پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۱۰، شماره ۲، صفحه ۱۸۱-۱۶۷، (۱۴۰۳)
DOI: https://doi.org/10.30466/jfrd.2024.55088.1707
DOR: https://dorl.net/dor/20.1001.1.24763551.1403.10.2.1.5

مقالهٔ پژوهشی

پاسخ‌های فیزیولوژیک درختان چندساله شاخه‌زاد بلوط ایرانی (*Quercus brantii* L.) به تنش خشکی

الهام جافریان[۱]، بابک پیله‌ور*[۲] و مجید توکلی[۳]

۱- دانشجوی دکترای جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
(elyajaferyan@yahoo.com)
۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (b.pilehvar@lu.ac.ir)
۳- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، لرستان، ایران.
(majid.tavakoli43@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰

چکیده

مقدمه و هدف: خشکی بر رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد و به یک مشکل جدی در سراسر جهان تبدیل شده است. درک نحوه واکنش گیاهان به خشکی بسیار مهم است. در شرایط خشک، احتمال زیادی وجود دارد که جنگل‌ها در معرض تنش‌های مختلف قرار گیرند. درختان به دو روش فیزیکی و شیمیایی از خود در برابر تنش خشکی دفاع می‌کنند. دفاع فیزیکی شامل افزایش تراکم ساختارهایی مانند تیغه‌ها، خارها و کرک‌ها است، اما واکنش‌های شیمیایی شامل تولید پاسخ‌های فیزیولوژیک است که به‌عنوان یک سد دفاعی در برابر عوامل محیطی عمل می‌کنند. بلوط‌ها نسبت به خشکی و گرما مقاوم هستند و این ویژگی در شرایط خشکسالی به پاسخ‌های فیزیولوژیکی آنها مربوط می‌شود. پاسخ گونه غالب بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) در جنگل‌های زاگرس، به خشکسالی‌های اخیر نشان از حساسیت بالای این گونه دارد. پاسخ به تنش خشکی در درختان بالغ و چند ساله نسبت به نهال‌های همان گونه متفاوت است. برخی از ساز و کارهای فیزیولوژیک در تغییرات درونی درختان در پاسخ به تنش‌ها تاثیرگذار هستند. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر تنش خشکی بر روی صفات فیزیولوژیک درختان بالغ بلوط در شرایط مطلوب و تنش در محیط طبیعی است.

مواد و روش‌ها: این تحقیق بر روی درختان چندساله بلوط ایرانی به مدت دو سال (۱۳۹۹– ۱۴۰۱) در محیط طبیعی جنگل در مجتمع کشت و صنعت فجر صفا واقع در ۱۰ کیلومتری شهرستان خرم‌آباد انجام شد. آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه سطح تنش خشکی انجام شد. تنش خشکی شامل سطح تیمار خشکی و ممانعت از رسیدن هر گونه رطوبتی به خاک در طی این دو سال (پوشاندن با پلاستیک سفید)، رطوبت‌دهی به خاک (آبیاری درختان با هر ۱۰ روز یک‌بار) و درختان شاهد اجرا شد. جامعه آماری در این پژوهش ۱۲۰ اصله درخت و در هر گروه ۳۰ درخت است. در پایان آزمایش در ۲۰ شهریور ۱۴۰۱،

از هر یک از این درختان در ارتفاع معین دو متری از اطراف طوقه در چهار جهت جغرافیایی اصلی برگ‌های آنها جدا و به آزمایشگاه منتقل شد. با اندازه‌گیری وزن تر، وزن تورژسانس و وزن خشک محتوای نسبی آب برگ محاسبه شد. سپس برای تعیین کمیت خصوصیات فیزیولوژیکی، برگ‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شده و به‌صورت پودر درآمد. سپس اندازهٔ پرولین، قندهای محلول و نامحلول، آنزیم‌ها (پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات اکسیداز) و مقدار کاروتنوئید، کلروفیل a، b و کل بعد از اتمام دوره در درختان هر سه تیمار اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف تیمارها اثر معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ بر مقدار پرولین، محتوای نسبی آب برگ و آنزیم‌ها (پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات اکسیداز) داشتند. در مقابل، اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ بین تیمارهای مختلف از نظر قندهای محلول، نامحلول و رنگدانه‌های فتوسنتزی (کاروتنوئید، کلروفیل a، b و کل) مشاهده نشد. محتوای نسبی آب برگ بیشترین تفاوت را در بین سطوح مختلف تیمار نشان داد. با افزایش تنش خشکی، روند کاهشی در مقدار محتوای نسبی آب برگ و روند افزایشی در مقدار پرولین، قند محلول، قند نامحلول، آنزیم‌ها (سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیداز و آسکوربات اکسیداز) و رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید) مشاهده شد. بیشترین مقدار پرولین در تیمار گروه شاهد و کمترین مقدار آن در گروه آبیاری‌–شده مشاهده شد. محتوای نسبی آب برگ، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز بیشترین مقدار را در گروه تحت آبیاری نشان دادند. در تنش شدید، قندهای محلول و قندهای نامحلول نسبت به گروه شاهد افزایش پیدا کرد. میزان پرولین در گروه شاهد بیشترین مقدار را نشان داد.

نتیجه‌گیری کلی: با توجه به نتایج این پژوهش درختان بالغ تمایل به حفظ کربوهیدرات‌ها و قندها دارند. این پژوهش می‌تواند مقدار سازگاری درختان بلوط بالغ را با شرایط فعلی و مطلوب (مقایسه شاهد با درختان آبی) و مقدار مقاومت درختان بالغ در سال‌های کم بارندگی (مقایسه شاهد با درختان تحت تنش) را آشکار سازد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که درختان بالغ بلوط ایرانی می‌توانند تا حدودی با افزایش پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در برابر آسیب‌های ناشی از تنش خشکی مقاومت کنند. همچنین با توجه به نتایج این پژوهش در مقایسه با پژوهش‌های قبلی، نهال‌ها در شرایط تنش بیشتر از تغییرات کربوهیدرات‌ها و قندهای محلول رنج می‌برند درحالی‌که درختان بالغ تمایل به حفظ کربوهیدرات‌ها و قندها دارند. یافته‌های این پژوهش به‌عنوان راهبرد مدیریت جنگل برای متخصصان جنگل و ذی‌نفعان بسیار مرتبط است. به‌طورکلی، نتایج نشان می‌دهد که یک رابطه هدفمند بین پاسخ به تنش خشکی و فیزیولوژی گیاهی وجود دارد. می‌توان نتیجه گرفت که وضعیت اقلیمی توده‌های بلوط ایرانی عامل مهمی است که باید مورد توجه مدیران جنگل‌ها که مسئولیت برنامه‌های مدیریت جنگل‌های غرب کشور را برعهده دارند، قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌ها، پرولین، رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب برگ.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۲۵۲۲۸۵۱۲

مقدمه

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سلامت، رشد، عملکردهای فیزیولوژیک و مرگ و میر درخت است (Matouskova et al., 2022) و یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در سراسر جهان و شایع‌ترین تنش محیطی است که می‌تواند در اثر عوامل آب و هوایی متعدد به وجود آید (Saeedi Abueshaghi et al., 2023). تنش خشکی اثرهای چندگانه‌ای بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه برجای می‌گذارد. این تهدیدها علاقه به درک مکانیسم‌های فیزیولوژیک پاسخ درختان به خشکسالی را تقویت کرده است (McDowell et al., 2019). برخی از سازوکارهای فیزیولوژیک در تغییرات درونی درختان در پاسخ به تنش‌ها تاثیرگذار هستند. این تغییرات در درختان بالغ نسبت به نهال‌ها در شرایط تنش خشکی کاملاً متفاوت است.

