دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره یازدهم، شماره بیست و سوم
http://pec.gonbad.ac.ir

علمی-پژوهشی

تحمل به خشکی نهال‌های افرا پلت با استفاده از تجزیه‌وتحلیل ریخت- فیزیولوژیکی

مکرم روان بخش[1*]، بابک باباخانی[2]، محمود قاسم‌نژاد[3]، فریبا سرپوشان[4]، محمد حسن بیگلوئی[5]

[1]مربی پژوهشی، گروه پژوهشی محیط زیست طبیعی، پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، رشت، ایران؛ دانش آموخته دکتری زیست شناسی گروه زیست شناسی، دانشکده علوم زیستی، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران
[2]استادیار،گروه زیست شناسی، دانشکده علوم زیستی، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران
[3]استاد، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
[4]استادیار،گروه زیست شناسی، دانشکده علوم زیستی، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران
[5] دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۲

چکیده

افرا پلت یکی از گونه‌های صنعتی و غالب جنگل‌های هیرکانی (خزری) است. این گونه در جنگل‌های دیگر نقاط دنیا کمتر دیده می‌شود و فقط از جنگل‌های قفقاز گزارش‌شده است و ازاین‌رو اطلاعات در خصوص این گونه ارزشمند بسیار محدود است. هدف از این تحقیق بررسی پاسخ این گونه به تنش خشکی به‌عنوان یکی از پیامدهای تغییرات اقلیمی است. نهال‌های افرا ازنظر ارتفاع، قطر پایه، سطح برگ، سطح ویژه برگ، زی‌توده، رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب، پرولین آزاد، مالون‌دی‌آلدئید، فعالیت پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. نهال‌های گلدانی یک‌ساله در معرض چهار رژیم رطوبت آب (۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) تحت عنوان شاهد(بدون تنش آبی)، تنش آبی شدید، تنش آبی متوسط و تنش آبی خفیف قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تنش خشکی صفات رشد در افرا پلت را کاهش داد و موجب کاهش ارتفاع نهال‌ها، قطر یقه، زی‌توده و سطح برگ شد، اما سطح ویژه برگ در تیمار تنش متوسط افزایش معنی‌داری را نشان داد. تنش خشکی محتوای کلروفیل را کاهش داد، اما کاروتنوئیدها تفاوت معنی‌داری را در تیمارهای تنش نشان ندادند. محتوی نسبی آب برگ فقط تحت تنش شدید خشکی کاهش معنی‌دار داشت. محتوای پرولین و مالون‌دی‌آلدئید در تیمار تنش متوسط و شدید افزایش معنی‌دار یافت. تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز گردید و بالاترین میزان فعالیت آنزیم‌ها در تنش خفیف و متوسط مشاهده گردید. پژوهش حاضر نشان داد که نهال‌های افرا پلت توانسته‌اند با پاسخ‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی به خشکی مقاومت نشان داده و به کمک مکانیسم‌های اجتناب و تحمل به تنش خشکی پاسخ داده‌اند. نتایج این تحقیق به‌طور خلاصه مکانیسم‌های تحمل به خشکی را در افرا پلت را نشان داد و اطلاعات پایه‌ای برای پژوهش‌های بیشتر در آینده فراهم خواهد ساخت.

***واژه‌های کلیدی*: تنش خشکی. تنش اکسیداتیو، تنظیم اسمزی، افرا پلت**

مقدمه

بر اساس پیش‌بینی‌ها، تغییر اقلیم عامل تغییر در پراکنش بارش، افزایش دوره‌های خشکی شدید، افزایش دمای هوا و افزایش سیلاب‌ها در آینده است (رستم‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵). تغییر اقلیم ممکن است منجر به توسعه مناطق و نواحی تحت تأثیر خشکی و افزایش شدت خشکی هم‌زمان با افزایش پیش‌بینی‌شده در دمای هوای جهانی گردد (Wang et al., 2016). نابودی گونه‌های درختی درنتیجه شرایط زیست‌محیطی نامساعد روزافزون می‌تواند منجر به تغییرات ساختار و ترکیب توده‌های پوشش گیاهی گردد و در بلندمدت اثرات اقتصادی منفی بر تنوع زیستی داشته باشد. کاربرد گونه‌های درختی سازگارتر با خشکی می‌تواند

*نویسنده مسئول: Ravanbakhsh@acecr.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-25]

یکی از راه‌حل‌ها جلوگیری از این مشکل باشد (Kunze et al., 2016).

تنش خشکی ازجمله تنش‌های محیطی اساسی کنترل‌کننده رشد گیاه است (Ying et al., 2015). گیاهان می‌توانند با ایجاد تغییرات ریخت‌شناسی مانند ریشه‌های گسترده، عمیق یا متراکم (افزایش جذب آب)، محدود کردن رشد برگ و بسته روزنه‌ها از خشکی جلوگیری کنند. علاوه، گیاهان مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند تجمع محلول‌های سازگار، آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی و آنزیمی مقاومت به خشکی را افزایش دهند (Wu et al., 2013) تجمع و تولید انبوه گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) ازجمله رادیکال سوپر اکسید ($O^{\bullet-}_2$)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، اکسیژن یکتایی ($^1O_2$) یا رادیکال هیدروکسیل($OH^{\bullet}$) در تنش خشکی می‌تواند منجر به آسیب اکسیداتیو شود(Sarker & Oba, 2018). گونه‌های فعال اکسیژن با از بین بردن درشت مولکول‌ها، متابولیسم گیاه را مختل و در مقابل گیاهان نیز آن‌ها را مهار می‌کنند و انرژی اضافی را با کمک سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی مدیریت می‌کنند (Khaleghi et al., 2019; Guo et al., 2018). گیاهان پتانسیل اسمزی را از طریق مجموعه املاح سازگار (اسیدهای آمینه آزاد، پرولین، قندهای محلول و پروتئین محلول) کاهش می‌دهند. تنظیم اسمزی همچنین می‌تواند پایداری غشای سلولی و تثبیت ماکرو مولکول‌ها را بهبود بخشد و به جاروب‌کردن گونه‌های فعال اکسیژن کمک کند و درنهایت مقاومت گیاه در برابر خشکی را بهبود بخشد (Abid et al., 2018; Wu et al., 2013).

