

ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژی نهال‌های محلب (*Prunus mahaleb* L.) و زالزالک زرد (*Crataegus aronia* L.) تحت تنش کم‌آبی

پیمان اشکاند^۱، مسعود طبری کوچکسرای^{۲*} و مهرداد زرافشار^۲

^۱ کارشناس ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

^۲ استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

^۲ استادیار بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۵/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۷/۱۷)

چکیده

کم‌آبی از مهم‌ترین عامل‌های محیطی است که فتوسنتز و عملکرد رویشی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این مطالعه اثر کمبود آب بر مشخصه‌های رویشی و فیزیولوژی دو گونه محلب (*Prunus mahaleb* L.) و زالزالک زرد (*Crataegus aronia* L.) در مدت ۶۰ روز ارزیابی شد. برای این منظور، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی در دو سطح کم‌آبی (آبیاری به اندازه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و کنترل (آبیاری در حد ظرفیت زراعی) با ۵ تکرار انجام گرفت. نتایج نشان داد در طول مدت کم‌آبی، در نهال‌های هر دو گونه و به‌ویژه محلب، نرخ فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق با افزایش زمان کاهش یافت (به ترتیب برای زالزالک ۶۴، ۶۸، ۶۲ درصد و برای محلب، ۶۱، ۴۷، ۶۱ درصد). این در حالی است که در پی کاهش محتوای نسبی رطوبت برگ، در هر دو گونه درصد نشت الکترولیت افزایش یافت (برای زالزالک ۳۱ درصد و محلب ۲۳ درصد). تنش کم‌آبی موجب کاهش رویش طولی (۴۴ درصد) و رویش قطری (۳۹ درصد) نهال‌های آن نسبت به شاهد شد. چنین روندی کم و بیش در نهال‌های زالزالک مشاهده شد. برعکس زالزالک، در محلب همبستگی معنی‌داری بین مشخصه‌های فیزیولوژی و زی‌توده کل نهال مشاهده شد. در کل، باید گفت که با تنش خشکی اعمال‌شده، اغلب مؤلفه‌های مرفو- فیزیولوژی نهال هر دو گونه دچار تنزل شد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آبی، زالزالک، زی‌توده، محتوای نسبی رطوبت، محلب.

مقدمه و هدف

در اکوسیستم‌های خشک، گیاهان با پاسخ‌های اکوفیزیولوژی مناسب همانند کاهش تبادلات گازی و جذب کربن، کاهش پتانسیل آبی، بستن روزنه‌ها و تنظیم نرخ فتوسنتز، تعرق و بهره‌وری فتوسیستم II، خود را با شرایط محیطی سازگار می‌کنند (Ranjbar fordoei *et al.*, 2013). تنش خشکی نسبت به سایر تنش‌ها مخرب‌ترین تنش زیست‌محیطی است که به‌شدت بر رشد، توسعه و عملکرد گیاهان به شدت تأثیر مهارکننده دارد (Mahajan and Tuteja, 2005). به‌طور کلی، در گیاهان سه نوع مکانیزم مقاومت به خشکی، شامل اجتناب از خشکی^۱ (مانند افزایش طول ریشه)، تحمل به خشکی^۲ (مانند تجمع موادی که موجب حفظ تعادل اسمزی^۳ می‌شود) و فرار از خشکی^۴ (مانند طی کردن فنولوژیک و رسیدگی، قبل از اینکه تنش خشکی به‌صورت عامل محدودکننده جدی درآید) مشاهده می‌شود (Bassett, 2013).

از پیامدهای تنش خشکی، کاهش رطوبت قابل دسترس برای ریشه، افزایش تبخیر و تعرق نسبت به جذب آب، افزایش تنفس سلولی و خسارت به فرایندهای متابولیکی و ساختمانی سلول، بازدارندگی نوری، اکسیداسیون نوری و سرانجام مرگ برگ‌ها است. همچنین، افزایش سفتی خاک ناشی از خشک شدن و اثر آن بر رشد ریشه، کاهش رشد برگ‌ها و فتوسنتز، غیر قابل دسترس شدن مواد غذایی در محیط ریشه، تجمع نمک در لایه‌های بالایی خاک و اطراف ریشه‌ها و مسمومیت عناصر غذایی، از دیگر خسارات ناشی از تنش خشکی است (کافی و دامغانی، ۱۳۸۶).

مستندات زیادی تأثیر تنش‌های محیطی را روی توقف رشد گیاهان و فرایندهای فیزیولوژیک، کاهش

بازدهی گیاهان و مرگ‌ومیر گیاهان تأیید کرده‌اند. از جمله، جوادی و بهرام‌نژاد (۱۳۸۹) با آزمایشی روی سه ژنوتیپ گلابی وحشی در چهار رژیم آبیاری، کاهش نرخ تبادلات گازی و کاهش محتوای نسبی رطوبت برگ (RWC) را مشاهده کردند. ژنوتیپ "کویله" در مقایسه با دو ژنوتیپ دیگر به‌علت داشتن RWC بالا در طول تنش خشکی و عدم کاهش وزن خشک در تیمارهای تنش ملایم نسبت به شاهد، تحمل بیشتری نسبت به خشکی نشان داد. در تحقیقی دیگر، Jie و همکاران (۲۰۱۳) پس از اعمال خشکی (در دو سطح کنترل و قطع آبیاری به مدت شش هفته) روی نهال‌های سیب (*Malus domestica*)، کاهش نرخ فتوسنتز، تعرق، محتوای نسبی رطوبت برگ (RWC)، مقدار کربوهیدرات، رویش طولی، رویش قطری، تعداد برگ و متوسط سطح برگ را مشاهده کردند. در تحقیقی، Rieger *et al.* (2003) نهال‌های دو گونه آلوچه (*Prunus ferganensis* و *Prunus persica*) و هیبرید آنها را به مدت ۲۵ روز در دو سطح آبیاری (ظرفیت زراعی و ۵۰-۲۵ درصد ظرفیت زراعی) قرار دادند و دریافتند که تنش خشکی موجب کاهش پتانسیل آبی، فتوسنتز و تعرق نهال‌ها شد.

تنش خشکی در حقیقت، ناشی از کاهش پتانسیل رطوبتی خاک است که رشد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Cruz de Carvalho, 2008). در تحقیقی Echevarria-Zomeño *et al.* (2009) نهال‌های بلوط سبز (*Quercus ilex*) را در سه سطح آبیاری شامل ظرفیت زراعی، آبیاری ۷ روزه و قطع آبیاری قرار دادند. در نهال‌های تحت تنش خشکی شدید (قطع آبیاری)، کاهش در پتانسیل آبی برگ، رطوبت نسبی ساقه و محصول کوانتوم فتوسیستم II مشاهده شد، اما در هیچ یک از این مشخصه‌ها در نهال‌هایی که هر ۷ روز آبیاری می‌شدند، با گیاهان کنترل اختلاف معنی‌داری دیده نشد.