درختان بالغ از نظر هیدرولیک با مجراهای عریض‌تر آسیب‌پذیرتر هستند (Olson et al., 2018) و به‌دلیل تبخیر بیشتر و فواصل طولانی‌تر برای انتقال آب، تحت تنش هیدرولیک قوی‌تری قرار می‌گیرند (Zhang et al., 2020). با این حال، دیگر شواهد نیز نشان داده‌اند که درختان بزرگ‌تر در برابر خشکسالی انعطاف‌پذیرتر هستند (Smith et al., 2019). شواهدی نیز وجود دارد که نهال‌ها نسبت به درختان بالغ حساسیت بیشتری در رشد قطری، پتانسیل آب و سطح برگ نسبت به تنش‌های محیطی نشان می‌دهند (Smith et al., 2019). در پاسخ به خشکسالی برخی از مواد در برگ‌ها توزیع می‌شوند و معمولاً به شکل قند و نشاسته در بافت‌های مختلف ذخیره می‌شوند که نقش مهمی در مقاومت و انعطاف‌پذیری درختان به خشکی ایفا می‌کنند. بنابراین، درک دقیق‌تر برای پیش‌بینی عملکرد، توزیع مواد در برگ و بقای درختان در شرایط خشکسالی دارای اهمیت است (Hartmann et al., 2018).

پژوهش‌های محدودی روی درختان بالغ در جنگل انجام شده است. در پژوهش Stovall et al. (2019) در مقایسه محتوای نسبی آب برگ بین نهال‌ها و درختان بالغ (*Juniperus monosperma*) نشان دادند که درختان بالغ نسبت به نهال‌ها حساسیت کمتری دارند. Zhang et al. (2020) در پژوهشی مقایسه‌ای بر روی کربوهیدرات‌های برگ بین نهال‌ها و درختان بالغ چهار گونه درخت جنگلی نشان دادند که کاهش بیشتر قندها و رنگیزه‌های فتوسنتزی ناشی از خشکسالی در نهال‌ها نسبت به درخت بالغ نشان از حساسیت بالاتر ذخیره‌سازی نهال‌ها نسبت به درختان بالغ است.

پژوهش‌های زیادی بر روی پاسخ‌های رویشی، آناتومی، فیزیولوژی، مورفولوژی و بیوشیمیایی بلوط ایرانی تحت تنش خشکی انجام شده است. این بررسی‌ها بیشتر بر روی نهال‌ها انجام شده است (Begom et al., 2020). پژوهش‌های محدودی هم در زمینه پاسخ‌های درختان بالغ در طبیعت انجام شده است. ولی با توجه به مرور منابع انجام‌شده در محیط‌های طبیعی اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر روی درختان بالغ بلوط و مکانیسم مقابله آنها با خشکی پژوهشی انجام نشده است.

جنس *Quercus* دارای ترکیبات مختلفی از قبیل گلیکوزیدها، ترپنوئیدها، فلاونوئیدها، اسیدهای فنولیک، اسیدهای چرب، استرول‌ها و تانن‌ها است (Shalini Sharma, 2022). از ٤٣٠ گونه بلوط در جدیدترین گزارش اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN)، تخمین زده شده است که ۳۱ درصد آنها در معرض انقراض باشند. بلوط ایرانی بومی مناطق مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی رشته کوه‌های زاگرس است (Yarmand, 2012).

با وجود پژوهش‌های زیاد در زمینه خشکیدگی درختان بلوط تحت تنش‌های محیطی، اطلاعات در زمینه پاسخ‌های فیزیولوژیک درختان بالغ بلوط ایرانی در محیط جنگل با اعمال سطوح تنش خشکی و مقایسه پاسخ این گروه‌ها بر روی آنها وجود ندارد. این پژوهش می‌تواند مقدار سازگاری درختان بالغ بلوط را به شرایط جاری و مطلوب (مقایسه شاهد با درختان آبیاری شده) و اندازهٔ توان مقاومت درختان بالغ را در سال‌های کم‌بارش (مقایسه شاهد با درختان تحت تنش) آشکار نماید. این پژوهش در نظر دارد تا این ابهام را در راهکار مدیریت خشکیدگی بلوط در بوم‌سازگان‌های جنگلی زاگرس با توجه به مقایسه مکانیسم‌های مختلف این گونه در سطوح مختلف خشکی برطرف کند و به چگونگی اثر سطوح مختلف تنش خشکی در شرایط طبیعی جنگل بر روی صفات فیزیولوژیک پاسخ دهد.

مواد و روش‌ها

مجتمع کشت و صنعت شهرستان خرم‌آباد در ۱۰ کیلومتری شهرستان خرم‌آباد با عرض جغرافیایی ٤٨ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و ۳۳ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. میانگین دمای سالانه این منطقه ١٦-١٨ درجه سانتی‌گراد و بارش سالانه ٤٠٠-٤٥٠ میلی‌متر است. خاک این منطقه لومی رسی است. درختان این منطقه از جنس بلوط و دارای فرم رویشی شاخه‌زاد و تک آشکوبه، تقریباً یک دست از نظر ارتفاع و قطر برابرسینه با ظاهری سالم و دارای شاخه‌هایی با خشکیدگی کم هستند.

