cha, S., & Koo, N. (2022). Physiological response analysis for the diagnosis of drought and waterlogging damage in *Prunus yedoensis*. *Forest Science and Technology*, *18* (1), 14-25. https://doi.org/10.1080/21580103.2022.2035829

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

Liu, C., Liu, Y., Guo, K., Zheng, Y., Yu, L., & Yang, R. (2011). Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. *Environmental and Experimental Botany*, *71*, 174-183. DOI: 10.1080/21580103.2022.2035829

Larher, A., Tauqeer, Q., & Abdul, K. (2009). Drought stress in plants: An overview on implication tolerance mechanisms and agronomic mitigation strategies. *Plant Science Today*, *6*, 385-389 DOI:10.14719/pst.2019.6.4.578

Martinez-Garcia, P. J., Hartung, J., de los Cobos, F. P., Martinez-Garcia, P., Jalili, S., Sanchez-Roldan, J. M., Rubio, M., Dicenta, F., & Martinez-Gomez, P. (2020). Temporal response to drought stress in several *Prunus* rootstocks and wild species. *Agronomy*, *10* (9), 1383. https://doi.org/10.3390/agronomy10091383

Noctor, G., Mhamdi, A., & Foyer, C. H. (2014). The roles of reactive oxygen metabolism in drought: Not so cut and dried. *Plant Physiology*, *164*, 1636-1648. DOI: 10.1104/pp.113.233478

Pizzocaro, F., Torreggiani, D., & Gilardi, G. (1993). Inhibition of apple polyphenoloxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. *Journal of Food Processing and Preservation, 17* (1), 23-30. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1993.tb00223.x

Ponce, A., Del Valle, C., & Roura, S. (2004). Natural essential oils as reducing agents of peroxidase activity in leafy vegetables. *LWT-Food Science and Technology*, *37* (2), 199-204. http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2003.07.005

Potter, D., Ericson, T., Evans, C., & Compelc, S. (2007). Phylogeny and classification of Rosaceae. *Plant Systematics and Evollution*, *266*, 2-12. DOI:10.1007/s00606-007-0539-9

Petridis, A., Therios, L., Samouris, G., Koundouras, S., & Giannakoula, A. (2012). Effect of water deficit on leaf phenolic composition gas exchange oxidative damage and antioxidantactivity of four Greek olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Plant Physiologh and Biochemistry*, *60*, 1-11. DOI: 10.1016/j.plaphy.2012.07.014

Rapoport, H. F., Hammami, S. B. M., Martins, P., Perez-Priegoa, O., & Orgaza, F. (2012). Influence of water deficits at different times during olive tree inflorescence and flower development. *Environmental and Experimental Botany*, *6*, 227-233. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2011.11.021

Rouhi, I. V., Samson, R., Lemeur, R., & Van Damme, P. (2007). Photosynthetic gas exchange characteristics in three different almond species during drought stress and subsequent recovery. *Environmental and Experimental Botany*, *59*, 117-129 DOI: 10.1016/j.envexpbot.2005.10.001

Sairam, R. K. & Srivastava, G. C. (2002). Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. *Plant Science*, *162*, 897-904. http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00037-7

Sofo, A., Dichio, B., Xiloyannis, C., & Masia, A. (2005). Antioxidant defences in olive trees during drought stress changes in activity of some antioxidant enzymes. *Functional Plant Biology*, *32*, 45-53. DOI: 10.1071/FP04003

Sivritepe, N., Erturk, U., Yerlikaya, C., Turkan, I., Bor, M., & Ozdemir, F. (2008). Response of the cherry rootstock to water stress induced *in vitro*. *Biologia Plantarum*, *52*, 573-576. DOI: 10.1007/s10535-008-0114-4

Sorkheh, K., Shiran, B., Khodambshi, M., Rouhi, V., & Ercisli, S. (2012). *In vitro* assay of native Iranian almond species (*Prunus* spp.) for drought tolerance. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, *105* (3), 395-404. DOI: 10.1007/s11240-010-9879-1

Vahdati, K. & Leslie, C. (2013). Abiotic Stress-Plant Responses and Applications in Agriculture. Intech Open Publication. DOI: 10.5772/45842

Wang, H., Zhao, S., & Mao, K. (2018). Mapping QTLs for water-use efficiency reveals the potential candidate genes involved in regulating the trait in apple under drought stress. *BMC Plant Biology*, *18*, 136. DOI: 10.1186/s12870-018-1308-3

Wang, S., Liang, D., Li, C., Hao, Y., Ma, F., & Shu, H. (2012). Influence of drought stress on the cellular ultrastructure and antioxidant system in leaves of drought-tolerant and drought-sensitive apple rootstocks. *Plant Physiology and Biochemistry*, *51*, 81-89. DOI: 10.1016/j.plaphy.2011.10.014