محلب یا آلبالو تلخه (*Prunus mahaleb* L.) از

¹ Drought avoidance

² Drought tolerance

³ Osmoprotectants

⁴ Drought escape

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، ابتدا خاکی با ترکیب سیلت- شن- رس (۱ : ۲ : ۱) تهیه شد. پیش از اجرای آزمایش، بافت، وزن مخصوص ظاهری و رطوبت خاک مورد استفاده در آزمایشگاه خاک‌شناسی اندازه‌گیری شد. پس از مشخص شدن مشخصات مذکور و ترسیم منحنی مشخصه رطوبتی خاک که رابطه بین پتانسیل ماتریک خاک با مقدار آب آن را مشخص می‌کند، با استفاده از فرمول Saxton et al. (1986) یا رابطه ۱، ظرفیت زراعی (FC) خاک تعیین شد. همچنین وزن مرجع، که مجموعی از وزن خاک خشک داخل گلدان، وزن گلدان، وزن نهال و وزن آب (برای نقطه پتانسیلی در FC) است، محاسبه شد تا مقدار آبی که لازم است در قالب هر سطح تیمار به هر گلدان داده شود (با توجه به FC مورد نظر) معین گردد.

$$\Psi_m = A\theta_v^B \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه Ψ_m پتانسیل ماتریک خاک برحسب کیلوپاسکال، θ_v مقدار رطوبت حجمی خاک برحسب متر مکعب رطوبت بر متر مکعب خاک و A و B ضرایبی هستند که می‌توان آنها را به ویژگی‌های خاک ارتباط داد (رابطه‌های ۲ و ۳).

رابطه ۲

$$A = \exp[-4.396 - 0.0715(c) - 4.88 \cdot 10^4 (s)^2 - 4.285 \cdot 10^{-5} (s)^2 (c)]^{100}$$

رابطه ۳

$$B = -3.14 - 0.00222c^2 - 3.14 \cdot 10^{-5} s^2 c$$

در رابطه‌های ۲ و ۳، \exp عدد نپر، C درصد رس و S درصد شن خاک است.

سپس نهال‌های یک‌ساله محلب و زالزالک زرد در اواخر اسفند ۱۳۹۱ در گلدان‌های منفذدار شش لیتری پلاستیکی کاشته شدند. آنگاه، در فصل رشد به‌منظور جلوگیری از تبخیر سطحی خاک، پس از مسدود کردن منفذ گلدان‌ها با چسب پلاستیکی و پوشش‌دار کردن سطح بیرونی گلدان‌ها با کاغذ آلومینیومی، تیمار تنش

جنس *Prunus* و تیره Rosaceae است (ثابتی، ۱۳۸۴). معمول‌ترین کاربرد این گونه، استفاده به‌عنوان پایه برای گیلاس و آلبالو است (قارونی و همکاران، ۱۳۹۱). به‌دلیل مقاومت آن به انواع بیماری (گنجی‌مقدم و طلائی، ۱۳۸۵) و دارا بودن شاخه‌های آویزان زیبا، اهمیت خاصی در جنگل‌کاری شهری و پارک‌سازی دارد (آقایی، ۱۳۷۴). از میوه محلب در تولید محصولات فرعی (جزیره‌ای و ابراهیمی رستاقی، ۱۳۸۲) و از برگ و میوه آن در صنایع رنگ و عطر (سختوتی و همکاران، ۱۳۹۰) و از نهال آن برای بازسازی و احیای جنگل‌های غرب استفاده می‌شود.

جنس زالزالک (*Crataegus*) دارای پراکندگی زیادی است. از ۲۱ گونه موجود آن در کشور، نه‌تنها در باغ‌ها، مزارع و حاشیه جاده‌ها، بلکه به‌دلیل داشتن گل و میوه زینتی در فضای سبز شهری استفاده می‌شود (میرزاده واقفی و همکاران، ۱۳۸۸). زالزالک زرد (*Crataegus aronia* L.) به‌دلیل تولید میوه قابل مصرف و نیز به‌عنوان گونه چندمنظوره در احیای جنگل‌های مخروطی زاگرس مورد توجه است؛ به‌علاوه، خاردار بودن آن، اهمیت آن را به‌عنوان گونه پرستار دوچندان کرده است.

شایان ذکر است که هر دو گونه مورد بررسی در رویشگاه جنگل‌های زاگرس پراکنش دارند (ثابتی، ۱۳۸۴؛ Khatamsaz, 1992) و در نهالستان‌های غرب کشور به تعداد مورد نیاز تولید می‌شوند. با توجه به کندی رشدشان و اینکه به‌طور معمول ۲-۳ سال طول می‌کشد تا در نهالستان برای انتقال به عرصه آماده شوند و نیز نظر به محدودیت منابع آب در برخی نهالستان‌های غرب کشور، در این تحقیق سعی شد با انجام آزمایشی، مقاومت اولیه نهال‌های این دو گونه در برابر کم‌آبی سنجیده شود. در این زمینه، به این پرسش که آیا نهال‌های محلب و زالزالک زرد با دریافت نصف آب ظرفیت زراعی خاک می‌توانند چه تغییری در صفات رویشی و فیزیولوژی‌شان ایجاد می‌شود، پاسخ داده خواهد شد.