این آزمایش در دورهٔ زمانی ١٤٠١-١٣٩٩ (از اول پاییز ۱۳۹۹ تا پاییز دو سال بعد) در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی در ٤ بلوک و ۳ سطح تیمار به اجرا درآمد. تیمار اول بدون هیچ‌گونه دخالتی به‌صورت شاهد (کنترل) تعداد ٤٠ درخت (۱۰درخت در هر بلوک) انتخاب شد، سطح دوم تیمار آبیاری درختان با ایجاد یک آبخور در اطراف درخت در فصل خشک تابستان با دوره آبیاری ده روز (حدود ۱۰۰ لیتر آب در هر دوره برای هر درخت) و سطح سوم تیمار تنش خشکی که برای اعمال این تیمار به‌منظور کنترل شرایط آزمایش و جلوگیری از نفوذ باران به محیط ریشه، سطح زمین اطراف درختان (بیش از سایه انداز درخت) با پلاستیک سفید پوشانده شد. همچنین برای جلوگیری از ورود رواناب به پای درختان با ایجاد پشته‌هایی آب به پایین هدایت شد. در پایان انجام سطوح مختلف تیمار در زمان نمونه‌برداری، برگ‌های یک شاخه (قطر ٤-٢ سانتی‌متر) از هر یک از این درختان در ارتفاع مشخصی (۲ متر) از اطراف تاج در چهار جهت جغرافیایی اصلی جمع‌آوری و برای اندازه‌گیری‌های فیزیولوژیک به آزمایشگاه منتقل شدند.

مشخصه‌های اندازه‌گیری‌شده در آزمایشگاه شامل محتوای نسبی آب برگ (RWC) برحسب درصد (Ritchie et al., 1990)، محتوای پرولین برحسب میکروگرم بر گرم وزن تر برگ (Teare and Bates, 1973)، اندازه‌گیری مقدار قندهای محلول و نامحلول طبق روش Kochert (1987) برحسب قسمت در میلیون، غلظت کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید برحسب میکروگرم بر گرم وزن تر برگ (Lichtenthaler, 1978)، فعالیت آنزیم پراکسیداز بر حسب واحد در میلی‌لیتر (MacAdam et al., 1992)، آنزیم آسکوربات پراکسیداز واحد در میلی‌لیتر (Nakano and Asada, 1981) و برای اندازه‌گیری سوپراکسید دیسموتاز واحد در میلی‌لیتر (Azevedo et al., 2006) بودند.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده-ها توسط آزمون کلموگروف- اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها توسط آزمون لون بررسی شد، سپس

داده‌های مربوط به درختان بلوط ایرانی در هر یک از سطوح مختلف تیمار (کنترل، درختان آبیاری‌شده و درختان تحت تنش بی‌آبی) در قالب بلوک کامل تصادفی با بررسی اثر بلوک و تیمار تجزیه و تحلیل شدند و در نهایت دسته‌بندی میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. تمام تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخهٔ ۲۶ انجام گرفت.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک برگ گونه بلوط ایرانی نشان داد که اثر سطوح مختلف تیمار خشکی بر روی تمام صفات اندازه‌گیری شده بجز قندها و رنگیزه‌های فتوسنتزی معنی‌دار است (جدول ۱). نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل پرولین نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف تیمار وجود دارد. کمترین مقدار پرولین در درختان آبیاری شده (۲/٤۷۹ میکروگرم بر گرم) و بیشترین مقدار در گروه شاهد (٤/۵۸۵ میکروگرم بر گرم) مشاهده شد. نتایج اندازه‌گیری قندهای نامحلول در گروه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. در این پژوهش به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار قندهای نامحلول در درختان گروه شاهد (۳/۵۰۸ قسمت در میلیون) و درختان تحت تنش خشکی (۳/٦۱۸ قسمت در میلیون) وجود داشت.

جدول ۱- تجزیه واریانس مشخصه‌های پرولین، محتوای نسبی آب برگ، قندهای محلول و نامحلول

Table 1. Variance analysis of proline, relative water content, soluble and insoluble sugars

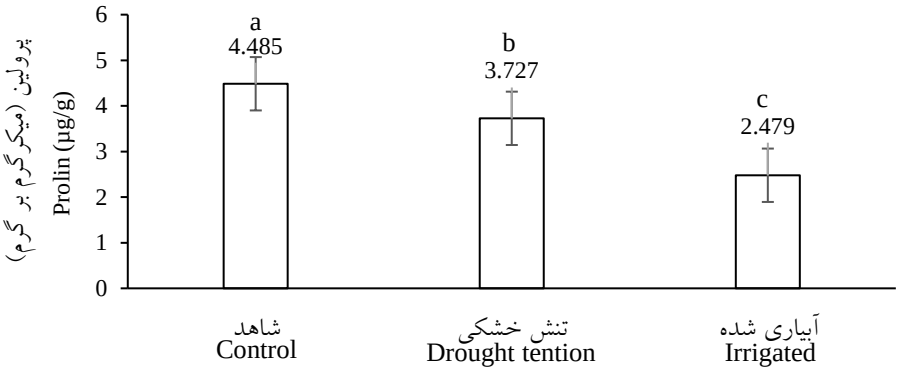
مشخصه Characteristics	منبع تغییرات Source of changes	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean square	F	Sig.
پرولین (میکروگرم بر گرم) Proline (µg.g)	بلوک Block	3	44.85	42.83	0.000**
	سطوح تیمار Treatment levels	2	20.32	19.6	0.000**
محتوای نسبی آب برگ (درصد) Relative water content (%)	بلوک Block	3	2166.63	43.425	0.000**
	سطوح تیمار Treatment levels	2	1155.07	23.151	0.000**
قند محلول (قسمت در ملیون) Soluble sugar (PPM)	بلوک Block	3	893.96	99.80	0.000**
	سطوح تیمار Treatment levels	2	26.81	2.99	0.06ns
قند نامحلول (قسمت در ملیون) Insoluble sugar (PPM)	بلوک Block	3	46.064	152.7	0.000**
	سطوح تیمار Treatment levels	2	0.547	2.183	0.118ns

ns، * ، **: به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری اختلاف، اختلاف در سطح ۰/۰۵ و اختلاف در سطح ۰/۰۱ است.

ns, *, **: indicate the non-significance of the difference, the difference at the level of 0.05 and the difference at the level of 0.01, respectively.

همچنین نتایج حاصل از اندازه‌گیری قندهای محلول در بین گروه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری را با هم نداشتند. گروه شاهد با میانگین ۲۱/۰۷۵، گروه تحت آبیاری با میانگین ۲۰/٤۵۵ و گروه تحت تنش با

میانگین ۲۱/٤۹۸ اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. آبیاری خاک مقدار RWC را به‌طور معنی‌داری در برگ‌های درختان بلوط افزایش داد، بطوریکه بیشترین مقدار RWC در گروه تیماری آبیاری (٦۹/۹۳۸ درصد) و کمترین (۵۷/٦۷۸ درصد) در گروه شاهد بود (شکل ۱).



شکل ۱- تاثیر تنش خشکی در تیمارهای مختلف بر پرولین (میکروگرم بر گرم)

حروف همسان (مشابه) نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و حروف ناهمسان نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار است.

Figure 1. The effect of drought stress in different treatments on the proline (µg/g)
Identical letters indicate no significant difference, while different letters indicate a significant difference.