نهال‌ها به دلیل کمبود ذخایر کربن، سیستم ریشه‌ای ضعیف و دسترسی کمتر به ذخایر آب خاک بیشتر در معرض خشکی و محدودیت منابع آبی هستند (Kunze et al., 2016). دانش مکانیسم‌های مقاومت به خشکی گیاهان بومی، درک بهتری از تحمل تنش از طریق ارزیابی فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیک، ارائه خواهد داد (Díaz-López et al., 2012). واکنش نهال سفید پلت (*Salix alba*) به تنش خشکی با تیمارهای دور آبیاری و سنجش صفات ریخت‌شناسی، مقاومت نسبی گونه به تنش خشکی حتی تحت تنش کم‌آبی شدید را نشان داد (برشان و همکاران، ۱۳۹۵). ارزیابی مقاومت به خشکی را در نهال‌های شش‌ماهه گلابی جنگلی (*Pyrus boisseriana*) نشان داد که گونه مورد بررسی با کاهش برخی فعالیت‌های فیزیولوژیک ازجمله تبادلات گازی، پتانسیل آبی و محتوی نسبی رطوبت و افزایش مؤلفه‌های آنتی‌اکسیدانی تنش را تحمل نموده است (زر افشار و همکاران، ۱۳۹۵). بررسی پاسخ نهال‌های چهارماهه افرا شیردار(*Acer cappadocicum*) به چهار سطح تنش خشکی عدم‌تغییر معنی‌دار بیشتر صفات ریخت‌شناسی را نشان داد. نویسندگان زمان کوتاه بین شروع اعمال تنش و آستانه پژمردگی گونه را دلیل احتمالی عدم پاسخ پارامترهای ریخت‌شناسی به تنش دانستند(اصغر پور و همکاران، ۱۳۹۶). افرا پلت (*Acer velutinum* Boiss.) ازجمله باارزش‌ترین گونه‌های بومی ایران با وفور بالا و انحصاری جنگل‌های هیرکانی است که در برنامه‌های جنگل‌کاری و احیای جنگل مورداستفاده قرار می‌گیرد (مظفریان،۱۳۸۳؛ Akhani et al., 2010). این تحقیق به دنبال شناسایی میزان موفقیت نسبی گونه افرا پلت در شرایط مختلف کاهش رطوبت خاک است. هدف این تحقیق، بررسی پاسخ نهال‌های این‌گونه به سطوح مختلف تیمارهای خشکی به کمک صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بود. نتایج این تحقیق درک مناسبی از اثرات بالقوه کمبود آب بر روی نهال‌های افرا اپلت ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت طرح تصادفی کامل با سه تکرار و چهار سطح تنش خشکی اجرا شد. نهال‌های یک‌ساله از مرکز تهیه نهال ایستگاه پیلمبرا در شهرستان رضوان‌شهر تهیه شد. نهال‌ها به گلدان‌های پلی‌اتیلنی انتقال یافت و تا زمان اعمال تنش خشکی به میزان مناسب آبیاری شدند. برای تعیین میزان چهار سطح تنش خشکی (۲۵٪ (تنش شدید)، ۵۰٪ (تنش متوسط)، ۷۵٪ (تنش خفیف) و ۱۰۰٪ (بدون تنش) درصد ظرفیت زراعی، ابتدا برخی پارامترهای خاک ازجمله بافت، وزن مخصوص و رطوبت در آزمایشگاه تعیین شد. با توجه به ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی و وزن نهال و گلدان و وزن خاک خشک و رطوبت خاک در نقاط یادشده، وزن مرجع مشخص شد و آبیاری نهال‌ها در هر چهار تیمار پس از توزین گلدان با توجه به این وزن انجام گردید (آهنی و همکاران،۱۳۹۶؛ Saxton et al., 1986).

قطر یقه با استفاده از کولیس دیجیتالی (با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) و ارتفاع نهال‌ها با استفاده از خط کش مدرج با

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-25]

دقت (۰/۱ متر) اندازه‌گیری گردید. برای تعیین زی‌توده اندام‌ها از هر تکرار یک نهال از خاک خارج‌شده و پس از شست‌وشوی خاک اطراف ریشه، به سه قسمت ریشه، ساقه و برگ جدا شدند. قبل از قرار دادن در آون، وزن‌تر آن‌ها اندازه‌گیری سپس با قرار دادن در آون (دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) با ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۰۱) توزین و زی‌توده‌های ریشه، ساقه و برگ اندازه-گیری و ثبت شد. به‌منظور اندازه‌گیری سطح برگ از هر تیمار سه پایه انتخاب و از هر پایه سه برگ به‌صورت تصادفی انتخاب و با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج اندازه‌گیری شد. از نسبت بین کل سطح برگ هر گیاه و کل وزن خشک برگ در هر گیاه، سطح ویژه برگ محاسبه شد.