رسیدن دمای نمونه‌ها به دمای اتاق، هدایت الکترولیت‌ها مجدداً اندازه‌گیری و حداکثر هدایت الکتریکی (EC Max) آنها ثبت شد. نسبت هدایت الکتریکی ۲۴ به حداکثر (برحسب درصد)، به‌عنوان میزان نشت الکترولیت محاسبه شد. محتوی نسبی رطوبت برگ^۷ نیز با انتخاب جوان‌ترین برگ کاملاً باز (برای هر تکرار ۳ برگ) از رابطه^۴ محاسبه شد (Yang et al., 2007). در این رابطه FW وزن برگ تازه، SW وزن آماس برگ و DW وزن برگ پس از خشک شدن است.

$$RWC = \frac{FW - DW}{SW - DW} * 100 \quad \text{رابطه ۴}$$

آنگاه از هر تکرار یک نهال از خاک خارج شده و پس از شست‌وشوی خاک اطراف ریشه، طول ریشه اندازه‌گیری شد. سپس هر یک از نهال‌ها به سه قسمت ریشه، ساقه و برگ جدا شدند و پس از قرار گرفتن در آون (دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) با ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) توزین شدند و زی‌توده‌های ریشه، ساقه و برگ تعیین شد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های به‌دست‌آمده در محیط نرم افزار Excel سازماندهی و نمودارهای مربوط با استفاده از این نرم‌افزار ترسیم شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزار آماری SPSS انجام گرفت. داده‌های تبادلات گازی که در طول آزمایش و در روزهای مختلف ثبت شده بودند، تحت آزمون تکرار در زمان^۸ بررسی شدند. داده‌های کمی فیزیولوژی و رشد پس از آزمون نرمالیتی و همگنی با استفاده از آزمون تجزیه واریانس^۹ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن^{۱۰} تجزیه و تحلیل شد. همچنین با استفاده از آزمون پیرسون روابط همبستگی برخی صفات اندازه‌گیری شده مورد توجه قرار گرفت.

به‌صورت طرح کاملاً تصادفی (CRD) در قالب آزمایش فاکتوریل با دو گونه و دو سطح خشکی و پنج تکرار در شرایط گلخانه انجام گرفت. تیمارهای خشکی شامل (۱): شاهد (آبیاری هر سه روز یک بار براساس ظرفیت زراعی) و (۲): کم‌آبی^۱ (آبیاری هر سه روز یک بار به اندازه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی براساس وزن مرجع) بود. مدت آزمایش ۶۰ روز در نظر گرفته شد.

در ابتدا و انتهای دوره، ویژگی‌های مورفولوژی نهال‌ها از جمله قطر، با استفاده از کولیس دیجیتالی (با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر)، ارتفاع با استفاده از خط‌کش مدرج (با دقت ۰/۱ متر) اندازه‌گیری شد. در طول آزمایش در روزهای ۱، ۷، ۱۹، ۳۴ و ۵۲ (به‌دلیل آبی بودن هوا در روز ۶۰ از داده‌های آن روز استفاده نشد)، از هر تکرار ۳-۶ برگ از بالغ‌ترین و توسعه‌یافته‌ترین برگ از یک پنجم بالایی نهال (Gulias et al., 2002) انتخاب شد. تبادلات گازی^۲ میزان تعرق برگ^۳، هدایت روزنه‌ای^۴ و نرخ فتوسنتز خالص^۵ با دستگاه پرتابل اندازه‌گیری شد.

در پایان دوره آزمایش، با استفاده از دستگاه بمب فشار قابل حمل^۶، پتانسیل آبی آوند چوبی سه نهال در هر تیمار اندازه‌گیری شد. میزان نشت الکترولیت نیز به‌عنوان شاخص آسیب‌غشایی براساس روش Campos et al. (2003) اندازه‌گیری شد. برای این منظور از هر تکرار ۳ برگ به‌طور تصادفی انتخاب شد. سپس برگ‌ها با تیغ به تکه‌های مساوی تقسیم شدند و پس از آبکشی با آب مقطر، در ۱۰ سی‌سی آب مقطر در ظروف فالتون به مدت ۲۴ ساعت غوطه‌ور شدند. پس از ۲۲ ساعت هدایت الکترولیت‌ها با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج (EC متر) اندازه‌گیری و به‌عنوان هدایت الکتریکی ۲۴ (EC ۲۴) ثبت شد. آنگاه نمونه‌ها در حمام آب گرم با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت جوشانده شدند و پس از

¹ Water Deficit

² Model LCpro+, ADC BioScientific Ltd., Hertfordshire, UK

³ Transpiration

⁴ Stomata Conductance

⁵ Net Photosynthesis Rate

⁶ Pressure Chamber, Skye, SKPM 1400, UK

⁷ Relative Water Content

⁸ Two-way Repeated Measure

⁹ One-Way ANOVA

¹⁰ Duncan

نتایج

تغییرات مشخصه‌های فیزیولوژی در طول دوره

آزمون تکرار در زمان حاکی از آن است که مشخصه‌های فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق تحت تأثیر کم‌آبی (اثر اصلی) و زمان آزمایش (اثر درونی) قرار گرفتند. از طرف دیگر، تقابل این دو نیز تأثیر معنی‌داری بر تبادلات گازی نهال‌های دو گونه داشت (جدول ۱). کم‌آبی پس از یک هفته موجب کاهش میزان فتوسنتز به ترتیب ۱۹/۸۴ و ۲۷/۷۰ درصد نسبت به نهال‌های کنترل محلب و زالک شد. با ادامه تنش خشکی، سیر نزولی فتوسنتز ادامه داشت، به طوری که پس از گذشت حدود دو ماه میزان فتوسنتز مقادیر ناچیزی را نشان داد (شکل ۱). اگرچه در ابتدای دوره، نرخ فتوسنتز در نهال‌های محلب بیشتر از نهال‌های زالک بود، در پایان دوره میزان این اختلاف تحت تأثیر کم‌آبی کمتر بود و به نظر می‌رسد نهال‌های محلب بیشتر تحت تأثیر کم‌آبی قرار گرفته‌اند. تأثیر منفی کم‌آبی بر رفتار روزنه نیز در طول مدت آزمایش بر نهال‌ها مشاهده شد. در پایان دوره خشکی، نهال‌های تنش‌یافته بیش از ۶۴ درصد در گونه زالک و ۶۱ درصد در گونه محلب هدایت روزنه‌ای خود را نسبت به نهال‌های شاهد کاهش دادند. در شرایط کم‌آبی با گذشت زمان میزان تعرق کاهش یافت، طوری که در پایان دوره، این کاهش در

محلب ۴۶/۹۰ درصد و در زالک ۶۸/۷۵ درصد بود (شکل ۱). به طور کلی، با گذشت زمان، نرخ فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای در هر دو گونه به طور جدی کاهش یافت، در حالی که این مشخصه‌ها در نهال‌های شاهد (آبیاری‌شده در حد ظرفیت زراعی خاک) کاهش محسوسی نیافتند (شکل ۱).