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر روی مقدار کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در آبیاری درختان مشاهده شد، با افزایش خشکی مقدار کارتنوئید نیز کاهش یافت و بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کارتنوئید به ترتیب در گروه شاهد (۲/۸۸۰ میکروگرم بر گرم) و گروه تحت تنش (۲/۸۳۰ میکروگرم) وجود داشت (شکل ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید

Table 2. Analysis of variance of chlorophyll A, chlorophyll B, total chlorophyll and carotenoid

Sig.	F	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی Degrees of freedom	منبع تغییرات Source of changes	مشخصه Characteristics
0.000**	64.645	14.634	3	بلوک Block	کاروتنوئید (میکروگرم بر گرم) Carotenoid (µg.g)
0.726ns	0.292	0.066	2	سطوح تیمار Treatment levels	
0.000**	118.506	183.512	3	بلوک Block	کلروفیل a (میکروگرم بر گرم) Chlorophyll a (µg.g)
0.139ns	1.040	1.611	2	سطوح تیمار Treatment levels	

ns، * ، **: به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری اختلاف، اختلاف در سطح ۰/۰۵ و اختلاف در سطح ۰/۰۱ است.

ns, *, **: indicate the non-significance of the difference, the difference at the level of 0.05 and the difference at the level of 0.01, respectively.

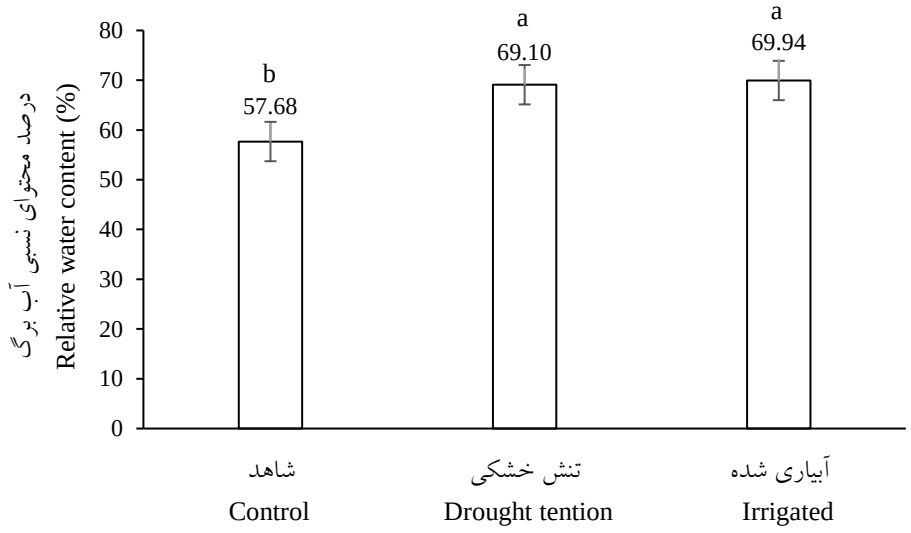
ادامهٔ جدول ۲.

Continued table 2.

مشخصه Characteristics	منبع تغییرات Source of changes	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean square	F	Sig.
کلروفیل b (میکروگرم بر گرم) Chlorophyll b (µg.g)	بلوک Block	3	26.765	39.393	0.000**
	سطوح تیمار Treatment levels	2	4.327	6.369	0.073ns
کلروفیل کل (میکروگرم بر گرم) Total chlorophyll (µg.g)	بلوک Block	3	294.037	98.610	0.000**
	سطوح تیمار Treatment levels	2	9.041	3.032	0.542ns

ns، * ، **: به ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری اختلاف، اختلاف در سطح ۰/۰۵ و اختلاف در سطح ۰/۰۱ است.

ns, *, **: indicate the non-significance of the difference, the difference at the level of 0.05 and the difference at the level of 0.01, respectively.



شکل ۲- تاثیر تنش خشکی در تیمارهای مختلف بر محتوای نسبی آب برگ (درصد)

حروف همسان (مشابه) نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و حروف ناهمسان نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار است

Figure 2. The effect of drought stress in different treatments on the relative leaf water content (%) Identical letters indicate no significant difference, while different letters indicate a significant difference

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات برگ بین طوح مختلف تیمار اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین تغییرات فعالیت آنزیم‌ها نشان داد که بیشترین مقدار فعالیت پراکسیداز برگ در گروه آبیاری (شکل ٤)، سوپراکسیددیسموتاز در گروه آبیاری (شکل ۳) و بیشترین فعالیت آسکوربات در گروه شاهد (شکل ۵) رخ داد.

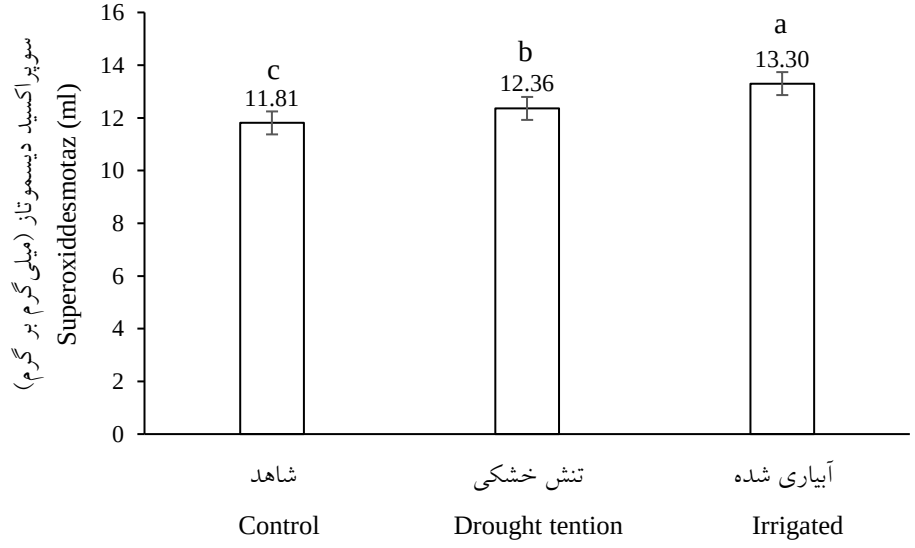
جدول٤- نتایج تجزیه واریانس آنزیم‌ها (پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات اکسیداز)

Table 4- Variance analysis of enzymes (Peroxidase, Superoxide dismutase and Ascorbate)