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ ابتدا نمونه‌های برگ با آب مقطر شسته شده و با کاغذ صافی خشک شدند. ده دیسک برگی به قطر یک سانتیمتر از هر برگ جدا و وزن آن‌ها (وزن‌تر) یادداشت شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ساعت در داخل لوله آزمایش حاوی آب مقطر در داخل یخچال در دمای ۴ درجه قرارگرفته سپس با کاغذ صافی خشک و با ترازوی دیجیتالی با دقت ده‌هزارم وزن شدند. وزن آماس یادداشت و سپس در داخل آون در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و وزن خشک آن‌ها یادداشت شد (Toscano et al., 2016). برای اندازه‌گیری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی، ۲۰۰ میلی‌گرم برگ سابیده شده به ۱۰ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد اضافه شد. این مخلوط از کاغذ صافی واتمن شماره ۲ عبور داده شد. جذب نوری محلول صاف‌شده در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و۴۷۰ نانومتر قرائت گردید (Arnon, 1967؛ Lichtenthaler, 1987). میزان پرولین به روش بیتس و همکاران(Bates et al., 1973) انجام گرفت. در این روش به نمونه برگ منجمد آسیاب‌شده با نیتروژن مایع سولفوسالیسیلیک اسید اضافه شد. این مخلوط از کاغذ صافی عبور داده شد. محلول رویی و صاف‌شده به معرف ناین‌هیدرین و استیک‌اسید افزوده شد و پس از حمام آب گرم، واکنش در حضور یخ متوقف و تولوئن به مخلوط اضافه شد. جذب نوری محلول رویی در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر با اسپکترومتر قرائت شد. غلظت پرولین نمونه‌ها با استفاده از منحنی جذب غلظت‌های پرولین استاندارد محاسبه شد. میزان پراکسیداسیون لیپیدها از طریق میزان مالون‌دی‌آلدئید اندازه‌گیری شد. ۱۰۰ میلی‌گرم بافت برگ در ۲ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید ۰/۱ درصد (W/V) مخلوط شده و در ۱۲۰۰۰ گرم به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد، سپس ۰/۵ میلی‌لیتر فاز بالایی با ۱/۵ میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید ۲۰ درصد (وزنی/حجمی) حاوی۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید (TBA) مخلوط و به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد گرم شد و به‌سرعت در یک حمام یخ خنک شد. سپس مخلوط در ۱۰۰۰۰ گرم به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شد و جذب مایع رویی در طول‌موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر ثبت شد (Chakhchar et al., 2015). فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (SOD) از طریق توانایی مهار کاهش فتوشیمیایی نیتروبلو تترازولیوم (NBT) به فومازان توسط رادیکال‌های سوپراکسید اندازهگیری شد. یک واحد SOD به‌عنوان مقدار آنزیم موردنیاز برای ایجاد مهار ۵۰ درصدی کاهش فتوشیمیاییNBT در ۵۶۰ نانومتر در نظر گرفته شد (Giannopolitis et al., 1977). فعالیت پراکسیداز گایاکول (GPX) بر اساس روش گایاکول موردسنجش قرار گرفت. GPX توسط پراکسید هیدروژن، گایاکول را به تتراگوایاکول در ۴۷۰ نانومتر کاتالیز می‌کند. میزان جذب به مدت ۲ دقیقه خوانده شد (Plewa et al.,1991).

درنهایت برای تجزیه‌وتحلیل آماری، داده‌ها در نرم‌افزار اکسل سازمان‌دهی و نمودارهای مربوط ترسیم شد. تجزیه‌وتحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 انجام گرفت. از تجزیه واریانس یک‌طرفه به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی بر هریک از صفات استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. پیش از آزمون، نرمال بودن داده‌ها به کمک آزمون کولموگروف- سمیرنوف و همگنی واریانس بین گروه‌ها با آزمون لون بررسی شد.

نتایج

جدول۱تجزیه واریانس صفات ریخت‌شناسی در تیمارهای تنش در گونه افرا را نشان می‌دهد. تمام صفات ریخت‌شناسی اندازه‌گیری‌شده تفاوت معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد را نشان دادند و تنها صفت قطریقه تفاوت معنی‌دار درسطح ۹۵ درصد را نشان دادند. با توجه به معنی‌دار بودن تجزیه واریانس صفات ریخت‌شناسی، تفاوت میانگین تیمارها در جدول۲ آمده است. ارتفاع و قطر یقه نهال‌ها به ترتیب افت۲۱/۵ و۱۶/۹درصد در تیمار تنش شدید و افت

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-25]

۱۵/۹ و۶/۳ درصد در تیمار تنش متوسط نسبت به شاهد را نشان دادند. افت زی‌توده کل و زی‌توده اندام‌ها در هر سه سطح تنش اعمال‌شده کاهش معنی‌دار را نشان داد. میزان افت زی‌توده کل به ترتیب ۳۱، ۵۹/۷ و۶۴/۷ درصد در تنش خفیف، متوسط و شدید نسبت به شاهد بود. کاهش در میزان زی‌توده برگ در تنش خفیف، متوسط و شدید نسبت به شاهد به ترتیب ۳۶، ۷۷/۷ و ۸۰/۱۲ درصد مشاهده شد. زی‌توده ساقه کاهش ۹/۲، ۴۸/۱۸ و ۶۲/۹ درصدی را به ترتیب در تیمارهای تنش خفیف، متوسط و شدید نسبت به شاهد نشان داد و درنهایت در ویژگی زی‌توده ریشه به ترتیب افت ۵۵/۴،۳۳/۸ و۵۸/۳ درصدی در تیمارهای تنش، متوسط و شدید نسبت به شاهد مشاهده شد. سطح برگ نیز کاهش ۳۶/۳، ۵۰/۷ و ۷۱/۹ درصدی را به ترتیب در تنش، متوسط و شدید نسبت به شاهد نشان داد و درنهایت شاخص سطح ویژه برگ افزایش معنی‌دار در سطح تنش متوسط به میزان ۷۰/۹ درصد نسبت به شاهد نشان داد.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات ریخت‌شناسی نهال‌های گونه افرا در تیمارهای تنش خشکی

