

## پاسخ‌های رویشی و فیزیولوژیکی نهال‌های ارغوان در مواجهه با تنش کم‌آبی

زهرا سعیدی<sup>۱</sup>، بابک پیلهور\*<sup>۲</sup> و سید وحید سیدنا<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (zzahrassaeidi@gmail.com)

۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (pilehvar.b@lu.ac.ir)

۳- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (sv\_sayedena\_58@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲

## چکیده

برای بررسی تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های رویشی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نهال ارغوان، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار سطح آبیاری شامل ۷۵ (تنش ملایم)، ۵۰ (تنش متوسط) و ۲۵ (تنش شدید) درصد ظرفیت زراعی و شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. نتایج نشان داد تنش خشکی شدید موجب کاهش شدید در صفات رویشی مانند رویش ارتفاعی نهال (۸۶/۸ درصد) تعداد برگ و زیست‌توده تر و خشک کل به ترتیب به مقدار ۹۳، ۶۷/۲ و ۴۴/۸ درصد شد، اما رویش حجمی ریشه (۱۰۳۴ درصد) افزایش یافت. همچنین تنش خشکی تمامی شاخص‌های تبادلات گازی و رنگدانه‌های فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار داد، به طوری که در سطح ۲۵ درصد ظرفیت زراعی سبب کاهش قابل توجهی در مقدار فتوستنز (۱/۲۰ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه)، تعرق (۰/۶۵ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه)، هدایت روزنه‌ای (۱۰۶/۲ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) و مزوفیلی (۰/۰۰۸۸ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه)، غلظت دی‌اکسید کربن درون سلولی (۱۳۴/۲ میلی‌مول دی‌اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه) و کارایی کربوکسیلاسیون (۰/۰۱۱۲ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مول آب) شد. مقدار رنگدانه‌های فتوستنزی (کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید) نیز در سطح تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، کاهش چشم‌گیری نشان دادند (به ترتیب ۴/۰۷، ۱/۹۶، ۶/۰۳ و ۱/۲۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر). با توجه به ارزیابی‌های فوق، به نظر می‌رسد گونه ارغوان می‌تواند تنش خشکی تا ۷۵ درصد ظرفیت زراعی را تحمل کند، اما در صورت کاهش مقدار آب تا حد آستانه ۲۵ درصد، رشد و عملکرد آن به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: رویش ارتفاعی، پرولین، فتوستنز، کارایی کربوکسیلاسیون، کلروفیل a، هدایت مزوفیلی

## مقدمه

با ذخیره تنظیم‌کننده‌های اسمزی همانند اسیدهای آمینه، قندها، برخی از یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها سعی در مقابله با تنش دارند. در بین ترکیبات آلی، پرولین یکی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های اسمزی به‌شمار می‌رود. پرولین سبب تنظیم فشار اسمزی و کاهش اتلاف آب از سلول و نگهداری آماس می‌شود (Ghazghazi et al., 2022). ارغوان (*Cercis siliquastrum* L. از زیرخانواده *Caesalpinoideae* و خانواده *Fabaceae* از گونه‌های بومی مناطق مدیترانه‌ای جنوب و جنوب شرقی اروپا، آسیای مرکزی و غربی است. این گونه در ایران به‌صورت خودرو می‌روید و قابلیت تحمل و رشد در مناطق خشک و بیشتر خاک‌ها را دارد. درخت ارغوان، گونه‌ای مناسب برای جنگلکاری و توسعه فضای سبز مناطق خشک است همچنین برای باغچه‌های بزرگ یا کنار پیاده‌روها مناسب است (Zahreddine et al., 2007). با توجه به نوع تنش، گیاهان در مسیر تکاملی خود، راهکارهایی را به‌منظور کاهش اثر نامطلوب تنش کسب کرده‌اند. بنابراین با توجه به محدودیت آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک و نیاز روز افزون به ایجاد فضای سبز و گسترش جنگلکاری در این مناطق و همچنین مباحث مرتبط با کم‌آبی و اثرهای آن بر گونه‌های گیاهی، این پژوهش با هدف بررسی تنش خشکی بر خصوصیات رویشی و فیزیولوژیکی نهال ارغوان معمولی انجام شد.

## مواد و روش‌ها

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار سطح آبیاری (هر سطح ۱۰ گلدان) در گلخانه‌های تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان با دمای روزانه ۲۸-۲۰، شبانه ۲۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰-۶۰ درصد در بهار و تابستان ۱۳۹۹ به مدت ۹۰ روز انجام شد. سطوح تنش خشکی شامل

جنگلکاری و ایجاد فضای سبز همواره به‌عنوان یک عامل مهم و ضروری در جوامع مختلف مطرح است. جنگل به‌عنوان عاملی مهم در بهبودی محیط زیست نقش اساسی دارد و این درحالی است که ایران جزو کشورهایی با پوشش کم جنگل به‌شمار می‌رود. بنابراین با توجه به ضرورت جنگلکاری در ایران که مناطق وسیعی از آن را مناطق خشک و نیمه‌خشک دربر گرفته است، شناسایی گونه‌های مقاوم به خشکی برای جنگلکاری و ایجاد فضای سبز در این مناطق امری بسیار ضروری است (Ghazghazi et al., 2022; Zahreddine et al., 2007). خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در سراسر جهان و شایع‌ترین تنش محیطی است و می‌تواند در اثر عوامل آب و هوایی متعدد به‌وجود آید. شرایط کم‌آبی علاوه بر کاهش رشد گیاه سبب تحریک پاسخ‌های فیزیولوژیکی و متابولیکی متعددی مانند بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و تعرق، کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی، انباشت مواد محلول و آنتی‌اکسیدان‌ها و همچنین بیان ژن‌های خاص تنشی می‌شود که در نهایت کاهش رشد و عملکرد گیاه را به دنبال دارد (Omidi et al., 2021). به‌طور معمول، در شرایط تنش خشکی، فتوسنتز جزو اولین فرآیندهایی است که تحت تأثیر قرار می‌گیرد و با کاهش مقدار آب قابل‌دسترس، مقدار آن کاهش یافته و متعاقب آن تولید ماده خشک گیاه نیز کاهش پیدا می‌کند، در این شرایط مقدار دی‌اکسید کربن قابل دسترس برای فتوسنتز به‌واسطه کاهش هدایت روزنه‌ای و مزوفیلی کاهش می‌یابد (Hosseini et al., 2018). تحقیقات نشان داده است، هدایت روزنه‌ای شاخص مناسبی برای ارزیابی کاهش فتوسنتز در شرایط کم‌آبی است (Voko et al., 2022; Ahmadpour et al., 2019). علاوه بر این، در طی بروز تنش خشکی گیاهان

دقت ۰/۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری شد. سپس برای اندازه‌گیری رویش حجمی ریشه‌ها از طریق اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرار گرفتن ریشه در حجم مشخصی از آب بر اساس قانون ارشمیدوس بر حسب سانتی‌متر مکعب محاسبه شد (Ganjeali et al., 2010). برای تعیین زیست‌توده خشک نیز نمونه‌ها به آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت انتقال داده شدند (Khandani et al., 2022).