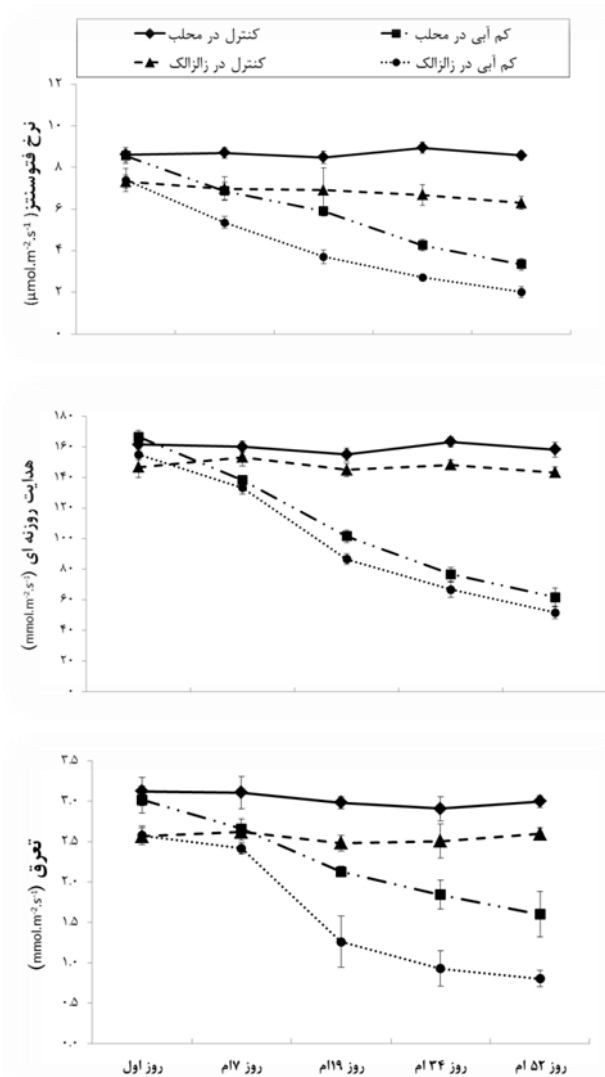
مشخصه‌های فیزیولوژی در انتهای دوره

پتانسیل آبی آوند چوبی به طور جداگانه تحت تأثیر گونه و تنش کم‌آبی قرار گرفت (جدول ۲). در نتیجه کم‌آبی، کاهش پتانسیل آبی در نهال‌های محلب بیشتر از زالک در مقایسه با نهال‌های شاهدشان بود (شکل ۲). محتوای رطوبت نسبی برگ به طور بسیار معنی‌داری تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار گرفت (جدول ۲). میزان کاهش محتوای نسبی رطوبت برگ در هر دو گونه شبیه هم بود، با این حال اثر متقابل گونه در کم‌آبی معنی‌دار بود (شکل ۲). درصد نشت الکترولیت که شاخصی برای بررسی میزان تخریب سلول گیاهی است، در دو گونه تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار گرفت (جدول ۲)، با این حال، اثر متقابل گونه و کم‌آبی روی نشت الکترولیت معنی‌دار نبود (جدول ۲). به علاوه، دو گونه پاسخ یکسانی از نظر آماری در این مشخصه به تنش کم‌آبی نشان دادند (شکل ۲).

جدول ۱- تأثیر تنش کم‌آبی و گذشت زمان بر تبادلات گازی نهال‌های زالک زرد و محلب با استفاده از آزمون تکرار در زمان

تعرق ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	هدایت روزنه ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	فتوسنتز ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	
۰/۰۰۴*	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*	کم‌آبی
۰/۰۰۷*	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*	گونه
۰/۲۱۳	۰/۵۵۹	۰/۹۸۳	گونه × کم‌آبی
۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*	زمان
۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*	زمان × کم‌آبی
۰/۲۰۰	۰/۷۳۳	۰/۴۹۵	زمان × گونه
۰/۳۵۰	۰/۹۲۳	۰/۲۸۴	زمان × کم‌آبی × گونه

توضیح: اعداد گزارش شده مرتبط با P-value است، * معنی‌داری در سطح ۵٪



شکل ۱- روند تغییرات فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق در نهال‌های زالزالک زرد و محلب تحت تنش کم‌آبی در طول دوره آزمایش

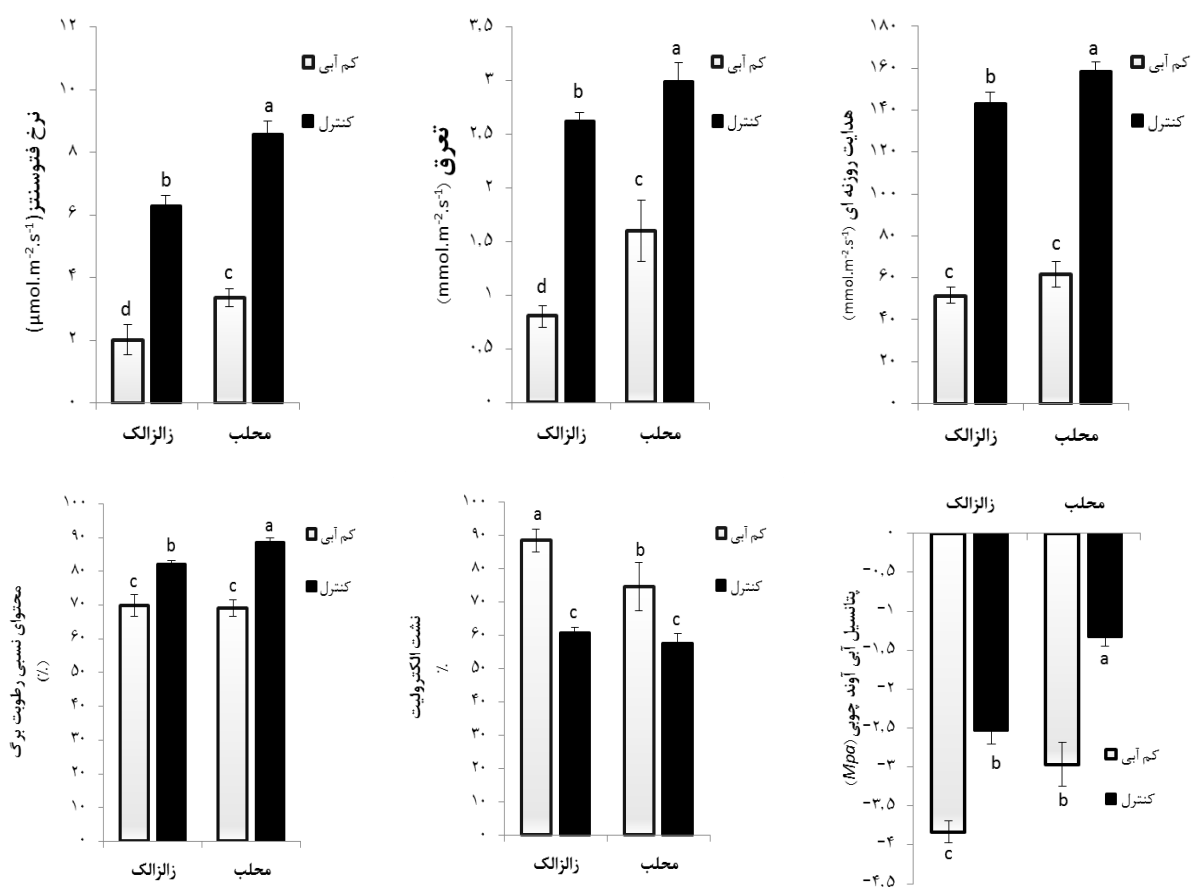
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس دوطرفه مشخصه‌های فیزیولوژی در دو سطوح تیمار کم‌آبی در پایان دوره آزمایش