صفات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
ارتفاع	۳	۲۵۴/۱۳۲	۷/۶۸	۰/۰۰۱**
قطر یقه	۳	۱۰/۳۰۸	۳/۷۸	۰/۰۲*
زی‌توده ریشه	۳	۲۵۵/۳۳	۱۵/۸۷	۰/۰۰۱**
زی‌توده ساقه	۳	۵۰	۳۷/۵	۰/۰۰۰ **
زی‌توده برگ	۳	۱۲۱/۴۱	۹۱/۰۶	۰/۰۰۰**
زی‌توده کل	۳	۱۱۴۲/۵۲	۵۲/۷	۰/۰۰۰**
سطح برگ	۳	۴۱۸۵/۲۳	۳۵/۶۷	۰/۰۰۰**
سطح ویژه برگ	۳	۴۳۳۶/۵۴	۱۲/۳۳	۰/۰۰۲**

**: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ ،*: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ns : معنی‌دار نیست.

جدول۲- میانگین و انحراف از میانگین صفات ریخت‌شناسی نهال‌های افرا در تیمارهای تنش خشکی

صفات	تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی	تیمار ۷۵ درصد ظرفیت زراعی	تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی	تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی
ارتفاع (سانتی‌متر)	۵۱/۲±۵/۶۶ a	۵۰/۱±۷/۲۳ a	۴۳/۱±۳/۴۴ b	۴۰/۲±۴/۲۳b
قطر یقه (میلی‌متر)	۱۴/۰±۲/۵۸ a	۱۴/۰±۰/۵۲ a	۱۳/۰±۳/۵۹ ab	۱۱/۰±۸/۴۸ b
زی‌توده ساقه (گرم)	۱۴/۰±۳/۸۸ a	۱۱/۰±۷/۸۸ b	۷/۰±۳/۳۳ c	۵/۰±۳/۳۳ c
زی‌توده ریشه (گرم)	۳۴/۲±۲/۹ a	۲۲/۳±۷/۲۸ b	۱۵/۰±۳/۸۸ bc	۱۴/۱±۳/۲۰ c
زی‌توده برگ (گرم)	۱۶/۰±۶/۳۳ a	۱۰/۱±۶/۲۰ b	۳/۰±۷/۳۳ c	۳/۰±۳/۳۳ c
زی‌توده کل (گرم)	۶۵/۳±۳/۷۵ a	۴۵/۳±۰/۲۱ b	۲۶/۱±۳/۴۵ c	۲۳/۱±۰/۵۳ c
سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	۱۲۳/۱۱±۴/۲۱ a	۷۸/۳±۵/۴۱ b	۶۰/۴±۸/۳۰ b	۳۴/۰±۶/۸۱ c
سطح ویژه برگ (سانتی‌متر مربع/ گرم)	۱۱۷/۵±۲/۲۲b	۱۳۱/۱۰±۸/۳۴ b	۲۰۰/۱۴±۳/۵۳ a	۱۲۶/۱۱±۷/۱۱ b

جدول۳ تجزیه واریانس تفاوت صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در تیمارهای تنش در گونه افرا پلت را نشان می‌دهد. از بین صفات موردبررسی کلروفیلb و کاروتنوئید تغییر معنی‌داری بین تیمارهای تنش نداشته و مابقی صفات تفاوت معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد را نشان دادند. با توجه به معنی‌دار بودن آزمون، تفاوت میانگین تیمارها در جدول ۴ آمده است. میزان کاهش به ترتیب در تیمار تنش شدید و متوسط نسبت به شاهد در کلروفیل a ۲۸ و ۲۴ درصد و کلروفیل کل ۳۶/۲ و ۲۵/۵ درصد نسبت به شاهد بود. میزان افت معنی‌دار رطوبت برگ در تنش شدید نسبت به شاهد ۲۷/۳ درصد بود. میزان درصد افزایش پرولین در تیمار تنش شدید ۱۳۲/۶ درصد و متوسط ۱۳۶/۸ درصد نسبت به شاهد بود. میزان مالون‌دی‌آلدئید با افزایش شدت تنش افزایش نشان داد و میزان آن در تنش شدید و متوسط در مقایسه با شاهد ۶۵، ۶۰/۵ افزایش نشان داد. فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در تیمار تنش متوسط و شدید به ترتیب افزایش ۱۲/۵و ۸/۹ درصد را نشان داد. افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم پراکسیداز به میزان ۳۲۷/۳، ۱۱۳/۶و ۴۰ درصد به ترتیب در تیمار تنش متوسط، خفیف و شدید نسبت به شاهد مشاهده شد.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-25]

جدول ۳- تجزیه واریانس تغییرات صفات فیزیولوژیک - بیوشیمیایی در تیمارهای آبی گونه افرا پلت

صفات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
کلروفیلa	۳	۰/۲۱۹	۴/۸۳۵	۰/۰۳۳ ×
کاروفیل b	۳	۰/۰۵۹	۲/۷۸۴	۰/۱۱۰ ns
کلروفیل کل	۳	۰/۴۸۰	۸/۰۴۷	۰/۰۰۸ ××
کارتنوئید	۳	۰/۰۰۳	۱/۱۷۰	۸۰ ۰/۳ ns
محتوی نسبی آب برگ	۳	۲۰۲/۹۴	۱۰/۵۶۳	۰/۰۰۱××
پرولین	۳	۱/۴۰۸	۱۷/۱۱۵	۰/۰۰۱××
آنزیم پراکسیداز	۳	۳۲۴۵/۳۸۲	۲۰/۵۴۳	۰/۰۰۰××
آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز	۳	۱۲۴/۴۴۷	۹/۶۴۶	۰/۰۰۵××
مالون دی آلدئید	۳	۳۷/۱۳۶	۹/۹۷۱	۰/۰۰۴××

××: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ ،×: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ns : معنی‌دار نیست.