رابطه (۱)

رویش شاخص موردنظر = مقدار شاخص در آخر دوره - مقدار شاخص در اول دوره

### ویژگی‌های فیزیولوژیکی

#### تبادلات گازی

سرعت فتوسنتز (میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه)، سرعت تعرق (میلی‌مول آب بر مترمربع بر ثانیه)، هدایت روزنه‌ای (مول دی‌اکسیدکربن بر مترمربع بر ثانیه) و غلظت دی‌اکسید کربن درون سلولی (میلی‌مول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه)، توسط دستگاه پروتابل سنجش فتوسنتز مدل LCA4 (ADC Bioscientific, Ltd., Hoddesdon, England) اندازه‌گیری شدند. کارایی مصرف آب فتوسنتزی از طریق تقسیم مقدار فتوسنتز خالص بر تعرق طبق رابطه ۲ محاسبه شد (Ritchie et al., 1990). کارایی کربوکسیلاسیون که برخی از پژوهشگران آن را معادل هدایت مزوفیلی در نظر گرفته‌اند از تقسیم مقدار فتوسنتز به دی‌اکسیدکربن درون سلولی بر اساس رابطه ۳ به دست آمد (Tiwari et al., 1998).

سه سطح ۷۵ درصد (تنش ملایم)، ۵۰ درصد (تنش متوسط) و ۲۵ درصد (تنش شدید) ظرفیت زراعی و شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. نهال‌های یکساله (بذری) گونه ارغوان (*Cercis siliquastrum* L.) از نهالستان بام لرستان واقع در شهر خرم‌آباد تهیه شدند. نهال‌های هم‌اندازه انتخاب و در گلدان‌های بزرگ شش کیلوگرمی کاشته شدند. مخلوط گلدانی حاوی خاک زراعی و ماسه با نسبت یک به دو بود. در ابتدای آزمایش و ۹۰ روز پس از اعمال تنش شاخص‌های رویشی و فیزیولوژیکی شامل موارد زیر اندازه‌گیری شدند:

### ویژگی‌های رویشی

در ابتدای آزمایش به صورت تصادفی چهار نهال انتخاب و زیست‌توده خشک برگ، رویش حجمی ریشه، زیست‌توده تر و خشک ریشه و همچنین زیست‌توده تر و خشک نهال مشابه روش‌های زیر اندازه‌گیری شد به‌عنوان شاخص رشد در اول دوره در نظر گرفته شد. اما رویش ارتفاعی نهال و تعداد برگ در تمام تیمارها به صورت جداگانه محاسبه شد و انتهای آزمایش در رابطه ۱ قرار داده شد. ارتفاع نهال، تعداد برگ، زیست‌توده خشک برگ، رویش حجمی ریشه، زیست‌توده تر و خشک ریشه و همچنین زیست‌توده تر و خشک کل نهال یادداشت شد و با استفاده از رابطه زیر مقدار رویش در قسمت‌های مختلف در طول دوره تنش خشکی به دست آمد. رویش ارتفاعی نهال با خط کش (با دقت سانتی‌متر)، زیست‌توده تر و خشک ریشه، برگ و زیست‌توده تر و خشک کل نهال با ترازوی دیجیتالی (با

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{سرعت فتوسنتز (میکرومول دی اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه)} = \frac{\text{سرعت تعرق (میلی مول آب بر متر مربع بر ثانیه)}}{\text{کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرو مول دی اکسید کربن بر مول آب)}}$$

$$\text{رابطه (۳)} \quad \text{غلظت دی اکسید کربن درون سلولی (میلی مول دی اکسید کربن بر متر مربع بر ثانیه)} = \frac{\text{سرعت فتوسنتز (میکرومول دی اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه)}}{\text{هدایت مزوفیلی (میلی مول بر متر بر مربع ثانیه)}}$$

رنگدانه‌های فتوستتزی و اسمولیت‌های اسمزی (قند محلول و پرولین)

برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل و کارتنوئید برگ‌ها، به روش (Lichtenthaler 1987)، رنگیزه‌های گیاهی توسط حلال استون ۱۰۰ درصد استخراج شد و سپس با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-600A)، جذب نور در سه طول موج ۴۷۰، ۶۴۴/۸ و ۶۶۱/۶ نانومتر قرائت شد و مقدار رنگدانه‌ها بر اساس فرمول زیر محاسبه شدند.

$$\text{Chl a} = 11.24 \times (A661.6) - 2.04 \times (A644.8) \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\text{Chl b} = 20.13 \times (A644.8) - 4.19 \times (A661.6) \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\text{Chl a} + \text{Chl b} = 7.05 \times (A661.6) + 18.09 \times (A644.8) \quad \text{رابطه (۶)}$$

Chl a: غلظت کلروفیل a، Chl b: غلظت کلروفیل

b, Chl a + Chl b: مقدار کلروفیل کل.

$$= A661.6 = \text{جذب در } 661/6 \text{ نانومتر، } A644.8$$

جذب در ۶۴۴/۸ نانومتر.

$$\text{Cartenoide} = (1000 \times A470 - 1.9 \times \text{Ch a} - 63.14 \times \text{Ch b}) / 214 \quad \text{رابطه (۷)}$$

برای محاسبه قند محلول در گیاه از روش

(Kochert 1987)، استفاده شد بر اساس منحنی

استاندارد گلوکز، مقدار تغییرات قند بر حسب میلی‌گرم

بر گرم وزن خشک نمونه گیاهی محاسبه شد. همچنین

برای اندازه‌گیری مقدار پرولین از روش Bates et al.

(1973)، استفاده شد و غلظت آن بر اساس منحنی

استاندارد پرولین و بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر

اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مقدار پرولین به روش

(Bates et al. 1973)، نمونه‌های برگ‌ی توسط ازت مایع

در داخل هاون چینی خرد شد. سپس روی هر نمونه،

۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک ۳ درصد (۳ گرم پودر

سولفو اسید سالیسیلیک به حجم ۱۰۰ رسانده شد)

به‌وسیله سمپلر برداشته و روی نمونه‌ها ریخته شد.

عصاره حاصل در فالكون ۱۵ میلی‌لیتری ریخته شد.

