

## ارزیابی مقاومت به خشکی در نهال‌های بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) حاصل از مبداهای مختلف بذر در زاگرس جنوبی

شهلا مولایی<sup>۱</sup>، رقیه ذوالفقاری<sup>۲\*</sup>، زهرا علیزاده<sup>۱</sup> و پیام فیاض<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران  
۲\* - نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. بست الکترونیک: zolfaghari@yu.ac.ir  
۳- دانشیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۹

### چکیده

به دلیل افزایش شدت خشکی تابستان در جنگل‌های زاگرس ضروری است که مبداهای (پروانسان‌های) مناسب بذرهای بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) برای جنگل‌کاری شناسایی شوند. در پژوهش پیش‌رو، پاسخ‌های فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی نهال‌های بلوط ایرانی حاصل از هشت پروانسان بذر از ارتفاع‌ها و عرض‌های جغرافیایی مختلف زاگرس جنوبی تحت تنش خشکی (با توقف آبیاری به مدت یک ماه) بررسی شدند. داده‌ها به صورت آزمایش فاکتوریل (دو سطح تیمار تنش خشکی و هشت سطح پروانسان) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با بررسی اثرات ساده و متقابل آن‌ها تجزیه و تحلیل شدند. همچنین، شاخص‌های مقاومت به خشکی پروانسان‌ها به وسیله مقدار عملکرد فتوسنتز، پیش و پس از تنش با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی شدید سبب افزایش معنی‌دار نرخ نشت الکترولیت، اسمولیت، سدیم و پرولین در برگ نهال‌های همه پروانسان‌ها شد. اگرچه پاسخ پروانسان‌های مختلف از نظر عملکرد فتوسنتز یکسان نبود. به طوری که پروانسان‌های مربوط به ارتفاع از سطح دریای کمتر (رویشگاه باشت در استان کهگیلویه و بویراحمد و رویشگاه قائمیه در استان فارس) به دلیل سازگاری به درجه حرارت زیادتر و یا بارندگی کمتر، مقاومت و انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به تنش خشکی داشتند، بنابراین عملکرد فتوسنتز آن‌ها کاهش نیافت. همچنین، پروانسان چیتاب (یک رویشگاه سردسیر با خشکی کمتر در استان کهگیلویه و بویراحمد) با بستن روزنه‌های خود در روز و در نتیجه، کاهش عملکرد بهینه فتوسنتز و بهبود آن در تاریکی، نسبت به خشکی بردباری نشان داد. به طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت به خشکی در نهال‌های بلوط ایرانی تا حدی تحت تأثیر مبدأ بذر و شرایط اقلیمی است. استفاده از این نتایج در پروژه‌های احیا جنگل‌های زاگرس توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پاسخ فیزیولوژیکی، پاسخ زیست‌شیمیایی، پروانسان بذر، جنگل‌کاری، فلورسانس کلروفیل.

### مقدمه

است که حیات این گونه را در سال‌های اخیر به خطر انداخته است. در بروز این پدیده، عوامل متعددی مانند ریزگردها، زراعت زیراشکوب، کاهش نفوذپذیری خاک بر اثر تردد دام و پیری درختان بلوط نقش دارند، اما یکی از مهم‌ترین علت‌های خشکیدگی بلوط به تغییر اقلیم و خشک‌سالی‌های بی‌دری

بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) از گونه‌های غالب در بوم‌سازگان زاگرس است که به دلیل انعطاف‌پذیری و سازگاری زیاد به شرایط اقلیمی و خاک در همه رویشگاه‌های جنگلی زاگرس پراکنش دارد. خشکیدگی، یکی از تهدیدهای

ایرانی حاصل از دو پروانسان بانه (مرطوب‌تر) و یاسوج (خشک‌تر) نشان داد که نهال‌های پروانسان مرطوب‌تر به دلیل اندازه بذر بزرگ‌تر و نسبت ریشه به ساقه بیشتر، در برابر تنش خشکی مقاوم‌تر بودند (Zolfaghari et al., 2013). در مقابل، مطالعه نهال‌های بلوط ایرانی حاصل از دو پروانسان ایلام و لرستان نشان داد که نهال‌های پروانسان خشک‌تر (ایلام) توانستند با افزایش نرخ نشت الکترولیت و پرولین، مقاومت بیشتری در تنش شدید خشکی (۲۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای خاک) نشان دهند (Jafarnia et al., 2018). در نتیجه، عملکرد فتوسنتز آن‌ها کمتر کاهش یافت.

به طور کلی، اغلب پژوهش‌های مربوط به بررسی اثرات تنش خشکی بر نهال‌های بلوط ایرانی روی تعداد پروانسان‌های محدودی انجام شده‌اند. هدف اصلی از پژوهش پیش‌رو، بررسی نهال‌های حاصل از هشت پروانسان مختلف واقع در زاگرس جنوبی از نظر مقاومت به خشکی بود. همچنین، بهترین ویژگی یا صفت مؤثر بلوط ایرانی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها یا پروانسان‌های مقاوم‌تر به تنش خشکی این گونه معرفی می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش به انتخاب بهترین مبدأ بذر برای احیا جنگل‌های زاگرس در استان کهگیلویه و بویراحمد کمک خواهد کرد.

### مواد و روش‌ها

انتخاب پروانسان و جمع‌آوری بذر درختان برای انجام این پژوهش، بذر ۴۰ درخت بلوط ایرانی از هشت پروانسان متفاوت واقع در ارتفاع‌ها و عرض جغرافیایی مختلف استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد جمع‌آوری شد. به دلیل اینکه دو اقلیم سردسیر و گرمسیر در استان کهگیلویه و بویراحمد وجود دارد، بذرها از رویشگاه‌های گرمسیر (باشت) و سردسیر آن انتخاب شدند. در استان فارس نیز که آخرین حد رویش درختان بلوط ایرانی در زاگرس جنوبی است، منطقه قائمیه برای بذرگیری انتخاب شد. درختان مادری به صورت تصادفی و با رعایت حداقل فاصله ۱۰۰ متری از هم (به منظور دوری از رابطه‌های فامیلی) انتخاب شدند (Zolfaghari et al., 2013). برای هر درخت مادری،

برمی‌گردد. به همین دلیل، درختان بلوط نمی‌توانند آب موردنیاز خود را به اندازه کافی به دست آورند و دچار ضعف فیزیولوژیک می‌شوند (Zolfaghari et al., 2022). با این حال، درختانی که نسبت به تنش‌های محیطی مانند خشکی حساس نیستند، دچار آسیب نخواهند شد (Manion, 1991).