جدول۴- میانگین و انحراف از میانگین صفات فیزیولوژیک - بیوشیمیایی در تیمارهای آبی گونه افرا پلت

صفات	تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی	تیمار ۷۵ درصد ظرفیت زراعی	تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی	تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی
کلروفیل a (میلی‌گرم/ گرم وزن‌تر)	۱/۰±۰۰/۰۵^{a}	۱/۰±۳۰/۳۵^{ab}	۰/۰±۷۶/۱۳^{b}	۰/۰±۷۲/۱۰^{b}
کلروفیل کل(میلی‌گرم/ گرم وزن‌تر)	۱/۰±۴۹/۰۷^{ab}	۱/۰±۸۴/۲۳^{a}	۱/۰±۱۱/۰۲^{bc}	۰/۰±۹۵/۱۲^{c}
محتوی نسبی آب برگ (درصد)	۷۲/۳±۵۸/۸۲^{a}	۷۵/۲±۰۸/۶۶^{a}	۶۹/۳±۲۰/۸۲^{a}	۵۲/۱±۷۷/۳۶^{b}
پرولین (میکرو مول/ گرم وزن‌تر)	۰/۰±۹۵/۱۴^{b}	۱/۰±۱۶/۱۰۴^{b}	۲/۰±۲۵/۱۶^{a}	۲/۰±۲۱/۳۹^{a}
مالون‌دی آلدئید (نانومول/ گرم وزن‌تر)	۹/۱±۶۳/۳۶ ^{b}	۹/۱±۵۴/۰۱^{b}	۱۵/۱±۴۶/۲۲^{a}	۱۵/۱±۸۹/۲۳^{a}
آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (میکرو مول/ گرم وزن‌تر)	۱۲۱/۱±۷۸/۶۰^{c}	۱۲۹/۲±۸۵/۴۴^{b}	۱۳۷/۲±۰۶/۴۸^{a}	۱۳۲/۱±۷۲/۵۶^{ab}
آنزیم پراکسیداز (میکرو مول/ گرم وزن‌تر)	۲۲/۳±۵۵/۵۸^{c}	۴۸/۸±۱۲/۱۴^{b}	۹۶/۸±۳۶/۷^{a}	۳۱/۷±۵۷/۴۶^{bc}

بحث و نتیجه گیری

تنش خشکی به‌طور قابل‌توجهی ارتفاع، زی‌توده و قطر یقه نهال‌های افرا را از شاهد تا خشکی شدید کاهش داد. رشد گیاه یکی از مهم‌ترین فرایندهای اساسی گیاه بوده که به میزان قابل‌توجهی توسط عوامل محیطی ازجمله تغییر میزان آب تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Liu et al., 2019). خشکی رشد گیاه را کاهش داده و این کاهش رشد درنهایت منجر به کاهش زی‌توده می‌شود. زمانی که فعالیت مریستم ریشه‌ای تحت تنش خشکی قرارمی‌گیرد، سیگنال‌هایی با منشأ ریشه به برگ‌ها منتقل‌شده و منجر به کاهش هدر رفت آب و افت رشد برگ می‌گردد (Du et al., 2010). پاسخ ریخت‌شناسی اولیه گیاهان به تنش خشکی تنظیم میزان رشد است که به‌صورت کاهش ارتفاع ساقه، قطر یقه و تولید زی‌توده رخ می‌دهد و به‌عنوان مکانیسم‌های سازش یا اجتناب شناخته می‌شود (Lei et al., 2008; Wu et al., 2006).

تنش خشکی عموماً سطح برگ را کاهش می‌دهد. این کاهش به دلیل جلوگیری از توسعه برگ به دلیل آسیب تورژسانس سلول‌ها و همچنین کاهش سرعت کاهش فتوسنتز به فراورده‌های فتوسنتزی برای ایجاد سلول‌های جدید رخ می‌دهد (Tariq et al., 2018; Zhang et al., 2019). به عقیده وو و همکاران (Wu et al., 2008) کاهش سطح برگ و سطح ویژه برگ، نشانگر استراتژی اجتناب است. کاهش این صفات در افرا پلت تحت تنش شدید می‌تواند استراتژی اجتناب باشد. بااین‌حال، سطح ویژه برگ در تیمار تنش متوسط بالاتر از سایر تیمارهای تنش بودند. سطح ویژه بالاتر نشان‌دهنده ناحیه فتوسنتزی بالاتر و بنابراین جذب کارآمدتر کربن است (Barros et al., 2020). گیاهان سطح برگ را تحت تنش خشکی کاهش می‌دهند. داشتن سطح برگ کم اما سطح ویژه بالا شاخص تحمل به خشکی است (Wu et al., 2017).