مشخصه Characteristics	منبع تغییرات Source of changes	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean square	F	Sig.
پراکسیداز (واحد در میلی‌لیتر) Peroxidase	بلوک Block	3	13.365	9.652	0.000**
	سطوح تیمار Treatment levels	2	32.095	23.179	0.000**
سوپراکسید دیسموتاز (واحد در میلی‌لیتر) Superoxide dismutase (U ml)	بلوک Block	3	6.498	15.256	0.000**
	سطوح تیمار Treatment levels	2	26.638	62.542	0.000**
آسکوربات کسیداز (واحد در میلی‌لیتر) Ascorbate Oxidase (U ml)	بلوک Block	3	6.576	1.188	0.000**
	سطوح تیمار Treatment levels	2	69.617	12.577	0.000**

**: نشانگر اختلاف در سطح ۰/۰۱ است.

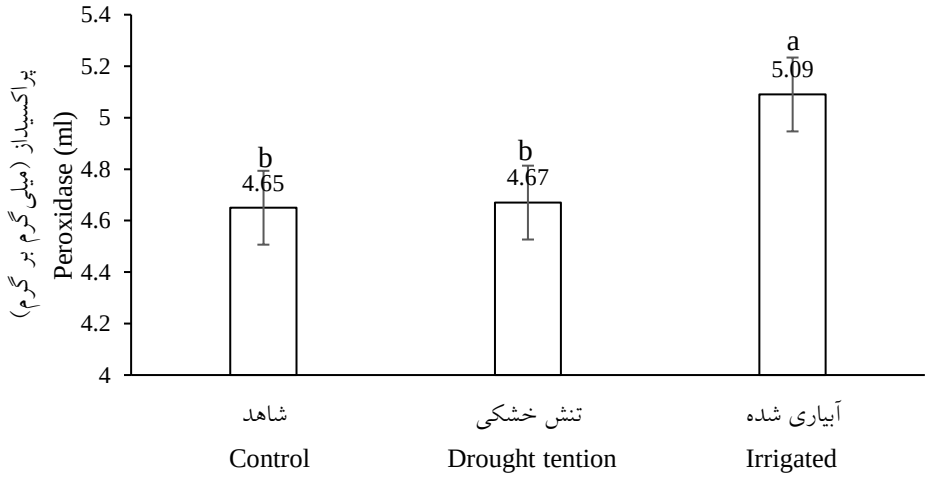
**: indicate the difference at the level of 0.01.



شکل ۳- تاثیر تنش خشکی در تیمارهای مختلف بر سوپراکسیددیسموتاز

حروف همسان (مشابه) نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و حروف ناهمسان نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار است

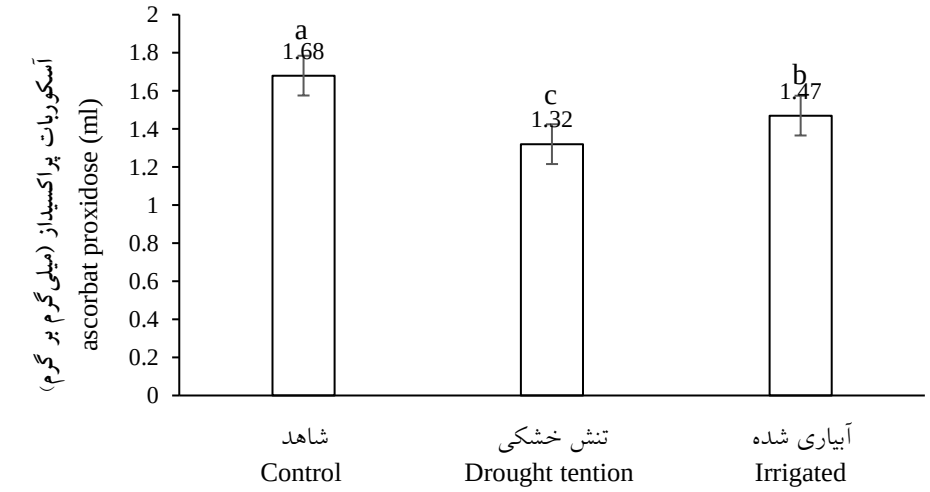
Figure 3. The effect of drought stress in different treatments on the Superoxide dismutase
Identical letters indicate no significant difference, while different letters indicate a significant difference



شکل ٤- تأثیر تنش خشکی در تیمارهای مختلف بر پراکسیداز

حروف همسان (مشابه) نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و حروف ناهمسان نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار است

Figure 4. The effect of drought stress in different treatments on the Peroxidase
Identical letters indicate no significant difference, while different letters indicate a significant difference



شکل ٥- تاثیر تنش خشکی در تیمارهای مختلف بر آسکوربات اکسیداز

حروف همسان (مشابه) نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و حروف ناهمسان نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار است

Figure 5. The effect of drought stress in different treatments on the Ascorbate oxidase
Identical letters indicate no significant difference, while different letters indicate a significant difference

بحث

این پژوهش بر روی درختان بالغ بلوط در محیط باز طبیعت با ایجاد شرایط تنش خشکی و آبیاری انجام شد. در این پژوهش درختان بالغ در معرض سطوح مختلف خشکی قرار داده شد تا پاسخ‌های فیزیولوژیک آنها بررسی شود. بدین منظور شرایط حاکم بر عرصه‌های زاگرس با شرایط خشکی بیشتر (سال‌های کم‌بارش) و شرایط بهینه (سال‌های با بارش بیشتر از متوسط و بدون محدودیت رطوبتی) مقایسه شد. نتایج نشان داد پاسخ فیزیولوژیک درختان بالغ در سطوح

مختلف تیمار متفاوت است. پژوهش پیشین نشان داد که واکنش درختانی که در محیط‌های مصنوعی مانند اتاقک‌ها یا گلدان‌ها رشد می‌کنند، ممکن است پاسخ درختان بالغ جنگلی را منعکس نکند (Norby et al., 2011). بنابراین، ابهاماتی در مورد این‌که چگونه سطوح تنش ممکن است بر رفتارهای فیزیولوژیک در جنگل‌های بالغ تأثیر بگذارد، وجود دارد.

در این پژوهش مقدار پرولین در گروه تنش در مقایسه با تحقیقاتی که بر روی نهال‌ها انجام شده است، بسیار متفاوت بود و این مقادیر در درختان بالغ نسبت به نهال‌ها بسیار کمتر هستند. Roshni nia et al. (2018) نشان دادند که مقدار میانگین پرولین در نهال‌های بلوط ایرانی تحت تنش ۹/۸۸۸ میکروگرم بر گرم است در حالی که این مقدار پرولین در درختان بالغ تحت تنش در این پژوهش ۳/۷۲۷ میکروگرم بر گرم بود. این اختلاف مقادیر می‌تواند به‌علت مقاومت بالاتر درختان بالغ نسبت به نهال‌ها باشد. در واقع افزایش جذب آب از اعماق خاک به‌دلیل سیستم‌های ریشه‌ای گسترده در درختان بالغ علت تجمع کمتر پرولین در برگ درختان بالغ است (Yang et al., 2014). اما نکته‌ای که در این پژوهش وجود داشت این بود که مقدار پرولین در گروه شاهد نسبت به درختان تحت تنش بیشتر بود. به‌نظر می‌رسد که کاهش پرولین در درختان گروه تحت تنش خشکی نسبت به درختان شاهد به سبب حفظ رطوبت خاک توسط پلاستیک‌های اطراف درختان است. نتایج پژوهش Al- yasi (2020) و Ghouil (2020) حاکی از این است که افزایش مقدار پرولین در اثر تنش خشکی به علت افزایش غلظت مواد محلول در سلول‌های گیاهی است.