درک سازوکارهای فیزیولوژیکی و مولکولی که موجب سازگاری گیاه در شرایط تنش آبی می‌شوند، به انتخاب ژنوتیپ‌ها یا مبدأهای (پروانسان‌های) بردبار به خشکی کمک می‌کند (Polle et al., 2019). در نتیجه، با تولید نهال‌های سازگارتر به شرایط اقلیمی می‌توان با احتمال بیشتری، موفقیت طرح‌های جنگل‌کاری و احیا جنگل‌ها را تضمین کرد (Zaharieva et al., 2001). پژوهش‌های زیادی در مورد مقایسه پاسخ‌های رویشی، فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی بلوط ایرانی تحت تنش خشکی انجام شده‌اند. از آن جمله می‌توان به ارزیابی تحمل به خشکی نهال‌ها با استفاده از مؤلفه‌های ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و جذب عناصر (Sisakhtnejad et al., 2016)، بررسی اثرات خشک‌سالی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی نهال (Karimi et al., 2022)، اثر سلامت درختان مادری (خشکیده و سالم) بر حساسیت به تنش خشکی نهال‌های حاصل از بذر آن‌ها (Zolfaghari et al., 2022) و پاسخ نهال‌ها به تنش خشکی تحت تأثیر باکتری‌های محرک رشد (Zolfaghari et al., 2021; Khosravi et al., 2022) و قارچ‌های میکوریزی (Khaleghi & Puryafar, 2021) اشاره کرد. بررسی اثر مبدأ بذر بر جوانه‌زنی بذر و ریخت‌شناسی نونهال‌های بلوط ایرانی نشان داد که شرایط رویشگاهی مبدأ بذرها و اندازه آن‌ها، تأثیر زیادی بر رویش اولیه نهال‌های این گونه دارند (Rahiminasab & Tabandeh Saravi, 2017). ارزیابی استقرار و رویش نهال‌های بلوط ایرانی از سه پروانسان زاگرس شمالی (بانه)، میانی (خرم‌آباد) و جنوبی (یاسوج) نشان داد که نتایج حاصل از پروانسان شمالی (عرض جغرافیایی بالاتر)، رویش اولیه بیشتری نسبت به نهال‌های دیگر داشتند (Karimi Hajipomagh et al., 2014). بررسی اثرات متقابل اندازه بذر و تنش خشکی بر رشد نهال‌های بلوط

شد. سپس، ضریب خشکی گروسمن برای هر پروانانس با استفاده از مؤلفه‌های هواشناسی محاسبه شد (Lauteri *et al.*, 2004) (جدول ۱).

موقعیت جغرافیایی آن‌ها شامل ارتفاع سطح دریا و طول و عرض جغرافیایی ثبت شد. همچنین، با استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی نزدیک به هر پروانانس، مؤلفه‌های هواشناسی مانند میانگین سالانه دما و بارندگی در طی دوره ۳۰ ساله استخراج

جدول ۱- ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی پروانانس‌های مورد مطالعه

**Table 1. Geographical and climatic characteristics of studied provenances**

پروانانس Provenance	شاهمختار Sh.	کالوس K.	چیتاب Ch.	علی‌اولادمؤمن Ali.	باشت Ba.	بن‌زرد Bon.	گنجه Ga.	قائمیه Gh.
عرض جغرافیایی Latitude	3393583	3397571	3409843	3389726	3379373	3432026	3401311	3284038
طول جغرافیایی Longitude	548707	543052	545161	546107	495867	529190	552376	586135
ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m.a.s.l.)	1750	2050	1700	2000	1100	1850	2050	900
متوسط درجه حرارت سالانه (درجه سانتی‌گراد) Mean annual temperature (°C)	15	15	15	15	20	16	15	14
میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر) Mean annual precipitation (mm)	724	796	618	796	724	463	796	548
ضریب خشکی گروسمن Grossman drought index	131	124	147	124	230	182	124	298

در نظر گرفته شدند. در واقع، حدود پنج نهال برای هر درخت مادری و تیمار آبیاری (کنترل یا تنش خشکی) به‌طور تصادفی انتخاب شدند. نهال‌های شاهد یا کنترل هر دو روز یک‌بار و تا محتوای رطوبت خاک حدود ۷۰ درصد آبیاری شدند، اما نهال‌های تحت تنش خشکی به‌مدت یک ماه آبیاری نشدند. تنش خشکی یک‌ماهه (از مهر تا آبان‌ماه) تا زمانی اعمال شد که پتانسیل آبی ساقه نهال‌ها به‌اندازه‌ای کاهش یافت که قابل‌اندازه‌گیری با دستگاه نبود. در طی همین مدت، محتوای رطوبت خاک گلدان‌های کنترل از ۷۰ درصد به ۴۵ درصد در هفته سوم (تنش متوسط) و به حدود ۳۰ درصد در هفته چهارم یا یک ماه پس از قطع آبیاری (تنش شدید) رسید. به‌این‌منظور، مقدار رطوبت خاک تعدادی از گلدان‌های کنترل و تحت تنش خشکی به‌وسیله دستگاه رطوبت‌سنج خاک (Soil Moisture Kit) هر دو روز یک‌بار ثبت شدند. سپس،

آزمایش‌های گلخانه‌ای و اعمال تنش خشکی برای انجام آزمایش و اعمال تنش خشکی، ابتدا بذر هر درخت مادری درون گلدان‌های پلاستیکی سه کیلوگرمی در آذرماه کاشته شدند. بدین‌صورت که داخل هر گلدان دو بذر کاشته شد. در مجموع، ۱۵ گلدان برای هر درخت مادری در نظر گرفته شد. خاک گلدان‌ها شامل خاک منطقه، کود حیوانی و ماسه (به‌نسبت دو، یک و یک) بود. گلدان‌ها به‌مدت ۶ ماه به‌مقدار مورد نیاز آبیاری شدند. برای اعمال تنش خشکی، نهال‌ها در شهریورماه به محیط با شرایط ثابت و یکسان واقع در گلخانه انتقال یافتند. دامنه بیشینه و کمینه دمای گلخانه به‌ترتیب حدود ۲۰ تا ۳۰ و ۱۰ تا ۱۱ درجه سانتی‌گراد بود. سپس، ۳۶۰ نهال با ارتفاع و شادابی یکسان از هر درخت مادری انتخاب شدند (نه نهال برای هر درخت مادری). نیمی از آن‌ها به‌عنوان شاهد و نصف دیگر برای اعمال تنش خشکی

برگ مورد نظر در معرض نخستین نور اشباع، مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل شامل F0 (کمینه فلورسانس)، Fm (بیشینه فلورسانس) و FV/Fm (عملکرد فتوسیستم) ثبت شدند. سپس با استفاده از رابطه (۱) عملکرد فتوسیستم II در روشنایی (عملکرد بهینه فتوسیستم) و تاریکی (بیشینه عملکرد فتوسیستم) محاسبه شد (Homayoonfar et al., 2019).

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{FV/Fm} = (\text{Fm}-\text{F0})/\text{Fm}$$

مقدار کلروفیل: مقدار کلروفیل برگ نهال‌ها برحسب اسپاد نیز با استفاده از دستگاه SPAD-502 اندازه‌گیری شد. به‌منظور کاهش خطا، مقدار کلروفیل برای هر نهال، پنج بار اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها ثبت شد (Zolfaghari et al., 2021).

محتوای نسبی آب برگ (RWC): به‌منظور تعیین محتوای نسبی آب برگ، ابتدا وزن تر برگ (FW) اندازه‌گیری شد. سپس، نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا به‌حالت اشباع برسند. پس از اندازه‌گیری وزن اشباع (TW)، نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. درنهایت، با اندازه‌گیری وزن خشک (DW) آن‌ها، مقدار RWC برگ براساس رابطه (۲) محاسبه شد (Zolfaghari et al., 2021).