میزان سطح آب برگ شاخص اساسی تعیین میزان آب سلول‌ها و بافت‌ها است که برای فرآیندهای فیزیولوژیکی مناسب و رشد بسیار مهم است (Ying et al., 2015).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-25]

بنابراین شاخص قدرتمند و مطمئن تخمین تحمل خشکی است (Tariq et al., 2018). در مطالعه حاضر، نهال‌ها فقط تحت تنش شدید آب کاهش قابل‌توجهی را در میزان این شاخص نشان دادند که نشان‌دهنده توانایی نسبی گونه برای حفظ فشار اسمزی و تحمل تنش خشکی است. کاهش محتوای کلروفیل که به دلیل سنتز آهسته یا تخریب سریع به دلیل افزایش فعالیت کلروفیلاز رخ می‌دهد و یکی از علائم رایج تنش اکسیداتیو است (Medeiros et al., 2013). محتوای کلروفیل a و کلروفیل‌کل با افزایش تنش به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. اگرچه میزان کاروتنوئیدها در اثر خشکی افزایش جزئی و غیر معنی‌دار را نشان داد. این موضوع ممکن است تلاشی به‌منظور کاهش آسیب ساختار فتوسنتزی ناشی از تنش باشد. کاروتنوئیدها نقش ویژه‌ای در ساختار فتوسنتزی دارند، آن‌ها انرژی اضافی را به‌صورت گرما آزاد می‌کنند، گونه‌های فعال اکسیژن را از بین می‌برند و از پراکسیداسیون لیپیدها جلوگیری می‌کنند (Wu et al., 2013). گیاهان با تجمع مقادیر قابل‌توجهی از پرولین آزاد، پروتئین‌محلول و قندمحلول مقاومت به تنش را در خود ارتقا داده تا غلظت شیره سلولی را حفظ کرده و این امر موجب حفظ فشار سلول شده و از دهیدراته شدن بیش‌ازاندازه پلاسما جلوگیری می‌کند (Guo et al., 2018). تجمع پرولین مکانیسم سازشی تنظیم‌کننده اسمز است. پرولین همچنین به‌عنوان آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی عمل می‌کند و با حفظ ساختار شیمیایی موجب تثبیت پروتئین‌ها می‌شود (Toscano et al., 2016 ;Guo et al., 2010). در این تحقیق، محتوای پرولین در تیمار تنش متوسط و شدید در نهال‌های افرا به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. تنظیم اسمزی تحت شرایط پایین‌تر از شرایط بهینه در نهال‌های جوان به‌منظور حفظ فعالیت متابولیکی در طی استقرار که ریشه‌ها به آب سطوح عمیق خاک دسترسی ندارند، می‌تواند مزیت اکولوژیکی باشد (Lei et al., 2006).

مالون‌دی‌آلدئید محصول تجزیه اسیدهای چرب غیراشباع در فسفولیپیدهای غشای سلولی است و شدت آسیب اکسیداتیو از طریق پایش میزان مالون‌دی‌آلدئید در تنش خشکی استفاده می‌گردد (Wang et al., 2012 ; Guo et al., 2018). خشکی منجر به تجمع قابل‌توجه مالون‌دی‌آلدئید در نهال افرا پلت تحت تنش شدید و متوسط شد. افزایش معنی‌دار محتوای مالون‌دی‌آلدئید طی تنش خشکی نشان داد که تنش خشکی باعث آسیب اکسیداتیو این‌گونه در این سطوح از تیمار تنش شده است. سوپراکسیددیسموتاز و پراکسیداز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مهمی هستند که می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی تجمع و آسیب گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش دهند، بنابراین می‌توانند سطوح پراکسیداسیون لیپیدها را تنظیم کنند. واکنش‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی فوق با مقاومت به خشکی مرتبط است(Ying et al., 2015; Li et al., 2008). تنش خشکی فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز و پراکسیداز را تحت تیمارهای خشکی افزایش داد. مقادیر فعالیت‌های آنزیمی آنتی‌اکسیدانی با پتانسیل گیاهان برای مقابله با محیط نامساعد مرتبط است(Guo et al., 2018). مشاهده تغییرات در دو آنزیم نشان دادند که پراکسیداز نسبت به سوپراکسیددیسموتاز افزایش معنی‌دار بیشتری داشت. یانگ و همکاران (Yang et al., 2015) با بررسی تغییرات میزان آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز و پراکسیداز در یک دوره زمانی در گونه Camptotheca acuminata تحت تنش خشکی گزارش دادند که فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز ابتدا افزایش و سپس با تداوم تنش، کاهش‌یافته است و این آنزیم، آنزیم آنتی‌اکسیدان اساسی تحت تنش خشکی در این گونه نخواهد بود. در این مطالعه بیشترین مقدار فعالیت پراکسیداز در تیمار تنش متوسط و کمترین آن تحت تنش شدید مشاهده شد. به عقیده توسکانو و همکاران (Toscano et al., 2016) برخی از گونه‌های گیاهی سازگار با تنش خشکی، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را طی تنش خشکی متوسط و خفیف نشان می‌دهند.

گیاهان با تغییر برخی پارامترها، مدیریت تأمین آب و سازش با تنش را انجام می‌دهند. پژوهش حاضر نشان داد که نهال‌های افرا پلت می‌توانند با پاسخ‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی به خشکی مقاومت نشان دهند. نهال‌های افرا پلت به کمک مکانیسم‌های اجتناب و تحمل ازجمله کاهش رشد، زی‌توده، سطح برگ، میزان آب برگ، کلروفیل و افزایش سطح ویژه برگ، پرولین، مالون‌دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به تنش پاسخ داده‌اند. آسیب فیزیولوژیک و کاهش شدید رشد و زی‌توده برای احیای پوشش گیاهی توصیه نمی‌شود و تأمین آب در مرحله نهال بسیار حیاتی است. بررسی خشکی بلندمدت و چند فصل رویشی در رویشگاه طبیعی و گلخانه به‌منظور ارزیابی دقیق-

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-25]

تر پاسخ گونه موردمطالعه به تنش خشکی سودمند خواهد بود.