فالكون‌ها، درون سانتریفیوژ با دمای چهار درجه سانتی‌گراد با دور ۱۵۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد. سپس دو میلی‌لیتر از عصاره صاف‌شده رویی را با دو میلی‌لیتر شناساگر ناین هیدرین (۱/۲۵ گرم ناین هیدرین + ۶۰ میلی‌لیتر استیک اسید + ۴۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک) و دو میلی‌لیتر استیک اسید خالص در فالكون ریخته و به مدت یک ساعت در حمام آب گرم با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. بعد از سرد شدن لوله‌های آزمایش (در حمام یخ)، چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه ورتکس شدند تا دو فاز جداگانه تشکیل شود. سپس مقدار جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. برای کالیبره کردن دستگاه اسپکتروفتومتر از تولوئن استفاده شد. در نهایت مقدار پرولین بر اساس نمودار استاندارد پرولین و بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر برگ با استفاده از رابطه زیر به دست آمد (Bates et al., 1983):

$$\mu\text{mol prolin/ g FW} = [(\mu\text{g prolin/ ml} \times \text{رابطه (۸)} \text{ ml toluene/ 115.5)] / [(g \text{ samples}/5)]$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری

Minitab19 و SAS (۹/۴) انجام شد. تجزیه واریانس

به کمک رویه مدل‌های خطی انجام شد. مقایسه میانگین

داده‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح پنج درصد و

رسم نمودارها با نرم افزار Excel انجام شد.

## نتایج

### ویژگی‌های رویشی

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد، اثر تنش خشکی

روی ویژگی‌های رویشی مثل رویش ارتفاعی نهال،

رویش حجمی ریشه و زیست‌توده تر و خشک کل نهال

ارغوان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد

(جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد تنش

خشکی منجر به کاهش رویش ارتفاعی نهال شد و در

سطح تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی کم‌ترین (۸/۸۶)

شدید بیشترین رویش حجمی ریشه (۱۰۳۴ درصد افزایش)، زیست‌توده تر (۱۱۴/۳۶ درصد افزایش) و خشک (۶۱/۵۱ درصد افزایش) ریشه را در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد. کم‌ترین مقدار شاخص‌های مذکور نیز در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد زیست‌توده تر و خشک نیز تحت تأثیر تنش خشکی به شدت کاهش پیدا کردند و در تیمار تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی کم‌ترین مقادیر آن‌ها (به ترتیب ۶۷/۲۵ و ۴۴/۸۷ درصد کاهش در زیست‌توده تر و خشک کل) در مقایسه با تیمار شاهد ثبت شد (جدول ۲).

درصد کاهش در مقایسه با تیمار شاهد) رویش ارتفاعی نهال را در مقایسه با دیگر تیمارها نشان داد. تیمار شاهد نیز بیش‌ترین (۷۱/۳۸ سانتی‌متر) مقدار این مشخصه را نشان داد (جدول ۲). تنش خشکی تعداد برگ و زیست‌توده خشک برگ را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد و در بین تیمارهای آزمایشی، تیمار سطح تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با تیمار شاهد، کم‌ترین رویش تعداد برگ (۹۳/۰۵ درصد کاهش) و زیست‌توده خشک برگ (۸۹/۴۱ درصد کاهش) را نشان داد (جدول ۲). بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد با افزایش تنش خشکی، رویش حجمی ریشه، زیست‌توده تر و خشک ریشه افزایش پیدا کرد، به طوری که تیمار تنش

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس برای اثر تنش خشکی روی ویژگی‌های رویشی نهال ارغوان

Tale 1. Results of analysis of variance for effect of drought stress on purple seedlings vegetative traits

منابع تغییرات	درجه آزادی	رویش ارتفاعی نهال	تعداد برگ	خشک برگ	زیست‌توده تر	زیست‌توده خشک	رویش حجمی	توده تر	زیست‌توده خشک
Sources of changes	df	Height growth of seedlings	The number of leaves emergence	Dry biomass of leaves	Fresh root biomass	Dry root biomass	Root volumetric growth	Total fresh biomass	Total dry biomass
خشکی	3	2936.75**	213.16**	2.38**	17.78**	3.44**	27.03**	23.53**	12.003**
خطای آزمایشی	9	0.81	0.45	0.002	0.16	0.15	0.41	0.91	0.10

ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار، \* و \*\* اختلاف معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns no significant difference, \* and \*\* significant difference at 5% and 1% probability levels, respectively

### ویژگی‌های فیزیولوژیکی: تبادلات گازی

سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق، هدایت روزنه‌ای و غلظت دی‌اکسید کربن درون سلولی

کربوکسیلاسیون نهال ارغوان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، تنش خشکی در سطح تنش خشکی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی به طور قابل توجهی سبب کاهش سرعت فتوسنتز (۸۴/۶ درصد)، هدایت روزنه‌ای (۳۷/۳ درصد)، سرعت تعرق (۳۷/۵ درصد) و غلظت دی‌اکسید کربن درون سلولی (۵۶/۷ درصد)، در مقایسه

بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد، اثر تنش خشکی روی شاخص‌های تبادلات گازی مانند سرعت فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای، غلظت دی‌اکسید کربن درون سلولی، هدایت مزوفیلی و کارایی

با گیاهان شاهد شد. با این وجود، بیشترین مقادیر شاخص‌های مذکور (به ترتیب افزایش ۴۲/۱، ۷۵/۵، ۸۷/۵ و ۲۴/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد) در تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد (جدول ۴).

جدول ۲- مقایسه میانگین ویژگی‌های رویشی نهال ارغوان تحت تنش خشکی

Table 2. Comparison of purple seedlings vegetative traits under drought stress

تیمارهای تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)				
Drought stress treatments (FC%)				
25	50	75	100	
9.38d	22.13c	43.13b	73.38a	رویش ارتفاعی نهال (سانتی‌متر) Height growth of seedlings (cm)
6.58a	4.58b	2.45c	0.58d	رویش حجمی ریشه (سانتی‌متر مکعب) Root volumetric growth (cm <sup>3</sup> )
1.30c	6.80c	13.00b	18.00a	رویش تعداد برگ The number of leaves emergence
0.200d	0.743c	1.565b	1.895a	زیست‌توده خشک برگ (گرم) Dry leaf biomass (gr)
7.915a	6.618b	3.764c	3.698c	زیست‌توده تر ریشه (گرم) Fresh root biomass (gr)
5.128a	3.858b	3.143cc	3.178c	زیست‌توده خشک ریشه (گرم) Dry root biomass (gr)
6.38b	7.27b	7.89b	11.87a	زیست‌توده تر کل (گرم) Total fresh biomass (gr)
4.89d	5.70c	6.98b	8.87a	زیست‌توده خشک کل (گرم) Total dry biomass (gr)

حروف مختلف بر اساس آزمون توکی، اختلاف در سطح ۹۵ درصد را نشان می‌دهند.

Different letters show significant difference at 95% based on Tukey test.

با این حال، بیشترین مقدار هدایت مزوفیلی و کارایی کربوکسیلاسیون به ترتیب در تیمار ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (۱۳/۹ درصد افزایش در مقایسه با تیمار شاهد) مشاهده شد. هر چند در شاخص هدایت مزوفیلی اختلاف معنی‌داری بین تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و سطح ۷۵ درصد ظرفیت زراعی وجود ندارد (جدول ۴).