Wang, Y. X., Sun, G. R., Wang, J. B., Cao, W. Z., Liang, J. S., Yu, Z. Z., & Lu, Z. H. (2006). Relationships among MDA content, plasma membrane permeability and the chlorophyll fluorescence parameters of *Puccinellia tenuiflora* seedlings under NaCl stress. *Acta Ecologica Sinica*, *26* (1), 122-129. 10.1017/S0958344006000814

Wang, Z., Li, G., Sun, H.; Ma, L., Guo, Y., Zhao, Z., Gao, H., & Mei, L. (2018). Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves. *Biology Open*, 7-12. DOI: 10.1242/bio.035279

Wu, G. L., Duan, R. Y., Wang, Z. G., Zhang, Z. X., & Wu, L. F. (2010). Effects of drought stress and rehydration on chlorophyll fluorescence characteristics in *Fragaria* × *ananassa* Duch. *Acta Ecologica Sinica*, *30*, 3941-3946. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1701_10711082

Xu, Z. Z., Zhou, G. S., & Mei, L. (2009). Effects of water stress and high nocturnal temperature on photosynthesis and nitrogenlevel of a perennial grass Leymus chinensis. *Plant and Soil*, *269*, 131-139. DOI: 10.1007/s00425-006-0281-5

Yang, F. & Miao, L. F. (2010). Adaptive responses to progressive drought stress in two poplar species originating from different altitudes. *Silva Fennica*, *44*, 23-37. https://doi.org/10.14214/sf.160

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

Yadollahi, A., Arzani, K., & Ebadi, A. (2011). An evaluation of morphological markers linked todrought resistance in cultivated almond seedlings (*Prunus dulcis* Mill.). *Iranian Journal of Horticultural Science, 40* (1), 1-12. https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008482.1388.40.1.1.8

Yong, Z., Hao-Ru, T., & Ya, L. (2008). Variation in antioxidant enzyme activities of two strawberry cultivars with short-term low temperature stress. *World Journal of Agricultural Sciences, 4*, 458-462.

Zhang, J., Yao, Y., John, G. S., & David, C. F. (2010). Influence of soil drought stress on photosynthesis, carbohydrates and the nitrogen and phosphorus absorb in different section of leaves and stem of Fuji/M.9 EML, a young apple seedling. *African Journal of Biotechnology, 9*, 5320-532.

Zokaee, K. M. R., Esna Ashari, M., Ershadi, A., & Imani, A. (2014). Physiological responses of five almond species to PEG-induced drought stress. *Plant Production Technology, 5* (2), 73-88. https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.246776.1356

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

Evaluation of biochemical parameters of tolerance to drought stress in rootstocks and cultivars of plum and prune (*Prunus* spp.)

Hamid Tahmasebpoor[1], Behzad kaviani[1*], Moheddin Pirkhezri[2], Davood Hashemabadi[1]

[1] Department of Horticultural Science, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
[2] Temperate Fruits Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization, Tehran, Iran
(Received: 2023/02/26, Accepted: 2023/05/08)

Abstract

Drought is one of the most threats in agricultural production worldwide, and climate change exacerbates this threat. Introducing drought tolerant cultivars and stocks is a fundamental solution. In order to evaluate the tolerance to drought of some economical rootstocks and varieties of *Prunus* spp., a factorial experiment was conducted in a completely randomized block design with three replications at the Horticultural Research Institute, Kamalshahr, Karaj, Iran, in 2021–2022. The first factor included vegetative rootstocks of Myrobalan C_{29}, Penta, Tetra, St. Julien, Mariana 2624, GF_{677} and GN15, along with seed rootstocks of plum as a control; the second factor was varieties of Japanese plum (Simka and NO_{16}), European plum (Zuchelo) and Greengag *Prunus* and the third factor was drought stress (with interruption of irrigation for 14 days) and control (without interruption of irrigation). Evaluated biochemical traits included the activity of the antioxidant enzymes catalase, peroxidase and polyphenol oxidase, proline content, soluble protein, total antioxidant, ionic leakage and relative water content. The results showed that the activity of antioxidant enzymes under drought stress conditions in Zuchelo on GN_{15} rootstock, were increased compared to the control. The highest proline content was observed in the NO_{16} variety and GF_{677} rootstock. According to the results, in terms of the studied traits, Zuchelo, NO_{16}, GF677, and GN_{15} were introduced as drought tolerant varieties and rootstocks.

Keywords: Antioxidant enzymes, Plum, Rootstock, Proline

Corresponding author, Email: b.kaviani@yahoo.com, kaviani@iaurasht.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]