پتانسیل آبی آوند چوبی (Mpa)		نشت الکترولیت (درصد)		رطوبت نسبی برگ (درصد)		تعرق (mmol m ⁻² s ⁻¹)		هدایت روزنه (mmol m ⁻² s ⁻¹)		فتوسنتز (µmol m ⁻² s ⁻¹)	
Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F
***	۸۹/۴۵	***	۳۱/۳۵	***	۱۲۱/۶۹	***	۷۱۸/۰۲۸	***	۵۹۶/۶۸	***	۶۰۲/۲۱
***	۴۳/۹۲	NS	۴/۴۶۴	NS	۳/۷۳۴	***	۹۵/۰۴۴	***	۱۰/۵۱۴	***	۸۶/۹۷
NS	۱/۱۵۰	NS	۱/۷۲۷	*	۶/۳۰۶	***	۱۲/۴۹۶	NS	۰/۴۲۱	*	۶/۰۰۱

کم‌آبی

گونه

گونه × کم‌آبی



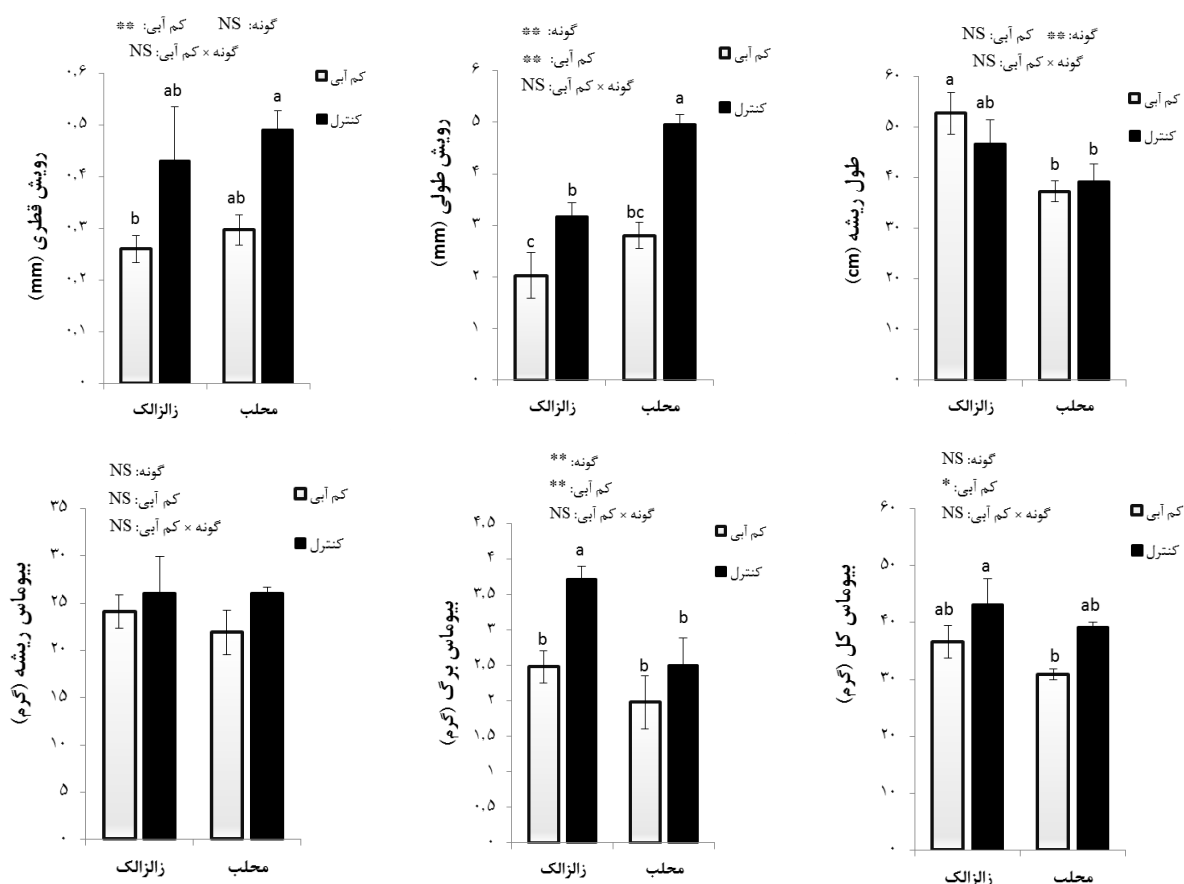
شکل ۲- مشخصه‌های فیزیولوژی تحت تأثیر تنش کم آبی و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۰.۹۵٪. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در هر دو گونه است.

بررسی روابط بین صفات اندازه‌گیری شده نشان داد که بین پتانسیل آبی گیاه و محتوای نسبی رطوبتی برگ همبستگی مثبت و قوی وجود دارد ($r^2=0/85$ برای زالزالک و $r^2=0/88$ برای محلّب)؛ از طرف دیگر، همبستگی منفی بین محتوای نسبی رطوبتی برگ و نشت الکتروولت مشاهده شد ($r^2=0/8$ برای زالزالک و $r^2=0/54$ برای محلّب) (جدول ۳). در نهال محلّب، بین هر یک از مشخصه‌های فیزیولوژی با زی توده کل نهال همبستگی معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳). این در حالی است که در هیچ کدام از مشخصه‌های فیزیولوژی با زی توده کل گیاه نهال زالزالک همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد.