معنی‌دار بودن اختلاف محتوای نسبی آب برگ در بین تیمارهای مختلف در این پژوهش نشان‌دهنده این است که فرایندهای فیزیولوژیک کنترل‌کننده رشد گیاه به‌صورت مستقیم با آب گیاه ارتباط دارند. به‌طوری‌که در درختان تحت تیمار آبیاری بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ مشاهده شد. در پژوهشها بر روی نهال‌ها Singh et al. (2023)، Karimi et al. (2015)، نیز مشابه نتایج این پژوهش مشاهده شده است. اعمال تنش سه ساله به درختان بالغ *Juniperus monosperma*. در پژوهش McDowell et al (2019) نیز تغییرات معنی‌داری را نشان نداد. آنها گفتند که افزایش جذب آب عمیق‌تر خاک به‌دلیل سیستم‌های ریشه‌ای گسترده در درختان بالغ می‌تواند سبب شود که آنها ظرفیت ذخیره‌سازی آب بیشتری داشته باشند و به مقاومت آنها در برابر تنش خشکی کمک کند. این یافته‌ها با نتایج این پژوهش و برخی از گزارش‌های اخیر که نشان می‌دهد درختان بالغ حساس به خشکسالی هستند و مقدار مرگ و میر بیشتری را تجربه می‌کنند، در تضاد است (Bennett et al., 2015).

در این پژوهش اختلاف معنی‌داری بین مقدار قندهای محلول و نامحلول در برگ درختان در سطوح مختلف تیماری مشاهده نشد، ولی مقدار قندها در درختان آبیاری شده کمتر از درختان شاهد و درختان شاهد کمتر از درختان تحت تنش بود. کاهش مقدار قندهای محلول در تیمار تنش بیشتر از دیگر تیمارها بود. به‌نظر می‌رسد این روند کاهشی بیشتر در قندها در تیمار خشکی به‌دلیل مصرف قندها در سنتز متابولیت‌هایی چون پرولین در اندام هوایی باشد (Irrigoyen et al., 1992). این نتیجه مطابقت کامل با نتایج Zhang et al. (2020) دارد. آنها در پژوهش‌شان مقایسه‌ای بین نهال‌ها و درختان بالغ انجام دادند و نشان دادند که خشکی غلظت قندهای محلول را کاهش داده است، البته این کاهش در درختان بالغ روند شدیدتری داشته است. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش Ghanbary et al. (2020) بر روی دو گونه جنس بلوط

همخوانی نداشت. همچنین بر اساس پژوهش Deligoz and Bayar (2018) مقدار افزایش قندهای محلول با افزایش تنش خشکی در نهال‌های (*Quercus cerris* L. and *Quercus robur* L.) معنی‌دار است که همخوانی با نتایج این پژوهش ندارد.

رنگیزه‌های فتوسنتزی در بین سطوح مختلف تیمار تغییرات معنی‌داری نشان نداد. نتایج حاکی از این است که کمبود آب در برگ‌ها به اندازه‌ای نبوده است که اختلاف معنی‌دار در مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی ایجاد نماید. در واقع گونه بلوط ایرانی از نظر فتوسنتز برگ‌ها در شرایط خشکی مشکلی ندارد. این نتیجه نشان می‌دهد که فتوسنتز در گونه بلوط تحت تنش خشکی مداوم مهار شده که ممکن است به‌دلیل تولید و تجمع تعداد مقدار زیادی از گونه‌های اکسیژن فعال در برگ‌ها باشد (Xiong et al., 2022). در این پژوهش کاهش ناشی از خشکی در بین رنگدانه‌ها فقط در مقدار محتوای کاروتنوئید برگ مشاهده شد. در مقام مقایسه مقدار بالاتر کاروتنوئید در این پژوهش (۲/۸۳۰ میکروگرم بر گرم) و مقدار کاروتنوئید مشاهده‌شده (۰/٦٤٩ میکروگرم بر گرم) در نهال‌های بلوط ایرانی تحت تنش نشان از پاسخ متفاوت درختان بالغ و نهال‌ها است (Khaleghi & Poriafar, 2019). این امر می‌تواند معمولاً ناشی از آسیب کلروپلاست توسط گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و سطوح رنگدانه‌ای بدون تغییر در طول تنش خشکی باشد. اما با توجه به عدم معنی‌داری رنگدانه‌ها در این پژوهش، مشخص شد که آنتی‌اکسیدان‌هایی که در برگ درخت بلوط ایرانی وجود دارد می‌توانند در شرایط تنش ROS را مهار کنند. این نتایج مشابه نتایج Karimi et al. (2017) است که منعکس‌کننده یک تنظیم مثبت در سنتز رنگدانه‌ها در دفاع از تنش خشکی در بلوط ایرانی است. اما در پژوهش Boor et al. (2022) مشاهده شد که با افزایش فواصل آبیاری محتوای کلروفیل گونه‌ها کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند که با نتایج این پژوهش در تضاد است.

بین مقدار آنزیم‌های پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات اکسیداز در سطوح مختلف تنش اختلاف وجود داشت. در پژوهش Ghanbary et al. (2020) تنش خشکی فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را افزایش داد که نتایج آنها مشابه نتایج این پژوهش نیست. مقدار اختلاف بین درختان شاهد و درختان تحت تنش در تغییرات آنزیم پراکسیداز و حتی سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات اکسیداز قابل توجه است. علت این امر این است که تحت تنش خشکی، سیستم آنزیمی محافظ تحریک شده و اکسیداسیون لیپید غشایی مهار و فعالیت‌های آنزیمی برای پاکسازی رادیکال‌های آزاد در گیاه افزایش می‌یابد (Hu et al., 2010).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش پاسخ‌های فیزیولوژیک درختان بالغ در معرض سطوح مختلف خشکی به‌منظور بررسی شرایط حاکم بر عرصه‌های زاگرس با شرایط خشکی بیشتر (سال‌های کم‌بارش) و شرایط بهینه (سال‌های با بارش بیشتر از متوسط و بدون محدودیت رطوبتی) با شرایط جاری مقایسه شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که درختان بالغ بلوط ایرانی می‌توانند تا حدودی با افزایش پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در برابر آسیب‌های ناشی از تنش خشکی مقاومت کنند. همچنین با توجه به نتایج این پژوهش در مقایسه با پژوهش‌های قبلی، نهال‌ها در شرایط تنش بیشتر از تغییرات کربوهیدرات‌ها و قندهای محلول رنج می‌برند درحالی‌که درختان بالغ تمایل به حفظ کربوهیدرات‌ها و قندها دارند.