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{RWC} = ((\text{FW}-\text{DW})/(\text{TW}-\text{DW})) \times 100$$

گرم به‌مدت یک ساعت با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد جوشانده شدند و بیشینه هدایت الکتریکی (ECmax) آن‌ها به‌دست آمد. سپس نرخ نشت الکترولیت یا شاخص آسیب‌غشایی از تقسیم EC24 به ECmax در درصد محاسبه شد (Zolfaghari et al., 2021).

پرولین: مقدار پرولین برگ نهال‌ها با استفاده از روش

مقدار محتوای رطوبت خاک طی مدت تنش خشکی محاسبه شد. پس از پایان تنش خشکی دوباره همه نهال‌ها (کنترل و تحت تنش خشکی) به‌مدت دو ماه آبیاری شدند. به‌منظور اطمینان از زنده بودن نهال‌ها، درصد زنده‌مانی آن‌ها نیز در سال بعد از تقسیم تعداد نهال‌های زنده بر کل نهال‌های در معرض تنش خشکی ضرب در ۱۰۰ محاسبه شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل، فیزیولوژیک، زیست‌شیمیایی و عناصر برگ

براساس اندازه‌گیری ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل در برگ نهال‌ها، شاخص‌های مقاومت آن‌ها محاسبه شد. در حین اعمال تنش خشکی (هر هفته) و آبیاری مجدد پس از آن (هرماه)، ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل شامل محتوای کلروفیل و عملکرد فتوسیستم II در تاریکی و روشنایی در نهال‌های کنترل و تحت تنش خشکی اندازه‌گیری شدند. مؤلفه‌های دیگر شامل ویژگی‌های زیست‌شیمیایی (پرولین)، فیزیولوژیک (شامل محتوای نسبی آب برگ، نرخ نشت الکترولیت و اسمولیت) و سدیم برگ بودند که در انتهای تنش خشکی اندازه‌گیری شدند.

عملکرد فتوسیستم II: مقدار عملکرد فتوسیستم II در همه نهال‌ها در اوایل صبح به‌وسیله دستگاه فلورومتر Hansatech (OSI-FL Optic-Sciences) اندازه‌گیری شد. به‌این‌منظور در هر نهال، اولین برگ‌گی که به‌طور کامل توسعه یافته و سالم بود، انتخاب شد. پس از تابیدن نور فعال فتوسنتزی و قرار گرفتن

نرخ نشت الکترولیت (EL): پس از انتخاب نمونه‌های برگ از هر نهال، آن‌ها با استفاده از تیغ به تکه‌های مساوی تقسیم شدند. این نمونه‌ها در آب دوبار تقطیر به‌مدت ۲۴ ساعت غوطه‌ور شدند. سپس، مقدار شوری با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج (EC متر مدل Inolab، آلمان) به‌عنوان هدایت الکتریکی ۲۴ (EC24) ثبت شد. نمونه‌ها در حمام آب

(1992)، مقاومت (Resistance) و انعطاف‌پذیری (Resilience) به ترتیب از طریق رابطه‌های (۳)، (۴) و (۵) اندازه‌گیری شدند (Schwarz et al., 2020).

$$STI = \frac{\bar{Y}_{S_i} \times \bar{Y}_{C_i}}{\bar{Y}_c} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$Resistance = \frac{Y_{S_i}}{\bar{Y}_d} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$Resilience = \frac{Y_{T_i}}{\bar{Y}_d} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در فرمول‌های ذکرشده،  $\bar{Y}_{S_i}$  نشان‌دهنده میانگین عملکرد فتوسیستم نهال‌های هر درخت مادری در زمان تنش،  $\bar{Y}_{C_i}$  میانگین عملکرد فتوسیستم نهال‌های هر درخت مادری در زمان کنترل،  $\bar{Y}_c$  میانگین عملکرد فتوسیستم نهال‌های درختان مادری در زمان کنترل،  $Y_{S_i}$  عملکرد فتوسیستم هر نهال از درخت مادری  $\bar{Y}_d$  در زمان تنش،  $Y_{T_i}$  عملکرد فتوسیستم هر نهال از درخت مادری  $\bar{Y}_d$  پس از یک ماه آبیاری مجدد و بیانگر میانگین اختلاف عملکرد فتوسیستم نهال‌های درختان مادری در زمان پیش از تنش نسبت به زمان تنش هستند.

#### تجزیه و تحلیل آماری

توزیع نرمال داده‌ها به وسیله آزمون کولموگروف-سمیرنوف و همگنی واریانس‌ها توسط آزمون لون بررسی شد. سپس، داده‌های نهال‌های بلوط ایرانی برای هر یک از تنش‌های متوسط (۴۵ درصد رطوبت خاک در هفته سوم) و شدید (۳۰ درصد رطوبت خاک در هفته چهارم) و آزمایش فاکتوریل  $2 \times 8$  (عامل اول: دو سطح تیمار تنش خشکی و عامل دوم: هشت سطح پروانسن) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با بررسی اثرات ساده و متقابل تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه چندگانه میانگین‌ها با آزمون دانکن و مقایسه دوگانه با آزمون تی‌استیودنت با حدود اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت. همه آنالیزها در نرم‌افزار SPSS 16.0 انجام شد.

Bates و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد. ابتدا هر ۰/۱ گرم از برگ‌های فریزشده به وسیله نیتروژن مایع پودر شد. سپس، ۵۰۰ میکرولیتر اسیدسولفوسالیسیلیک سه درصد به آن اضافه شد. پس از سانتریفیوژ، عصاره رویی برای اندازه‌گیری مقدار پرولین نمونه‌ها به کار برده شد. مقدار پرولین عصاره نمونه‌ها و استانداردها با استفاده از معرف نین‌هیدرین در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (مدل Lambda EZ 210) اندازه‌گیری شد. غلظت پرولین در برگ نهال‌ها برحسب میکروگرم بر گرم وزن تر برگ با استفاده از استانداردهای بین صفر تا ۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر بر اساس پرولین (ال-پرولین) محاسبه شد.

سدیم: ابتدا برای تهیه عصاره از ۰/۱ گرم وزن خشک برگ‌های نهال استفاده شد. به این منظور، نمونه‌ها در بوته‌های چینی در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت چهار ساعت قرار داده شدند. نمونه‌های پودر شده با اسیدکلریدریک یک نرمال و آب دوبار تقطیر به حجم رسانده شدند. سپس، عصاره مورد نظر با کاغذ صافی تهیه شد. مقدار جذب سدیم نمونه‌ها توسط دستگاه فیلم‌فتومتر (مدل Jenway - PFP7) خوانده شد. همچنین، استانداردهای مورد نظر بین صفر تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با استفاده از استاندارد مرک سدیم تهیه شد تا مقدار این عنصر برحسب میلی‌گرم بر گرم به دست آید (Sisakhtnejad et al., 2016).

اسمولیت: برای اندازه‌گیری مقدار اسمولیت برگ نهال‌ها، ۰/۰۲ گرم از برگ فریزشده پودر شد و با آب دوبار تقطیر حل شد. پس از سانتریفیوژ کردن نمونه‌ها، مقدار اسمولیت از عصاره رویی برحسب میلی‌اسمول بر کیلوگرم و با استفاده از دستگاه اسمومتر (Cryo osmometr- osmomat 3000 gonatec) اندازه‌گیری شد.