مشخصه‌های رویشی در انتهای دوره

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه^۱ (شکل ۳) نشان داد که در طول مدت آزمایش، کم آبی بر میزان رویش قطری، رویش ارتفاعی، زی توده برگ و در نهایت میزان زی توده کل نهال‌ها تأثیر معنی‌داری گذاشت. تأثیرات مضر تنش کم آبی در نهال‌های محلّب سبب کاهش رشد ارتفاعی و قطری نسبت به نهال‌های کنترل به ترتیب به مقدار ۴۴ و ۳۹ درصد شد. اگرچه اثر گونه در مشخصه‌های رویش طولی، طول ریشه و زی توده برگ معنی‌دار بود، تأثیر متقابل گونه و کم آبی در هیچ کدام از مشخصه‌های مورد بررسی معنی‌دار نبود.

¹Two- Way ANOVA



شکل ۳- مشخصه‌های رویشی تحت تأثیر تنش کم‌آبی و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۰.۹۵. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در هر دو گونه است. خلاصه نتایج تجزیه واریانس دوطرفه مشخصه‌های رویشی در دو سطوح تیمار کم‌آبی (*، **، **) به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد و NS عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.

جدول ۳- روابط همبستگی مربوط به بعضی صفات بررسی شده در تحقیق

گونه	صفات	محتوای نسبی رطوبت برگ		پتانسیل آبی آوند چوبی		نشست الکترولیت		زی توده کل	
		P	r ²	P	r ²	P	r ²	P	r ²
زالزالک زرد	محتوای نسبی رطوبت برگ	۱							
	پتانسیل آبی آوند چوبی	۰/۰۰۰**	۱						
	نشست الکترولیت	۰/۰۰۰**	۰/۸۹	۰/۰۰۰**	۱				
	زی توده کل	۰/۰۸۲	۰/۲۶	۰/۱۸۴	۰/۲۰	۰/۱۲۸	۰/۳۳	۱	
محب	محتوای نسبی رطوبت برگ	۱							
	پتانسیل آبی آوند چوبی	۰/۰۰۲**	۱						
	نشست الکترولیت	۰/۰۱۵*	۰/۷۱	۰/۰۰۰**	۱				
	زی توده کل	۰/۰۰۱**	۰/۶۷	۰/۰۰۲**	۰/۷۱	۰/۰۰۴**	۰/۷۹	۱	

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد است.

بحث

کاهش تعرق در نهال‌های زالک پس از گذشت ۱۸ روز از زمان تنش با شیب تندتری نسبت به نهال‌های محلب بود، اما با گذشت زمان شیب آن کاهش یافت.

مشخصه‌های فیزیولوژی در انتهای دوره

واکنش‌های فیزیولوژی در برابر تنش خشکی نقش مهمی در ماندگاری گیاه دارد (Zhang et al., 2004). محتوای نسبی رطوبتی برگ (RWC)، در حقیقت شاخصی است که براساس آن وضعیت آب سلول برگ ارزیابی می‌شود (Fu et al., 2004) و بی‌شک با کاهش مقدار رطوبت برگ در طی تنش خشکی کاهش آماس سلولی و در پی آن کاهش زی‌توده برگ اتفاق می‌افتد (Wang et al., 2012). همانند پژوهش‌ها روی گلابی وحشی (جوادی و بهرام‌نژاد، ۱۳۸۹)، بادام (Barzegar et al., 2012) و سیب (Jie et al., 2013)، در پژوهش پیش رو نیز در شرایط کم‌آبی رطوبت نسبی برگ نهال‌های مورد مطالعه کاهش یافت.

گیاهان در مقابل تنش خشکی پتانسیل آبی خود را کاهش می‌دهند (Gindaba et al., 2004) و گونه‌های مقاوم‌تر ثبات و پایداری بیشتری در این خصوص نشان داده و پتانسیل آبی خود را کمتر کاهش می‌دهند (کافی و دامغانی، ۱۳۸۳). همانند نتایج تحقیق (Rieger et al., 2003) روی گونه‌های آلوجچه (*Prunus ferganensis* و *P. persica*) و Ranjbar fordoei et al. (2013) روی گونه قیچ (*Calligonum comosum*)، در تحقیق حاضر در شرایط کم‌آبی کاهش پتانسیل آبی در نهال هر دو گونه مشاهده شد و این کاهش در نتیجه کم‌آبی در محلب بیشتر از زالک بود.

نشت الکترولیت پارامتری مناسب جهت بررسی میزان تخریب غشای سیتوپلاسمی در پژوهش‌های فیزیولوژی است (اعتمادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ De Diego et al., 2012) طوری که در تحقیق پیش رو به‌عنوان شاخص آسیب سلولی، در هر دو گونه

تغییرات مشخصه‌های فیزیولوژی در طول دوره

در این پژوهش میزان فتوسنتز در نهال‌های هر دو گونه تحت تنش کم‌آبی با مرور زمان کاهش یافت. اثر تنش خشکی بر فتوسنتز خالص در بررسی‌های Jie et al. (2013) روی گونه سیب (*Malus domestica*)، جوادی و بهرام‌نژاد (۱۳۸۹) روی گلابی (*Pyrus syriaca*)، Rieger et al. (2003) روی دو گونه آلوجچه (*Prunus ferganensis* و *Prunus persica*) و Quero et al. (2006) روی دو گونه *Quercus canariensis* و *Q. pyrenaica* نیز گزارش شد که با دستاورد این تحقیق مطابقت دارد.

کاهش نرخ فتوسنتز در اثر کم‌آبی، در نتیجه بستن روزنه‌ها برای جلوگیری از شدت تعرق است (Ranjbar fordoei et al., 2013) که در این حالت میزان هدایت روزنه‌ای به‌شدت تحت تاثیر رطوبت خاک قرار می‌گیرد (Jones, 1992). در این زمینه می‌توان گفت که با گذر زمان و کاهش هرچه بیشتر رطوبت خاک در مطالعه حاضر، هر دو گونه مورد بررسی میزان هدایت روزنه‌ای خود را کاهش دادند، طوری که این کاهش، در محلب بیشتر از زالک در مقایسه با نهال شاهد آنها بوده است.

کاهش هدایت روزنه‌ای تحت تاثیر تنش کم‌آبی در تحقیقات جوادی و بهرام‌نژاد (۱۳۸۹) روی گلابی (*Pyrus syriaca*)، Jie et al. (2013) روی گونه سیب (*Malus domestica*)، Rao et al. (2008) روی گونه‌های *Dalbergia sissoo*، *Albizia lebbek* و *Shorea robusta*، *Leucaena leucocephala* و Tectona grandis و Quero et al. (2006) روی گونه‌های *Q. pyrenaica* و *Quercus canariensis* نیز گزارش شده است.