منابع

اصغرپور، ا.، آزادفر، د.، سعیدی، ز. ۱۳۹۶. ارزیابی تحمل به خشکی نهال‌های افرا شیردار (*Acer cappadocicum* Gled.)، مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۳۰: ۱-۱۱.

آهنی، ح.، جلیلوند، ح.، واعظی، ج.، ساداتی، ا. ۱۳۹۶. تأثیر تنش خشکی روی ریخت‌شناسی نهال سنجد تلخ Elaeagnus rhamnoides (L.) A. Nelson، نشریه حفاظت زیست‌بوم گیاهان، ۵: ۲۰۴-۱۹۱.

برشان، م.، طبری کوچک‌سرایی، م.، ساداتی، س. ا.، شاه‌حسینی، ر. ۱۳۹۵. رویش و زنده‌مانی نهال بید سفید (*Salix alba* L.) تحت تنش کم‌آبی، جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۹: ۲۵۷-۲۴۹.

رستم‌آبادی، ع.، جلیلوند، ح.، نعمت زاده، ق.، گودرزی، م.، صیاد، ا. ۱۳۹۵. پارامترهای تبادلات گازی و عملکرد فلورسانس کلروفیل نهال‌های تحت تنش خشکی بلوط اوری (*Quercus macranthera* F&M)در استان گلستان)، بوم‌شناسی جنگل‌های ایران ۴: ۵۰-۴۱.

زرافشار، م.، اکبری نیا، م.، حسینی، س.م.، رهایی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی مقاومت به خشکی در گلابی جنگلی (*Pyrus boisseriana* Buhse.)، نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، ۶۹: ۱۱۰-۹۷.

مظفریان، و.ا. ۱۳۸۳. درختان و درختچه‌های ایران، انتشارات فرهنگ معاصر، ۱۰۰۳ صفحه.

Abid, M., Ali, S., Qi, L.K., Zahoor, R., Tian, Z., Jiang, D., Snider, J.L., Dai, T., 2018. Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L .). Scientific Reports 1–15.

Akhani, H., Djamali, M., Ghorbanalizadeh, A., Ramezani, E. 2010. Plant biodiversity of Hyrcanian relict forests, N Iran: an overview of the flora, vegetation, palaeoecology and conservation. Pakistan Journal of Botany, 42(1): 231-258.

Arnon, AN. 1967. Method of chlorophyll measurements in plants. Agronomy Journal. 23: 112-121.

Barros, V., Melo, A., Santos, M., Nogueira, L., Frosi, G., Santos, M.G. 2020. Different resource-use strategies of invasive and native woody species from a seasonally dry tropical forest under drought stress and recovery. Plant Physiology and Biochemistry 147, 181–190.

Bates, L. S. 1973. Rapid determination of free proline for water -stress studies. Plant and Soil 207, 205–207.

Chakhchar, A., Wahbi, S., Lamaoui, M., Ferradous, A., Mousadik, A. El, Ibnsouda-Koraichi, S., Filali-Maltouf, A., Cherkaoui, &, Modafar, E., El Modafar, C. 2015. Physiological and biochemical traits of drought tolerance in *Argania spinosa*. Journal of Plant Interactions 10, 252–261.

Díaz-lópez, L., Gimeno, V., Simón, I., Martínez, V., Rodríguez-ortega, W.M., García-sánchez, F. 2012. *Jatropha curcas* seedlings show a water conservation strategy under drought conditions based on decreasing leaf growth and stomatal conductance. Agricultural Water Management 105, 48–56

Du, N, Guo, W., Zhang, X., Wang, R. 2010. Morphological and physiological responses of *Vitex negundo* L. var. heterophylla (Franch.) Rehd. to drought stress. Acta physiologiae plantarum, 32, 839-848.

Giannopolitis, C.N., Ries, S.K., Gutteridge, J.M.C. 1977. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. Plant physiology 59, 309–314.

Guo, J., Yang, Y., Wang, G., Yang, L., Sun, X. 2010. Ecophysiological responses of *Abies fabri* seedlings to drought stress and nitrogen supply. Physiologia Plantarum 139, 335–347.

Guo, Y.Y., Yu, H.Y., Yang, M.M., Kong, D.S., Zhang, Y.J. 2018. Effect of Drought Stress on Lipid Peroxidation , Osmotic Adjustment and Antioxidant Enzyme Activity of Leaves and Roots of *Lycium ruthenicum* Murr . Seedling 1 65, 244–250.

Khaleghi, A., Naderi, R., Brunetti, C., Maserti, B.E., Salami, S.A., Babalar, M. 2019. Morphological, physiochemical and antioxidant responses of *Maclura pomifera* to drought stress. Scientific Reports 9, 1–12.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-25]

drought effects on *Alnus cremastogyne* by regulating its antioxidant and osmotic potential. Scientific Reports 8, 1–11.

Toscano, S., Farieri, E., Ferrante, A., Romano, D. 2016. Physiological and biochemical responses in two ornamental shrubs to drought stress. Frontiers in plant science 7, 645.

Wang, R., Gao, M., Ji, S., Wang, S., Meng, Y,, Zhou, Z. 2016. Carbon allocation, osmotic adjustment, antioxidant capacity and growth in cotton under long-term soil drought during flowering and boll-forming period, Plant Physiology et Biochemistry 107: 137-146.