شاخص‌های مقاومت: عملکرد فتوسیستم II یک شاخص مناسب برای اندازه‌گیری تنش است که به سادگی و با روش غیرتخریبی اندازه‌گیری می‌شود، بنابراین از این مؤلفه برای محاسبه شاخص‌های تنش استفاده شد. مقدار مقاومت نهال‌ها به تنش خشکی با استفاده از عملکرد فتوسیستم II و با محاسبه شاخص‌های مقاومت به تنش (STI) (Fernandez, )

## نتایج

ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل، فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی برگ در نهال‌های بلوط ایرانی در زمان تنش خشکی

نتایج آنالیز واریانس فلورسانس کلروفیل در نهال‌های بلوط ایرانی در زمان تنش خشکی متوسط نشان داد که عملکرد بهینه فتوسیستم (روشنایی) به طور معنی‌داری تحت تأثیر پروانسانس و تیمار تنش خشکی متوسط بود، اما اثرات متقابل آن‌ها بر عملکرد بهینه فتوسیستم، معنی‌دار نبود (جدول ۲). با توجه به اینکه پروانسانس و تیمار تنش خشکی متوسط بر محتوای کلروفیل و عملکرد بهینه فتوسیستم، اثر معنی‌داری نداشتند، این بخش از نتایج در جدول ۲ ارائه نشده است. مقایسه میانگین نیز نشان داد که متوسط عملکرد بهینه فتوسیستم در نهال‌های کنترل، ۸۸ درصد بیشتر از نهال‌های در معرض تنش خشکی متوسط بود.

نتایج آنالیز واریانس فلورسانس کلروفیل نهال‌های بلوط ایرانی در تنش خشکی شدید نیز نشان داد که اثرات

انفرادی و متقابل پروانسانس و خشکی فقط برای عملکرد فتوسیستم (روشنایی و تاریکی) معنی‌دار هستند (جدول ۲)، اما در محتوای کلروفیل، تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. نتایج مقایسه میانگین بین نهال‌های تحت تنش خشکی و کنترل نیز نشان داد که عملکرد فتوسیستم (روشنایی و تاریکی) در نهال‌های کنترل به ترتیب ۷۰ و ۶۸ درصد بیشتر از نهال‌های در معرض تنش خشکی شدید بود. همچنین، عملکرد بهینه فتوسیستم (روشنایی) بین نهال‌های تحت تنش خشکی شدید و نهال‌های کنترل در پروانسانس‌های چیتاب، علی‌اولاد مؤمن، بن‌زرد، گنجه و قائمیه، اختلاف معنی‌دار داشت، اما این تفاوت برای پروانسانس‌های دیگر، معنی‌دار نبود (شکل ۱). برای عملکرد بهینه فتوسیستم (تاریکی) نیز نتایج مشابه بود. به جز اینکه پروانسانس چیتاب توانست بهبود یابد. به طوری که عملکرد آن در حالت تنش خشکی شدید همراه با پروانسانس‌های شاه‌مختار، کالوس و باشت، تفاوت معنی‌داری با کنترل نشان ندادند.

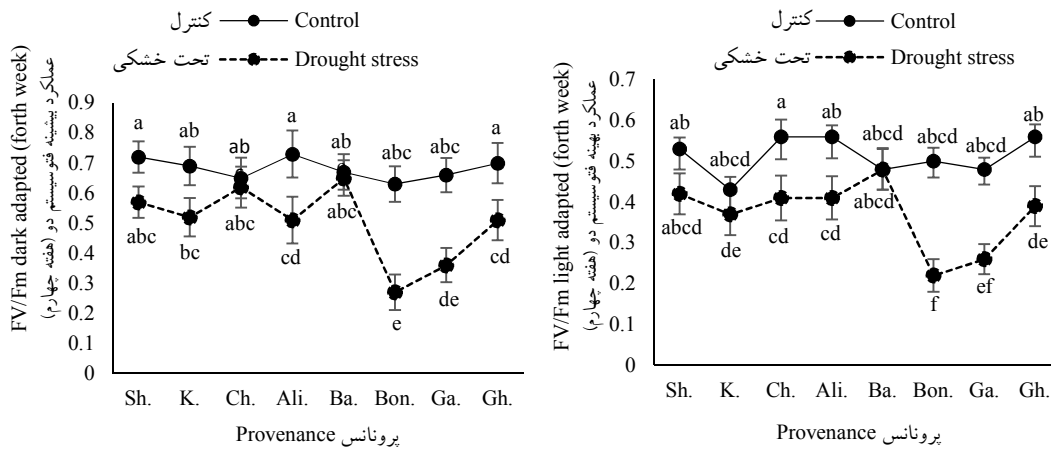
جدول ۲- آنالیز واریانس دوطرفه اثرات پروانسانس و تیمار تنش خشکی بر فلورسانس کلروفیل نهال‌های بلوط ایرانی

Table 2. Two-way ANOVA on the effects of provenance and drought stress treatments on chlorophyll fluorescence of *Quercus brantii* seedlings

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد بهینه فتوسیستم	عملکرد بهینه فتوسیستم	عملکرد بهینه فتوسیستم
		FV/Fm light adapted	FV/Fm light adapted	FV/Fm dark adapted
SV	df	تنش متوسط (هفته سوم)	تنش شدید (هفته چهارم)	
		Mild stress (3 <sup>th</sup> Week)	Severe stress (4 <sup>th</sup> week)	
پروانسانس	7	0.123**	0.11**	0.218**
Provenance (P)				
تنش خشکی	1	0.24**	1.68**	2.74**
Drought stress (D)				
پروانسانس در خشکی	7	0.06 <sup>ns</sup>	0.08*	0.14**
P × D				
خطا	339	0.03	0.03	0.05
Error				

\*\* معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ \* معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ <sup>ns</sup> غیر معنی‌دار

\*\* Significant at p<0.01; \* Significant at p<0.05; ns: non-significant



شکل ۱- میانگین عملکرد بهینه و بیشینه فتوسیستم برگ در نهال‌های بلوط ایرانی حاصل از پروانانس‌های مختلف تحت تنش خشکی شدید

میله‌های عمودی نشان‌دهنده اشتباه‌معیار و حرف‌های متفاوت لاتین بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند. مخفف نام پروانانس‌ها در جدول ۱ آمده است.

Figure 1. FV/Fm light and dark adapted mean values of leaves in *Quercus brantii* seedlings from different provenances under severe drought stress  
Vertical bars are standard errors and different letters indicate significant differences between means ( $p < 0.05$ ).