از راهکارهای گیاهان در مقابله با تحمل خشکی، کاهش نرخ تعرق است (Wikbergi and Ogreni, 2007). این سازوکار در نهال‌های هر دو گونه تحت تنش نیز ملاحظه شد.

منابع

اعتمادی، الهام، پیام فیاض و رقیه ذولفقاری، ۱۳۹۲. واکنش فتوسنتزی دو گونه سپیدار (*Populus alba* L.) و شالک (*Populus nigra* L.) نسبت به افزایش سرب در محیط کشت آبی، مجله جنگل ایران، ۵ (۱): ۶۵-۷۵.

آقابگی، فاطمه، ۱۳۷۴. درختان و درختچه‌های سودمند و قابل کشت در ایران، انتشارات فلاح ایران. اصفهان، مؤسسه چاپ الهادی قم، ۱۰۰ ص.

ثابتی، حبیب‌الله، ۱۳۸۴. جنگل‌ها، درختان و درختچه‌های ایران، دانشگاه یزد، ۸۰۶ ص.

جزیره‌ای، محمد حسین و مرتضی ابراهیمی رستاقی، ۱۳۸۲. جنگل‌شناسی زاگرس، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۶۰ ص.

جوادی، تیمور و بهمن بهرام‌نژاد، ۱۳۸۹. محتوای نسبی آب و تبادلات گازی سه ژنوتیپ وحشی گلابی در شرایط تنش آبی، نشریه علوم باغبانی، ۲۴ (۲): ۲۲۳-۲۳۳.

زرافشار، مهرداد، مسلم اکبری‌نیا، حسین عسگری، سید محسن حسینی و مهدی رهایی، ۱۳۹۵. ارزیابی مقاومت به خشکی در گلابی جنگلی (*Pyrus boissieriana* Buhse)، مجله جنگل و فرآورده‌های چوب، ۶۹ (۱): ۹۷-۱۱۰.

سختوتی، ندا، سید محسن حسینی، مسلم اکبری‌نیا و افسانه رضایی، ۱۳۹۰. اثر اسید جیبرلیک همراه با سرمادهی جهت رفع خواب و افزایش جوانه زنی بذر بدون پوسته و با پوسته محلب (*Cerasus mahaleb* (L.) Mill.)، تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران، ۱۹ (۱): ۱۹۲-۲۰۴.

قارونی، ترانه، ذبیح‌الله زمانی و ناصر بودری، ۱۳۹۱. تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های محلب (*Prunus mahaleb* L.) بر اساس صفات مورفولوژیکی و نشانگرهای RAPD، مجله به‌نژادی نهال و بذر، ۲۸ (۱): ۷۱۷-۷۲۱.

کافی، محمد و عبدالمجید مهدوی دامغانی، ۱۳۸۳. واکنش گیاهان زراعی به محیط رشد، (ترجمه) انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۹۷ ص.

محب و زالزالک با تنش کم‌آبی افزایش یافت، اما بین دو گونه تغییری نکرد. همانند تحقیق زرافشار و همکاران (۱۳۹۴) روی گونه گلابی وحشی، در تحقیق حاضر بین درصد محتوای نسبی رطوبت و پتانسیل آبی گیاه و همچنین بین محتوای نسبی رطوبت و نشت الکتروولیت هر دو گونه رابطه مستقیم و معنی‌داری وجود داشته است. این در حالی است که در نهال محلب، بین هر یک از مشخصه‌های فیزیولوژی با زی‌توده کل گیاه همبستگی معنی‌دار مشاهده شد که نشان از ارتباط تنگاتنگ و مثبت مشخصه‌های فیزیولوژی با زی‌توده گیاه دارد.

مشخصه‌های رویشی در انتهای دوره

بستن روزنه‌ها علاوه بر کاهش نرخ فتوسنتز، غلظت CO₂ را در فضای بین‌سلولی برگ کاهش می‌دهد که این خود سبب جلوگیری از متابولیسم و در نهایت کاهش یا توقف رشد گیاه می‌شود (جوادی و بهرام‌نژاد، ۱۳۸۹; Tang et al., 2013). از طرف دیگر، می‌توان گفت که گیاه به‌منظور مقابله و تحمل شرایط خشکی، به سبب کاهش فشار تورژسانس، رشد و تکثیر سلول‌های آن آسیب می‌بیند و در رویش ساقه، برگ و زی‌توده اندام‌ها رکود ایجاد می‌شود (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). در تحقیق حاضر نیز تحت تأثیر کم‌آبی، رویش قطری، رویش طولی، زی‌توده برگ، زی‌توده ساقه و زی‌توده کل در هر دو گونه کاهش یافت و کاهش در رویش ارتفاعی و زی‌توده محلب بیشتر از زالزالک بود.

نتایج این پژوهش نشان داد که نهال زالزالک زرد نسبت به نهال محلب تحمل بیشتری به تنش کم‌آبی دارد، لیکن در شرایط تنش کم‌آبی، هر دو گونه از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای، پتانسیل آبی، محتوای نسبی رطوبت برگ و نیز به‌واسطه برگ‌ریزی میزان تعرق خود را به حداقل رساندند و در کل با کاهش رشد مواجه شدند.