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 o f drought-tolerant and drought-sensitive apple rootstocks. Plant Physiology and Biochemistry 51, 81–89.

Wu, F., Bao, W., Li, F., Wu, N. 2008. Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. Environmental and Experimental Botany 63, 248–255.

Wu, J., Li, J., Su, Y., He, Q., Wang, J., Qiu, Q., Ma, J. 2017. A morphophysiological analysis of the effects of drought and shade on *Catalpa bungei* plantlets. Acta Physiologiae Plantarum 39(3), 80.

Wu, M., Zhang, W.H., Ma, C., Zhou, J.Y. 2013. Changes in morphological, physiological, and biochemical responses to different levels of drought stress in chinese cork oak (*Quercus variabilis* Bl.) seedlings. Russian Journal of Plant Physiology 60, 681–692.

Ying, Y.Q., Song, L.L., Jacobs, D.F., Mei, L., Liu, P., Jin, S.H., Wu, J.S. 2015. Physiological response to drought stress in *Camptotheca acuminata* seedlings from two provenances. Frontiers in Plant Science 6, 1–8.

Zhang, Y., Yu, T., Ma, W., Tian, C., Sha, Z., Li, J. 2019. Morphological and physiological response of *Acer catalpifolium* Rehd. Seedlings to water and light stresses. Global Ecology and Conservation 19.

Kunz, J., Räder, A., Bauhus, J. 2016. Effects of drought and rewetting on growth and gas exchange of minor European broadleaved tree species. Forests, 7: 239.

Lei, Y., Yin, C., Li, C., 2006. Differences in some morphological, physiological, and biochemical responses to drought stress in two contrasting populations of *Populus przewalskii*. Physiologia Plantarum 127, 182–191.

Li, H.H., Han, G., Wang, Q.J., 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.

Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. Methods in Enzymology 148, 350–382.

Liu, B., Liang, J., Tang, G., Wang, X., Liu, F., Zhao, D. 2019. Drought stress affects on growth, water use efficiency, gas exchange and chlorophyll fluorescence of Juglans rootstocks. Scientia Horticulturae, 250, 230-235.

Medeiros, D.B., Silva, E.C. da, Nogueira, R.J.M.C., Teixeira, M.M., Buckeridge, M.S. 2013. Physiological limitations in two sugarcane varieties under water suppression and after recovering. Theoretical and Experimental Plant Physiology 25, 213–222.

Plewa, M.J., Smith, S.R., Wagner, E.D., 1991. Diethyldithiocarbamate suppresses the plant activation of aromatic amines into mutagens by inhibiting tobacco cell peroxidase 247, 57–64.

Sarker, U., Oba, S. 2018. Catalase, superoxide dismutase and ascorbate-glutathione cycle enzymes confer drought tolerance of *Amaranthus tricolor*. Scientific Reports 8, 1–12.

Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S., Papendick, R.I. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture, Soil Science Society of America Journal, 50:1031-1036.

Tariq, A., Pan, K., Olatunji, O.A., Graciano, C., Li, Z., Sun, F., Zhang, L., Wu, X., Chen, W., Song, D., Huang, D., Xue, T., Zhang, A. 2018. Phosphorous fertilization alleviates

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-25]

Drought tolerance in *Acer velutinum* Boiss. seedlings using morphophysiological analysis

Mokarram Ravanbakhsh[1*], Babak Babakhani[2], Mahmood Ghasemnezhad[3], Fariba Serpooshan[4], Mohamad Hassan Biglouie[5]

[1]Instructor, Environmental Research Institute, Academic Center for Education, Cultural Research (ACECR), Guilan, Rasht, Iran.; [1]PhD Student of Biology, Department of Biology, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran.
[2]Assistant professor, Department of Biology, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran.
[3] professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
[4]Assistant professor, Department of Biology, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran.
[5]Associate professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.

Received: 2022/12/03; Accepted: 2023/07/13

Abstract

Acer velutinum Boiss. (Persian or velvet maple) is one of the industrial and important species of Hyrcanian (Caspian) forests with wide distribution. This species is rarely seen in the forests of other parts of the world and has only been reported from the forests of the Caucasus. Therefore the information about this species is very limited. This research aims to investigate the response of *A. velutinum* seedlings to drought stress as one of the consequences of climate change. Seedlings of velvet maple were analyzed in terms of height, basal diameter, leaf area (LA), specific leaf area (SLA), biomass, photosynthesis pigments, relative water content RWC), free proline, malondialdehyde (MDA), superoxide dismutase(SOD), and peroxidase(POD) activities to drought stress. One year old of Potted plants were exposed to four water supply regimes (100, 75, 50, and 25% field capacity (FC); performed as a control, mild, moderate, and severe water stress. The results showed that drought reduced all aspects of growth in the velvet maple. It negatively affected on growth and reduced plant height, stem diameter, biomass, and leaf area, but SLA significantly increased under moderate treatment. Drought stress reduced chlorophyll content, however, no significant difference was found for carotenoids. RWC reduced significantly just under severe drought stress. Proline and MDA content increased significantly when plants were exposed to moderate and severe drought stress. Drought stress induced POD and SOD activity under drought treatments, although the highest activities were measured under mild and moderate treatments. Our data demonstrate that *A. velutinum* seedlings have relative drought resistance. They used drought avoidance and tolerance mechanisms through changes in morpho-physiological characteristics. The results of this research briefly showed the mechanisms of drought tolerance in *A. velutinum* and will provide essential information for more research in the future.

Keywords: Drought stress; Oxidative stress, Osmotic adjustment; Velvet maple

*Corresponding author: Ravanbakhsh@acecr.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-25]