جدول ۳- تجزیه واریانس دوطرفه اثرات پروانانس و تیمار تنش خشکی شدید بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و زیست‌شیمیایی برگ در نهال‌های بلوط ایرانی  
Table 3. Two-way ANOVA on the effects of provenance and severe drought stress treatments on physiological and biochemical traits in leaves of *Quercus brantii* seedlings

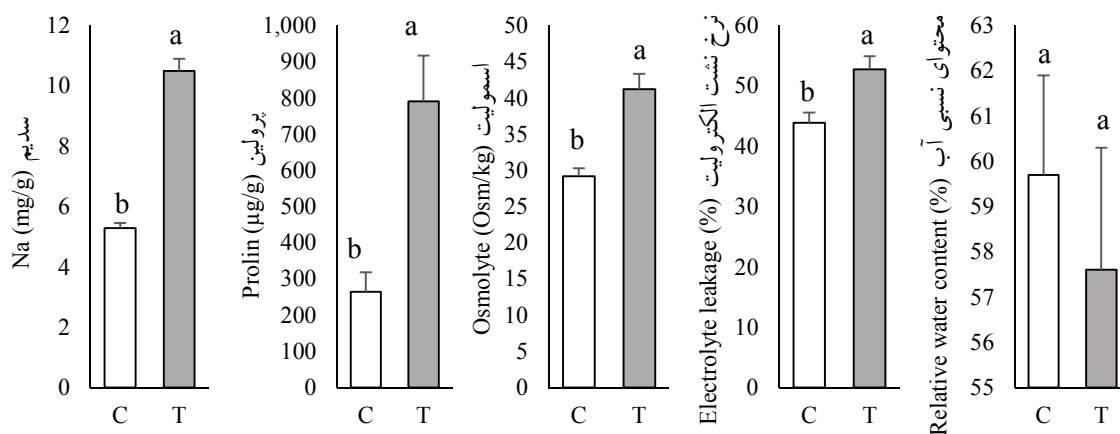
منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای نسبی آب	نرخ نشت الکترولیت	اسمولیت	پرولین	سدیم
SV	df	Relative water content	Electrolyte leakage	Osmolyte	Prolin	Na
پروانانس	7	411.06 <sup>ns</sup>	42.73 <sup>ns</sup>	32.88 <sup>ns</sup>	169 <sup>ns</sup>	2.04 <sup>ns</sup>
Provenance (P)						
تنش خشکی	1	89.6 <sup>ns</sup>	29.32 <sup>**</sup>	23.85 <sup>**</sup>	10 <sup>**</sup>	4.62 <sup>**</sup>
Drought stress (D)						
پروانانس در خشکی	7	574.4 <sup>ns</sup>	34.9 <sup>ns</sup>	62.42 <sup>ns</sup>	122 <sup>ns</sup>	0.9 <sup>ns</sup>
P × D						
خطا	74	518.5	307.5	94.55	0.181	2.94
Error						

\*\* معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ <sup>ns</sup> غیرمعنی‌دار  
\*\* : Significant at  $p < 0.01$ ; ns: non-significant

اثرات متقابل تیمار تنش خشکی و پروانانس برای هیچ‌کدام از ویژگی‌های مورد مطالعه، معنی‌دار نبودند. به جز محتوای نسبی آب برگ، همه ویژگی‌های فیزیولوژیک و زیست‌شیمیایی بین نهال‌های کنترل و تحت تنش خشکی شدید، تفاوت معنی‌داری

نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیولوژیک و زیست‌شیمیایی در تنش خشکی شدید نیز نشان داد که هیچ‌یک از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در پروانانس‌های مختلف باهم تفاوت معنی‌داری ندارند (جدول ۳). همچنین،

در سطح اطمینان ۹۹ درصد نشان دادند. براساس نتایج مقایسه میانگین، مقدار پرولین، سدیم، اسمولیت و نرخ نشت میانگین، مقدار پرولین، سدیم، اسمولیت و نرخ نشت الکترولیت در نهال‌های تحت تنش خشکی به ترتیب ۲۰۰، ۹۹، ۴۱ و ۲۰ درصد از نهال‌های کنترل بیشتر بودند (شکل ۲).



شکل ۲- میانگین ویژگی‌های فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی برگ در نهال‌های بلوط ایرانی

میله‌های عمودی نشان‌دهنده اشتباه معیار و حرف‌های متفاوت لاتین بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند. C و T به ترتیب نهال‌های کنترل و تحت تنش خشکی شدید را نشان می‌دهند.

**Figure 2. Mean values of physiological and biochemical parameters in leaves of *Quercus brantii* seedlings**  
Vertical bars are standard errors and different letters indicate significant differences between means ( $p < 0.05$ ). C and T indicate the seedlings of control and under severe drought stress, respectively.

باشت و کمیته آن‌ها در پروانسان‌های بن‌زرد، گنجه، شاه‌مختار و کالوس مشاهده شد، اما پروانسان‌های دیگر (چیتاب، علی‌اولاد مؤمن و قائمیه) از این نظر، حالت بینابینی داشتند (شکل ۳). به‌رغم عدم معنی‌داری شاخص مقاومت به تنش در آزمون تجزیه واریانس، نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کمیته این شاخص مربوط به پروانسان بن‌زرد و بیشینه آن متعلق به پروانسان‌های باشت و چیتاب هستند (شکل ۳).

شاخص‌های مقاومت به خشکی نهال‌های بلوط ایرانی در پروانسان‌های مختلف نتایج تجزیه واریانس برای شاخص‌های مقاومت به خشکی نهال‌های بلوط ایرانی نشان داد که پروانسان‌های مختلف از نظر مقاومت و انعطاف‌پذیری باهم تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارند (جدول ۴). طبق نتایج مقایسه میانگین، بیشینه شاخص‌های مذکور در پروانسان

جدول ۴- تجزیه واریانس یک‌طرفه شاخص‌های مقاومت به خشکی نهال‌های بلوط ایرانی در پروانسان‌های مختلف

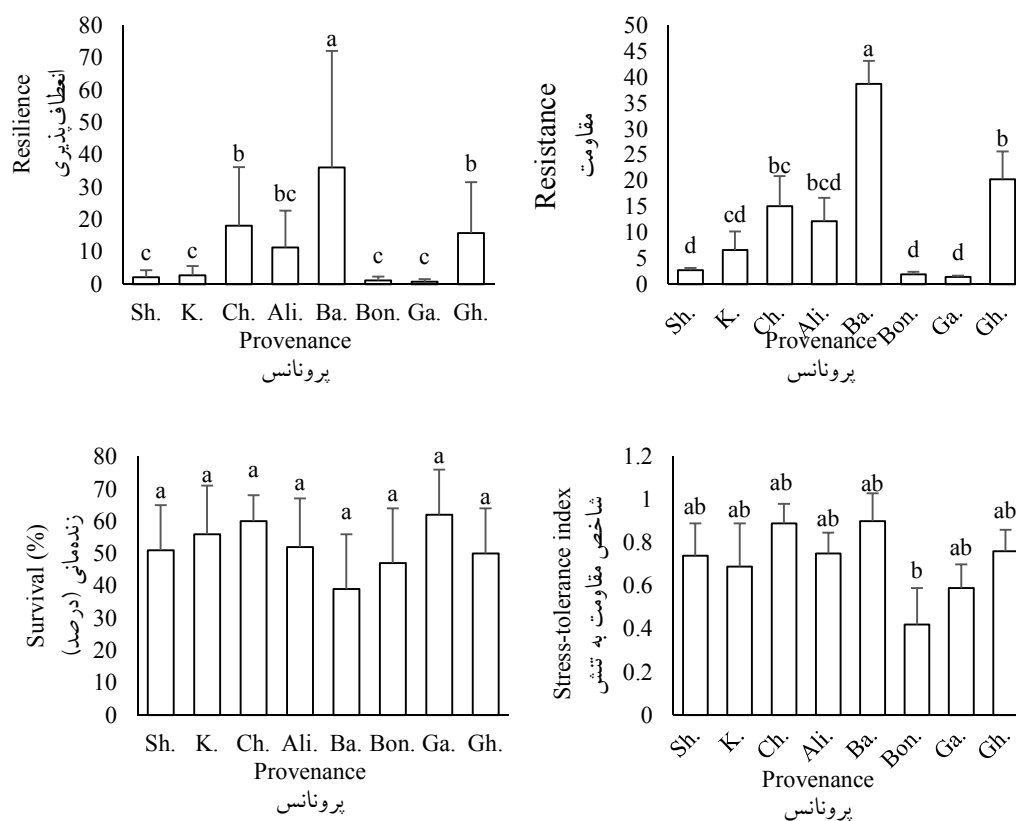
Table 4. One-way ANOVA on the effects of provenance on drought stress indexes of *Quercus brantii* seedlings