References

Al- Yasi, H.; Attia, H.; Alamer, K.; Hassan, F.; Esmat, F.; Elshazly, S.; Siddique, K.; Kamel Hessini., Impact of drought on growth, photosynthesis, osmotic adjustment, and cell wall elasticity in Damask rose. *Plant Physiology and Biochimestry* **2020**, 150, 133-139.

Azevedo Neto, A. D.; Prisco, J. T.; Enéas-Filho, J.; Abreu, C. E. B.; Gomes-Filho, E., Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. *Environmental and Experimental Botany* **2006**, 56(1), 87–94.

Bates, L.S.; Teare, I.D., Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* **1973**, 39, 205-207.

Begum, N.; Wang, l.; Ahmad, H.; Akhtar, K.; Roy, R.; Ishfaq Khan, M.; Zhao, T., Co-inoculation of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and the Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Improve Growth and Photosynthesis in Tobacco Under Drought Stress by Up- Regulating Antioxidant and Mineral Nutrition Metabolism, *Microbial Ecology* **2020**, 83, 971- 988.

Bennett, N. J.; Whitty, T.S.; Finkbeiner, E.; Pittman, J.; Bassett, H.; Gelcich, S.; Allison, E.H., Environmental stewardship: a conceptual review and analytical framework. *Environmental Management* **2018**, 61, 597-614.

Boor, Z. ; Hosseini, S.; Soleimani, A.; Taheri Abkenar. K., Investigation of survival, growth and physiology of six afforested species under different irrigation regimes. *Forest Research and Development* **2020,** 8(1), 97-111. In Persian

Deligoz, A.; Bayer, E., Drought stress responses of seedlings of two oak species (*Quercus cerris* and *Quercus robur*). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **2018**, 42, 114-123.

Ghanbary, E.; Fathizadeh, O.; Tabari, M., The effect of mycorrhizal fungi and growth-promoting rhizobacteria on the activity of antioxidant enzymes of Calotrope seedlings under drought stress. *Forest Research and Development* **2020**, 6(3), 477-489. In Persian

Ghouil, H.; Sancho-Knapik, D.; Mna, A.; Amimi, A.; Ammari, Y.; Escribano, R.; Alonso-Forn, D.; Pedro Ferrio, G., Southeastern Rear Edge Populations of *Quercus suber* L. Showed Two Alternative Strategies to Cope with Water Stress. *Forest* **2020**, 11 (12), 2-14.

Irrigoyen, J.J.; Einerich, D.W.; Sanchez Diaz, M., Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (Medicago sativa) plants. *Physiologia Plantarum* **1992**, 84(1), 55–60.

Lichtenthaler, H.K, Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembrane. *Methods in Enzymology* **1987**, 148, 350- 382.

Hartmann, H.; Ziegler, W.;Trumbore, S., Lethal drought leads to reduction in nonstructural carbohydrates in Norway spruce tree roots but not in the canopy. *Functional Ecology* **2018**, 27, 413–427.

Hu, L.; Wang, Z.; Huang, B., Diffusion limitations and metabolic factors associated with inhibition and recovery of photosynthesis from drought stress in a C3 perennial grass species. *Physiology Plant* **2010**, 139 (1), 93–106.

Karimi, H.; Zidli, A.; Omidpour, V., Evaluation of rainfed and irrigated wheat yield under drought stress in Ilam Province, *Second International Dust Conference, Ilam* **2017**, 306-317.

Karimi, H.; Zidli, A.; Omidpour, V., Evaluation of rainfed and irrigated wheat yield under drought stress in Ilam Province, *Second International Dust Conference, Ilam* **2017**, 306-317.

Khaleghi, A.; Poriafar, P., Effect of mycorrhiza application on some physiological and biochemical characteristics of *Quercus brantii* saplings under drought stress conditions, *Forest and Wood Products* **2019**, 73(4), 402-389.

Kochert, G., Carbohydrate determination by phenol sulfuric acid method. In: Hellebust J A, Craigie JS (Eds), Handbook of physiological methods. Cambridge. UK: *Cambridge University Press* **1987**, 95-97.

MacAdam, J.W.; Nelson, C.J.; Sharp, R.E., Peroxidase Activity in the leaf elongation zone of tall fescue I. Spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. *Plant Physiology* **1992**, 99 (3), 872-878.

Matouskova, M.; J Urban, D.; Volarik, M.; Hajickova, H.; Radim, Matula., oppicing modulates physiological responses of sessile

oak (*Quercus petraea* Matt. Lieb.) to drought, *Forest Ecology and Management* **2022**, 517, 1- 34.

McDowell, G.; Charlotte, G.; Henry, D., Mechanisms of a coniferous woodland persistence under drought and heat. *Environmental Research* **2019**, 14, 1-15.

Nakano, Y.; and Asada, K., Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology* **1981**, 22, 867-880.

Norby, R.; Zak, D. R., Ecologicallessons from free-air CO2 enrichment (FACE) experiments. Annual Review of Ecology, *Evolution and Systematics* **2011**, 42, 181–203.

Olson, M.E.; Soriano, D.; Rosell, J.A.; Anfodillo, T.; Donoghue, M.J.; Edwards, E.J.; Leon-Gomez, C.; Dawson, T.; Martinez, J.J.C.; Castorena, M.; Echeverria, A.; Espinosa, C.I.; Fajardo, A.; Gazol, A.; Isnard, S.; Lima, R.S.; Marcati, C.R.; Mendez-Alonzo, R., Plant height and hydraulic vulnerability to drought and cold. *Biological Science* **2018**, 115 (29), 7551–7556.

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.

Roshni Nia, F.; Naji, H.; Bazgir, M.; Naderi, M., Effect of Simulated Dust Storm on some Bio-chemical features of Persian Oak (*Quercus brantii Lindl*.). *Environmental Erosion Research* **2018**, 8(1), 59-73. (in persian)

Saeedi Abueshaghi, Z.; Pilehvar, B.; Sayedena, S. V., Vegetative and physiological responses of Cercis siliquastrum seedlings to water stress. *Forest Research and Development* **2023**, 9(3), 349-363. In Persian

Smith, M.N.; Stark, S.C.; Taylor, T.C.; Ferreira, M.L.; Oliveira, E.; de, Restrepo-Coupe, N.; Chen, S.; Woodcock, T.; Santos, D.B.; dos, Alves, L.F.; Figueira, M.; Camargo, P.B. de.; Oliveira, R.C.; de, Aragão, L.E.O.C.; Falk, D.A.; McMahon, S.M.; Huxman, T.E.; Saleska, S.R., Seasonal and drought-related changes in leaf area profiles depend on height and light environment in an Amazon forest. *New Phytologist* **2019**, 222, 1284–1297.