هدایت مزوفیلی (کارایی کربوکسیلاسیون) و کارایی مصرف آب فتوسنتزی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد مشابه دیگر شاخص‌های تبادلات گازی، هدایت مزوفیلی و کارایی کربوکسیلاسیون نهال ارغوان تحت تأثیر تنش خشکی به شدت کاهش یافت و در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی کمترین مقادیر این شاخص‌ها (۶۴/۹ و ۸۰ درصد کاهش در مقایسه با تیمار شاهد) ثبت شد،

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس برای اثر تنش خشکی روی تبادلات گازی نهال ارغوان

Table 3. Results of analysis of variance for effect of drought stress on gas exchange of purple seedlings

کارایی	هدایت	دی‌اکسید کربن	هدایت	سرعت فتوسنتز	درجه	منابع تغییرات
Carboxylation efficiency	Mesophilic conductance	Intracellular carbon dioxide	Stomatal conductance	Transpiration rate	df	Sources of changes
0.00088**	0.00031**	50727.4**	27215.6**	1.28**	3	خشکی Drought
0.000011	0.000005	6.4	9.8	0.009	9	خطای آزمایشی Experimental error

ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار، \* و \*\* اختلاف معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد  
ns no significant difference, \* and \*\* significant difference at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نهال ارغوان تحت تنش خشکی

Table 4. Comparison of purple seedlings physiological and biochemical traits under drought stress

تیمارهای تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)			
Drought stress treatments (FC%)			
25	50	75	100
1.20d	4.95c	11.12a	7.82b
سرعت فتوسنتز خالص (میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه) Net photosynthesis rate ( $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )			
0.65c	0.90b	1.95a	1.04b
سرعت تعرق (میلی مول بر مترمربع در ثانیه) Transpiration rate ( $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )			
106.25d	147.50c	297.50a	169.50b
هدایت روزنه‌ای (میلی مول بر مترمربع در ثانیه) Stomatal conductance ( $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )			
134.25d	199.25c	387.50a	310.50b
دی‌اکسید کربن درون سلولی (میلی مول دی‌اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه) Intracellular carbon dioxide ( $\text{mmolCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )			
0.0088c	0.0248b	0.0286a	0.0251ab
هدایت مزوفیلی (میلی مول بر مترمربع در ثانیه) Mesophilic conductance ( $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )			
0.0112c	0.0335b	0.0373b	0.0461a
کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول دی‌اکسید کربن بر مول آب) Carboxylation efficiency ( $\mu\text{molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ )			

حروف مختلف بر اساس آزمون توکی، اختلاف در سطح ۹۵ درصد را نشان می‌دهند.

Different letters show significant difference at 95% based on Tukey test.

معنی‌دار شده است (جدول ۵). بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد تنش خشکی رنگدانه‌های فتوسنتزی نهال ارغوان را تحت تأثیر قرار داده و در تنش خشکی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی کم‌ترین مقادیر (به ترتیب ۳۹/۸، ۳۵، ۳۸/۴ و ۵۸/۳ درصد کاهش در مقایسه با تیمار شاهد) شاخص‌های فوق مشاهده شد. همچنین

رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کلروفیل کل و کارتنوئید) و اسمولیت‌های اسمزی (پرولین، قند محلول) نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد، اثر تنش خشکی روی رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کلروفیل کل و کارتنوئید) و اسمولیت‌های (پرولین و قند محلول)، نهال ارغوان در سطح احتمال یک درصد

بیشترین مقدار این شاخص‌ها (به ترتیب ۴۸/۳، ۱۲/۲، ۳۷ و ۱۶/۲ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد) در تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد، هر چند در شاخص کلروفیل b، اختلاف معنی‌داری بین تیمار شاهد و سطح ۷۵ درصد ظرفیت زراعی دیده نشد (جدول ۶).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد تنش خشکی موجب افزایش قابل توجه‌ای در مقدار پرولین و قند محلول در نهال ارغوان شد. به طوری که در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بیشترین مقادیر پرولین (۴۱/۵۱) و قند محلول (۱/۳۴۸) به دست آمد. در تیمار شاهد نیز کمترین مقادیر این شاخص‌ها (به ترتیب ۰/۱۳۲ و ۴/۴۲) مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس برای تأثیر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نهال ارغوان

Table 5. Results of analysis of variance for effect of drought stress on physiological and biochemical traits of purple seedlings

پروکلین Proline	قند محلول Soluble sugar	کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئید Carotenoid	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a	درجه آزادی Degrees of freedom	منابع تغییرات Sources of changes
958.66**	1.30**	42.43**	3.92**	1.71**	27.60**	3	خشکی Drought
1.863	0.00077	0.0556	0.0251	0.0536	0.0134	9	خطای آزمایشی Experimental error

ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار، \* و \*\* اختلاف معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد  
ns no significant difference, \* and \*\* significant difference at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نهال ارغوان تحت تنش خشکی

Table 6. Comparison of purple seedlings physiological and biochemical traits of under drought stress

تیمارهای تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)

Drought stress treatments (FC%)				
25	50	75	100	
4.07d	5.02c	10.04a	6.77b	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll a (mg/g FW)
1.96b	2.29b	3.39a	3.02a	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll b (mg/g FW)
6.03d	7.31c	13.43a	9.80b	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Total chlorophyll (mg/g FW)
1.23d	1.95c	3.43a	2.95b	کارتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Carotenoid (mg/g FW)
1.348a	0.310c	0.202c	0.132d	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Soluble sugar (mg/g FW)
41.51a	27.61b	19.77c	4.42d	پروکلین (میکرومول بر گرم وزن تر) Proline (μmol/g FW)

حروف مختلف بر اساس آزمون توکی، اختلاف در سطح ۹۵ درصد را نشان می‌دهند.

Different letters show significant difference at 95% based on Tukey test.