منابع تغییر	درجه آزادی	مقاومت	انعطاف‌پذیری	شاخص مقاومت به تنش	زنده‌مانی
SV	df	Resistance	Resilience	Stress-tolerance index	Survival
پروانسان	7	3108**	278.5**	0.11 <sup>ns</sup>	0.027 <sup>ns</sup>
Provenance (P)					
خطا	160	274.5	278.5	0.1	0.105
Error					

\*\* معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ <sup>ns</sup> غیرمعنی‌دار

\*\* : Significant at  $p < 0.01$ ; ns: non-significant





شکل ۳- میانگین شاخص‌های مقاومت به خشکی نهال‌های بلوط ایرانی در پروانسان‌های مختلف

میله‌های عمودی نشان‌دهنده اشتباه معیار و حرف‌های متفاوت لاتین بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد هستند. مخفف نام پروانسان‌ها در جدول ۱ آمده است.

**Figure 3. Mean values of drought stress indexes in *Quercus brantii* seedlings at different provenances**  
Vertical bars are standard errors and different letters indicate significant differences between means ( $p < 0.05$ ).

(2010; Valero-Galvan *et al.*, 2013).

## بحث

بر اساس نتایج، نرخ نشست پرولین در نهال‌ها به دنبال اعمال تنش خشکی شدید، به طور معنی‌داری افزایش یافت. یکی دیگر از پیامدهای آسیب به غشای پلاسمایی، افزایش نفوذپذیری دیواره سلولی است که سبب نشت مواد داخل برگ به خارج آن و افزایش نرخ نشت الکترولیت می‌شود (Zolfaghari *et al.*, 2021). در پژوهش‌های دیگر نیز افزایش نرخ نشت الکترولیت در نهال‌های بلوط ایرانی تحت تنش خشکی تا زمان کاهش هدایت روزنه‌ای نهال به ۱۰ درصد (Khaleghi & Puryafar, 2021) و نیز در ۵۰ و ۲۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای خاک (تنش خشکی ضعیف و شدید) گزارش شده است. (Jafarnia *et al.*, 2018).

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی اعمال شده با قطع آبیاری در هفته‌های سوم و چهارم (به ترتیب با محتوای رطوبتی خاک ۴۵ و ۳۰ درصد) اثرات منفی بر نهال‌های بلوط ایرانی داشت، به طوری که ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل نهال‌ها شامل عملکرد فتوسیستم روشنایی در تنش متوسط و عملکردهای فتوسیستم روشنایی و تاریکی در تنش شدید به طور معنی‌داری کاهش یافتند. تنش خشکی با صدمه به غشای پلاسمایی سبب افزایش تولید اکسیژن فعال در سلول‌های گیاهی می‌شود. به دنبال آن ممکن است عملکرد فتوسیستم II مختل شود که در بسیاری از درختان جنگلی مانند گونه‌های جنس بلوط (*Vilagrosa et al.*, ) گزارش شده است.

شده است (Filella et al., 2008).

عملکرد بهینه فتوسیستم در پروانسه‌های بن‌زرد و گنجه (اقلیم سردسیر) نسبت به پروانسه‌های دیگر در زمان تنش متوسط به‌طور معنی‌داری کمتر بود، بنابراین این پروانسه‌ها نسبت به تنش خشکی حساس‌تر هستند. اثرات متقابل پروانسه و تیمار خشکی شدید بر عملکردهای بهینه و بیشینه فتوسیستم در سطح اطمینان حداقل ۹۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). باوجوداین، عدم کاهش معنی‌دار ویژگی‌های مذکور در پروانسه‌های چیتاب (فقط در عملکرد بیشینه)، شاه‌مختار، کالوس و باشت حاکی از مقاومت بیشتر این پروانسه‌ها نسبت به چهار پروانسه دیگر است. بررسی پاسخ دو گونه بلوط به قطع آبیاری پس از ۴۸ روز (ظرفیت مزرعه‌ای ۱۰ درصد) نیز نشان داد که عملکرد فتوسیستم گونه مقاوم (*Q. laceyi* Small) نسبت به گونه اجتناب‌کننده از خشکی (*Q. sideroxylla* Bonpl.) به‌مقدار کمتری کاهش یافت (Poulos et al., 2007). کاهش معنی‌دار عملکرد فتوسیستم نهال‌های پروانسه چیتاب در زمان روشنائی و عدم تغییر معنی‌دار آن در شرایط تاریکی می‌تواند به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها در روز باشد. بستن روزنه‌ها در روز طی تنش خشکی، یکی از راهکارهای گیاه برای کاهش هدررفت آب و خسارت اکسیداتیو است (Havaux & Tardy, 1999). بررسی عملکرد فتوستنتزی برگ در یک گونه بلوط خزان‌کننده (*Q. pubescens* Willd.) طی خشک‌سالی شدید تابستان نشان داد که با وجود کاهش عملکرد بهینه فتوسیستم در دمای زیاد و نور شدید، عملکرد فتوسیستم در شرایط تاریکی (عملکرد بیشینه فتوسیستم) به‌علت بردباری این گونه به خشکی تغییر نکرد (Damesin & Rambal, 1995).

در راستای یافته‌های دیگر پژوهش پیش‌رو، نتایج شاخص‌های مقاومت نیز نشان داد که بیشینه مقاومت و انعطاف‌پذیری متعلق به پروانسه‌های مناطق با ضریب خشکی بیشتر مانند باشت و قائمیه و سپس، پروانسه چیتاب از اقلیم سردسیر هستند. بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی از مؤلفه‌های رشد، ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی بلوط ایرانی نشان داد که رابطه معنی‌داری

تولید اسمولیت‌های سازگار (مانند اسیدآمین‌های پرولین و عناصر مختلف) در اندام‌های مختلف گیاهان از راهکارهای آن‌ها در پاسخ به تنش کمبود آب است که با افزایش معنی‌دار مقدار اسمولیت، سدیم و پرولین در نهال‌های بلوط ایرانی در پژوهش پیش‌رو همراه بود. سدیم در سازگاری گیاهان به تنش خشکی، نقش مهمی دارد. به‌طوری‌که با افزایش فشار اسمزی، جذب آب را مساعد می‌کند، اما جذب بیش‌ازحد سدیم نسبت به پتاسیم در شرایط تنش می‌تواند پایداری یون‌های داخل سلول را برهم بزند و سبب عملکرد بد غشا سلول و درنهایت، باعث بازدارندگی رشد و مرگ سلول شود (Wang et al., 2013). پرولین علاوه‌بر تنظیم اسمزی، سبب حفاظت از ساختار درون‌سلولی، کاهش خسارت اکسیداتیو به‌واسطه تولید رادیکال‌های آزاد در پاسخ به تنش خشکی و درنهایت، سازش و تحمل تنش می‌شود (Farooq et al., 2009). در پژوهش‌های دیگر نیز افزایش مقدار پرولین در نهال‌های بلوط ایرانی تحت تنش خشکی پس از قطع آبیاری به‌مدت سه هفته (Zolfaghari et al., 2022) و نیز در ۴۰ و ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای خاک (تنش شدید) و عدم تفاوت معنی‌دار در ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای خاک (تنش ملایم) (Karimi et al., 2022; Khosravi et al., 2022) گزارش شده است.