Shalini Sharma, P.; Jamwal, M., Phytochemical and Physicochemical Assessment of Quercus semecarpifolia Leaves in the North-West Himalaya. *Engineernig or Technology* **2023**, 5 (3), 177–184.

Singh, N.; Tewari, A.; Shah, S.; Mittal, A., Seasonal water relations and stress tolerance of *Quercus semecarpifolia* (Smith) in treeline areas of Western Himalaya, India**,** *Vegetos* **2023**, 163(10), 64-76.

Stovall, A.E.L.; Shugart, H.; Yang, X., Tree height explains mortality risk during an intense drought. *Nature Communications* **2019**, 10, 1–6.

Xiong, Q.; Sun, G.; Shi, H.; Cai, S.; Xie, H.; Liu, *F*., Analysis of related metabolites affecting taste values in rice under different nitrogen fertilizer amounts and planting densities. *Foods* **2022**, 10 (11), 1-11.

Yarmand, M.; Fadavi, A.; Labbafi, M.; Sharifi, F.; Kheiralipour, K., Biophysical, biomechanical and bioproximate properties of Iranian oak fruit. *Journal of Agricultural Technology* **2012**, 8(4), 1335-1342.

Yang, X.; Thornton, P. E.; Ricciuto, D. M.; Post, W.M., The role of phosphorus dynamics in tropical forests modeling study using CLM-CNP. *Biogeosciences* **2014**, 11, 1667– 1681.

Zhang, P.; Zhou, X.; Fu, Y.; Shao, J.; Zhou, Li, S.; Zhou, G.; Hu, Z.; Hu, J., Nate, G., Differential effects of drought on nonstructural carbohydrate storage in seedlings and mature trees of four species in a subtropical forest. *Forest Ecology and Management* **2020**, 1-42.

Physiological responses of mature Persian oak (*Quercus brantii* L.) under natural conditions to drought stress

Elham Jafaryan[1], Babak Pilehvar[*2] and Majid Tavakli[3]

1- Ph.D. Student, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Lorestan University, Khorammabbad, I. R. Iran. (elyafaeryan@yahoo.com)
2- Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khoramabad, I. R. Iran. (b.pilehvar@lu.ac.ir)
3- Assistant Professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Research Center of Agriculture and Natural Resource of Lorestan, Khorramabad, I. R. Iran. (majid.tavakoli43@gmail.com)

Received: 01 January 2024 Accepted: 08 April 2024

Abstract

Introduction and Objective: Drought significantly impacts plant growth and has become a critical global concern. Understanding how plants respond to drought is essential. Under arid conditions, forests are prone to experiencing various types of stress. Trees protect themselves from drought stress through both physical and chemical defenses. Physical defenses include increasing the density of structures like leaves, thorns, and hairs, while chemical defenses involve producing physiological responses that serve as protective barriers against environmental factors. Oaks are known for their resistance to drought and heat, which is attributed to their physiological responses during dry conditions. The reaction of the dominant species of Persian oak (*Quercus brantii*) in the Zagros forests to recent droughts suggests that this species is highly sensitive to these conditions. The response to drought stress in mature, multi-year-old trees differs from that of seedlings of the same species. Certain physiological mechanisms influence the internal changes in trees as they react to stress. Therefore, the objective of this study is to examine the effects of drought stress on the physiological traits of mature oak trees under both optimal and stressful natural conditions.

Materials and Methods: This research was conducted on multi-year-old Persian oak trees over two years (2020-2022) in the natural forest environment of the Fajr Safa agro-industrial complex, located 10 kilometers from Khorramabad city. The experiment followed a completely randomized block design with three levels of drought stress. Drought treatments included a severe drought treatment (where the soil was completely covered with white plastic to prevent any moisture from reaching it for two years), moderate soil moisture treatment (with irrigation every 10 days), and a control group. The statistical sample included 120 trees, divided into 30 trees for each treatment group. On September 10, 2022, at the end of the experiment, leaves were collected from each tree at a fixed height of two meters around the trunk, from all four cardinal directions, and were taken to the laboratory. By measuring fresh weight, turgid weight, and dry weight, the relative water content of the leaves was calculated. To further analyze physiological traits, the leaves were dried in an oven at 70°C for 72 hours and ground into a powder. The following were measured in trees across all three treatment groups: proline levels, soluble and insoluble sugars, enzyme activity (peroxidase, superoxide dismutase, and ascorbate oxidase), as well as the amounts of carotenoids, chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll.

Findings: The analysis of variance results indicated that different treatment levels had a significant effect at the 0.05 level on the amounts of proline, relative water content of the leaves, and the activities of enzymes (peroxidase, superoxide dismutase, and ascorbate oxidase). However, no significant difference at the 0.05 level was observed between treatments regarding soluble sugars, insoluble sugars, and photosynthetic pigments (carotenoids, chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll). Among the treatment levels, the relative water content of the leaves showed the most variation. As drought stress increased, the relative water content of the leaves decreased, while proline, soluble sugars, insoluble sugars, enzymes (superoxide dismutase, peroxidase, and ascorbate oxidase), and photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids) showed an increasing trend.

[*] Corresponding author Tel: +989125228512

The highest proline levels were found in the control group, with the lowest observed in the irrigated group. Relative water content, peroxidase, and superoxide dismutase activity were highest in the irrigated group. Under severe drought stress, levels of proline, soluble sugars, and insoluble sugars increased compared to the control group.

Conclusion: Based on the results of this study, mature oak trees tend to preserve carbohydrates and sugars under stress. This research highlights the adaptability of mature oak trees to both optimal conditions (comparing control with irrigated trees) and their resilience during dry periods (comparing control with stressed trees). The findings indicate that mature Persian oak trees can resist drought stress to some extent by increasing proline and antioxidant enzyme activity. Compared to previous studies, where seedlings showed greater vulnerability to changes in carbohydrates and soluble sugars under stress, mature trees seem to conserve their carbohydrates and sugars. These findings are highly relevant for forest management strategies and can inform forest specialists and stakeholders. Overall, the results suggest a strong relationship between drought stress responses and plant physiology. It can be concluded that the climatic conditions affecting Persian oak stands are critical and should be a major consideration for forest managers responsible for developing management programs for the western forests of the country.

Keywords: Enzymes, RWC, Proline, Photosynthetic pigments.