## بحث

## ویژگی‌های رویشی

پژوهش‌های پیشین نیز نشان داد تنش خشکی کاهش رشد و عملکرد گیاهان را به دنبال دارد (Zahedi et al., 2019; Delfan Azari et al., 2019) که با یافته‌های این پژوهش هم‌خوانی دارد. در اثر کمبود آب، تورژسانس سلولی و در نتیجه رشد و توسعه سلول دچار اختلال می‌شود. به همین دلیل، می‌توان اولین اثر محسوس کم‌آبی را از اندازه کوچک‌تر برگ‌ها یا رویش ارتفاعی گیاهان تشخیص داد (Omidi et al., 2021). فشار تورگر (آماس سلولی) در تشکیل آوندهای چوبی به‌عنوان یک مرکز محدودکننده سینک (Sink؛ تولید)، آغازش و سرعت بزرگ شدن سلول‌ها را تعیین می‌کند (Sevanto et al., 2014). اگرچه تقسیم و بزرگ شدن سلول توسط هورمون‌ها انجام می‌شود فشار آماس سلولی یک آستانه عملکردی (بازده) را برای نیروی مکانیکی به‌منظور شل شدن دیواره سلولی و متعاقب آن بزرگ شدن سلول‌ها فراهم می‌کند (Cabon et al., 2011; Muller et al., 2020). شرایط محیطی می‌تواند با حساسیت‌های متفاوت، به شدت فعالیت تولید و منبع کربن را محدود کند (Sevanto et al., 2014). تغییرات پتانسیل آب ساقه در گیاهان (متأثر از خشک‌سالی) بر فشار آماس سلولی و مقدار انبساط سلولی تأثیر می‌گذارد و از فعالیت کامبیوم در پایین‌تر از ۱- مگاپاسکال جلوگیری می‌کند. در حالی‌که در وضعیت مشابه، هدایت آب و فعالیت فتوسنتزی کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Peters et al., 2021). به دنبال کاهش رویش سطح برگ، جذب نور نیز کاهش یافته و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه نیز کم شده و بدیهی است که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی، عملکرد نیز کاهش می‌یابد (Omidi et al., 2021). علاوه بر این تحت شرایط تنش خشکی، کمبود دی‌اکسید کربن و

کاهش هدایت هیدرولیکی آب می‌تواند منجر به مرگ گیاهان شود (Sevanto et al., 2014). رویش (رشد) گیاه ناشی از اثر متقابل کلیه فرآیندهای درونی گیاه از قبیل فتوسنتز، تنفس، انتقال، روابط آبی و تعادل عناصر غذایی است. بافت‌ها به دو شیوه افزایش تعداد سلول (تقسیم سلول) و افزایش حجم سلولی رشد می‌کنند (Zahedi et al., 2019). پژوهش (Delfan Azari et al., 2019) نیز روی درختان زبان‌گنجشگ (*Fraxinus rotundifolia* Mill) نشان داد در دو سال، آبیاری با سطح ۵۰ درصد نیاز آبی سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع، طول شاخه، قطر تاج، فراوانی برگ، شادابی و سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد شد. نیاز آبی با توجه به فصل رشد (بر اساس زمان و مرحله رشد نهال) و دمای هوا از ۵۰ درصد نیاز آبی اولیه تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی اولیه متغیر بود. با توجه به تغییر برای گسترش رویش ریشه (رویش حجمی ریشه) با افزایش تنش خشکی، به‌نظر می‌رسد این نوعی واکنش سازگاری گیاه به تنش خشکی باشد. تحقیقات روی گیاهان مختلف مانند بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*) (Omidi et al., 2021) سنجد (*Elaeagnus angustifolia* L.) (Zamani kebrabadi et al., 2022)، زبان گنجشگ (Delfan Azari et al., 2019) و گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) (Toupchi Khosrowshahi et al., 2020) نیز افزایش رویش حجمی ریشه تحت تنش خشکی را نشان داده است. تحت شرایط تنش خشکی، ریشه گیاهان برای افزایش جذب آب به اعماق خاک نفوذ می‌کنند از این‌رو ساختار ریشه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین (Zamani kebrabadi et al., 2022) روی نهال‌های سنجد نشان داد با افزایش تنش آبی صفات رویشی مانند ارتفاع، قطر یقه، تعداد شاخه و برگ، وزن خشک ریشه و اندام هوایی نهال‌ها کاهش یافت. طول ریشه اصلی نهال‌ها نیز با افزایش تنش

خشکی تا ۵۰ درصد ظرفیت زراعی روند افزایشی نشان داد که نشاندهنده افزایش طول ریشه در شرایط تنش آبی بود.

#### ویژگی‌های فیزیولوژیکی: تبادلات گازی

پژوهش‌های مختلف نشان داده است در گیاهان مختلف مانند صنوبر (*Populus canadensis*)، توت سفید (*Morus alba*)، افرا زینتی (*Acer negundo*) و افرا شبه‌چناری (*Acer pseudoplatanus*) تنش خشکی سبب کاهش مقدار سرعت فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق و تثبیت دی‌اکسید کربن می‌شود (Rosso et al., 2023; Zhang et al., 2023; Koc, 2022) که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. با این وجود، در مقایسه با تیمار شاهد، بیش‌ترین مقادیر سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق، هدایت روزنه‌ای و دی‌اکسید کربن درون سلولی در تیمار ۷۵ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمده است. پژوهش Boor et al. (2022) روی بررسی زنده‌مانی، رویش و فیزیولوژی ۶ گونه جنگلکاری شده (شامل بلوط ایرانی (*Quercus persica*)، بلندمازو (*Q. castaneifolia*)، افاقیا (*Robinia pseudoacacia*)، داغداغان (*Melia azedarach*)، زیتون تلخ (*Morus alba*) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری (۴ دور آبیاری شامل ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز) نشان داد فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق، کارایی مصرف آب و کلروفیل کل برگ در دوره آبیاری ۷ روز یکبار بیشترین مقدار و دوره آبیاری ۲۸ روز یکبار کمترین بودند، در حالی که کم‌ترین مقدار پرولین در دوره آبیاری ۷ روز یکبار و بیشترین مقدار آن در دوره آبیاری ۲۸ روز یکبار مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد افزایش تبادلات گازی در این سطح از تنش به‌دلیل افزایش تراکم سلول‌های کلروفیل در واحد وزن سطح است، که نتایج به‌دست‌آمده از غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی نیز می‌تواند این موضوع را تأیید

کند (در قسمت رنگیزه‌های فتوسنتزی توضیح بیشتری داده شده است). کاهش فتوسنتز در سطوح پایین تنش خشکی به‌علت محدودیت‌های روزنه‌ای (انسداد روزنه‌ها) و در سطوح بالای خشکی به‌دلیل محدودیت‌های غیر روزنه‌ای (واکنش‌های تخریبی و بیوشیمیایی) است (Ahmadpour et al., 2019). تنظیم روزنه‌ای برای حفظ بافت از خسارت پسایدگی (هدررفت آب) از اهمیت بالایی برخوردار است، به‌ویژه آنکه این نوع پاسخ در مقایسه با دیگر پاسخ‌های بلندمدت سریع‌تر بوده و در ضمن قابل برگشت است (Ahmadpour et al., 2019). اندازه باز شدن روزنه تابع وضعیت آبی سلول‌های محافظ است، می‌توان انتظار داشت هر تغییری در مقدار آب گیاه موجب تأثیر بر باز و بسته شدن روزنه‌ها شود. کاهش مقدار تعرق در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌عنوان مکانیسمی برای حفظ آب برگ و جلوگیری از هدررفت آن طی تعرق بیان شود (Hosseini et al., 2018). در گیاه صنوبر حداکثر نرخ تعرق با حداکثر دمای محیط هم‌زمان نبوده است و علت آن عدم توانایی گیاه در جذب آب از خاک و تأمین آب مورد نیاز برای تعرق بود (Rosso et al., 2023). بنابراین برخی از گیاهان به‌منظور جلوگیری از کاهش بیش از حد محتوای نسبی آب برگ، مقدار هدایت روزنه‌ای را کاهش و از این طریق از هدر رفت آب گیاه طی فرآیند تعرق جلوگیری می‌کنند (Sourestani, 2016). غلظت دی‌اکسیدکربن درون سلولی نشان‌دهنده مصرف یا فقدان دی‌اکسیدکربن در چرخه کالوین است و مقدار آسیب به عوامل تثبیت‌کننده آن را نشان می‌دهد که با بسته شدن روزنه‌ها طی تنش خشکی کاهش می‌یابد (Hosseini et al., 2018).