نتایج دیگر پژوهش پیش‌رو نشان داد که تغییر محتوای نسبی آب برگ و مقدار کلروفیل نهال‌های بلوط ایرانی طی زمان تنش خشکی معنی‌دار نبود. همسو با این یافته‌ها، اعمال تنش خشکی طی دو دوره ۲/۵ و ۳/۵ ماهه بر نهال‌های بلوط همیشه‌سبز (*Q. ilex* L.) (Villar-Salvador et al., 2004) و کاج حلب (*Pinus halepensis* Mill.) در چهار تیمار شامل تنش‌های خشکی ضعیف، متوسط و شدید و نهال‌های کنترل (Royo et al., 2001) حاکی از عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مختلف از نظر محتوای نسبی آب نهال‌ها بودند. از طرف دیگر، عدم کاهش معنی‌دار محتوای کلروفیل بین تیمارهای مختلف در پژوهش پیش‌رو حاکی از مقاومت زیاد بلوط ایرانی به تنش خشکی است. در پژوهش‌های دیگر نیز بردباری به خشکی برای گونه‌های دیگر جنس بلوط گزارش

به‌عنوان بهترین ویژگی بلوط ایرانی برای انتخاب پروانسه‌های مقاوم‌تر به تنش خشکی این گونه پیشنهاد می‌شود. همچنین سه رویشگاه باشت، قائمیه و چیتاب، مکان‌های مناسبی برای جمع‌آوری بذر و تولید نهال‌های مقاوم به خشکی در استان کهگیلویه و بویراحمد هستند، زیرا درصد موفقیت جنگل‌کاری با بلوط ایرانی در این استان با پروانسه‌های مذکور نسبت به پروانسه‌های دیگر مورد مطالعه بیشتر بود.

### سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی با عنوان «ارزیابی تنوع سازگاری ژنتیکی در مقاومت به تنش کمبود آب خانواده‌های بلوط ایرانی به‌وسیله مارکر ژنتیکی EST-SSR» و به‌شماره ۹۹۰۱۶۸۹۸ توسط معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری حمایت مالی شد.

### منابع مورد استفاده

- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
- Damesin, C. and Rambal, S., 1995. Field study of leaf photosynthetic performance by a Mediterranean deciduous oak tree (*Quercus pubescens*) during a severe summer drought. *New Phytologist*, 131(2): 159-167.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S.M.A., 2009. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1): 185-212.
- Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *Proceeding of 4th International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress*. Shantana, Taiwan, 13-18 Aug. 1992: 257-270.
- Filella, I., Llusia, J., Piñol, J. and Peñuelas, J., 1998. Leaf gas exchange and fluorescence of *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus* and *Quercus ilex* saplings in severe drought and high temperature conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 39(3): 213-220.
- Havaux, M. and Tardy, F., 1999. Loss of chlorophyll

بین میانگین بارندگی سالانه مبدأ بذرها و تحمل آن‌ها به خشکی وجود دارد (Jafarnia *et al.*, 2018). به‌طوری‌که عملکرد فتوسنتز نهال‌های پروانسه خشک‌تر (ایلام) در مقایسه با پروانسه مرطوب‌تر (لرستان) بهتر بود. از آنجاکه شاخص‌های مقاومت در پژوهش مذکور از عملکرد فتوسنتز به‌دست آمد، بنابراین با نتایج پژوهش پیش‌رو مطابقت دارد. کمینه بارندگی و بیشینه ضریب خشکی در پژوهش پیش‌رو به پروانسه قائمیه تعلق داشت (جدول ۱)، اما مقاومت و انعطاف‌پذیری این پروانسه به‌طور معنی‌داری کمتر از پروانسه باشت بود. بررسی اثرات متقابل اندازه بذر و تنش خشکی بر رشد نهال‌های بلوط ایرانی حاصل از دو پروانسه بانه (مرطوب‌تر) و یاسوج (خشک‌تر) نشان داد که نهال‌های پروانسه بانه به‌دلیل تنوع ژنتیکی بیشتر، نسبت به تنش خشکی مقاوم‌تر بودند (Zolfaghari *et al.*, 2013). همچنین، شرایط رویشگاهی مبدأ بذر نیز می‌توانند بر عملکرد نهال‌های حاصل مؤثر باشند. به‌نظر می‌رسد که با توجه به شرایط رویشگاهی مساعدتر در منطقه باشت نسبت به منطقه قائمیه، کیفیت بذر و نهال‌های پروانسه باشت نیز بهتر بود. این یافته‌ها با نتایج بررسی اثر مبدأ بذر بر جوانه‌زنی بذر و ریخت‌شناسی نونهال‌های بلوط ایرانی (Rahiminasab & Tabandeh Saravi, 2017) همخوانی دارند.

در مجموع براساس نتایج پژوهش پیش‌رو، برخی پروانسه‌ها مانند پروانسه‌های باشت و قائمیه از اقلیم گرمسیر و پروانسه چیتاب از اقلیم سردسیر توانستند تنش خشکی تا ۳۰ درصد محتوای رطوبت خاک را تحمل کنند. در واقع، نتایج حاصل از پروانسه‌های باشت و قائمیه به‌دلیل استقرار در مناطق با ضریب خشکی بیشتر (درجه‌حرارت بیشتر و یا بارندگی کمتر)، نسبت به خشکی سازگارتر بودند. نهال‌های پروانسه چیتاب نیز با کاهش عملکرد فتوسنتز در روشنایی و بهبود آن در تاریکی و به‌عبارتی، با کاهش هدررفت آب از طریق بستن روزنه‌های خود در روز، نسبت به پروانسه‌های دیگر سردسیر، مقاوم‌تر بودند. به‌طورکلی، استفاده از عملکرد فتوسنتز که یک روش اندازه‌گیری ساده و غیرتخریبی است،