- Echevarria-Zomeño, S., D. Ariza, I. Jorge, C. Lenz, A.D. Campo, J.V. Jorin, and R.M. Navarro, 2009. Changes in the protein profile of *Quercus ilex* leaves in response to drought stress and recovery, *Journal of Plant Physiology*, 166 (3): 233–245.
- Fu, J., J. Fry, and B. Huang, 2004. Minimum water requirements of four turfgrasses in the transition zone, *HortScience*, 39 (7): 1740–1744.
- Gindaba, J., A. Rozanov, and L. Negash, 2004. Response of seedlings of two Eucalyptus and three deciduous tree species from Ethiopia to severe water stress, *Forest Ecology and Management*, 201: 119–129.
- Gulías, J., J. Flexas, A. Abadía, and H. Madrano, 2002. Photosynthetic responses to water deficit in six Mediterranean sclerophyll species: possible factors explaining the declining distribution of *Rhamnus ludovicisalvatoris*, an endemic Balearic species, *Tree Physiology*, 22(10): 687–697.
- Jie, Z., Y. Yuncong, J.G. Streeter, and D.C. Ferree, 2013. Influence of soil drought stress on photosynthesis, carbohydrates and the nitrogen and phosphorus absorb in different section of leaves and stem of Fuji/M. 9EML, a young apple seedling, *African Journal of Biotechnology*, 9(33): 5320–5325.
- Jones, H.G., 1992. *Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*, 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge, 408 p.
- Khatamsaz, M., 1992. *Flora of Iran: Rosaceae*, Research Institute of Forests and Rangelands, 79p.
- Mahajan, S., and N. Tuteja, 2005. Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444 (2): 139–158.
- Quero, J.L., R. Villar, T. Marañón, and R. Zamora, 2006. Interactions of drought and shade effects on seedlings of four *Quercus* species: physiological and structural leaf responses, *New Phytologist*, 170 (4): 819–834.
- کافی، محمد و عبدالمجید مهدوی دامغانی، ۱۳۸۶. مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی، (ترجمه)، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۶۸ ص.
- کافی، محمد، اعظم برزوئی، معصومه صالحی، علی کمندی، علی معصومی و جعفر نباتی، ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۵۰۲ ص.
- گنجی‌مقدم، ابراهیم و علیرضا طلایی، ۱۳۸۵. بررسی تنوع ژنتیکی در توده‌های جمع‌آوری‌شده محلب (*Prunus mahaleb* L.) با استفاده از خصوصیات مرفولوژیک، نهال و بذر، ۲۲ (۱): ۲۹–۴۱.
- میرزاده واقفی، سعیده سادات، زیبا جم‌زاده، عادل جلیلی و محسن نصیری، ۱۳۸۸. بررسی شکستن خواب بذر و تشدید جوانه‌زنی در سه گونه زالزالک (*Crataegus persica*, *C. aminii*, *C. babakhanloui*) تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۷ (۴): ۵۴۴–۵۵۹.
- Barzegar, K., A. Yadollahi, A. Imani, and N. Ahmadi, 2012. Influences of severe water stress on photosynthesis, water use efficiency and proline content of almond cultivars, *Journal of Applied Horticulture*, 14 (1): 22–40.
- Bassett, C.L., 2013. Water use and drought response in cultivated and wild apples, In: Vahdati K Leslie Charles, eds. *Abiotic Stress—Plant Responses and Applications in Agriculture*. Croatia, Rijeka: InTech, 249–275.
- Campos, P.S., V. Quartin, J.C. Ramalho, and M.A. Nunes, 2009. Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of *Coffea* sp., *Plants, Journal of Plant Physiology*, 160: 283–292.
- Cruz de Carvalho, M.H, 2008. Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling, *Plant Signaling and Behavior*, 3 (3): 156–165.
- De Diego, N., F. Pérez-Alfocea, E. Cantero, M. Lacuesta, and P. Moncaleán, 2012. Physiological response to drought in radiata pine: phytohormone implication at leaf level, *Tree Physiology*, 32 (4): 435–449.

- Ranjbar fordoei, A., P. Vandamme, and R. Samson, 2013. Some ecophysiological characteristics of artà (*Calligonum comosum* L' Hérít) in response to drought stress, *Forest Science and Practice*, 15 (2): 114–120.
- Rao, P.B., A. Kaur, and A. Tewari, 2008. Drought resistance in seedlings of five important tree species in Tarai region of Uttarakhand, *Tropical Ecology*, 49 (1): 43.
- Rieger, M., R.L. Bianco, and W.R. Okie, 2003. Responses of *Prunus ferganensis*, *Prunus persica* and two interspecific hybrids to moderate drought stress, *Tree Physiology*, 23(1): 51-58.
- Saxton, K.E., W.J. Rawls, J.S. Romberger, and R.I. papendick, 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture, *Soil Science Society of America Journal*, 50(4):1031-1036.
- Tang, S., H. Liang, D. Yan, Y. Zhao, X. Han, J.E. Carlson, X. Xia, and W. Yin, 2013. *Populus euphratica*: the transcriptomic response to drought stress, *Plant Molecular biology*, 83 (6): 539–557.
- Wang, C.J., W. Yang., C. Wang., C. Gu., D.D. Niu., H.X. Liu., Y.P. Wang., and J.H. Guo, 2012. Induction of drought tolerance in cucumber plants by a consortium of three plant growth-promoting rhizobacterium strains, *PLoS one*, 7 (12): e52565.
- Wikbergi, J., and E. Ogreni, 2007. Variation in drought resistance, drought acclimation and water conservation in four willow cultivars used for biomass production, *Tree physiology*, 27:1339–1346
- Yang, Y., Q. Liu., C. Han., Y.Z. Qiao., X.Q. Yao., and H.J. Yin, 2007. Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings, *Photosynthetica*, 45(4): 613-619.
- Zhang, X., R. Zang., and C. Li, 2004. Population differences in physiological and morphological adaptations of *Populus davidiana* seedlings in response to progressive drought stress, *Plant Science*, 166: 791–797.

The growth and physiology characteristics of mahaleb (*Prunus mahaleb* L.) and hawthorn (*Crataegus aronia* L.) seedlings to drought stress

P. Ashkavand¹, M. Tabari Kouchaksaraei^{2*}, and M. Zarafshar³

¹ M.Sc., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, I. R. Iran

^{2*} Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, I. R. Iran

³ Assiatant Prof., Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, I. R. Iran

(Received: 23 July 2014; Accepted: 9 October 2015)

Abstract

Drought stress is one of the most important environmental factors affecting the photosynthesis and plant growth performance. This study aims at evaluating the effects of water deficit on growth and physiological characteristics of mahaleb (*Prunus mahaleb* L.) and hawthorn (*Crataegus aronia* L.) seedlings in 60 days. For this purpose, an experiment was performed as completely randomized design in two irrigation treatments (50% field capacity, and control based on field capacity) with 5 replicates. In both species, water stress decreased the photosynthesis, stomatal conductance and transpiration rate (respectively, 64%, 68%, 62% for *Crataegus*, and 61%, 47%, 61% for *Prunus*). This is while that, in both species, particularly *Crataegus*, the electrolyte leakage increased (31% for *Crataegus* and 23% for *Prunus*) following the decrease of relative water content of leaf. Water deficit caused the decrease of stem growth (44%) and diameter growth (39%) in *Prunus* compared to control. Such a trend more or less was found with *Crataegus* seedlings. Contrary to *Crataegus*, in *Prunus*, significant correlation was detected between physiological parameters and total plant biomass. Likewise, in both species the most morpho-physiological characteristics of seedlings were declined under drought stress.

Keywords: Biomass, Hawthorn, Mahaleb, Relative water content, Water potential.

*Corresponding author

Tel:+989112246250

Email: mtabari@modares.ac.ir