هدایت مزوفیلی (کارایی کربوکسیلاسیون) و کارایی مصرف آب فتوسنتزی

شدت تنش، از غلظت آن‌ها کاسته شد که با داده‌های این پژوهش هم‌خوانی دارد. به‌نظر می‌رسد افزایش مقدار کلروفیل در اثر تنش ملایم به‌دلیل افزایش وزن مخصوص برگ است. وقوع تنش مقدار سطح برگ را کاهش می‌دهد که ناشی از کاهش اندازه سلول است. بنابراین در طی بروز تنش به‌دلیل وجود سلول‌های بیشتر در واحد وزن برگ مقدار کلروفیل نیز افزایش می‌یابد (Ghazghazi et al., 2022; Voko et al., 2022; Galeano et al., 2019). از طرفی دیگر، افزایش غلظت کلروفیل کل گیاه با افزایش شدت تنش خشکی می‌تواند دلالت بر افزایش ظرفیت گیاه برای به دام انداختن نور و نوعی خود تنظیمی گیاه در برابر تنش خشکی باشد، چرا که کاهش محتوای کلروفیل گیاه و افزایش جذب نور توسط اجزای فتوسنتزی، سبب تولید گونه‌های اکسیژن فعال شده که خود منجر به تجزیه رنگیزه‌های دخیل در جذب نور می‌شود (Herbinger et al., 2002). با این حال، نتایج پژوهش ما نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی از مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل و کارتنوئید کاسته شده است. تحقیقات قبلی نیز در گونه‌های مختلف از کاج مدیترانه (Ghazghazi et al., 2022)، درخت ساج (Galeano et al., 2019) گلابی (Asayesh et al., 2023) و انگور (Fahim et al., 2023) نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی از مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی کاسته شد، این مسئله ممکن است به‌دلیل افزایش فعالیت کلروفیلاز به هنگام تنش خشکی باشد (Fahim et al., 2023; Galeano et al., 2019). Asayesh (2023) در بررسی تأثیر تنش خشکی در سطوح ۱۰۰ (شاهد)، ۶۰ (تنش متوسط) و ۳۰ (تنش شدید) درصد ظرفیت زراعی روی پایه‌های گلابی گزارش کردند غلظت رنگدانه‌های کلروفیل، کارتنوئید و اسید آسکوربیک تحت شرایط تنش خشکی به‌شدت کاهش پیدا کرد.

کاهش فتوسنتز و تثبیت دی‌اکسید کربن با افزایش کارایی مصرف آب فتوسنتزی در گیاهان تحت تنش خشکی همراه است (Rosso et al., 2023; Zhang et al., 2023). تحقیقات پژوهش حاضر نیز نشان داد اگرچه بسته شدن روزنه‌ها در طی تنش به‌منظور کاهش هدررفت آب انجام شد، اما به‌واسطه ممانعت از ورود دی‌اکسید کربن، فتوسنتز را کاهش داد. با این وجود، غلظت  $CO_2$  درون روزنه‌ای را از  $186/2$  به  $270/1$  میکرومول بر مول افزایش نشان داد، که نشان می‌دهد تنش خشکی از طریق تأثیر بر مکانیسم‌های درونی برگ از فرآوری  $CO_2$  در دسترس جلوگیری کرده در نتیجه افزایش دی‌اکسید کربن را نشان می‌دهد (Ahmadpour et al., 2019). کاهش کارایی مصرف آب فتوسنتزی با افزایش مقدار تنش می‌تواند ناشی از کاهش مقدار دی‌اکسید کربن درون سلولی باشد که بیشتر متأثر از عوامل غیرروزنه‌ای است تا عوامل روزنه‌ای (Ahmadpour et al., 2019).

#### رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کلروفیل کل و کارتنوئید)

رنگیزه‌های فتوسنتزی در بسیاری گیاهان برای جذب نور و عملکرد محصول اهمیت دارند، هر دو کلروفیل a و کلروفیل b و کارتنوئید تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند (Ghazghazi et al., 2022; Voko et al., 2022). نتایج این پژوهش نشان داد تنش کم آبیاری در سطح متوسط (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) موجب افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی شد، اما در تنش ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی از غلظت آن‌ها کاسته شد. تحقیقات روی گونه‌های دیگر مانند زیتون (Akbari et al., 2014)، بابونه آلمانی (Pirzad et al., 2009)، مریم گلی زیتنی (Beiranvand et al., 2023) نیز نشان داد تنش خشکی ملایم (بسته به گونه گیاهی) مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی را افزایش داد، اما با ادامه

## اسمولیت‌های اسمزی (پرولین، قند محلول)

است به مصرف پرولین رسیده در نتیجه از محتوای کلروفیل کاسته می‌شود. از طرفی دیگر، تجمع پرولین می‌تواند از فعالیت مخرب آنزیم کلروفیل‌لاز در شرایط تنش خشکی جلوگیری کند (Turner, 2018). نقش و اهمیت تجمع قندها نیز به این دلیل است که تجمع این مواد سبب تنظیم فشار اسمزی و کاهش ازدست دادن آب سلول و نگهداری آماس سلولی می‌شود (Fahim et al., 2023).

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد تنش خشکی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی منجر به کاهش رشد و نمو نهال‌های تحت تنش شد. با این وجود، در سطح ۷۵ درصد ظرفیت زراعی عملکرد به نسب بهتری را نشان داد، در نتیجه برای کاهش مصرف آب و همچنین احتیاج روز افزون به نهال قوی و سالم برای توسعه فضای سبز و احیای جنگلکاری در مناطق نیمه‌خشک کشور، به نهالستان‌های تولید کننده این‌گونه توصیه می‌شود سطح آب آبیاری کم‌تر از ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در نظر گرفته نشود.

## سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری ارزشمند کارشناسان محترم آزمایشگاه مرکزی (۲) دانشگاه لرستان در اجرای طرح پژوهشی حاضر کمال تشکر و قدردانی را داریم.