- Rahiminasab, A. and Tabandeh Saravi, A., 2017. Effect of seed source on germination and morphology of seed and seedlings of *Quercus brantii* Lindl. Journal of Forest Research and Development, 3(3): 249-262 (In Persian with English summary).
- Royo, A., Gil, L. and Pardos, J.A., 2001. Effect of water stress conditioning on morphology, physiology and field performance of *Pinus halepensis* Mill. seedlings. New Forests: 21: 127-140.
- Schwarz, J., Skiadaresis, G., Kohler, M., Kunz, J., Schnabel, F., Vitali, V. and Bauhus, J., 2020. Quantifying growth responses of trees to drought—A critique of commonly used resilience indices and recommendations for future studies. Current Forestry Reports, 6: 185-200.
- Sisakhtnejad, M., Zolfaghari, R. and Fayyaz, P., 2016. Assessment of drought resistant of *Quercus brantii* and *Q. Libanii* seedlings using growth, physiological and nutrient uptake. Applied Biology, 30(2): 137-157 (In Persian with English summary).
- Valero-Galvan, J., Gonzalez-Fernandez, R., Navarro-Cerrillo, R.M., Gil-Pelegrin, E. and Jorin Novo, J.V., 2013. Physiological and proteomic analyses of drought stress response in holm oak provenances. Journal of Proteome Research, 12: 5110-5123.
- Vilagrosa, A., Morales, F., Abadía, A., Bellot, J., Cochard, H. and Gil-Pelegrin, E., 2010. Are symplast tolerance to intense drought conditions and xylem vulnerability to cavitation coordinated? An integrated analysis of photosynthetic, hydraulic and leaf level processes in two Mediterranean drought-resistant species. Environmental and Experimental Botany, 69(3): 233-242.
- Villar-Salvador, P., Planelles, R., Olliet, J., Peñuelas-Rubira, J.L., Jacobs, D.F. and González, M., 2004. Drought tolerance and transplanting performance of holm oak (*Quercus ilex*) seedlings after drought hardening in the nursery. Tree physiology, 24(10): 1147-1155.
- Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q. and Guo, S., 2013. The critical role of potassium in plant stress response. International Journal of Molecular Sciences, 14(4): 7370-7390.
- Zaharieva, M., Gaulin, E., Havaux, M., Acevedo, E. and Monneveux, P., 2001. Drought and heat responses in the wild wheat relative *Aegilops geniculata* Roth: Potential interest for wheat improvement. Crop Science, 41(4): 1321-1329.
- Zolfaghari, R., Dalvand, F., Fayyaz, P. and Solla, A., 2022. Maternal drought stress on Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) affects susceptibility to single and combined drought and biotic stress in offspring. Environmental and Experimental Botany, 194: 104716.
- with limited reduction of photosynthesis as an adaptive response of Syrian barley landraces to high-light and heat stress. Australian Journal of Plant Physiology, 26(6): 569-578.
- Homayoonfar, S., Zolfaghari, R. and Fayyaz, P., 2019. Effect of cold stress on physiological traits of *Pistacia atlantica* and *P. khinjuk* during acclimation. Iranian Journal of Forest, 11(2): 207-219 (In Persian with English summary).
- Jafarnia, Sh., Akbarinia, M., Hosseinpour, B., Modarres Sanavi, S.A.M. and Salami, S.A., 2018. Effect of drought stress on some growth, morphological, physiological, and biochemical parameters of two different populations of *Quercus brantii*. iForest, 11: 212-220.
- Karimi Hajipomagh, Kh., Zolfaghari, R., Alvaninejad, S. and Fayyaz, P., 2014. Effect of seed provenance and mother tree of *Quercus brantii* base on primary establishment in Yasuj. Forest and Wood Products, 66(4): 427-439 (In Persian with English summary).
- Karimi, A., Tabari, M., Javanmard, Z. and Bader, M.K.F., 2022. Drought effects on morpho-physiological and biochemical traits in Persian oak and black poplar seedlings. Forests, 13(3): 399.
- Khaleghi, A. and Puryafar, P., 2021. Effect of mycorrhiza application on some physiological and biochemical characteristics of *Quercus brantii* saplings under drought stress conditions. Forest and Wood Products, 73(4): 389-402 (In Persian with English summary).
- Khosravi, M., Heydari, M., Alikhani, H.A. and Mosleh Arani, A., 2022. The effect of inoculation Brant's oak (*Quercus brantii* L.) seed with plant growth-promoting bacteria on some physiological traits of seedling under different levels of water-deficit stress. Ecology of Iranian Forest, 10(19): 67-77 (In Persian with English summary).
- Lauteri, M., Pliura, A., Monteverdi, M.C., Brugnoli, E., Villani, F. and Eriksson, G., 2004. Genetic variation in carbon isotope discrimination in six European populations of *Castanea sativa* Mill. originating from contrasting localities. Journal of Evolutionary Biology, 17(6): 1286-1296.
- Manion, P.D., 1991. Tree Disease Concepts, 2nd Edition. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 416p.
- Polle, A., Chen, S.L., Eckert, C. and Harfouche, A., 2019. Engineering drought resistance in forest trees. Frontiers in Plant Science, 9: 1875.
- Poulos, H.M., Goodale, U.M. and Berlyn, G.P., 2007. Drought response of two Mexican oak species, *Quercus laceyi* and *Q. sideroxyla* (Fagaceae), in relation to elevational position. American Journal of Botany, 94(5): 809-818.

- Zolfaghari, R., Rezaei, K., Fayyaz, P., Naghiha, R. and Namvar, Z., 2021. The effect of indigenous phosphate-solubilizing bacteria on *Quercus brantii* seedlings under water stress. *Journal of Sustainable Forestry*, 40(7): 733-747.
- Zolfaghari, R., Fayyaz, P., Nazari, M. and Valladares, F., 2013. Interactive effects of seed size and drought stress on growth and allocation of *Quercus brantii* Lindl. seedlings from two provenances. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37(3): 361-368.

## Evaluation of drought resistance in Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) seedlings from different seed provenances of southern Zagros, Iran

Sh. Molaee<sup>1</sup>, R. Zolfaghari<sup>2\*</sup>, Z. Alizadeh<sup>1</sup> and P. Fayyaz<sup>3</sup>

1- M.Sc. of Forestry, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Yasouj University, Yasuj, Iran

2\*- Corresponding author, Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Yasouj University, Yasuj, Iran. E-mail: zolfaghari@yu.ac.ir

3- Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Yasouj University, Yasuj, Iran

Received: 18.02.2023

Accepted: 24.04.2023

### Abstract

Identifying the most suitable Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) seed origins (provenances) due to the increase in the intensity of summer drought in the Zagros forests is very important for the reforestation issue. In this research, the physiological and biochemical responses of Brant's oak seedlings from eight provenances located in different altitudes and latitudes of Southern Zagros were investigated under drought stress (with the stopping of irrigation for one month). The data were analyzed in the factorial (2 levels of drought stress treatment and 8 levels of provenance), randomized complete design experiment by examining the simple and interaction effects of them. Also, drought resistance indexes of provenances were calculated and compared with each other by applying the photosystem II value before and after the stress. Results showed that severe drought stress significantly increased electrolyte leakage, osmolyte, Na, and proline contents in seedling leaves for all provenances. Although, the response of different provenances in terms of photosystem II was not similar. The provenances were located in lower altitudes (Basht site in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province and Ghaemiyeh site in Fars province) and had higher resistance and resilience values due to adaptation to high temperature and or low precipitation. Also, Chitab provenance (a cold site with less dryness in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province) became drought tolerant by closing its stomata during the day and thus reducing the photosystem II and improving it in the dark. Consequently, the drought resistance of Brant's oak seedlings is partly influenced by the seed provenances and climatic conditions. The use of these results can be recommended to managers in the reforestation of the Zagros forests.

Keywords: Biochemical response, chlorophyll fluorescence, physiological response, reforestation, seed origin.