## References

Ahmadpour, R.; Hosseinzadeh, S. R., Evaluation of photosynthetic parameters at phenological stages of lentil cultivars (*Lens culinaris* Medik.) in response to water deficit stress. *Journal of Plant Process and Function* **2019**, 7 (27), 103-118. (In Persian)  
Akbari, V.; Jalili Marandi, R., Effect of cycocel on growth and photosynthetic pigments of tow olive cultivars under different irrigation intervals. *Journal of Horticultural Science* **2014**, 27 (4), 460-469. (In Persian)

تحقیقات بسیاری افزایش پرولین و قند محلول را در گیاهان مختلف تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند (Fahim et al., 2023; Ghazghazi et al., 2022; Voko et al., 2022) که با نتایج ما هم‌خوانی دارد. به‌طور معمول، در طی بروز تنش خشکی گیاهان با ذخیره تنظیم‌کننده‌های اسمزی همانند اسیدهای آمینه، قندها، برخی از یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها سعی در مقابله با تنش دارند. در بین ترکیبات آلی، پرولین یکی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های اسمزی به‌شمار می‌رود (Ghazghazi et al., 2022; Voko et al., 2022). نتایج تحقیقات روی انگور نشان می‌دهد که افزایش مقدار پرولین و قندهای محلول تحمل گیاهان به خشکی افزایش می‌دهد (Fahim et al., 2023). در واقع پرولین با سمیت‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن به‌خصوص رادیکال هیدروکسیل، فعالیت فتوشیمیایی در غشاء تیلاکوئید را افزایش داده و در نتیجه با تنظیم اسمزی سلول‌ها و یکپارچگی غشاء و دیگر ماکرومولکول‌های سلولی، منجر به کاهش آسیب‌های ناشی از تنش خشکی و کاهش تولید مالون دی‌آلدهید می‌شود که افزایش محتوای نسبی آب گیاه را به‌همراه دارد (La et al., 2019; Dianat et al., 2016). همچنین تحت شرایط کمبود آب علاوه بر تجزیه کلروفیل، گلوتامات که پیش‌ماده کلروفیل و پرولین Asayesh, Z. M.; Arzani, K.; Mokhtassi-Bidgoli, A.; Abdollahi, H., Enzymatic and non-enzymatic response of grafted and ungrafted young European pear (*Pyrus communis* L.) trees to drought stress. *Scientia Horticulturae* **2023**, 310, 111745.  
Bates, L. S.; Waldren, R. a.; Teare, I., Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil* **1973**, 39, 205-207.  
Beiranvand, F.; Zahedi, B.; Rezaei Nejad, A., Investigation of the effect of selenium foliar application on morphophysiological and biochemical characteristics of ornamental

- salvia under irrigation regime. *Journal of Plant Process and Function* **2023**, *11* (47), 323-339. (In Persian)
- Boor, Z.; Hosseini, S. M.; Soleimani, A.; Taheri Abkenar, K., Investigation of survival, growth and physiology of six afforested species under different irrigation regimes. *Forest Research and Development* **2022**, *8* (1), 97-111. (In Persian)
- Cabon, A.; Fernández-de-Uña, L.; Gea-Izquierdo, G.; Meinzer, F. C.; Woodruff, D. R.; Martínez-Vilalta, J.; De Cáceres, M., Water potential control of turgor-driven tracheid enlargement in Scots pine at its xeric distribution edge. *New Phytologist* **2020**, *225* (1), 209-221.
- Delfan Azari, N.; Rostami Shahraji, T.; Gholami, V.; Hashemi Garmdareh, S. E., The effect of different irrigation levels on growth parameters of ash (*Fraxinus rotundifolia* Mill) seedlings in green space of Tehran city. *Forest Research and Development* **2019**, *5* (2), 229-244. (In Persian)
- Dianat, M.; Saharkhiz, M. J.; Tavassolian, I., Salicylic acid mitigates drought stress in *Lippia citriodora* L.: Effects on biochemical traits and essential oil yield. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* **2016**, *8*, 286-293.
- Fahim, S.; Ghanbari, A.; Naji, A. M.; Shokohian, A. A.; Maleki Lajayer, H., Impact of drought stress on morphological and physiological traits in some Iranian grape cultivars. *Journal of Plant Process and Function* **2023**, *11* (47), 249-266. (In Persian)
- Galeano, E.; Vasconcelos, T. S.; Novais de Oliveira, P.; Carrer, H., Physiological and molecular responses to drought stress in teak (*Tectona grandis* Lf). *PLoS One* **2019**, *14* (9), e0221571.
- Ganjeali, A.; Kafi, M.; Sabet Teimouri, M., Variations of root and shoot physiological indices in chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences* **2010**, *3* (1), 35-45. (In Persian)
- Ghazghazi, H.; Riahi, L.; Yangui, I.; Messaoud, C.; Rzigui, T.; Nasr, Z., Effect of drought stress on physio-biochemical traits and secondary metabolites production in the woody species *Pinus halepensis* Mill. at a juvenile development stage. *Journal of Sustainable Forestry* **2022**, *41* (9), 878-894.
- Herbinger, K.; Tausz, M.; Wonisch, A.; Soja, G.; Sorger, A.; Grill, D., Complex interactive effects of drought and ozone stress on the antioxidant defence systems of two wheat cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry* **2002**, *40* (6-8), 691-696.
- Hosseinian, S. H.; Akbari, N.; Eisvand, H. R.; Akbarpour, O.; Saeedinia, M., Effect of drought stress and glycine betaine as foliar application on photosynthesis parameters of chickpea. *Water and Irrigation Management* **2018**, *8* (2), 227-236. (In Persian)
- Khandani, Y.; Gholami, M.; Sarikhani, H.; Chehregani Rad, A., Response of some vegetative and physiological traits of Iranian and foreign grape cultivars to drought stress. *Journal of Plant Process and Function* **2022**, *11* (51), 153-174. (In Persian)
- Kochert, G., Carbohydrate determination by the phenol-sulfuric acid method. *Handbook of phycological methods, Physiological and biochemical methods*. **1978**, 95.
- Koc, I., Comparison of the Gas Exchange Parameters of Two Maple Species (*Acer negundo* and *Acer pseudoplatanus*) Seedlings under Drought Stress. *Journal of Bartın Faculty of Forestry* **2022**, *24*(1): 65-76.
- La, V. H.; Lee, B.-R.; Zhang, Q.; Park, S.-H.; Islam, M. T.; Kim, T.-H., Salicylic acid improves drought-stress tolerance by regulating the redox status and proline metabolism in *Brassica rapa*. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* **2019**, *60*, 31-40.
- Lichtenthaler, H. K., [34] Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology*, Elsevier: 1987; Vol. 148, pp 350-382.
- Muller, B.; Pantin, F.; Génard, M.; Turc, O.; Freixes, S.; Piques, M.; Gibon, Y., Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. *Journal of Experimental Botany* **2011**, *62* (6), 1715-1729.
- Omidi, H.; Pirjalili, F.; Ahmadi, K., Evaluation of the effect of drought stress on morphophysiological characteristics of three populations of balangu (*Lallemantia royleana* Benth.). *Journal Of Horticultural Science* **2021**, *34* (4), 605-620. (In Persian)
- Peters, R. L.; Steppe, K.; Cuny, H. E.; De Pauw, D. J.; Frank, D. C.; Schaub, M.; Rathgeber, C. B.; Cabon, A.; Fonti, P., Turgor—a limiting factor for radial growth in mature conifers

- along an elevational gradient. *New Phytologist* **2021**, 229 (1), 213-229.
- Pirzad, A.; Alyari, H.; Shakiba, M.; Zehtab-Salmasi, S.; Mohammadi, A., Effect of water stress on chlorophyll amounts in German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *VIII Tarla Bitkileri Kongresi, Hatay, Turkiye* **2009**, 315-317.
- Ritchie, S. W.; Nguyen, H. T.; Holaday, A. S., Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop science* **1990**, 30 (1), 105-111.
- Rosso, L.; Cantamessa, S.; Bergante, S.; Biselli, C.; Fricano, A.; Chiarabaglio, P.M.; Gennaro, M.; Nervo, G.; Secchi, F.; Carra, A., Responses to Drought Stress in Poplar: What Do We Know and What Can We Learn? *Life* **2023**, 13, 533.
- Sevanto, S.; McDowell, N. G.; Dickman, L. T.; Pangle, R.; Pockman, W. T., How do trees die? A test of the hydraulic failure and carbon starvation hypotheses. *Plant, Cell & Environment* **2014**, 37 (1), 153-161.
- Sourestani, M. M., The study on diurnal changes in leaf gas exchange of lemon balm, catnip, holy basil and sweet basil in Ahvaz. *Journal of Horticulture Science* **2016**, 30 (3), 395-405. (In Persian)
- Tiwari, H.; Agarwal, R.; Bhatt, R., Photosynthesis, stomatal resistance and related characteristics as influenced by potassium under normal water supply and water stress conditions in rice (*Oryza sativa* L.). *Indian journal of plant physiology* **1998**, 3 (4), 314-316.
- Toupchi Khosrowshahi, Z.; Salehi Lisar, S. Y.; Ghassemi-Golezani, K.; Motafakkerzad, R., Effects of exogenous polyamines on some growth and physiological parameters of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* **2020**, 33 (1), 127-138. (In Persian)
- Turner, N. C., Turgor maintenance by osmotic adjustment: 40 years of progress. *Journal of experimental botany* **2018**, 69 (13), 3223-3233.
- Voko, M. P.; Kulkarni, M. G.; Ngoroyemoto, N.; Gupta, S.; Finnie, J. F.; Van Staden, J., Vermicompost leachate, seaweed extract and smoke-water alleviate drought stress in cowpea by influencing phytochemicals, compatible solutes and photosynthetic pigments. *Plant Growth Regulation* **2022**, 97 (2), 327-342.
- Zahedi, M.; Hosseini, M. S.; Karimi, M., The effects of drought stress and brassinosteroid solution spray on some morphological, physiological and biochemical characteristics of wild pear (*Pyrus brossieriana* Buhse). *Journal of Plant Process and Function* **2019**, 8 (29), 181-192. (In Persian)
- Zahreddine, H. G.; Struve, D. K.; Talhouk, S. N., Growth and nutrient partitioning of containerized *Cercis siliquastrum* L. under two fertilizer regimes. *Scientia horticulturae* **2007**, 112 (1), 80-88.
- Zamani Kebrabadi, B.; Hojjati, S. M.; Rejali, F.; Esmaili Sharif, M.; Saboohi, R., Investigation of the effect of mycorrhizal fungi on seedlings *Elaeagnus angustifolia* L. under drought stress under controlled conditions. *Forest Research and Development* **2022**, 7 (4), 623-638. (In Persian)
- Zhang, T.; Dong, G.; Tian, Y.; Zhou, Y.; Li, Y.; Zhang, S.; Li, H., Effects of drought stress and Ca supply on the biomass allocation strategies of poplar and mulberry. *Forests* **2023**, 14, 505.

## Vegetative and physiological responses of *Cercis siliquastrum* seedlings to water stress

Zahra Saeedi<sup>1</sup>, Babak Pilehvar<sup>\*2</sup> and Sayed Vahid Sayedena<sup>3</sup>

1- M.Sc. of Forest Ecology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khoram Abad, I. R. Iran. (zzahrassaeidi@gmail.com)

2- Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khoram Abad, I. R. Iran. (j.alavi@modares.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khoram Abad, I. R. Iran. (sv\_sayedena\_58@yahoo.com)

Received: 13 March 2023      Accepted: 15 May 2023

### Abstract

To investigate the effect of drought stress on the vegetative, physiological, and biochemical characteristics of purple seedlings, an experiment was conducted in the form of a completely randomized design with four levels of irrigation including 75% (mild stress), 50% (medium stress) and 25% (severe stress) of the field capacity (FC) and the control (100% FC) in greenhouse conditions. The results showed that severe drought stress significantly reduced vegetative traits such as seedling height growth (86.8%), the number of leaves, and total fresh and dry biomass by 93%, 46.2%, and 44.8%, respectively, but increased root volumetric growth (1034%). Also, drought stress affected all parameters of gas exchange and photosynthetic pigments. So that at the level of 25% FC, it caused a significant decrease in the rate of photosynthesis ( $1/20 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), transpiration ( $0/65 \text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), stomatal conductance ( $106/2 \text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) and mesophilic ( $0/0088 \text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), intracellular carbon dioxide concentration ( $134/2 \text{mmolCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) and carboxylation efficiency ( $0/00112 \mu\text{molCO}_2 \text{mol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ ). The amount of photosynthetic pigments (chlorophyll a, b, total chlorophyll, and carotenoids) also showed a significant decrease at 25% FC (4.07, 1.96, 6.03 and 1.23 mg g<sup>-1</sup> FW, respectively.). Also, drought stress increased the amount of proline and soluble sugar and showed the highest values at the level of 25% FC (respectively, 1.348  $\mu\text{mol g}^{-1}$  FW of proline and 41.51 mg g<sup>-1</sup> FW of soluble sugar). According to the above evaluations, it seems that the purple variety can tolerate drought stress up to 75% FC without causing damage to the plant tissue, but if the amount of water is reduced to the threshold of 25% FC, its growth and performance will be severely affected.

**Keywords:** Growth of seedlings, Proline, Photosynthesis, Carboxylation efficiency, Chlorophyll a, Mesophilic conductivity.

---

\* Corresponding author

Tel: +9891125228512